

**BASES HIDROLÓGICAS PARA UN  
MANEJO PRODUCTIVO SUSTENTABLE  
DE MALLINES**

**Federico HORNE**

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio,  
sin el permiso expreso de educu.





Universidad Nacional del Comahue

# **BASES HIDROLÓGICAS PARA UN MANEJO PRODUCTIVO SUSTENTABLE DE MALLINES**

**Federico HORNE**

*educó*

Editorial de la Universidad Nacional del Comahue

Neuquén - 2014

**BASES HIDROLÓGICAS PARA UN MANEJO PRODUCTIVO SUSTENTABLE DE MALLINES**  
**Federico HORNE**



**©- 2015 – Educo - Editorial de la Universidad Nacional del Comahue**  
Buenos Aires 1400 – (8300) Neuquén – