

Manejo Hidrológico de Mallines: Aplicación al Manejo Sustentable del Mallin Genoa

Dr. Federico Horne y equipo.
ITAMA, Universidad Nacional del Comahue



**Manejo Hidrológico de Mallines: Aplicación al Manejo Sustentable del
Mallin Genoa**

Dr. Federico Horne y equipo.

ITAMA, Universidad Nacional del Comahue

INDICE

1. Introducción

2. Elementos de análisis del medio biofísico

- 2.1. Geología y geomorfología
- 2.2. Información meteorológica
- 2.3. Información hidrométrica e hidrológica
- 2.4. Vegetación
- 2.5. Salinidad del Genoa
- 2.6. Manejo actual del agua
- 2.7. Estudios y proyectos disponibles
- 2.8. Relevamientos expeditivos
- 2.9. Análisis del sistema: hipótesis de funcionamiento hidrológico
- 2.10. Esquema de las alternativas de manejo sustentable y sus obras integrantes

3. Desarrollo del Proyecto

- 3.1. Relevamientos en Campo
 - Ensayo de Conductividad Hidráulica saturada
 - Ensayos de Infiltración
 - Ensayo tensiométrico
 - Horizontes del Suelo

- 3.2. Análisis de datos y algunos resultados
 - Análisis Freatimétrico
 - Modelación matemática del flujo de agua en el suelo
 - Generación de la función de Caudal Capilar
 - Reconocimiento del régimen hidrológico
 - Requerimiento de agua para las pasturas
 - Extensión potencial del área del mallin

- 3.3. Pautas o criterios de diseño
 - Propuesta conceptual
 - Esquema del Proyecto
 - Criterios de diseño
 - Esquema espacial

- . Control del cauce central
 - . Canales de recarga
 - Selección del Área Piloto
 - Esquema de Plan Piloto
-
- a. Localización
 - b. Sistema de Información Geográfico
 - c. Descripción de obras
 - d. Plan de monitoreo
 - e. Presupuesto

4. Conclusiones y recomendaciones

5. Bibliografía citada y consultada

1. Introducción

Mallín es el nombre regional dado a ciertos humedales de zona árida propios de la Patagonia. Si bien diversos, frecuentemente conforman un ecosistema distintivo, de relieve suavemente cóncavo, con suelos humidificados desde la freática, con presencia de un cauce central, toman forma, tamaño y pendiente variables.

Los mallines en Patagonia (4% de la superficie) tienen una producción de pastos 20 a 30 veces superior a la meseta árida. Estas pequeñas áreas son estratégicas para el desarrollo Patagónico pues hacen rentables inversiones productivas, sin embargo por su misma productividad está sujeta a la sobrecarga animal, degradación del ecosistema (Oesterheld y Sala, 1994) y consecuente erosión del cauce central afectando la dinámica hídrica del mallín.

El potencial productivo de los mallines está afectado por la escasez del agua en los periodos de mayor demanda evapotranspiratoria, y sujetos a la salinización y degradación debido a mal manejo, sobrepastoreo y erosión hídrica (Van Barneveld, 1998). Se considera que un mallín en buen estado produce 8000 – 10000 kg/ha de materia seca por año, mientras que degradado escasamente alcanza los 2000 kg. m.s./ha

Desde el punto de vista hidrológico, los mallines se asocian a zonas de concentración de humedad en el suelo, con napa freática alimentada por la precipitación directa más el escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo proveniente de bastas áreas colindantes (Mazzoni 1984). y pertenecientes o no a la misma cuenca. Puede no provenir de la misma cuenca cuando hay aportes de acuíferos confinados con recarga en cordillera y precordillera.

El aporte hídrico, cualquiera sea su origen, se almacena en el acuífero libre cuyo nivel freático fluctúa estacionalmente en función del balance entre entradas y salidas de agua al mallín. Desde la freática se produce un flujo de agua ascendente.

El movimiento del agua en el manto saturado responde a las propiedades físicas o parámetros físicos hidrogeológicos de estos depósitos en particular su transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

El cauce central funciona como condición de borde del acuífero, fijando el nivel freático a lo largo de su recorrido. Cuando el mallín es recargado lateralmente por los bordes externos o por precipitación directa, el cauce central se constituye en el dren del mallín, mientras que durante los períodos de bajante del nivel freático, el cauce puede al menos en algunos tramos operar como fuente de recarga del acuífero.

Uno de los aspectos más relevantes de la dinámica hídrica del mallín es el flujo en el medio no saturado o franja capilar, ubicada entre la napa y la superficie del suelo. La demanda evapotranspiratoria atmosférica extrae humedad de los horizontes más superficiales explorados por raíces, creando diferencias de tensión matricial respecto de la tensión cero del nivel freático en grado suficiente para generar un flujo vertical ascendente desde la napa. Este flujo puede o no alcanzar para suplir la intensidad evapotranspiratoria que obviamente se intensifica en verano. El caudal que asciende depende mayoritariamente de los parámetros físicos del suelo: conductividad hidráulica, porosidad y función de retención hídrica del suelo y de la distancia suelo-napa (Van Genuchten et al.1991), (Horne, 1998). Los suelos orgánicos y volcánicos tienen grandes ventajas comparativas en relación al flujo ascensional como pudo evidenciarse en simulaciones matemáticas realizadas.

En muchos mallines extraandinos la productividad se ve restringida por el déficit de humedad edáfica durante el período de verano. Esto ha llevado a sistematizaciones para riego mediante técnicas que procuran distribuir el agua por medio de conducciones en curvas de nivel. Sin embargo, un análisis del movimiento del agua en

el perfil del suelo permitió comprobar la importancia del flujo capilar ascendente como motor de la subirrigación. El control del nivel freático mediante la recarga del acuífero, permitiría satisfacer la demanda evapotranspiratoria a lo largo del año, sin necesidad de implementar sistemas de riego por superficie.

A los fines prácticos esto lleva a una concepción distinta del riego en los mallines. En vez de una distribución del agua en superficie, se trataría de buscar el mejor método de recargar el acuífero a efectos de controlar el nivel freático de manera que el flujo capilar satisfaga la evapotranspiración (EVT). Este concepto puede derivar a obras de sistematización de mucho menor costo y de menor perturbación del suelo del mallín.

Horne et al (1997, 1998, 1999, 2001) han propuesto la subirrigación natural a través del control freático. Estos autores han demostrado que con simples canales de recarga se logra que aumente el nivel freático y por consiguiente aumente la posibilidad de ascenso capilar del agua. Este es un enfoque nuevo del riego en mallines. Se basa en el movimiento del agua en medio no saturado, entre la napa a la superficie del terreno. Se ha analizado también la salinización como un proceso degradativo originado en el ascenso capilar de flujos freáticos (Haverkamp, 1977). Estos contienen sales que transitan por el perfil del suelo no saturado, que si bien está sujeto al lavado, esto no siempre se produce en cantidad y oportunidad. La precipitación anual en Patagonia, además de ser escasa, no toda contribuye al lavado del perfil del suelo. Mas aún, el sobrepastoreo o la alta intensidad de precipitación hacen que el escurrimiento superficial sea significativamente mayor que la infiltración. Esto sucede mas frecuentemente en el mallín propiamente dicho que en la meseta basáltica circundante cuya capacidad de infiltración es muy alta, conformando así la cuenca de recepción del agua que compondrá la freática del mallín.

El proceso de salinización Lipinski (1992), asociado a la subirrigación de los mallines, es condicionante para el manejo del mallín por control de los niveles freáticos, como ha sido propuesto en los trabajos referenciados. En consecuencia, se ha abordado el estudio de un mallín con tenores salinos que comprometen su desarrollo agropecuario.

Un mallín típico esta sujeto al régimen climático regional nor-patagónico extra-andino, esto es, con déficit hídrico estival (Movia, 1984) y excedente de agua en invierno-primavera (Paruelo et al., 1993). Este caso tipifica un gran conjunto de mallines ubicados en precordillera y en sierras y mesetas, problemática por ende de importancia regional.

Se evidencia este régimen en los caudales del cauce central, cuya carga hidráulica es acompañada por los niveles freáticos del mallín. El flujo capilar ascendente que humidifica el suelo inducido por la evapotranspiración, conlleva a un transporte de sales entre la freática y el suelo, Kessler y Ridder, (1973) que resulta en un depósito de las mismas en los horizontes radiculares, el cual no alcanza a ser lavado por la precipitación anual, tendiendo a un umbral de concentración salina del suelo fértil que compromete el desarrollo productivo.

Con una cierta frecuencia, se produce una crecida extraordinaria en el cauce central que inunda la totalidad del mallín durante varios días, ocasionándose un lavado del perfil del suelo que regenera las condiciones de aptitud para sostener pastizales con capacidad productiva ganadera al menos por unos años.

Bajo este enfoque se ha estudiado el manejo mas adecuado para un mallín "salino" que, haciendo uso de los recursos hídricos disponibles, permita un esquema sustentable de producción. Básicamente se intenta un régimen que evite el déficit estival y mantenga el tenor salino de los suelos compatible con el ciclo productivo anual.

La idea fuerza o hipótesis de trabajo es revertir el déficit estival mediante el control de los niveles freáticos, dado que la subirrigación natural por ascenso capilar Horne, (1998) implica usar el agua con una eficiencia cercana al 100 % en el sentido que el agua extraída o utilizada es solo la que la vegetación transpira. Respecto de la

concentración salina se debe analizar la lámina de lavado necesaria para ser distribuida en invierno, durante el periodo de mayor disponibilidad hídrica.

Este marco conceptual se utilizó para el estudio del Valle del Genoa, que constituye uno de los mallines de mayor tamaño (en un solo bloque) de la patagonia. El reconocimiento de sus parámetros fundamentales del suelo, acuífero y clima, permitió su caracterización y propuesta de manejo sustentable.

El objetivo del presente texto es registrar la aplicación de los fundamentos teóricos que gobiernan el movimiento del agua en el mallin al caso particular del Valle de Genoa. El proyecto de manejo del mallin involucra ciertas obras como canales de recarga y compartos en el cauce central, las cuales fueron diseñadas para una parte del Valle, que se dio en llamar Proyecto de Plan Piloto.

Los elementos teóricos utilizados han sido desarrollados en investigaciones previas por el equipo. Así también la descripción de ciertas técnicas y partes metodológicas han sido tomadas de escritos anteriores.

2. Elementos de análisis del medio biofísico

2.1. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGIA

El valle del Genoa es origen aluvial, constituyéndose de depósitos de material sedimentario de distinto tamaño. El río en su régimen actual presenta un curso anastomosado con meandros alternativos que se activan durante el periodo invierno-primavera I. Esta distribución favorece la recarga del acuífero, vital en el funcionamiento hidrológico y humidificación de los suelos.



Figura 1. Vista general del Valle en noviembre 2006

Hasta donde se ha podido constatar sobreyace sobre el hidroapoyo del valle, un estrato potente de grava de alta permeabilidad (Figura 2). Los materiales más finos

(limos) sobreyacentes a la grava, son particularmente aptos para el proceso de conducción capilar.



Figura 2. Horizonte intermedio de grava

Los bordes del valle están contorneados por material coluvial (Figura 3), con sedimentos de arena y grava, dándole características diferenciales a la vegetación natural. Estos suelos más gruesos texturalmente, impiden la provisión de agua desde la freática, empobreciendo significativamente la producción de pasturas.



Figura 3. Vista de paisaje marginal al mallín

Es importante toda información de perforaciones o prospecciones realizadas para darle magnitud espacial manto de grava y establecer la profundidad al hidroapoyo, y de ser posible los parámetros físicos, transmisividad, T y coeficiente de almacenamiento, S. Esto permitirá una caracterización clara de de la dinámica freática, fuente de sostén del mallín

2.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

El régimen precipitación vs. evapotranspiración establece la fuente del recurso hídrico del mallín y señala el mecanismo de humidificación del suelo.

La precipitación directa sobre el mallín tiene como principal función el lavado de sales, proceso condicionado también por el tipo y conformación de los horizontes constitutivos del perfil del suelo.

PRECIPITACION.

El régimen de lluvias de Genoa disminuye desde la cabecera hacia agua abajo en aproximadamente 1 mm/km. Se registró 235 mm de media en El Cherque y 140 en Nueva Lubeka, PROINSA (1996), Vives y Perez (1997).

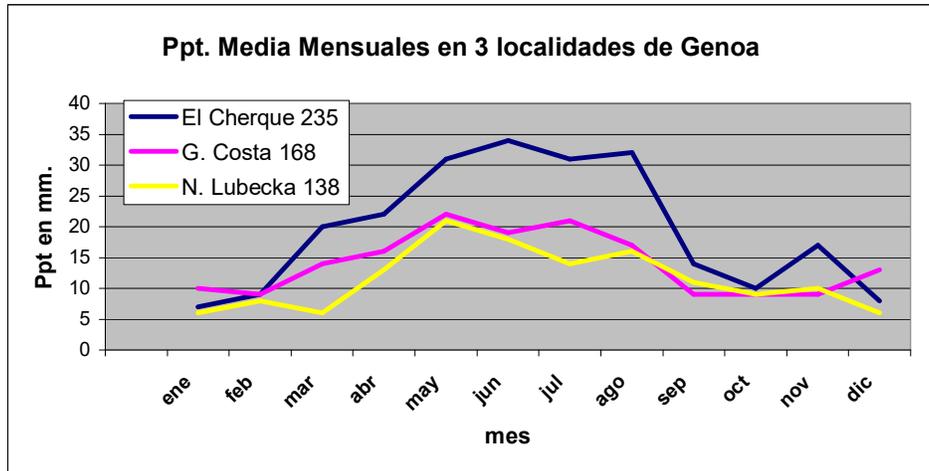


Figura 4. Gradiente de precipitaciones medias.

EVAPOTRANSPIRACION.

Los valores de evapotranspiración fueron tomados de PROINSA (1996). Estos han sido estimados con el método Penman – Monteith, muy adecuado a la situación siempre, obviamente, que los valores de temperatura de aire, humedad, viento y radiación representen al sitio.

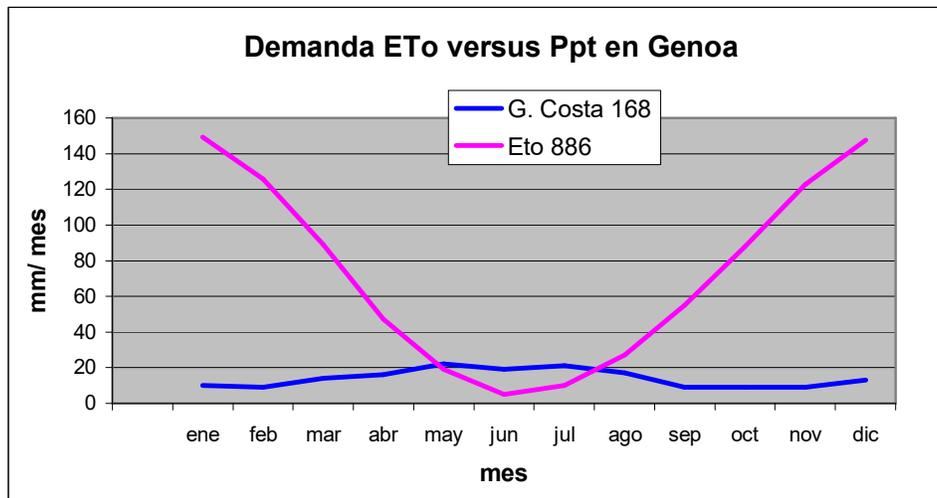


Figura 5. Aporte de la lluvia a la demanda de EVT

En la Figura 5 es claramente visible que el aporte de la lluvia poco incide en la demanda evapotranspiratoria de la pradera que conforma gran parte del mallín.

2.3. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA E HIDROLÓGICA

El hidrograma medio mensual de Genoa que se presenta en estimado por Vives y Perez (1997) a partir de un análisis regional de caudales específicos considerando cuencas aledañas con algunos datos. Este tipo de análisis esta sujeto a incertidumbres dado por un conjunto variados de factores, pero justificado cuando no existen datos.

Proinsa (1976) aplica el método del Número de Curva del SCS de USA para varios afluentes del Senguer, pero no incluye al Genoa.

Cabe mencionar que Proinsa (1977) informa sobre 11 fechas de aforos en diversas secciones entre 1994 y 1995, no consignando los valores observados. Estos datos registrados simultáneamente sobre el cauce, en mucho pueden ayudar a establecer balances hídricos en el mallín.

De las 2 secciones de control establecidas, el Cherque y La Curva, en una se comprobó la rotura de la escala hidrométrica (Puente La Curva). Asimismo se visualizo la dificultad operativa de esta sección de aforo en cuanto el arroyo transita por varios brazos.

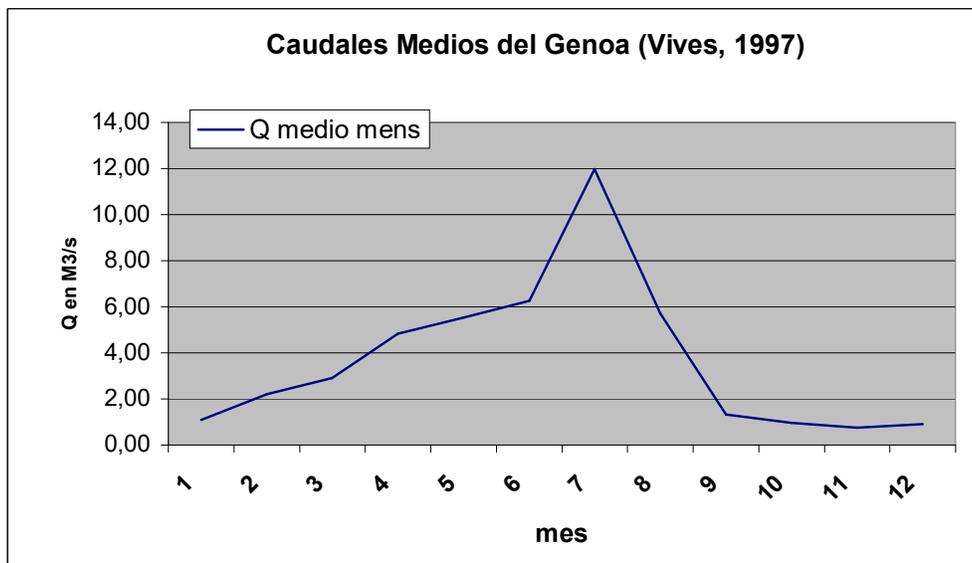


Figura 6. Caudales registrados del Genoa

2.4. VEGETACIÓN

En la campaña de reconocimiento se caracterizaron preliminarmente las comunidades vegetales típicas de las 3 zonas que conforman el mallín: central de juncos y ciperáceas, intermedia graminosa y de transición con la periferia con predominio de senecio y distichlis. Estas 3 franjas vegetales están en equilibrio con la provisión de humedad desde la freática, dominada por la profundidad a la misma.

De acuerdo a GM&A (2001), los mallines son zonas bajas, anegadizas compuestas por praderas de gramíneas juncáceas y ciperáceas. Esta vegetación aparece en zonas donde, por algún motivo, las plantas disponen de una cantidad de agua fuera de lo normal, ya sea en forma temporaria o transitoria.

Pradera graminiforme de *Juncus balticus*: Es una pradera graminiforme dominada por

Juncus balticus, Carex macrorrhiza

Acompañadas por *Polypogon interruptus*, *Polypogon mospeliensis*, *Alopecurus geniculatus*, *Hordeum comosum*, *Distichlis spicata*, *Taraxacum officinale* y *Veronica peregrina*. Estas especies componen un estrato herbáceo de 30 a 50 cm. de en los bordes de los canales y se localizan en los lugares bajos con aguas permanentes.

Pradera graminiforme:

Predomina: ***Juncus Balticus y Distichlis scoparia***:

Fisonómicamente, se trata de una pradera graminiforme con un solo estrato herbáceo.

Aparecen aquí, pero con una biomasa baja, *Grindelia chilensis*, *Glycirrhiza astragalina*, *Taraxacum officinale*, *Poa sp.*, *Distichlis spicata*, *Hypochoeris patagónica* y *Polygonum brasiliensis*. La cobertura de esta unidad es de un 90 % y se localiza en los lugares más húmedos del valle del río Senguer.

Pradera graminiforme de:

Senecio filaginoides: Se trata de una pradera graminiforme con arbustos que alcanza una altura de 50 cm. El estrato herbáceo es dominado por *Juncus balticus*, *Stipa humilis*, *Distichlis scoparia*, *Hordeum comosum* y *Polygonum brasiliensis*, posee una altura de 30 cm. y concentra el 50 % de la biomasa total (Gutiérrez *et al.*, 1986). El porcentaje de cobertura del suelo alcanza al 80 %. Esta comunidad se localiza en planicies bajas.

Peladales de:

Glycirrhiza astragalina, Erodium cicutarium, Camissonia dentata y Armeria marítima: Esta unidad de vegetación corresponde fisonómicamente a un peladal con porcentaje de cobertura del 10 %. Corresponde a los primeros estados sucesionales en los meandros abandonados.

Pradera graminiforme de:

Distichlis scoparia, spicata y Dusenilla patagónica: Pradera graminiforme con un único estrato presente de 30 cm. de altura y cubre el 85 % del suelo. Esta unidad se encuentra en los albardones y las partes más altas de los interfluvios.

"bad lands" o cárcavamientos:

ubicados en los bordes de las mesetas y serranías que bordean el valle del Senguer, se encuentran matas muy dispersas de ***Ameghinoa patagónica y de Nicotiana ameghino*** (Soriano, 1956).

Esta descripción, detallada en principio, se tendrá que validar a campo para el caso específico del valle Genoa.

2.5. SALINIDAD DEL GENOA

El muestreo realizado en esta campaña, aunque puntual indica un comportamiento concentrativo de sales totales, como es de esperar en un valle cuyo arroyo central provee de agua a la freática en ciertos periodos, mientras que en otros actúa como dren natural del valle (Figuras 7 y 8). El pH, indica relativa alcalinidad, no teniendo variaciones significativas a lo largo del curso. Podría tener consecuencias en la disponibilidad de fósforo en el suelo.

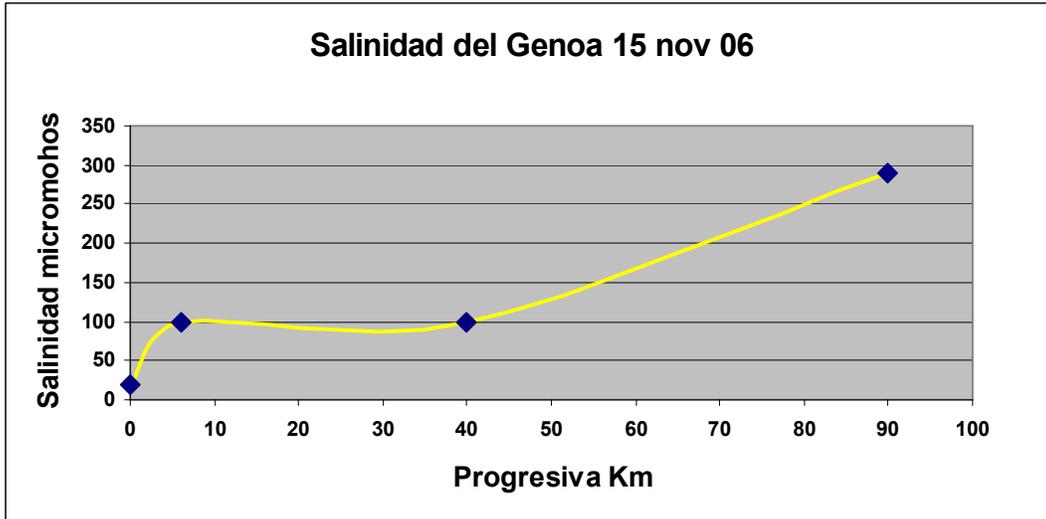


Figura 7. Salinidad creciente del Genoa

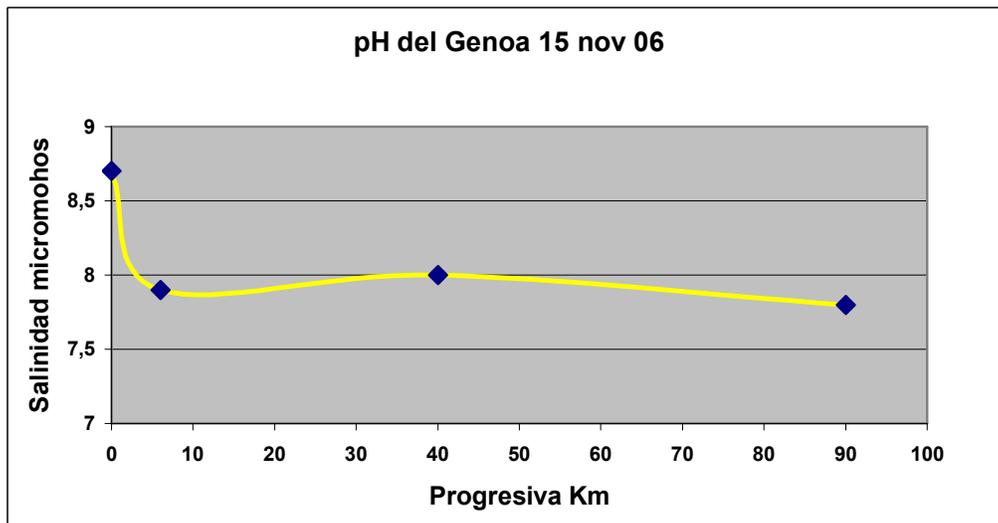


Figura 8. pH del Genoa

2.6. MANEJO ACTUAL DEL AGUA

La escasa información obtenida y relevada da cuenta de disimilitudes entre productores en el manejo del agua, a veces con potenciales conflictos entre aquellos localizados en la cabecera de la cuenca respecto de los de aguas abajo.

No se ha reconocido aun un patrón o criterio de manejo aplicado al valle. La mayor parte del área parece sujeta al régimen natural del mallín, con anegamiento invierno – primavera, disminución de nivel freático (situación óptima) y déficit al final del verano.

Desde el punto de vista institucional, no se cuenta con un organismo de cuenca, consorcio de riego, representantes de usuarios del agua o administrador del agua que regule su uso actualmente. Este es un aspecto crítico y clave para el desarrollo del Valle, si se entiende que:

- la inadecuada administración conjunta del agua tiene como consecuencias la ineficacia del uso del recurso, limitado, en relación a las tierras aprovechables. Asimismo su efecto está asociado a pérdidas del potencial productivo.

- La inequidad entre los distintos usuarios o “regantes” a partir del Genoa y sus retornos de drenaje.

- La potencial degradación de los suelos por el mal uso del agua y el inadecuado manejo ganadero.

- La imposibilidad de resolver en forma integral y en conjunto los problemas de orden económico, ambiental y socioeconómico de Valle.

2.7. ESTUDIOS Y PROYECTOS DISPONIBLES

Las referencias principales han sido citadas en el presente informe.

Cabe destacar, la carencia de un enfoque específico al sistema “mallín”. Así, los requerimientos hídricos son calculados convencionalmente como si se tratara de una zona árida, mientras que el mallín de hecho tiene un sistema de riego natural que lo mantiene productivo, con un periodo de déficit de humedad que debe subsanarse. Esto tiene implicancia en el cálculo de los requerimientos de riego o dotación estacional y en el método de riego, pues este debe de ser al menos económicamente y ambientalmente factible.

Indicar un sistema de riego convencional sobre un mallín como lo sugieren GM&A (2001) y Proinsa (1996), sería de alto costo, gran impacto ambiental, con importantes problemas de drenaje y dificultades de provisión de agua en verano.

Otro aspecto relevante es la indicación de provisión de agua freática por bombeo para aumentar la disponibilidad del riego GM&A (2001). Esto debe revisarse como concepto general, pues la depresión de la freática provocaría la anulación del suministro desde la misma hacia el suelo edáfico, proceso que se logra naturalmente con una eficiencia de riego cercana al 100%.

2.8. RELEVAMIENTOS EXPEDITIVOS

Sobre la base de una campaña realizada a mediados de noviembre 2006 se mencionan algunos aspectos relevantes que han permitido conformar un modelo del funcionamiento actual del mallín. Muchos de estos aspectos relevados, deberán ser corroborados en forma teórica y práctica a lo largo del estudio.

- Las entrevistas a funcionarios, extensionistas y productores, permitió obtener una idea general de aspectos sociales, económicos e institucionales. De este último surge la divergencia entre el carácter público del Proyecto y el carácter privado de la tenencia de la tierra. Esto resulta en la necesidad de revitalizar la Comisión de Cuencas o un Consorcio de Regantes, como autoridad para el desarrollo del Valle e implementación de las recomendaciones del presente proyecto.
- Un adecuado manejo del mallín con pasturas conlleva a producciones anuales de 400 Kg. de carne bovina por ha.
- Profesionales del INTA informaron sobre aspectos relevantes en el manejo del agua del valle y sus consecuencias, entre ellos los ensayos con agropiro en suelos salinizados.
- Se reconocieron perfiles de suelos en taludes naturales. Se pudo comprobar diferentes perfiles situados en el mallín, marginal al mallín y en áreas de depósitos eólicos. Se constató un horizonte de grava a profundidad variable, mencionadas por los técnicos y lugareños. Se tomaron muestras de suelo, para su análisis en laboratorio.
- Se constató a lo largo del cauce la ausencia de socavaciones en el mismo, descartando este proceso como causa de desecación temprana del tercio final (aguas abajo) del mallín.
- Se constató el La Laurita (distintivo de la porción inferior del valle) salinidad y sodicidad, evidenciándose la falta de lavado del perfil del suelo, ya sea por la escasa lluvia media anual y/o por la impermeabilidad que confiere en sodio en suelos de texturas finas.

2.9. ANÁLISIS DEL SISTEMA: HIPÓTESIS DE FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

La información recopilada y la inspección visual permiten conformar un modelo conceptual del funcionamiento hidrológico.

La pradera del mallín requiere 890 mm/año, de los cuales la evapotranspiración real es algo menor ya que está sujeta a déficit estival. El régimen de precipitación provee alrededor de 200 mm/año como máximo, si se resta el escurrimiento superficial. La diferencia, del orden de los 600 mm/año lo toma desde la freática.

El ascenso capilar desde la freática provee el caudal demandado por la EVT cuando las condiciones de suelo, salinidad y profundidad freática lo permiten. Los horizontes de suelos reconocidos tienen características adecuadas (a priori, están bajo análisis) para generar un caudal capilar compatible con la EVT. Sin embargo, la profundidad freática regula este caudal, provocando déficit estival cuando la napa de agua se profundiza.

Sumado a esta mecánica, es relevante el papel del manto subyacente de grava, pues cuando la freática está por debajo de este nivel (techo de la grava), se anula la capacidad de ascenso capilar, entrando el suelo en inmediato déficit hídrico. Esta situación parece explicar el adelantamiento estacional de déficit en el último tercio del mallín, que parece tener la grava más superficial.

Cabe hacer mención al aspecto de salinización de suelos en algunos sitios inspeccionados.

Aunque la freática es de baja salinidad, el proceso de ascenso capilar es concentrador de sales. Las mismas son lavadas desde el perfil del suelo con el aporte de la

precipitación directa y eventualmente inundaciones. El drenaje natural transporta las sales desde la freática al cauce central. Cuando el lavado es deficiente la acumulación de sales puede alcanzar tenores que comprometen el desarrollo vegetal.

Las 2 causas que se visualizan como atenuadores del lavado son: la lámina de lavado insuficiente para el tipo de suelo en cuestión y/o la impermeabilización del suelo (baja velocidad de infiltración). El sobrepastoreo es generalmente el factor desequilibrante cuando la profundidad de la lámina de lavado es crítica, pues aumenta la escorrentía superficial.

La metodología de estudio propuesta contempla como elemento central el uso de la modelación matemática (flujo y transporte en suelo) para determinar, entre otras, el caudal capilar en función de la profundidad para cada configuración edafológica. La propuesta de manejo del agua y tipos de obras asociadas, resultaran de cuantificar el flujo de agua y transporte de sales en relación a la demanda evapotranspiratoria.

2.10. ESQUEMA DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO SUSTENTABLE Y SUS OBRAS INTEGRANTES

Las características del mallín o al menos parte de él parecen adecuadas para manejar el déficit hídrico mediante el control del nivel freático. Este esquema permite el uso racional y natural del agua, esquema aplicado en otros mallines.

Con frecuencia el control de la carga en el cauce central y la disposición de canales de recarga periféricos, constituye un esquema muy adecuado para el control de niveles freáticos. Desde el punto de vista económico y ambiental también resultan ampliamente ventajosos. La configuración de eventuales canales de recarga y su vinculación al cauce central dependen de las características físicas del acuífero freático

Respecto de las áreas donde las condiciones no son aptas para la subirrigación, por ejemplos en abanicos coluviales de constitución arenosa (de hecho no existe mallín), conformarían potenciales áreas de riego convencional.

3. Desarrollo del Proyecto

3.1. RELEVAMIENTOS DE CAMPO

ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA.

Se realizaron 2 ensayos (Figura 9) siguiendo el método del pozo barrenado, sistematizado por el USBR y referenciado entre otros en Drainage Principles and Application, publicación 16 del ILRI, Ritzema (1994).

Los sitios elegidos, además de representar un tipo de condición característica, fue para el caso del ensayo 1, el hecho de localizarse un ensayo de recuperación de suelo salino con freatometros instalados y medidos. El ensayo 2 se situó en inmediaciones de los tensiómetros instalados en noviembre de 2006. Complementa así la información necesaria para modelar el flujo capilar.

E N S A Y O # 1 EL ALFIL		
Ubicación s 44 08 08 w 70 23 06.9		
tiempo [seg]	Ho-Ht [cm]	K = C (Ho-Ht) [m/d]
8	1,4	1,199287281
22	2,3	0,716457337
33	3	0,62300638
39	3,8	0,667735043
53	4,7	0,607725091
78	6,2	0,544731219
93	7,4	0,545298057
126	9,8	0,533016569
142	10,7	0,516393316
163	11,8	0,496111829
188	13,4	0,488463513
213	15	0,482610576
248	17,2	0,475293577
274	18,4	0,460206172
294	19,7	0,459202321
342	22,3	0,446852237
390	23,9	0,419970198
K medio =		0,56955063
[cm]	r =	5
	h' =	48
	D2 =	100
C = 6,85307018		

E N S A Y O # 2 MENEDIN		
Ubicación s 44 04 14 w 70 27 17.2		
tiempo [seg]	Ho-Ht [cm]	K = C (Ho-Ht) [m/d]
105	0,7	0,048353196
282	1,4	0,036007699
396	1,8	0,032968088
520	2,5	0,034870093
773	3,3	0,03096356
1032	3,7	0,026003899
1959	5	0,018511943
2355	6,2	0,019094893
K medio =		0,030846671
[cm]	r =	5
	h' =	63,5
	D2 =	80
C = 7,25297939		

NE a 1,2 metro de profundidad	
Agua pozo pH: 7.8 CE: 0.28 mS	
0 - 1.2	limo arcilloso
1.2 - 1.6	arcilloso
1.6 - 2.0	franco arenoso

D2 = dist nivel estático al fondo del pozo
h' = dist desde NE al punto medio del intervalo ensayado
D = dist desde fondo pozo al hidroapoyo
NE a 1 metro de profundidad

Figura 9. Datos y análisis de los ensayos de conductividad hidráulica

Los valores obtenidos son relativamente bajos, sobre todo en el caso del ensayo 2. Es propio de material fino, limoso, que por otro lado se ha indicado como propicio para conducir alto caudales capilares, como lo evidencia el mallín. Este método de estimación consiste básicamente en medir la velocidad de recuperación del vaciado de una perforación de 10 cm. de diámetro por debajo de la freática, es de carácter puntual y representa la propiedad física K de un cilindro de acuífero de aproximadamente 1 metro de diámetro. La dificultad y costos implicados en realizar un ensayo de bombeo en esta instancia, llevó a proponer este método.

ENSAYO DE INFILTRACION.

Para su ensayo en campo se utilizó el método estándar de doble anillo y la ecuación de Kostiakov para la estimación. Se localizo en un sitio representativo de mallín en buen desarrollo entre San Martín y G. Costa.

Los valores medidos (Figura 10) condujeron a la ecuación:

$$Lam = 1.32 * t \text{ exp. } (0.435)$$

Con tiempo en minutos y lámina en centímetros. La derivada de esta expresión describe la velocidad de infiltración, función esta decreciente con el tiempo. Forzando la derivada de la velocidad de infiltración a un valor suficientemente bajo (0.01) se obtuvo el parámetro infiltración básica de 0.16 cm/min. Con reservas, este último parámetro es comparable con la conductividad hidráulica saturada, que en las unidades convencionales toma el valor de $K = 2.26 \text{ m/día}$. Este valor generado por este método sobreestima, en general, la conductividad hidráulica.

Ensayo con doble anillo
Ubicación: entre Costa y San Martín
Cobertura con pastizal denso

tiempo min	Lam inf cm	lg t	lg lam
0,00	0,00		
1,00	0,50		
1,50	1,50	0,18	0,18
2,00	2,00	0,30	0,30
3,50	2,50	0,54	0,40
5,00	3,00	0,70	0,48
7,00	3,50	0,85	0,54
10,00	4,00	1,00	0,60
13,00	4,50	1,11	0,65
17,00	5,00	1,23	0,70
24,00	5,50	1,38	0,74
28,00	6,00	1,45	0,78
32,00	6,50	1,51	0,81
45,00	7,00	1,65	0,85
51,00	8,00	1,71	0,90
60,00	8,50	1,78	0,93
69,00	9,00	1,84	0,95

n = 0,43478261
k = 1,31825674
tiempo básico = 9,85839024 min

I básica = 0,15723735 cm/min
K SAT = 2,26421789 m/día

Figura 10. Ensayo de infiltración

El grafico logarítmico (Figura 11) indica los puntos observados de lámina infiltrada con el tiempo y la recta de regresión que permitió obtener los parámetros mencionados y resumidos en la tabla.

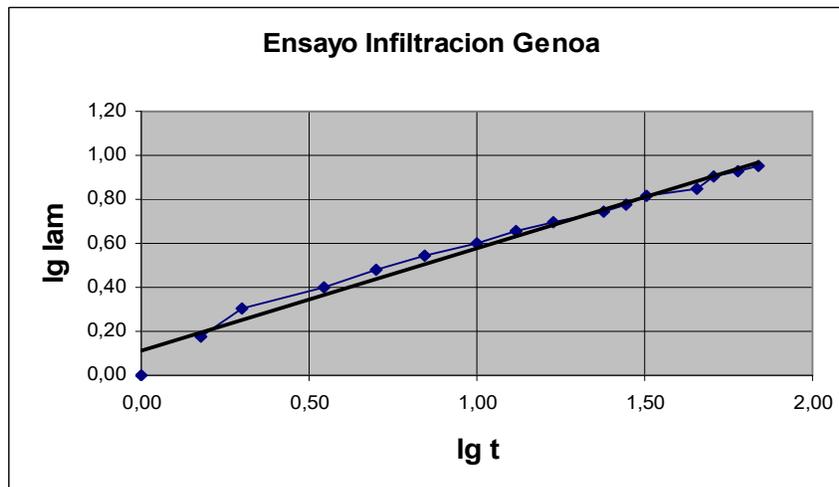


Figura 11. Regresión logarítmica de los datos de infiltración

Respecto de la infiltración básica, es relativamente alta. Representan 90 mm/hora, intensidad que de ser superada por la lluvia, iniciaría el proceso de escorrentía superficial. A los fines de estimar la lluvia efectiva, este valor es ventajoso en cuanto asegura la infiltración total de la lluvia. Cabe señalar que el ensayo se realizó en campo con pasturas, quedando fuera de este análisis los terrenos no vegetados ya sea por erosión o sobrepastoreo.

ENSAYO TENSIOMETRICO.

Se reconoció en diversos lugares la profundidad freática por simple inspección visual. El la fecha de la campaña, los niveles freáticos se presentan próximos a la superficie. Se instaló un freatómetro y tensiómetros en un punto seleccionado para hacer un seguimiento del comportamiento del flujo capilar.

En oportunidad de la instalación de la batería de tensiómetros se hincó a 20, 50 y 110 cm. de profundidad efectiva previendo que el nivel freático descendería a esas profundidades. Sin embargo, como se observa en la tabla se mantuvo a 56 cm. de profundidad aproximadamente durante el periodo de medición. Como consecuencia, el tensiómetro mas profundo, bajo el nivel freático indicó permanente tensión cero. El intermedio a escasos centímetros por arriba de la freática registra pequeñas tensiones. (Figura 12)
 El tensiómetro superficial es el más indicativo. Pasa de una tensión de 14 a 26 centibares entre noviembre y febrero, seguramente debido al aumento de evapotranspiración media diaria de 3.5 a 4.6 mm/día. La lectura intermedia del 29 de noviembre se ve afectada por una lluvia 2 días antes.

**Planilla de Registro de sitio de observación
Menedin en GENOA**

FECHA	Dist suelo - freática	TENSIOMETRO	TENSIOMETRO	TENSIOMETRO	PPT	EVT
		30	60	120		
		Prof de obs: 20 cm	Prof de obs: 50 cm	Prof de obs: 110 cm	mm	mm/día
		[centibar o Kpa]	[centibar o Kpa]	[centibar o Kpa]		
15-nov-06	0,576	14	10	0	0	3,5
29-nov-06	0,56	4,8	4,2	0	20	4
09-feb-06	0,54	26	10	0	0	4,6

Figura 12. Datos obtenidos de las lecturas tensiométricas





HORIZONTES DEL SUELO.

Los reconocimientos de suelo solo se hicieron en los sitios de instalación de freatímetros, tensiómetros y unos pocos sondeos con pala barreno (Figura 13). De hecho no existe un estudio estándar taxonómico de suelos del valle.

Se pudieron identificar 4 horizontes con cierta conservación en su composición textural pero de espesores variables, lo que constituye la principal fuente de variación espacial en cuanto al comportamiento del agua en la zona no saturada. De acuerdo a la USDA, se caracterizan texturalmente como: franco arcilloso, franco limoso a franco arcillo limoso, franco arenoso, grava.

SITIOS Y ESPESORES (m)						
Denominación del sitio →	Ensayo 1 K	Ensayo 2 K	Sitio 1 Tens.	Sitio 2 Tens.	Freat 5	Freat 9,10,11
Horizontes franco arcilloso	0 - 1,00	0 - 1,2	0 - 0,60	0 - 1,00	0 - 1,00	
franco limoso a franco arcillo limoso	1,00 - 1,5	1,2 - 1,6 1,6 - 2,00+		1,00 -+		
franco arenoso	1,5 - 200		0,60 - 2,00			0 - 0,20
grava			+		1,00 +	0,20 +

Figura 13. Horizontes del suelo en 6 sitios diferentes

Aplicando este mismo criterio se hicieron observaciones en 2 sitios representativos de condiciones de mallín altamente productivas y condición pobre, sitios elegidos por observación en campo, imágenes satelitales y por consultas a lugareños. Se relevaron las siguientes configuraciones (Figura 14):

Horizontes	E S P E S O R E S (m)	
	Condición "buena"	Condición "pobre"
franco arcilloso	0 - 0,60	0 - 0,50
franco limoso a franco arcillo limoso	0,60 - 1,50	0,50 - 0,70
franco arenoso	1,50 - 1,80	0,70 - 2,00
Grava	1,80 +	2,00 +

Figura 14. Tipificación de los suelos por su condición

Estas 2 tipificaciones se utilizaron para caracterizar condiciones de funcionamiento del mallín y como uno de los criterios para la elección del área piloto.

3.2. ANÁLISIS DE DATOS Y ALGUNOS RESULTADOS

ANÁLISIS FREATIMÉTRICO.

La instalación de una red de 16 freatímetros (11 con lecturas efectivas) permitió reconocer la dinámica freática en un área de aproximadamente 70 ha. Se hincaron separados 250 metros entre sí y próximo al ensayo de recuperación de suelos salinos con agropiro, el cual tenía 3 freatímetros instalados.

Se hincaron freatímetros de 2.3 y 3 metros de longitud para asegurar la medición del nivel freático. Sin embargo, algunos fallaron en el extremo SW del área.

Los caños y suelo fueron acotados con nivel topográfico con precisión de 1 cm/km. Se observó, en su hincado, la constitución de horizontes del suelo. Se instaló también un tensiómetro de 120 cm. junto al freatímetro del INTA.

En la Figura 15 se presenta la ubicación, cotas, observaciones freatimétricas y tensiométricas obtenidas en el periodo febrero – abril. Si bien se parte de la ubicación geográfica exacta, las coordenadas de los mapas se expresan en medidas relativas para facilitar la graficación. Las cotas son también relativas por no contarse con puntos de vinculación IGM o similar cercanos.

A partir de estas observaciones se confeccionaron diversos mapas (Figuras 16 a 21) que representan en isolíneas los valores de los parámetros medidos. La interpolación se hizo geoestadísticamente, específicamente con el método Kriging.

Si bien del análisis freatimétrico refleja la dinámica del área, este ha permitido validar hipótesis del comportamiento freático asumidos para todo el Valle. Sobre la base de los mapas elaborados se puede afirmar que:

- a- La topografía y las equipotenciales – a pesar del significativo desnivel – difieren en su configuración. Esto refleja recargas locales y/o heterogeneidad y anisotropía en el acuífero.
- b- La fuente de recarga principal está al NE (Líneas de Flujo), posiblemente por la prolongación de un canal de recarga. Gran parte de éste descarga a un cauce cercano al freatímetro 4 que conduce el flujo al Este. En la mitad Sur del área el flujo freático descarga hacia el centro del valle, patrón general esperable a lo largo del mallín.
- c- En el mapa de drenaje natural se reconoce un drenaje natural negativo (recarga) en la porción norte, mientras que se hace positivo (drenaje) en la

porción sur, donde la recarga deja de tener influencia. Podría decirse que la influencia de un canal de recarga rondaría los 500 a 600 metros (la curva de drenaje natural cero pasa por los freatómetros 5 y 6). Los valores se corresponden a lecturas de febrero-abril

- d- Las lecturas tensiométricas indican que, al menos, hasta los 1,60 metros de profundidad, la freática provee caudal capilar suficiente para no causar estrés hídrico en raíces a 1 metro de profundidad (profundidad del tensiómetro). Se compadece con la cobertura vegetal del área, donde las observaciones in situ indican disminución de vegetación para profundidades de freática mayores a 1,40 m aproximadamente (isobatas). Cabe mencionar que el hecho de contarse con humedad suficiente no garantiza que por el tenor salino del agua del suelo, no genere estrés hídrico.

Figura 15. Datos de la red freaticométrica

SITIO EL ALFIL (Experimento agropiro)
Año 2006 - 2007

Nombre	Coor x	Coor Y	COTA	11-feb Instalación	27-feb	09-mar	12-abr	24-abr	OBSERVACIONES
Inta1	44 08 08,0	70 23 06,9		2	2,14	2,1	2,26	2,26	emerge 0,58
Inta2	44 08 17,0	70 23 07,9	10,31	seco	seco	seco	seco	seco	emerge 0,98
Inta3	44 08 20,0	70 23 09,4	9,84	1,83	1,84	1,76	2	seco	emerge 0,48
1	44 08 24,2	70 23 12,1	9,66	2,04	1,96	1,84	1,95	2	salino(pH10, CE=52 mS)
2	44 08 28,0	70 23 00,9	10,21	1,99	1,45	1,53	1,37	1,53	
3	44 08 32,0	70 23 16,4	9,31	1,59	1,62	1,64	1,91	1,8	
4	44 08 35,7	70 23 05,7	8,49	2,02	1,92	1,83	1,42	1,4	
5	44 08 41,3	70 23 21,7	8,81	2,01	1,72	1,78	1,94	1,96	grava a 1 m
6	44 08 43,8	70 23 10,2	8,32	seco	1,5	1,61	1,74	1,82	
7	44 08 49,2	70 23 26,2	8,95	seco	seco	seco	seco	seco	
8	44 08 52,2	70 23 14,8	8,17	1,7	1,76	1,83	seco	1,97	
9	44 09 01,9	70 23 22,2	8,48	seco	seco	seco	seco	seco	grava en superficie
10	44 09 11,1	70 23 22,5	7,25	1,86	2	2,3	seco	seco	grava en superficie
11	44 09 10,8	70 23 32,8	7,48	seco	seco	seco	seco	seco	grava en superficie
Tensiómetro a 120 cm., valores en kpa				8	6	8	10	9	
Profundidad freática en metros				1,42	1,56	1,52	1,68	1,68	

Lluvia 23-feb	4 mm
Lluvia 6- mar	20 mm
Lluvia 8 mar	27 mm
Lluvia 01 jul	10 mm

Topografía Área de Freatímetros
[m]

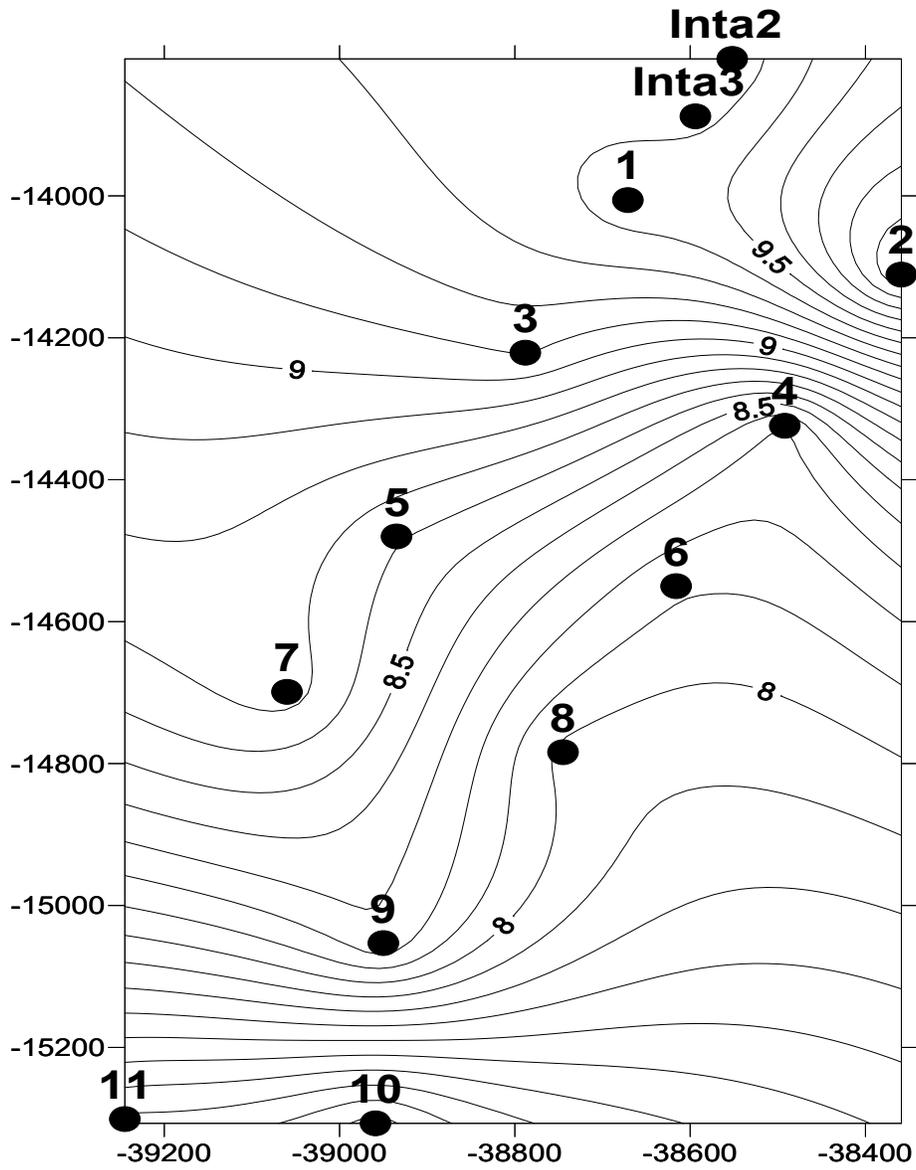


Figura 16.

Escurrimiento superficial

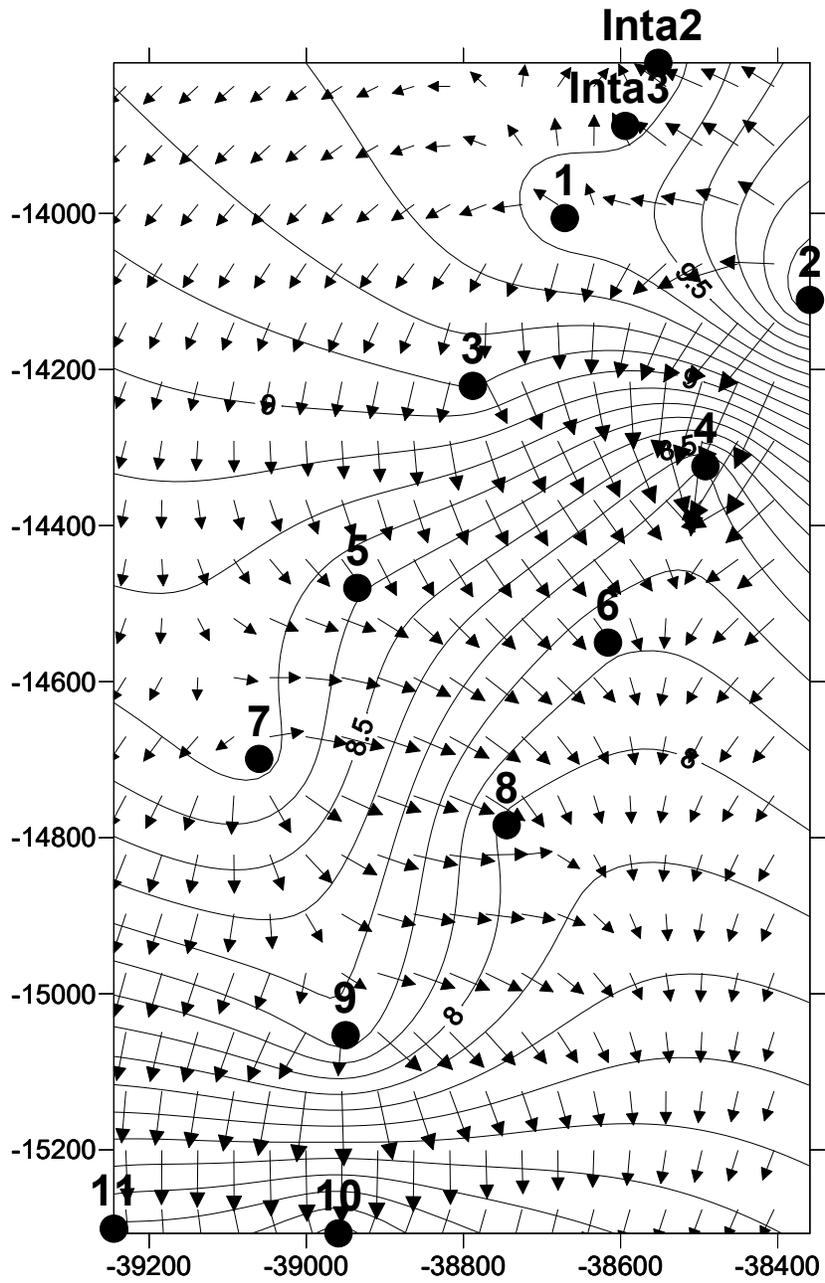


Figura 17.

Isohipsas o Equipotenciales
[m]

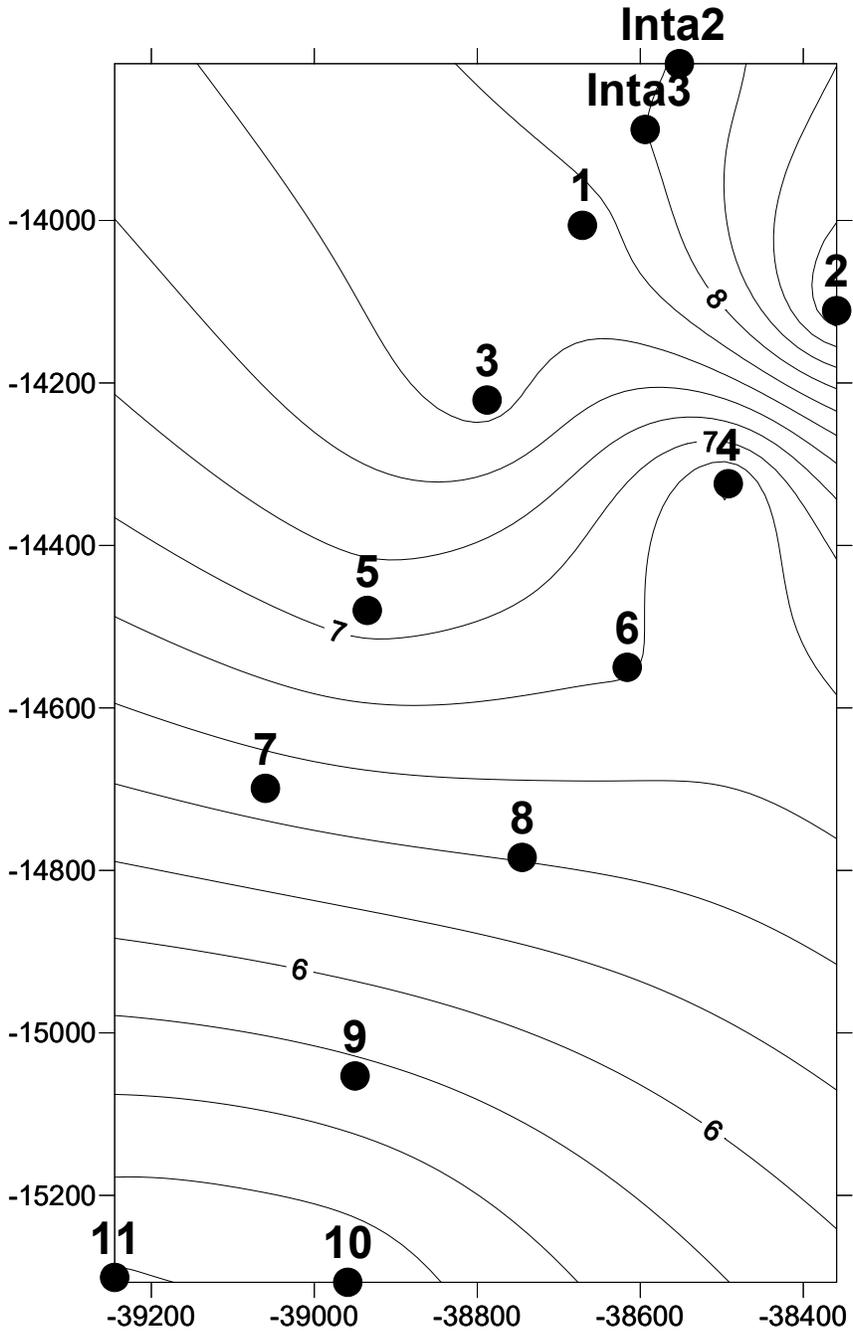


Figura 18.

Líneas de Flujo subterráneo

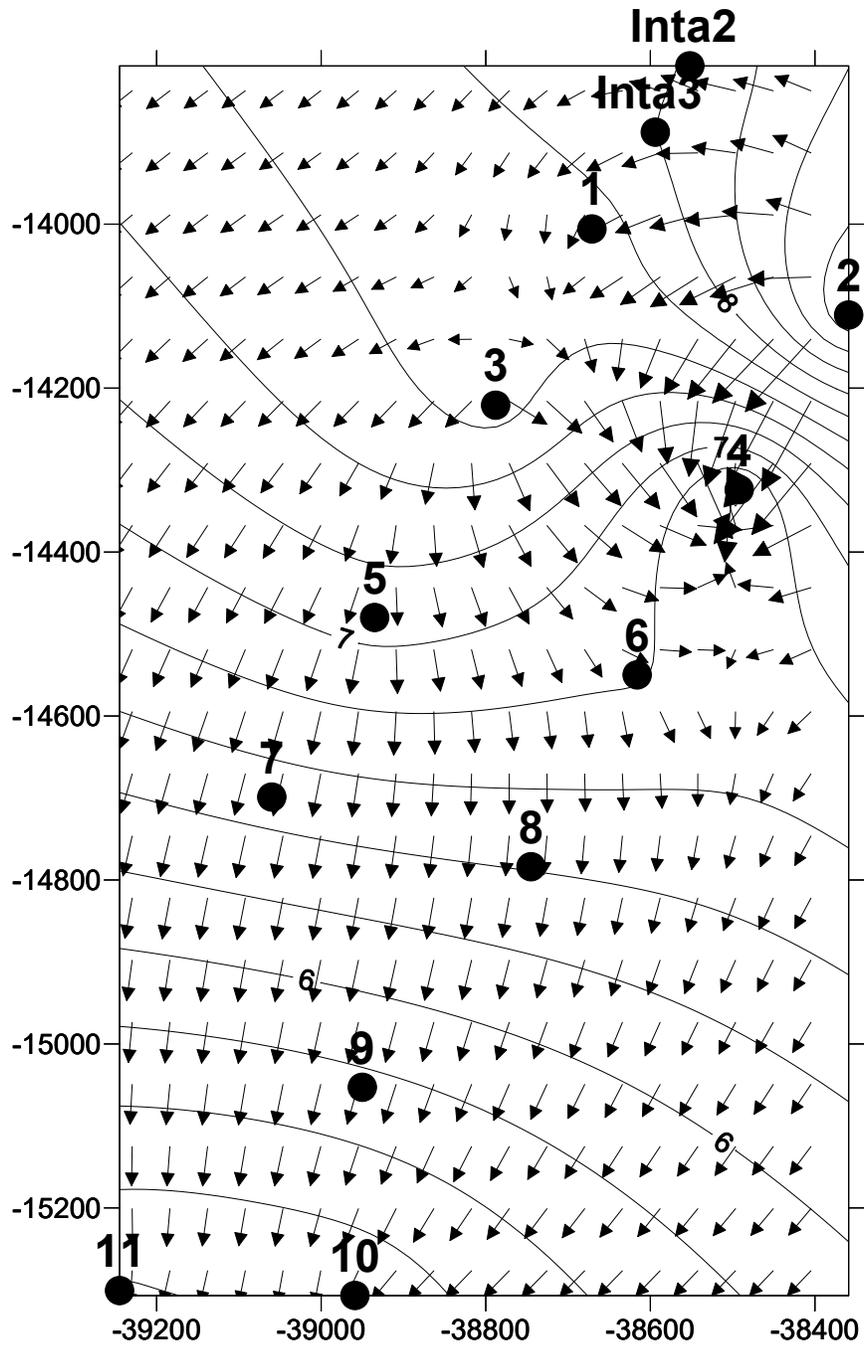


Figura 19.

Isobatas (distancia suelo- freática)
[m]

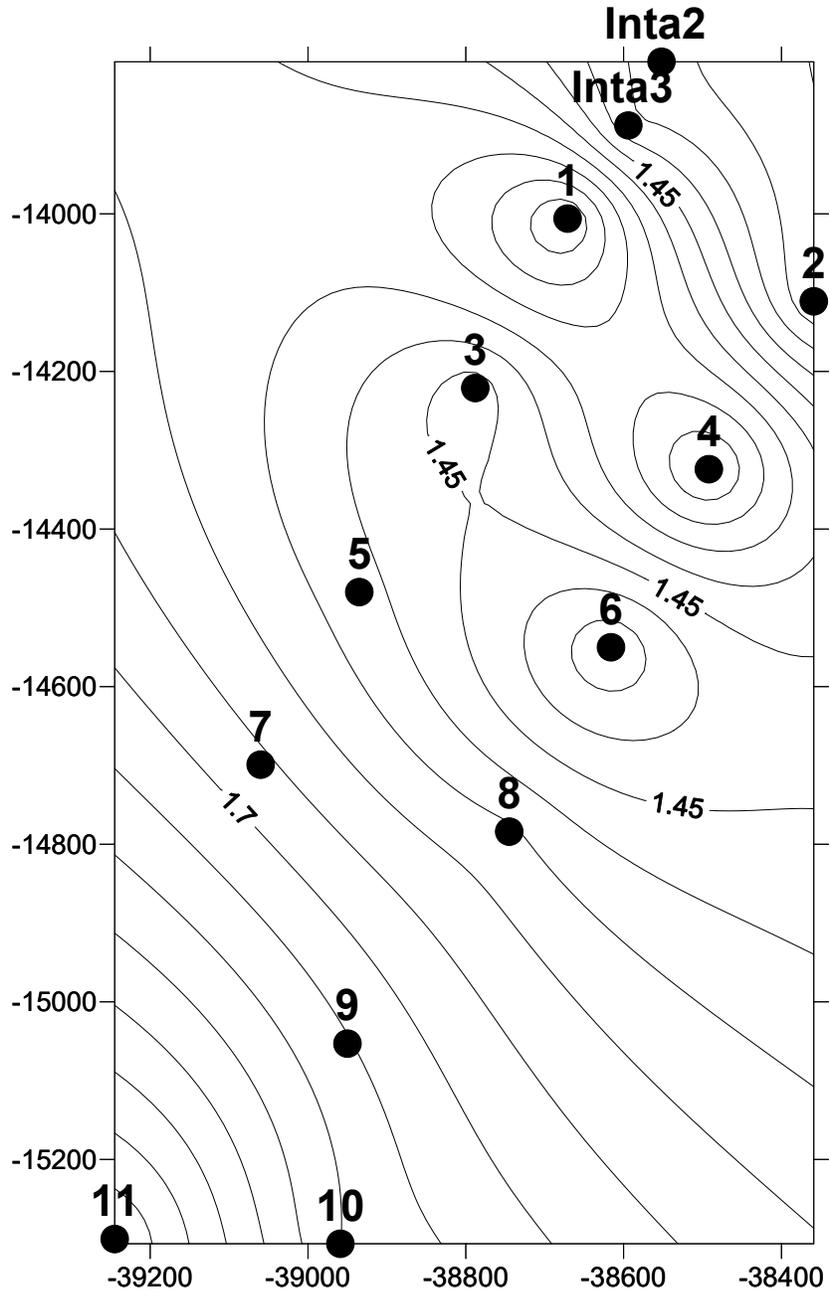


Figura 20.

Drenaje Natural
[mm/día]

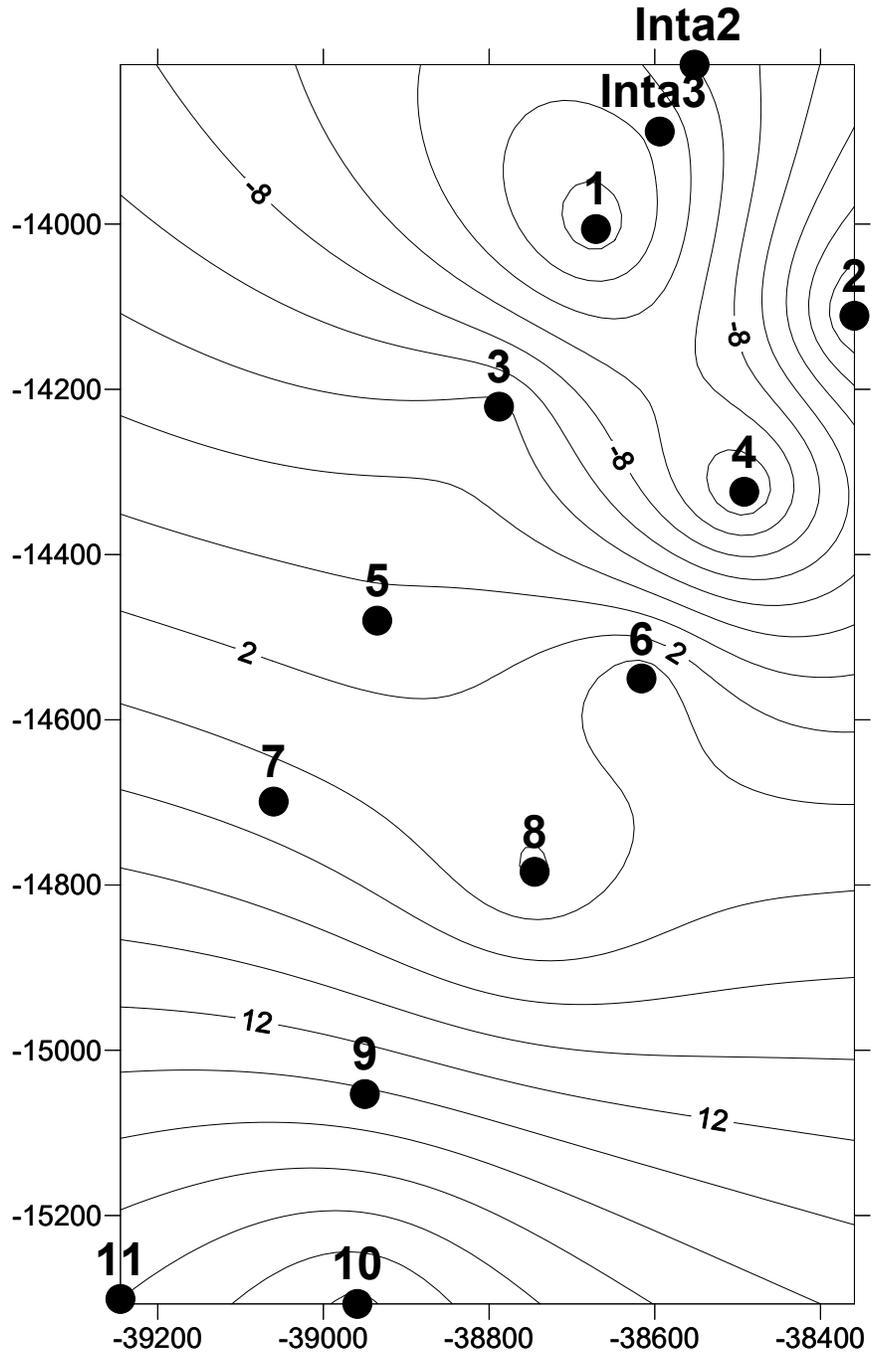


Figura 21.

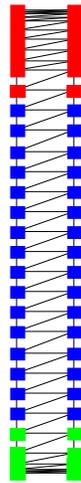
MODELACION MATEMATICA DEL FLUJO DE AGUA EN EL SUELO.

A efectos de analizar el flujo y transporte de solutos entre la freática y el horizonte radicular se apeló a utilizar las ecuaciones que representan esos procesos físicos. Esto es la ecuación de Darcy-Buckingham para el flujo en medio no saturado y la ecuación de Advección – Dispersión para el transporte de solutos. Este sistema complejo requiere establecer condiciones de borde e iniciales. En este caso en particular las mismas se basan en las condiciones físicas y químicas de la freática (límite inferior) y de la demanda atmosférica (límite superior) en una “columna de suelo”. El suelo es caracterizado por las “curvas características” o CRH de cada horizonte, función esta determinada en laboratorio por los métodos estándar de análisis de tensión – humedad. El sistema vegetal es incorporado con una función de absorción de agua y una distribución espacial de raíces, propias de las pasturas perennes para este caso. Todo este complejo sistemas de ecuaciones diferenciales es resuelto utilizando básicamente un modelo matemático, el HYDRUS 2D (J. Simunek, Sejna y van Genuchten, 1999). El lector podrá recurrir a esta referencia para una descripción completa del modelo, o a Horne et al (2001) para su aplicación a humedales.

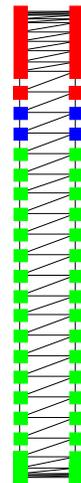
A los fines del presente trabajo, el modelo aplicado ha permitido centralmente caracterizar y cuantificar el caudal capilar y las tensiones suelo-agua-plantas, de lo cual resultan las necesidades de agua del sistema vegetal. La validación del funcionamiento se realizó contrastando datos calculados y observados de tensión a 3 profundidades, estos registrados por un periodo de 3 meses. Esta validación es sin duda parcial si se tiene en cuenta la variabilidad estacional. Asimismo, se observó tensiones en un perfil “tipo” de suelo, y se simuló suelos con igual tipos texturales pero distintos espesores de horizontes.

No obstante las limitaciones metodológicas mencionadas, se considera que los resultados aportan en la estimación de rangos de dotaciones entre las cuales probablemente estará el valor real. Un seguimiento más detallado y prolongado podría aumentar la certidumbre en los resultados. De hecho se espera concretarlo con el Plan Piloto. Una de las aplicaciones principales consistió en simular 2 condiciones relativamente extremas basadas en las observaciones de suelo realizadas.

Las 2 condiciones de suelos consideradas se esquematizan en la Figuras 22, donde las columnas representan los primeros 2.3 metros de suelo. El horizonte superior es de textura franco arcilloso (rojo), el segundo franco arcillo limoso (azul) y el inferior de textura arenosa, con grava mezclada (verde). La variación fundamental está en los espesores de los diferentes horizontes, representando el primer perfil la condición de mallín bueno, mientras que el segundo es propio de las áreas pobres productivamente. Estos tipos texturales están físicamente caracterizados a partir de ajustar la curva de tensión – humedad con 5 puntos determinados en laboratorio (0.3, 0.5, 1, 3, 5 y 15 atm. de tensión) utilizando el método de van Genuchten.



Mallín “Bueno”



Mallín “Pobre”

Figura 22. Columnas de suelo modelada

Se simuló un año con valores medios relevados y/recopilados de precipitación, evapotranspiración y freaticimetría.

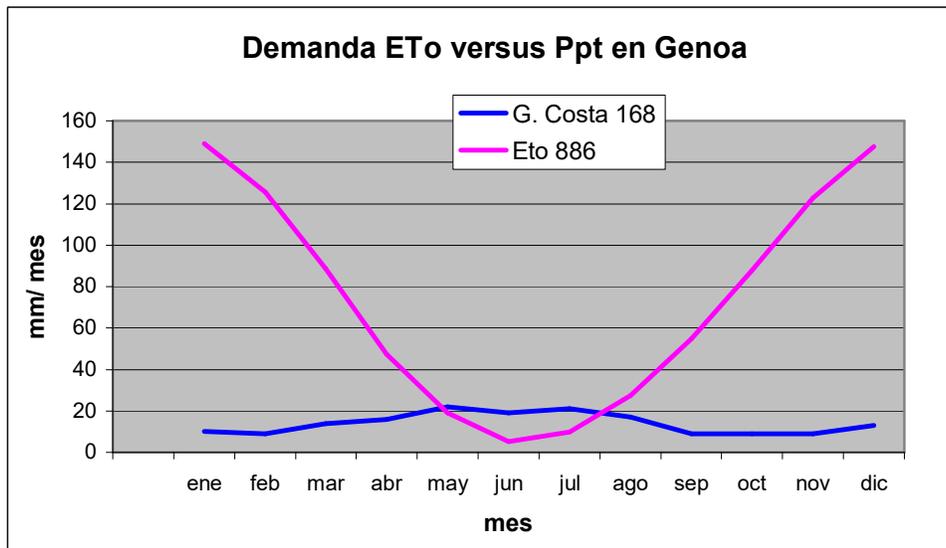


Figura 23. Precipitación y Evapotranspiración Media

FREATIGRAMA ANUAL (superficie suelo a 230)

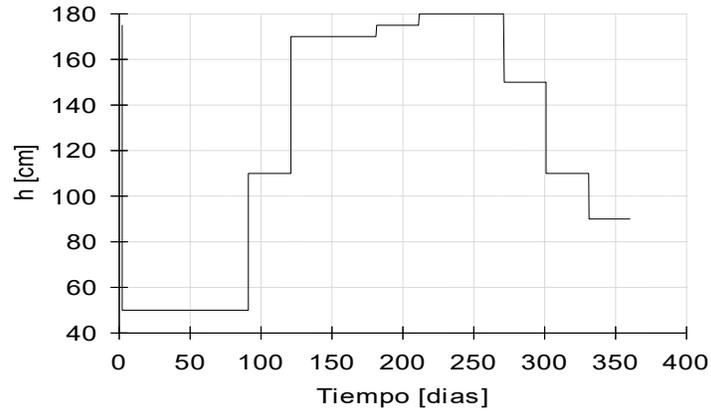


Figura 24. Niveles freáticos considerados en el modelo

De los resultados obtenidos puede observarse que para la condición “Pobre” existe una gran diferencia entre la EVT potencial y Real (Figuras 25 y 27) mostrando periodos deficitarios, en cuanto a la absorción de agua por las raíces, durante el estiaje. Estos periodos son acompañados por altas tensiones (presiones negativas) suelo-agua a nivel de las raíces, muy por arriba de las admitidas para el desarrollo de las pasturas naturales. Ver Figura 5.

Absorcion Potencial de gua por las raices

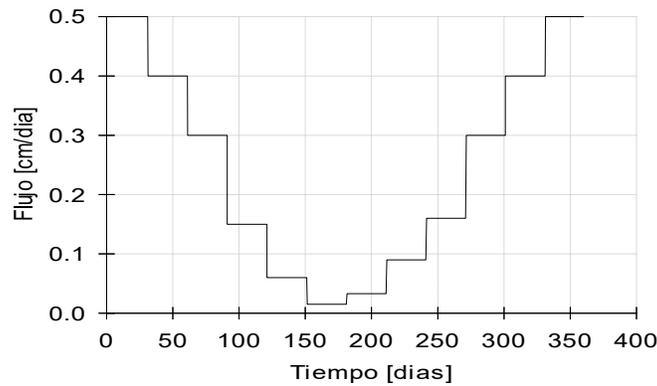


Figura 25

Mallín con horizonte de grava somero

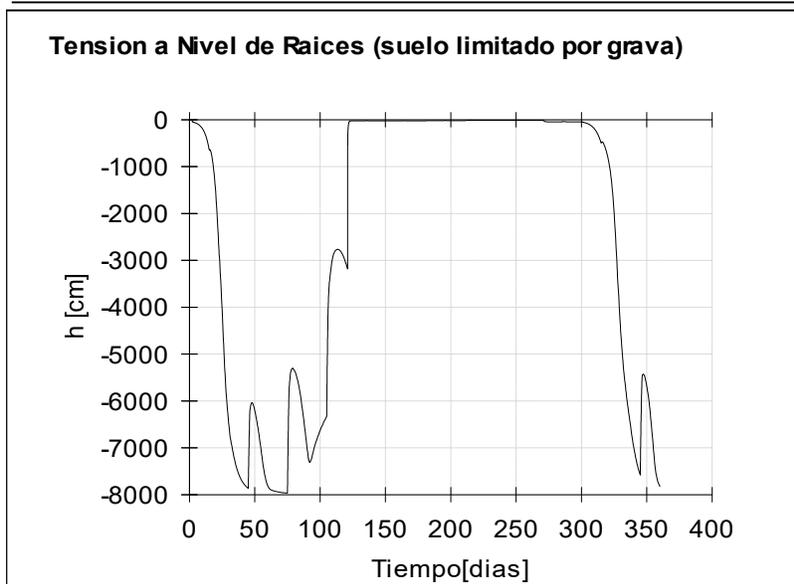


Figura 26.

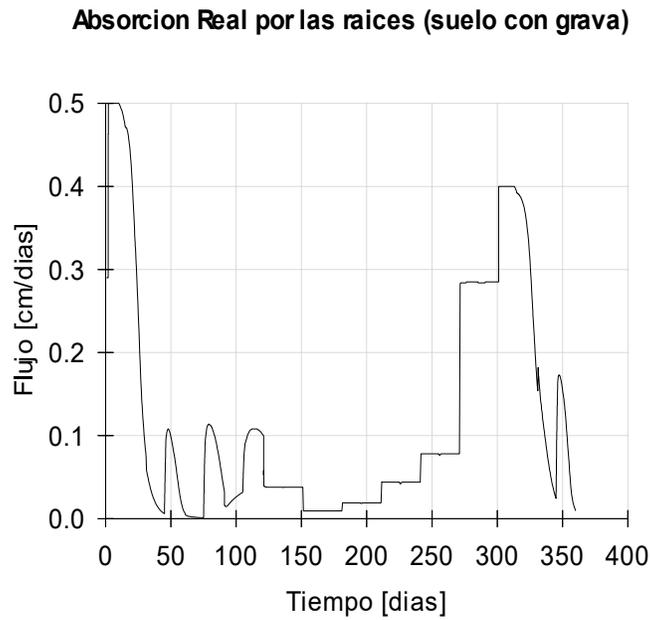


Figura 27.

En el caso del mallín “Bueno” los requerimientos hídricos son mayormente satisfechos por el aporte natural desde la freática. Si bien se visualizan picos de tensiones (Figura 28) agua-suelo en estiaje, estos son de menor magnitud, ocasionando menor estrés

hídrico. La transpiración real de la pastura se acerca en mucho a la potencial. Ver Figura 29.

Mallín “Bueno” con suelo limoso profundo

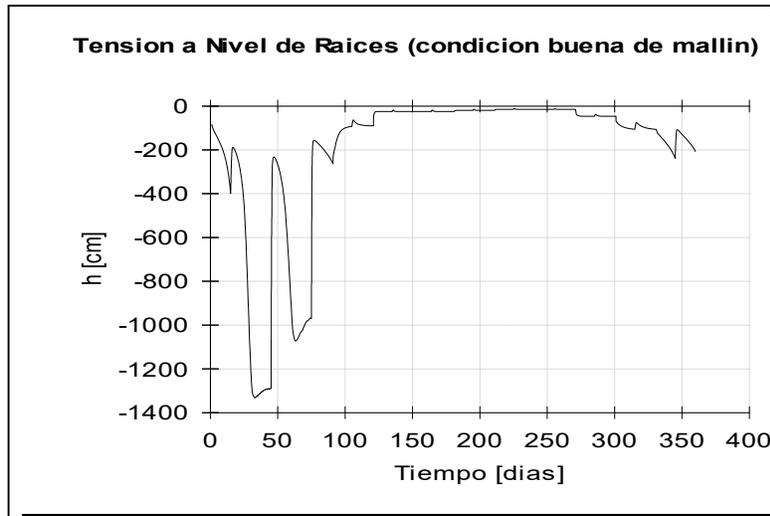


Figura 28.

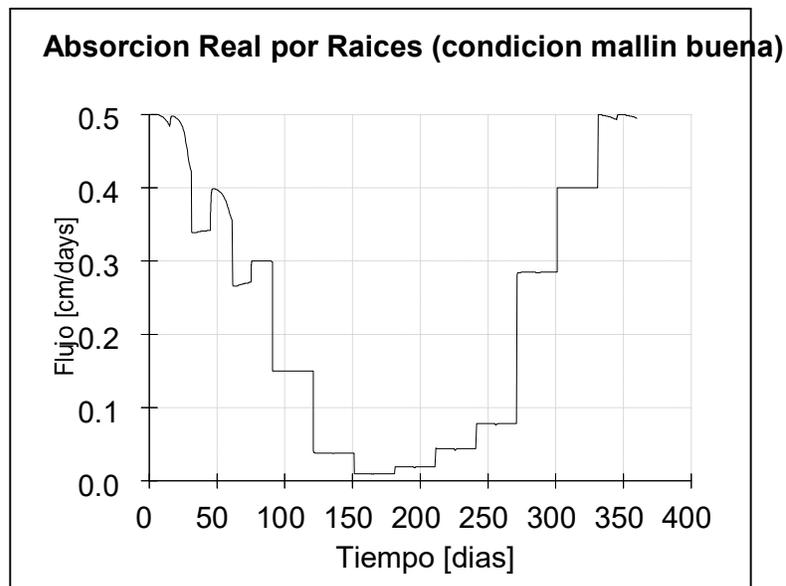


Figura 29.

GENERACION DE LA FUNCION DE CAUDAL CAPILAR DEL MALLIN.

Una de las principales herramientas cuyo conocimiento permite un posible control del mallín, en cuanto a la humedad disponible, es la función EVT-profundidad. Indica la profundidad a la que debería estar el nivel freático para satisfacer la EVT diaria sin provocar estrés hídrico a nivel de raíces. Una mayor profundidad freática para una EVT dada provocaría condiciones de estrés.

Esta relación se obtiene de modelar el flujo entre la superficie del suelo y el nivel freático. El caudal capilar ascendente forzado por la demanda evapotranspiratoria, que genera el gradiente de tensiones, es satisfecho en la medida que las características físicas del suelo lo permita y que la distancia suelo-freática sea adecuada.

Considerando que las propiedades físicas del suelo (i.e. curva tensión –humedad) permanece constante en el tiempo, la profundidad a la freática es determinante en el caudal capilar ascendente.

La Figura 30 muestra la curva obtenida para varios niveles de EVT y profundidades a la freática correspondiente al suelo de condición “Buena” del mallín Genoa.

Para obtenerla se simuló la columna de suelo y se fijo una tensión admisible máxima en el horizonte de raíces que garantiza un óptimo desarrollo vegetal.

Las condiciones de borde correspondiente al flujo para la parte superior fue de tipo mixto, que implica satisfacer la demanda evapotranspiratoria mientras el flujo capilar lo permita, caso contrario se hace nula en ese intervalo de tiempo. La condición de borde inferior se estableció como carga prescrita dada por las variaciones del nivel freático.

Cada punto de la curva corresponde a una corrida con las consideraciones descritas. Se puede observar que para la evapotranspiración máxima de verano (6 mm/día) se requiere mantener la freática a una profundidad de 1.3 metros (profundidad crítica), mientras que en invierno (2 mm/día) la profundidad puede llegar a 1.9 metros. En ambos casos estos flujos evapotranspirados están igualados por el caudal capilar ascendente, sin causar estrés hídrico alguno en la pradera vegetal.

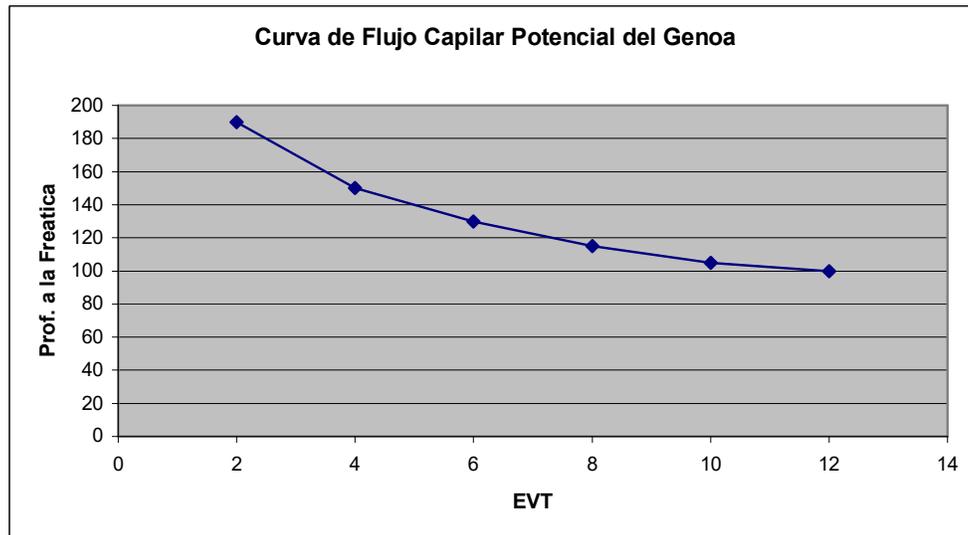


Figura 30.

La curva obtenida contribuye a establecer el “freatigrama de diseño”, Figura 31, que debería tener el mallín para garantizar que el flujo capilar ascendente iguale a la EVT a lo largo del año.

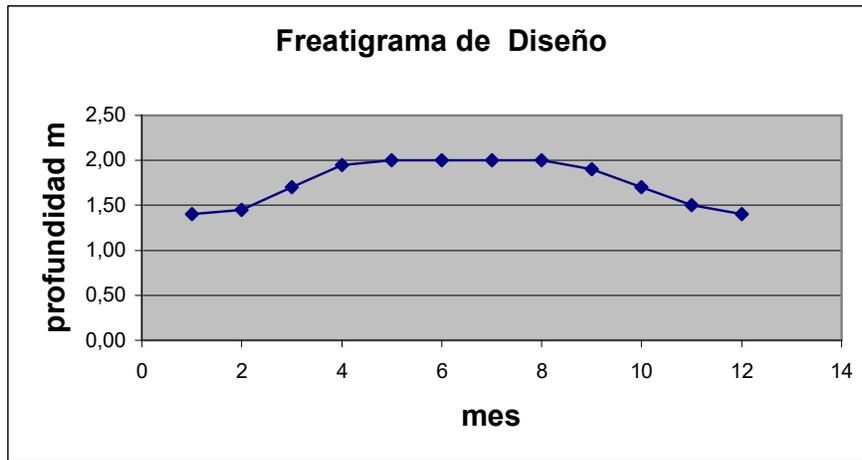


Figura 31.

RECONOCIMIENTO DEL REGIMEN HIDROLOGICO.

De la modelación de las 2 situaciones se obtuvieron diversos resultados adicionales que serán aplicados al diseño del Área Piloto. Entre ellos se estimó el balance “medio” de agua de los sitios simulados.

La condición BUENA del mallín tiene una demanda potencial de 880 mm anuales, de los cuales el modelo indica que 790 mm son tomados de la freática, restando 90 mm que aporta la precipitación. Como los registros de precipitación indican un promedio de 168, se puede inferir que 78 mm de lluvia no son aprovechados por la pastura natural. Esto puede deberse a eventos de precipitación excedente a la demanda evapotranspirativa y/o a escurrimiento superficial no infiltrado.

En el caso de condición POBRE, la vegetación toma de la freática solo 440 mm y de la precipitación (considerando igual razonamiento) 90 mm. Para alcanzar los 880 mm de requerimiento potencial restan 350 mm que conforman el déficit anual.

La condición deficitaria se produce cuando el nivel freático desciende por debajo del manto arenoso o gravoso. Esto responde, hasta donde se ha podido relevar, a que el horizonte de material grueso se hace somero o poco profundo, inhibiendo el flujo capilar ascendente.

REQUERIMIENTO DE AGUA POR LAS PASTURAS.

Como se observó en el mallín, y corroboró en la modelación, las necesidades hídricas de las pasturas están mayormente satisfechas por la subirrigación natural, mostrándose déficit hídrico en el periodo de estiaje. La cuantificación de este déficit y su distribución en el tiempo, permitirá establecer la dotación de riego. En base a los resultados del modelo, se tomaron los valores numéricos de transpiración real versus potencial y se estableció la magnitud del déficit hídrico en estiaje. En la quinta

columna de la tabla de la Figura 32 están estimados los valores de caudal neto requerido para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo y llevarla a la condición óptima o potencial. Se hace hincapié en la condición de requerimiento neto pues estos caudales deberían afectarse por la eficiencia total de riego del sistema.

La eficiencia de riego, como relación entre agua útil y agua derivada, va estar dada por las pérdidas del sistema de conducción y aplicación. Como se detalla mas adelante, el sistema de canales de recarga al acuífero, solo esta sujeto a perdidas por evaporación, lo que resulta en muy altas eficiencias de riego, posiblemente superiores al 90%.

Si se toma el valor de déficit mas alto correspondiente al mes de diciembre (0.069 l/s ha) y se lo afecta por una eficiencia del 90%, se obtiene una dotación de 0.08 l/s. ha.

Debe notarse que lo consignado en la Figura 32 como requerimiento de drenaje obedece a que el impedimento para alcanzar la evapotranspiracion potencial es el exceso de agua en el suelo y no la carencia. La fisiología de la raíz esta limitada tanto por déficit hídrico (altas tensiones suelo-agua) o por exceso cuando se satura (o cercano a saturación) por anaerobiosis en la zona radicular. Los parámetros de la función de estrés hídrico, por exceso o defecto, son datos a ingresar al modelo y corresponden al de pastura natural perenne (modelo Feddes). Esta situación se asociaría a la necesidad de drenar en invierno. Sin embargo, la restricción impuesta por el régimen térmico podría ser un impedimento al crecimiento, aun solucionado el problema de anegamiento. El desarrollo de las pasturas naturales del mallín parece estar más limitado en invierno por las bajas temperaturas que por el anegamiento. Esto es una hipótesis de trabajo que requiere estudios específicos.

Considerando que la condición de mallín "buena" solo abarca una parte del valle, es de esperar que en sitios con otras condiciones textuales menos favorables, el déficit hídrico sea mayor y requiera de dotaciones superiores. Asimismo, las condiciones climáticas medias no son necesariamente las mas propicias para establecer la dotación.

Requerimiento NETO de agua para la condición "Buena" del mallín

Mes	Eto Acum mm	Etreal Acum mm	Déficit mm	Q (para1000ha) l/s	
	0	0			
ene	150	141	9	34,72	Requerimiento de Riego
feb	266	251	6	23,15	
mar	357	337	5	19,29	
abr	404	384	0	0,00	
may	422	396	6	23,15	Requerimiento de Drenaje
jun	427	400	1	3,86	
jul	437	405	5	19,29	
ago	463	418	13	50,15	
sep	511	441	25	96,45	
oct	599	525	4	15,43	
nov	718	643	1	3,86	Requerimiento de Riego
dic	885	792	18	69,44	

Figura 32. Requerimiento hídrico de un mallín en condición “Buena”

En consecuencia se realizó el mismo cálculo de requerimiento partiendo de la evapotranspiración real (modelada) de un perfil de igual estratificación que el “Bueno” pero con características texturales menos propicias para el flujo capilar, tomadas de observaciones de perfiles del suelo. Ver Figura 33. Se generaron a partir de las clases texturales las curvas de tensión – humedad necesarias para la nueva estimación de flujo capilar.

Requerimiento NETO de agua para la condición "Regular" del mallín

Mes	Eto Acum mm	Etreal Acum mm	Déficit mm	Q (para1000ha) l/s	
	0	0			
ene	150	131	19	73,30	Requerimiento de Riego
feb	266	182	65	250,77	
mar	357	221	52	200,62	
abr	404	255	13	50,15	
may	422	268	5	19,29	Requerimiento de Drenaje
jun	427	271	2	7,72	
jul	437	276	5	19,29	
ago	463	289	13	50,15	
sep	511	313	24	92,59	
oct	599	398	3	11,57	Requerimiento de Riego
nov	718	517	0	0,00	
dic	885	615	69	266,20	

Figura 33. Requerimiento hídrico de un mallín en condición “Regular”

El requerimiento de riego para el diseño en este caso asciende a los 0.27 l/s.ha (diciembre) que afectado por la eficiencia de riego alcanza los 0.3 l/s.ha.

En conclusión, el requerimiento de riego estaría en el rango de 0.1 a 0.3 l/s.ha dependiendo de las características del perfil del suelo y la curva Tensión – Humedad o curva característica de cada horizonte. En función de la inspección de imágenes satelitales de diferentes años, la dotación “promedio” estaría mas cerca del valor correspondiente a mallín “Bueno” que al “Regular”.

Asimismo, la condición “Pobre” del mallín ocasionado por un horizonte de grava somero debería ser descartada como “enmallinable” ya que solo funciona con la dinámica de la subirrigación cuando la freática se encuentra por arriba del techo de la grava, situación, en principio, difícil de procurar por medios artificiales.

EXTENSION POTENCIAL DEL AREA DEL MALLIN.

Teniendo en cuenta el funcionamiento de mallín en su condición favorable, es posible estimar (aproximadamente) el área que el río Genoa podría sustentar. El cuadro siguiente presenta mes a mes el área regable considerando una dotación de 0.15 l/s.ha en base a la disponibilidad del Genoa.

Así las estimaciones indicarían que de contarse con área suficiente de mallín con suelo aptos para la subirrigación, el valle podría extenderse hasta aproximadamente 6000 ha asociadas al mes de diciembre, ya que el mes de noviembre (mínima área) requiere una dotación menor que diciembre y enero. En esta estimación no pueden incluirse las áreas con horizonte de grava superficial ya que no pueden funcionar como mallín propiamente dicho.

Este análisis debe tomarse como preliminar, en el sentido que se basa en pocos datos puntuales relevados del suelo y en caudales del Genoa, sin considerar los aportes laterales que recibe el valle desde la meseta.

Área regable con una dotación media de: 0,15 l/s.ha			
Mes	Q medio mens Genoa m3/s	has de pasturas regables	
ene	1,10	7347	Requerimiento de Riego
feb	2,21	14733	
mar	2,92	19467	
abr	4,83	32200	Requerimiento de Drenaje
may	5,54	36933	
jun	6,26	41733	
jul	11,98	79867	
ago	5,72	38133	
sep	1,32	8800	Requerimiento de Riego
oct	0,95	6333	
nov	0,76	5067	
dic	0,91	6067	

3.3. PAUTAS O CRITERIOS DE DISEÑO.

PROPUESTA CONCEPTUAL.

Tanto los mallines con períodos de déficit de humedad con aquellos con tendencia a la salinización, inducen a proyectarlos con sistemas de riego. Obviamente se requiere además condiciones topográficas, de suelo, de disponibilidad de agua -en calidad, cantidad y oportunidad -, etc. y además requiere que el proyecto sea económicamente factible.

Los antecedentes de riego en mallines patagónicos, se remiten al riego por superficie con una estructura de distribución compuesta de regueros alimentados por canales, siguiendo las curvas de nivel, separados entre 8 y 200 metros dependiendo de la pendiente del mallín. Estos regueros son desbordados para irrigar las fajas de suelos entre ellos.

El diseño es muy empírico pues no parte de estimaciones de la demanda, almacenamiento, infiltración, escurrimiento y caudales, parámetros básicos para un sistema de uso racional del agua.

Horne (1998) y Dufilho (1998), han propuesto la subirrigación natural a través del control freático. Estos autores observan que la ventaja más importante del sistema de

riego mediante acequias de infiltración, es que logra la recarga de la napa con lo que aumenta el nivel freático y por consiguiente aumenta la posibilidad de ascenso capilar del agua. No es sólo el riego por superficie sino también la recarga del acuífero y la proximidad del nivel freático al suelo, lo que condiciona la buena distribución de la humedad en el mallín. Este es un enfoque nuevo del riego en mallines. Se centra en el estudio y cuantificación del flujo no saturado, entre la freática y la superficie del terreno y su distribución al sistema radicular.

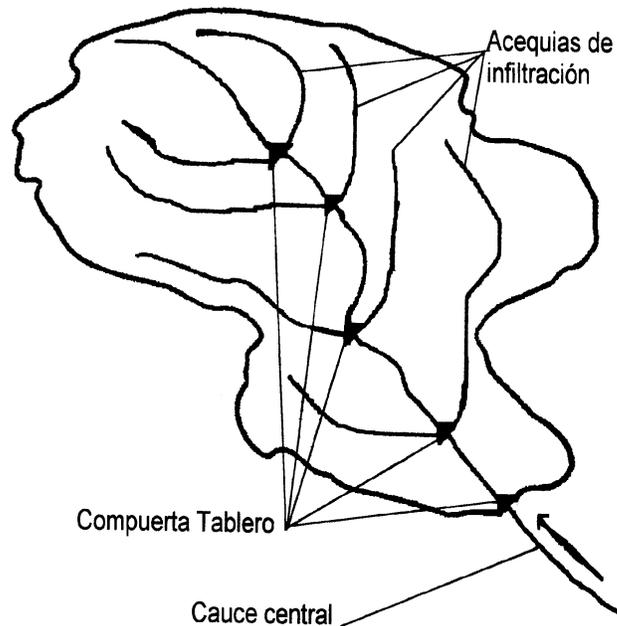
ESQUEMA DEL PROYECTO.

Las características del mallín parecen adecuadas para manejar el déficit hídrico mediante el control del nivel freático. Este esquema permite el uso racional y natural del agua, esquema aplicado en otros mallines.

Con frecuencia el control de la carga en el cauce central y la disposición de canales de recarga periféricos, constituye un esquema muy adecuado para el control de niveles freáticos. Desde el punto de vista económico y ambiental también resultan ampliamente ventajosos. Es llamativo el hecho que la eficiencia de riego, considerando la subirrigación, es muy alta pues prácticamente no existen pérdidas del sistema. Además hay menor disturbación del mallín por movimiento de suelo que en otros métodos de riego.

Este método puede complementarse con drenes intercalados entre las acequias de recarga, en caso de que el anegamiento sea un factor limitante de la productividad del mallín.

Respecto de las afeas donde las condiciones de subirrigación son inexistentes, por ejemplos en abanicos coluviales de confirmación arenosa (de hecho no existe mallín), conformarían potenciales áreas de riego tradicional.



POSIBLE CONFIGURACION DEL SISTEMA

Figura 34. Esquema Conceptual

CRITERIOS DE DISEÑO.

El objetivo del diseño ingenieril es conseguir, con el menor numero de obras posible, el control de las fluctuaciones de la capa freática en niveles que permitan el desarrollo de las especies vegetales asociadas a una mayor productividad de los mallines.

El reconocimiento de la mecánica de acuíferos permite controlar la recarga y drenaje de estos mediante el uso de acequias y/o zanjas (drenes), respectivamente. Su funcionamiento es similar, ya que responden a las mismas ecuaciones que rigen el flujo del agua en medios porosos. Sin embargo, los supuestos implicados en su aplicación, justifican el tratamiento por separado de ambos procesos.

El esquema de la Figura 35 representa una acequia de recarga, con un ancho en superficie W_s y de fondo W_b , distancia al hidroapoyo D_1 , profundidad máxima del abatimiento D_w y L distancia o influencia lateral, todo sujeto a una conductividad hidráulica K .

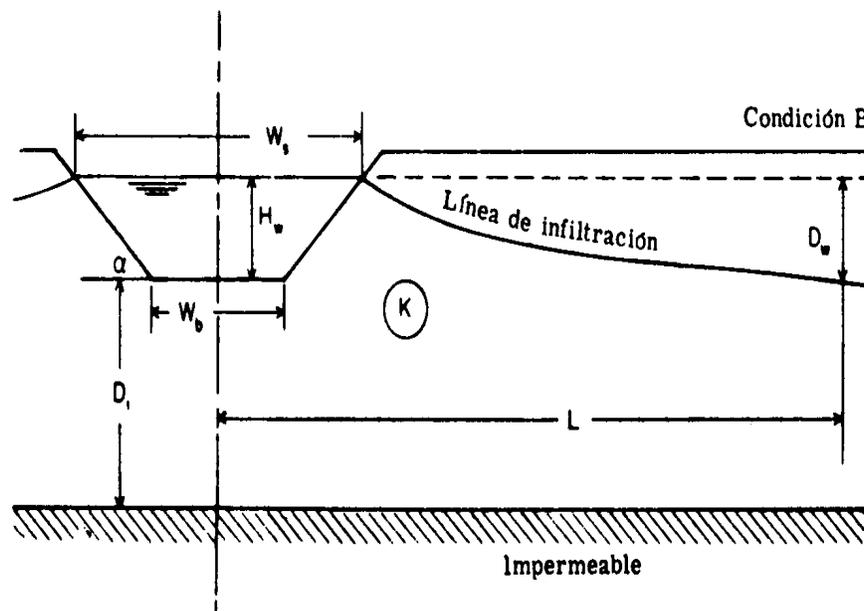
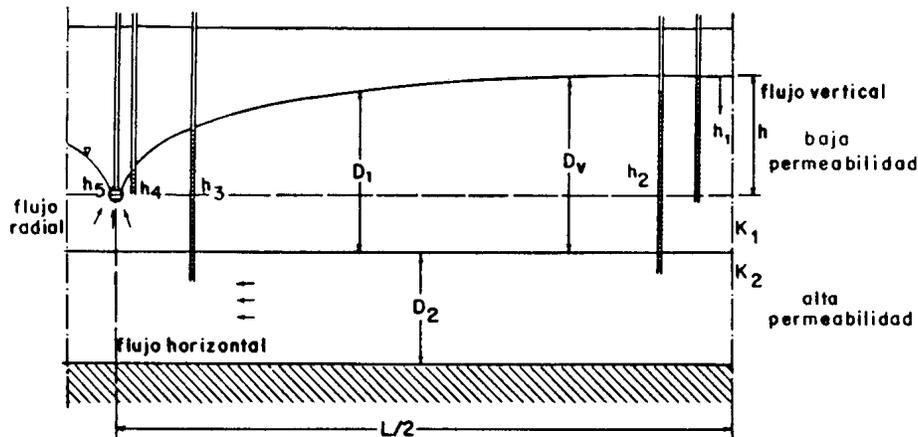


Figura 35. Abatimiento de una acequia de recarga

Los métodos que describen el flujo de agua y potenciales de la freática, se basan en las ecuaciones de Darcy y de continuidad, aplicadas a las condiciones de borde que el caso requiera: acequias con una carga determinada, frontera impermeable, etc. La solución a estas ecuaciones por métodos numéricos, puede ser de aplicación práctica al acuífero del mallín.

Los métodos analíticos basados en simplificaciones y supuestos importantes de homogeneidad, isotropía, recarga uniforme y flujo horizontal, pueden ser aplicables a las condiciones del mallín y sobre todo, por estar en función de parámetros factibles de medir en el terreno. De esta última variante, han surgido varias técnicas potencialmente aplicables al caso de recarga en mallines: Método de Custodio Método de Bouwer (1969) o (Kraatz, 1977).

Bajo las mismas condiciones y supuestos a excepción la restricción de flujo horizontal, es posible aplicar el método clásico de Ernst utilizado para calcular el espaciamiento entre drenes. En la aplicación de la teoría de imágenes en medio poroso saturado, la acequia de recarga es considerada un dren "imagen" con caudal negativo o recarga. Horne et al (2001). La ventaja del método es que considera las componentes horizontal, vertical y radial del flujo.



Componentes del flujo del agua hacia un dren según Ernst.

Figura 36. Esquema Clásico de un dren en régimen permanente

-Flujo vertical: $q = K_1 h_v / D_v$

Donde: D_v = Espesor de la región de flujo de baja conductividad hidráulica, a través de la que existe flujo vertical (m).

K_1 = Conductividad hidráulica de la capa superior (m/d).

-Flujo horizontal: $q = 8 \sum (KD)_h / L^2$

Donde: L = es la separación entre drenes

-Flujo radial: $q = h_r / W_r L$

Donde: W_r = es la resistencia radial

La expresión general de la ecuación de Ernst se obtiene despejando cada componente de h en las ecuaciones anteriores y sumándolos:

$$h = q D_v / K_1 + q L^2 / 8 \sum (KD)_h + q W_r L$$

Donde **h** toma el valor de [profundidad del dren – profundidad crítica]. En el caso de acequias de recarga, la profundidad crítica considerada (1.3 m) es la obtenida de la Función de Flujo Capilar para la EVT máxima potencial (6 mm/día), menos 0.10 m por pérdidas de carga locales en los canales, obteniéndose un valor de 1.2 m.

El espaciamiento entre drenes se obtiene resolviendo la anterior ecuación de segundo grado, una vez conocidos los espesores y las conductividades hidráulicas de las diferentes capas y formulados los criterios de carga hidráulica y descarga específica.

En nuestro caso, se ha considerado una conductividad hidráulica obtenida del promedio ponderado por espesores. Dado la posible variabilidad espacial de parámetros, se ha elaborado una tabla (Figura 37) con los distanciamientos que resultan de considerar un rango de parámetros, establecido en base a lo observado a campo y su posible variación.

ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESPACIAMIENTO ENTRE CANALES DE RECARGA

Caso	K1 (m/d)	Cd (mm/d)	Prof. hidroap (m)	Prof. critica (m)	Pendiente Hidráulica	Longitud dren (m)	Espaciamiento (m)	Q (l/s)
1	1	1	10	1,2	0,0005	200	249	0,5
2	3	1	10	1,2	0,0005	200	446	1
3	5	1	10	1,2	0,0005	200	582	1,3
4	7	1	10	1,2	0,0005	200	693	1,6
5	9	1	10	1,2	0,0005	200	790	1,8
6	1	3	10	1,2	0,0005	200	136	0,95
7	3	3	10	1,2	0,0005	200	250	1,7
8	5	3	10	1,2	0,0005	200	329	2,2
9	7	3	10	1,2	0,0005	200	392	2,7
10	9	3	10	1,2	0,0005	200	448	3

Figura 37. Caudales y espaciamiento de canales para distintos parámetros.

Como se observa los valores de distanciamiento entre canales de recarga varían entre 130 y 790 m, y depende fundamentalmente de los valores de K y del caudal de recarga o dotación de riego, calculado mas arriba. Sin embargo se han señalado los valores más probables dentro del rango de valores de K medidos con ensayos de infiltración y pozo barrenado. Esto resultan en distanciamientos de 450m para el mallín

Bueno (1 mm/día o 0.1 l/s.ha aproximadamente) y 300 para en correspondiente a condición Media (3 mm/día o 0.25 l/s.ha aproximadamente).

Ancho del canal o acequia

En régimen permanente, el ancho de la acequia esta determinado por la velocidad de infiltración básica del suelo, distanciamiento entre canales y la dotación de riego. El caudal a recargar, Q_r por metro de acequia esta dado por el Coeficiente de recarga C_d [m/día] y el distanciamiento, L [m]

$$Q_r = C_d L$$

El caudal a infiltrar por metro de acequia, Q_i , esta dado por la infiltración básica, I_b y el ancho B de la acequia:

$$Q_i = I_b B$$

El ancho queda determinado por:

$$B = C_d \cdot L / I_b$$

Para los valores de diseño, $C_d = 0.003$ m/d, $I_b = 1$ m/d y $L = 500$ m, un ancho $B = 1.5$ m alcanza para recargar el acuífero con la lamina de diseño.

Se busca que el perfil transversal de la acequia sea de tipo parabólico con un tirante máximo de 0.20 m y vegetado en la medida de lo posible. Esto asegura la capacidad de infiltración y evita que los canales de recarga sean impedimento para la circulación en el campo.

ESQUEMA ESPACIAL.

a- Control del cauce central

El cauce central u otro secundario del mallín también es un elemento posible de utilizar tanto para la recarga del acuífero y/o drenaje del sistema, de acuerdo a las conveniencias estacionales. De hecho, estos cursos constituyen "condiciones de borde" del acuífero y su nivel o carga en relación al freático establece el sentido del flujo subterráneo y consecuentemente su función como fuente de recarga o dren del sistema.

La carga hidráulica se controla con sencillos "atajes" con compuertas que permiten su regulación. La ubicación de los mismos esta en función de la pendiente del curso de agua, la profundidad o socavación del mismo y la distancia entre canales de recarga que derivan el agua de estos. Estos parámetros hacen que la ubicación y el diseño sea sitio-dependiente.

En caso de cauces no profundos y suponiendo una estructura de cierre de 0.60 m de carga, para la pendiente del Genoa (aproximadamente 0.002) resultaría en compartos distanciados en 300 m. Los tramos con cauce profundos o con ensanchamientos significativos, no conviene instalar este tipo de estructura por su costo. En estos casos se prefiere usar solo los canales como elemento de recarga.

b- Canales de recarga

La disposición espacial de canales esta dada por la topografía del sitio. Dado que se procura realizar en menor movimiento de suelo, estos canales son de poca profundidad y su traza sigue prácticamente la curva de nivel. Se procura que funcione con pendiente hidráulica dada por el tirante y pendiente de fondo cercana a cero. De esta manera, la dirección del movimiento. En estiaje, la carga en su punto inicial puede regularse con el manejo de los compartos, infiltrándose la lamina de diseño. En el periodo de excesos de agua se operará en sentido contrario, liberando toda restricción sobre el cauce mediante la apertura de las compuertas de “ataje” y contribuyendo al drenaje del agua en exceso al cauce central.

SELECCIÓN DEL AREA PILOTO.

Considerando que el Plan Piloto tiene por objeto implementar las obras de manejo y realizar un seguimiento sobre el área para evaluar y perfeccionar el método de sistematización del mallín, la selección del sitio resulto de aplicar los siguientes criterios:

- a- Área representativa del mallín del Genoa
- b- Diversidad de suelos y dinámica del mallín
- c- Disponibilidad de fuentes de agua
- d- Acceso fácil para su ejecución y monitoreo

Para determinar el sitio se utilizaron, como elementos de apoyo, las imágenes satelitales ópticas y la composición que identifica vegetación (índice verde). De este último se generaron 2 imágenes correspondientes a julio y octubre, como se presenta en las Figuras 38 y 39. Asimismo el DEM del área proveyó la topografía de apoyo para el trazado de los canales de recarga. Adicionalmente, se realizo una clasificación de mallines (Figura 40) utilizando estos elementos y las pendientes (para definir límites del valle). La clasificación fue realizada con apoyo de inspecciones a campo y reconocimiento “in situ”.

La diversidad de condiciones del mallín visualizada en al imagen, no necesariamente se corresponde con diversidad en los suelo. El conocimiento detallado del área piloto permitirá ajustar el trazado de canales. La Figura 41 ubica el área seleccionada en coordenadas geográficas

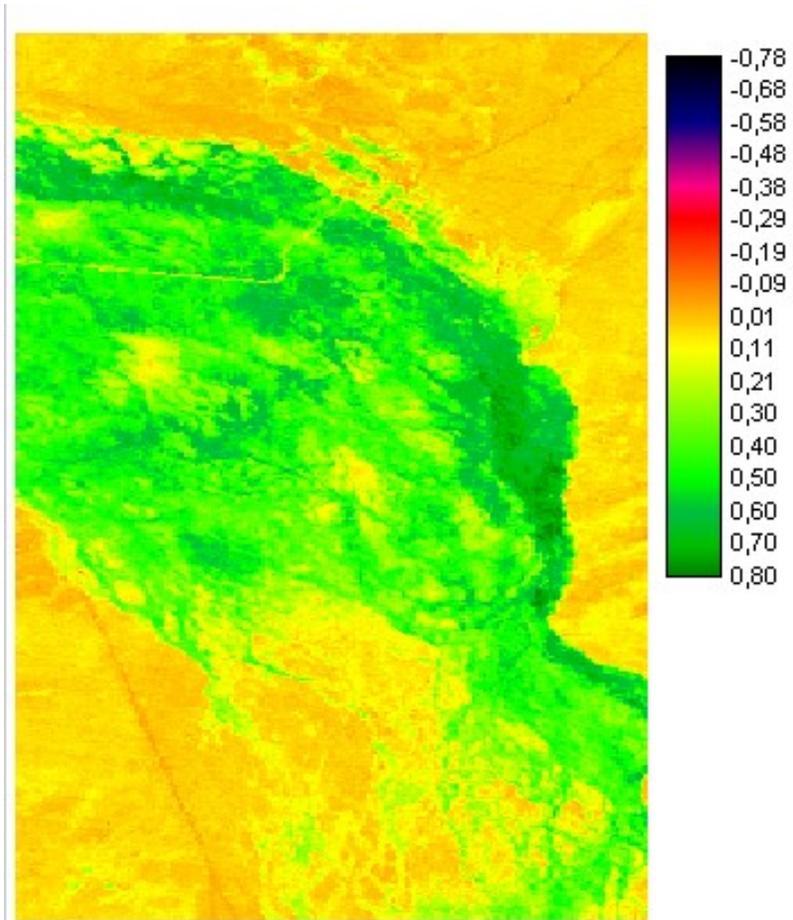


Figura 38. Vegetación correspondiente a agosto

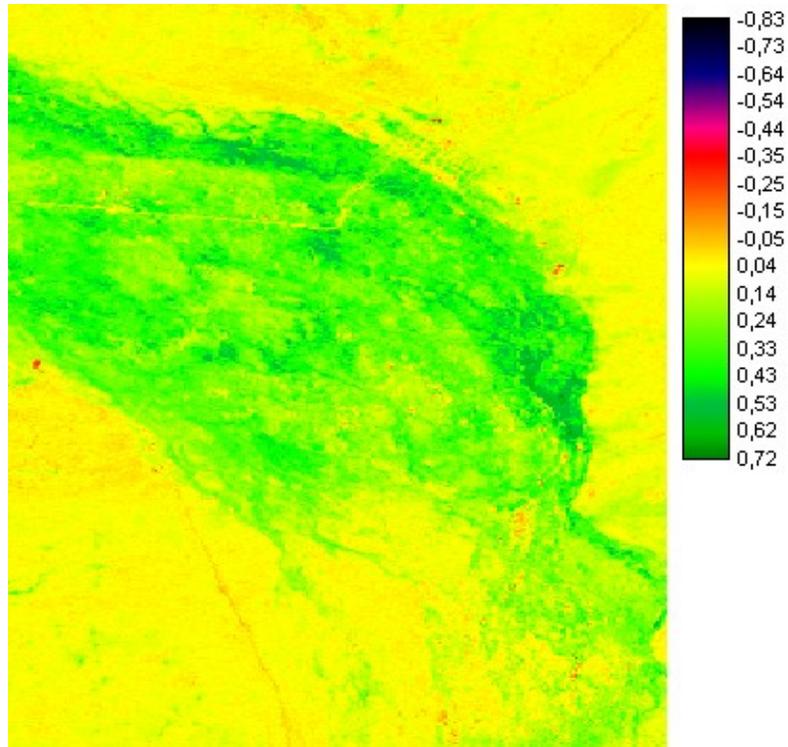
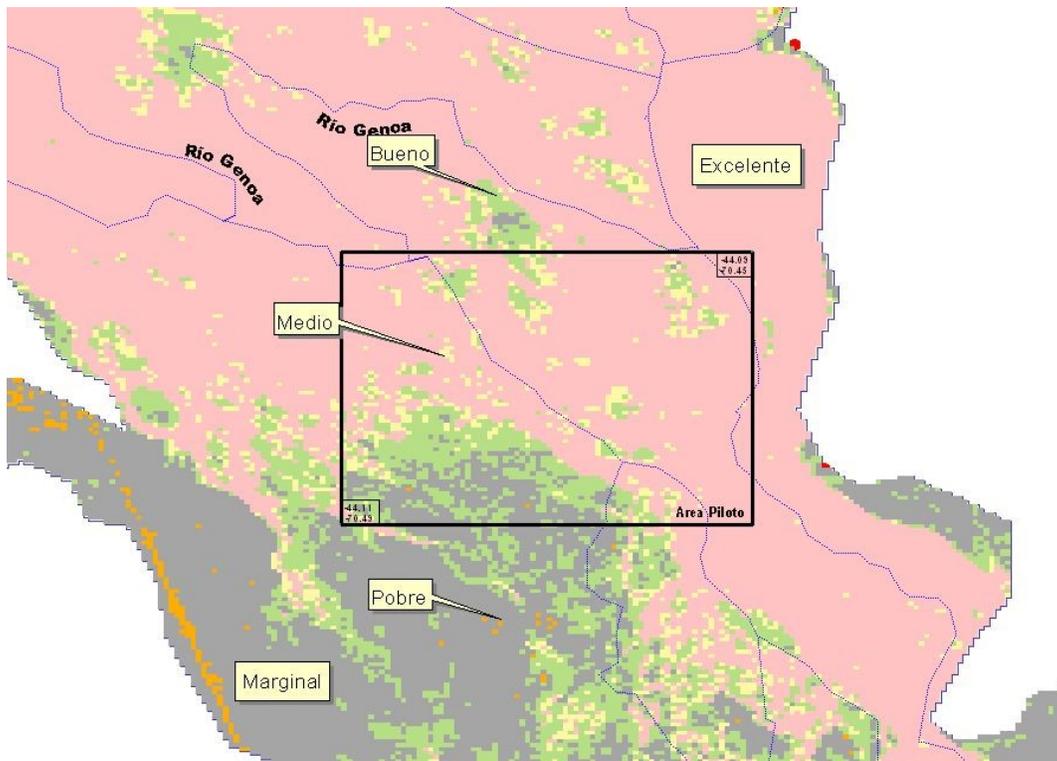
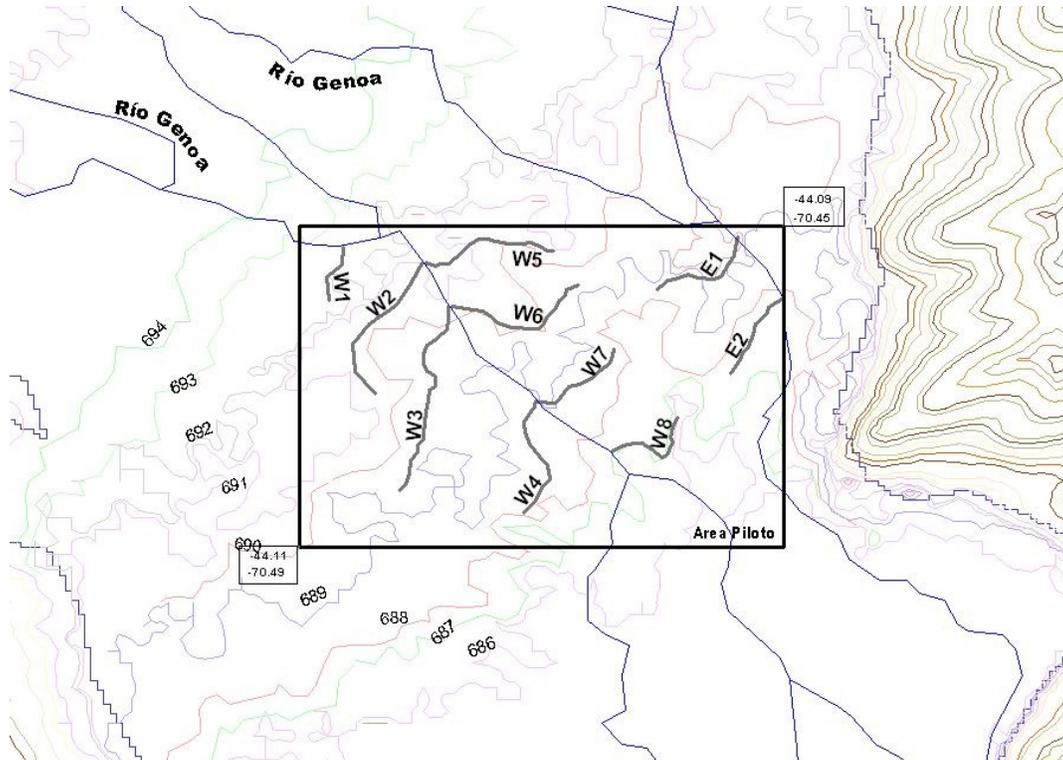


Figura 39. Vegetación correspondiente a octubre



Figuras 40. Clasificación de la imagen óptica con datos de campo.

productivo. Los canales de recarga se trazaron en relación a las curvas de nivel y considerando los espaciamientos calculados en relación a la condición del mallín, como se observa en Figura 42.



Figuras 42. Trazado de canales de recarga.

En base a las condiciones y valores medios de los parámetros se estimó el caudal que demanda la recarga del área piloto, que deberá proveerse en los meses de estiaje. Ver tabla de la Figura 43. Estos 75 l/s.ha estarían supliendo las necesidades hídricas de 670 ha.

Nombre	Longitud [m]	Caudal estimado a infiltrar [l/s]
OW1	389	3,60
OW2	1054	9,76
OW3	1331	12,32
OW4	834	7,72
OW5	895	8,29
OW6	966	8,94
OW7	648	6,00
OW8	645	5,97
OE1	710	6,57
OE2	598	5,54
Total Proyecto	8070	74,72

Figura 43. Caudales de recarga del sistema proyectado

Además de observar las correspondientes variable in situ, se incluye en la propuesta un seguimiento con imágenes satelitales, ópticas y SAR de ser posible, a efectos de investigar y eventualmente incorporar a la metodología la cuantificación de humedad de suelo y profundidad freática estimada desde las imágenes.

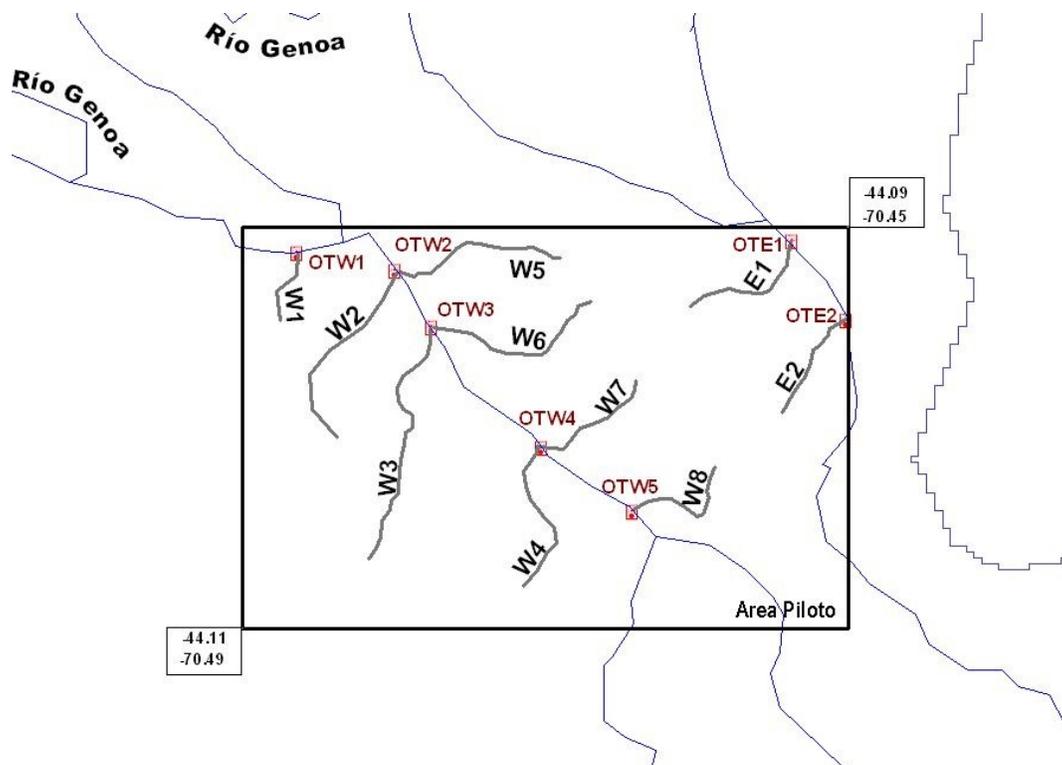
c. Sistema de Información Geográfico

Se ha formulado un SIG del Área Piloto que sirvió para volcar los datos y resultados de Proyecto en forma grafica y para ser utilizado en la etapa de ejecución de obras y seguimiento.

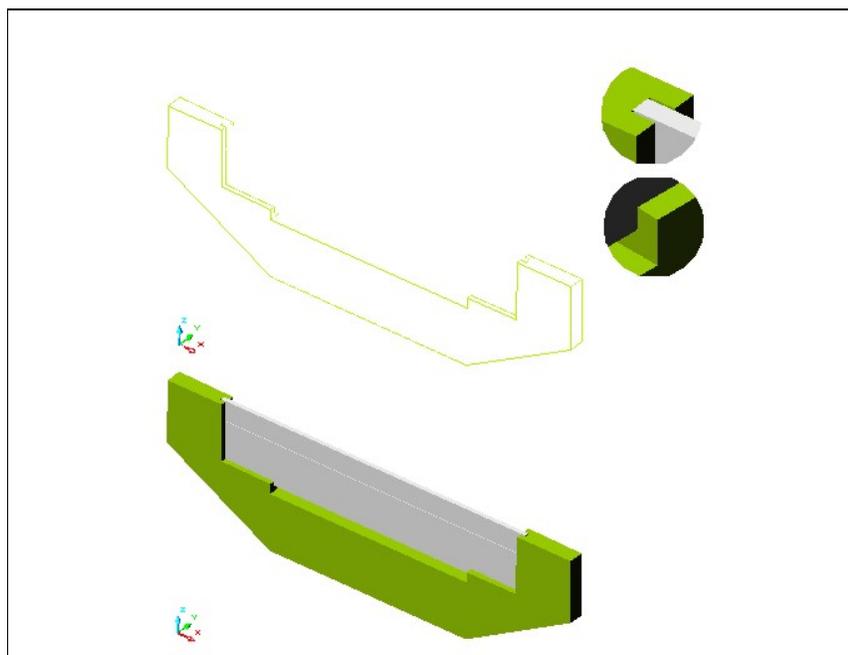
Las capas de información fueron: Imagen satelital, DEM, Curvas de nivel, cursos de agua, calcificación de la condición del mallín por vegetación, Canales de recarga, Obras de arte.

d. Descripción de obras

La Figura 44 indica la ubicación de la obras de arte: compartos con una estructura de nivelación y compuertas derivadoras.



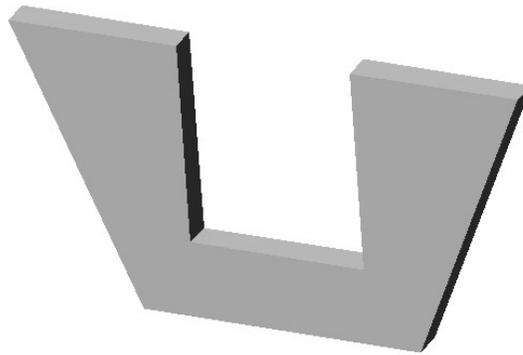
Figuras 44. Ubicación de las obras de arte



Figuras 45. Esquema de compuerta de embalse, nivelación o ataje.

El tipo de compuertas considerada es de material pretensado o eventualmente armado in situ con escotaduras de 2 anchos. La escotadura inferior esta diseñada para escurrir el caudal ecológico y evitar el secado del curso. La escotadura superior tiene recatas a los lados para guiar segmentos de cierre y elevar el tirante de aguas arriba al nivel deseado. Las compuertas de derivación, derivan el agua a las acequias de recarga. Tienen ranuras laterales por las cuales se desliza la hoja para regulación del caudal derivado.

La estructura va hincada en una sección transversal al curso y fundada con hormigón si es necesario. Las dimensiones de la misma, estandarizadas en 2 o 3 medidas se adaptaran a las condiciones del cauce.



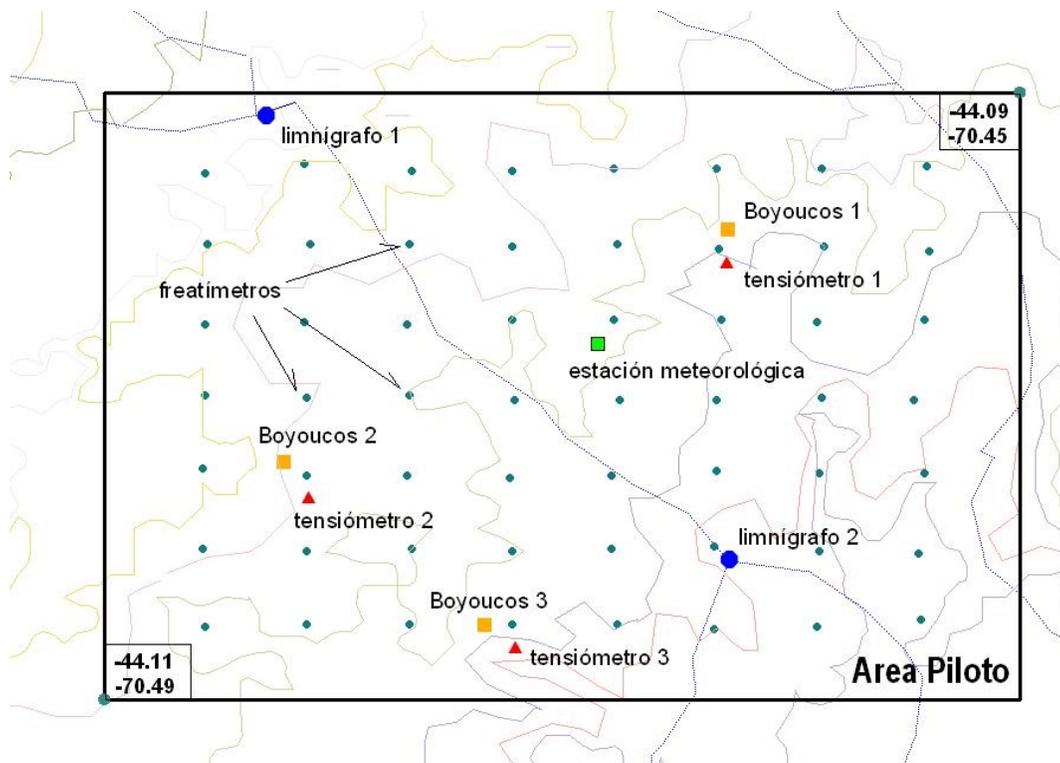
Figuras 46. Compuerta de Derivación

e. Plan de monitoreo

El propósito del monitoreo es la validación del método de sistematización del mallín, evaluar sus beneficios y ajustar la metodología para su generalización al valle del Genoa y eventualmente a otros mallines. La propuesta está planeada para ser implementada y realizar el seguimiento por 3 años, al final del cual se deberá estimar el beneficio de continuar por un periodo adicional.

La evaluación del funcionamiento del proyecto constituye un aspecto primordial del Plan Piloto. Se requiere un sistema que permita un seguimiento de las principales variables hidrológicas que se pretende controlar con el proyecto: cuantificación del agua utilizada, variación de niveles freáticos, humedad y tensión en el suelo. Se desea a su vez, tener una perspectiva espacial del funcionamiento, lo que conduce al registro distribuido de observaciones.

En la Figura 47 se observa la ubicación de los diferentes instrumentos de seguimiento propuestos en el proyecto.



Figuras 47. Ubicación del instrumental de seguimiento y evaluación.

Se ha programado la colocación de 2 limnógrafos sobre el cauce central, aguas arriba y aguas debajo de una de las porciones sistematizadas, a efectos de registrar los caudales de entrada y salida del área.

Los puntos de monitoreo con freáticos y tensiómetros registrarán las tensiones suelo-agua a distintas profundidades correlacionables con las variaciones del nivel freático. En estos sitios se determinará la curva característica de cada horizonte de suelo. Los sitios con mediciones tensiométricas constarán de un batería de 4 o 5 tensiómetros hincados a diferentes profundidades y otra de Boyoucos, bloques de yeso o “watermark” similarmente instalada. Inicialmente ambos elementos se localizarán juntos para contrastar datos, para luego en una segunda etapa usarlos independientemente. Se prevé la conexión a multilogger de los sensores para hacerlos operativos.

La estación meteorológica automática deberá registrar las variables temperatura de aire, humedad, radiación y viento a efecto de contar con valores de evapotranspiración locales que caractericen la demanda atmosférica.

La red freática y sus registros periódicos permitirá evaluar la configuración espacial de la freática bajo control del proyecto, el rumbo de sus flujos y el drenaje natural del arrea en las distintas situaciones hidrológicas del año. Tiene una disposición ortogonal y el distanciamiento entre ellos se fijó en 300 m aproximadamente, en base a la experiencia obtenida de la red de freáticos instalada en la presente etapa.

Se tomarán muestras periódicas de salinidad para reconocer su variación estacional y tendencias.

Por otro lado, se propone un plan de evaluación de la producción de materia seca bajo ciertas pautas agrícolas-ganaderas de manejo. A sus efectos el plan de trabajo se debe conjugar con los propietarios de los establecimientos, sus técnicos y sobre todo

Incorporar criterios de manejo pautados por en INTA, que acumula la experiencia zonal en este aspecto. En tal sentido, ensayos de fertilización, incorporación de exóticas, manejo animal entre otros, son aspectos que sumarán experiencia a la que se tiene en la zona, maximizando la producción en forma sustentable.

f. Presupuesto

Comprende básicamente el presupuesto de: 1. Ejecución de obras, 2. Instrumental e instalación y 3. Seguimiento anual.

Aun considerando que el estudio detallado del Área Piloto pueda resultar en algunas adecuaciones, no se aprecian como significativas en cuanto a modificar el presupuesto estimado.

En este no se ha incluido la adquisición de imágenes satelitales, considerando que pueden ser provistas gratuitamente por CONAE.

Cabe mencionar que las obras de control freático del mallín no superan los 100 \$/ha, factor este importante en el método mismo, ya que debe ser compatible con la producción ganadera.

A - Costo inicial de sistematización

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	OBSERVACIONES
------	-------------	--------	----------	-------	-------	---------------

A - 1 - Monitoreo de la zona bajo estudio - adquisición de datos

1	Relevamiento detallado	Global	1	21360	21360	Comisión de 6 personas x 10 días en el lugar + materiales
2	Readecuación en gabinete	Global	1	2160	2160	Comisión de 3 personas x 6 días
3	Instrumental de medición	c/u	2	3800	7600	Limnógrafo
4	Instrumental de medición	c/u	3	6000	18000	Batería de tensiómetro-logger
5	Instrumental de medición	c/u	3	3000	9000	Batería de watermarks- logger
6	Instrumental de medición	c/u	1	15000	15000	Estación meteorológica automática
7	Instrumental de medición	c/u	50	180	9000	Freatímetros
8	Ensayo de productividad	c/u	1	20000	20000	Insumos varios
9	Instalación instrumental	Global	1	7440	7440	Comisión de 3 personas x 7 días en el lugar
10	Ensayo y capacitación	Global	1	10000	15000	Varios

Costo de Monitoreo de la zona bajo estudio - adquisición de datos

124560

A - 2 - Ejecución obras de sistematización

11	Replanteo obras	Global	1	5100	5100	Comisión de 3 personas x 4 días en el lugar
12	Estudio de gabinete	Global	1	1080	1080	Comisión de 3 personas x 3 días
13	Compuerta de resalto	Cant/Km	7	950	6650	900 kg + 3 placas de 80 kg cada una
14	Compuerta de derivación	Cant/Km	13	140	1820	150 kg + compuerta de chapa 1/8

15	Traslado obras de arte	Global	1	3500	3500	Equipo de 27.000 kg - 10 resaltos y 20 derivaciones
16	Instalación de compuertas	Días	7	800	5600	Camión con hidrogrúa
17	Mano de obra instalación	Días	7	500	3500	Cuadrilla de 3 personas x 7 días (MO del lugar)
18	Hormigón simple in situ	m3	14,9	600	8940	Instalación de las compuertas enviadas
19	Canales de recarga	Días	7	900	6300	Maquinaria especial (Bobcat/tractor)
20	Mano de obra perfilado	Días	7	400	2800	Cuadrilla de 2 personas x 7 días (MO del lugar)
21	Nivelación final	Días	2	400	800	Cuadrilla de 2 personas x 2 días (MO del lugar)
22	Visita final técnica	Global	1	3500	3500	Comisión de 3 personas x 5 días en el lugar

Costo obras de sistematización

49590

B - Costo mantenimiento anual

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	TOTAL	OBSERVACIONES
------	-------------	--------	----------	-------	-------	---------------

B - 1 - Mantenimiento y operación del sistema - seguimiento

21	Visitas por año	Global	6	5600	33600	Comisión de 3 personas x 5 días en el lugar (Monitoreo)
22	Gabinete	Global	1	15000	15000	Análisis de información y mejoras del sistema
23	Mantenimiento	Global	1	17415	17415	Roturas y optimización del sistema

Costo anual de operación y mantenimiento

66015

Figura48

4. Conclusiones y Recomendaciones

- a. Los balances de agua del valle permiten afirmar que el mallín del Genoa se irriga por capilaridad natural del agua aportada por la freática, lo cual le da las características ecológicas diferenciales respecto de la meseta circundante.
- b. La conformación física del suelo y sus horizontes determinan el caudal capilar ascendente para cada profundidad de freática y demanda evapotranspiratoria. Por esa razón parte del mallín sufre sequedad en verano.
- c. Las fluctuaciones de la freática esta en correspondencia con la recargas (mayoritariamente escurrimiento del Genoa) y descargas (mayoritariamente evapotranspiración). La profundidad máxima en verano es la crítica y responsable del déficit hídrico estival evidenciado en la vegetación.
- d. La existencia, en algunas áreas, de un horizonte intermedio de material grueso (arena, grava) impide el flujo capilar. En estas partes, el mallín reviste la aridez del área de coluvio y/o meseta circundante.
- e. La estimación de la dotación de riego requiere de un método de cálculo específico – contrariamente al clásico adoptados en estudios anteriores – pues se debe considerar el aporte freático que subirriga el mallín.
- f. En virtud de la economía y el medioambiente, el método de riego (superficie, goteo, aspersión, subirrigación) debe ser cuidadosamente seleccionado en función de la aptitud de los suelos, hidrología e hidrogeología. En el caso del mallín y en su condición típica es muy aconsejable coadyuvar al proceso natural de subirrigación por control de los niveles freáticos.
- g. Todos los elementos teóricos que fundamentan el estudio y las conclusiones deben ser validados en forma empírica. De ahí la importancia, para Genoa y muchos otros mallines patagónicos, que reviste la implementación de un Plan Piloto.
- h. La degradación por salinización obedece a la escasez en la lámina de lavado proveniente de la lluvia o inundaciones de los suelos. En el valle inferior, la menor frecuencia de inundación de los suelos por desborde del Genoa y la menor precipitación acentúan el problema. Las sales sódicas lo agravan más aun, por la dispersión de las arcillas e impermeabilización de los suelos.
- i. A medida que las condiciones de lavado son mas críticas, mas importante es el manejo del sistema productivo, pues toda acción que disminuya la infiltración (sobrepastoreo, labores culturales inadecuadas) acrecentará el ritmo de la degradación.
- j. Por último, pero de suma importancia, es establecer un Ente Administrador o Consorcio de Riego que administre con criterios técnicos, equitativos y consensuados las acciones conjuntas para un sistema que cuenta con un recurso común limitado, altamente productivo y fácilmente degradable.

5. Bibliografía citada y consultada

GM&A. Guillermo Malinow y Asociados. Estudio a nivel de inventario de las medidas para atenuar situaciones extraordinarias en la cuenca del Rio Senguer. 2001.

Haverkamp, R.M. et al, 1977. A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. Soil Science Society of America Journal 41: 285-294.

Horne, C. Dufilho, A. Bruce y G.M. Polla . Programa de Desarrollo Forestal (Convenio BIRF 3948AR) - Proyecto de Ecosistemas Desérticos de Patagonia. 82 pag. 1998

Horne, F., A. C. Dufilho, G. Polla. Dinámica del agua en mallines de Patagonia. II. Movimiento del agua en el perfil del suelo. Agrociencia Mayo 1999 pag. 48- 59, 61. ISSN 0716-1689.

Horne, F, Dufilho A., Polla G., Schmid P., Galeazzi J., Stangaferro S., Torres A., Bruce A., Cantaro H., 2001. Estudio del Funcionamiento hidrológico para un manejo productivo sustentable. Informe Final PI A049, Universidad Nacional del Comahue. 2 volúmenes, 210 páginas

Horne, F. E., M.L. Kavvas, Spatially Averaged Physics of the Snowmelt Process, Journal of Hydrology, 191 (1997) 179-207.

Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Edición Omega, S.A. Barcelona. 4ta Edición. pág 300 - 303.

Kessler,J.; Ridder N.A. 1973.Evaluación de balances de agua subterránea.Cap 22. Vol 3. Pág 213 a 237. Principios y aplicaciones del drenaje.Editado a partir de Apuntes del Curso Internacional de Drenaje Agrícola. Wageningen

Kutilek, M.; Nielsen, D.R., 1994. Soil Hydrology. Ed. Catena Verlag, Germany. pp 369.

Lipinski, V., 1992. Recuperación de mallines. Causas de degradación de mallines. En: Primer curso de Planificación Integral de Campos. Tomo I: Recursos Naturales. Precodepa. INTA EEA Bariloche.

Mazzoni, E., 1984. Estudio de las relaciones geomorfológicas e hidrológicas entre escoriales basálticos y mallines en dos áreas tipo de la Provincia del Neuquén. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Humanidades, Departamento de Geografía. Neuquén. 112 pp. Tesis de Licenciatura.

Movia C.P., 1984. Metodologías aplicables a la evaluación de la desertificación en Patagonia. Seminario "Metodología regional del proceso de desertificación" (Desertización en Patagonia). Universidad Nacional del Comahue, 1984

Oesterheld, M. y Sala, O.E., 1994. Modelos ecológicos tradicionales y actuales para interpretar la dinámica de la vegetación. El caso del pastizal de la pampa deprimida. Conferencia. Rev. Prod. Anim. 14: 9-14.

Paruelo, J.M. et al., 1993. Editores. Secuencias de deterioro en distintos ambientes Patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. INTA-GTZ.

Polla, Gabriela, Horne Federico, 1998. Dinámica del agua en los mallines de Patagonia. I. Balance Hídrico. . Agrocienca Mayo 1999. ISSN 0716-1689.

PROINSA, Estudios y proyecto para el incremento de los caudales hídricos del Río Genoa, Provincia de Chubut. 1996

Ritzema H. P., Drainage Principles and Applications. Publication 16 del ILRI, (1994). Wageningen, The Netherlands

Van Barneveld, G.W., 1998. On the state of the natural resources of the Argentine Patagonian region and options for their sustainable development and conservation. Mission Report.

J. Simunek, Sejna y van Genuchten, The HYDRUS 2D software package for simulatind the 2d movement of water, heat and multiple solotes in variable-saturated media. USDA, 1999

Van Genuchten, M ; Leij, F.; Yates S.1991. The RETC code Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soil. U.S. Laboratory U.S. Departament of Agriculture Research Service Riverside, California 92501.55 Pág.

Van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44: 892-898.

Vives, O y N. Perez. Estudio Hidrológico Complementario, Sistema Arroyo Genoa. Trelew, 1997.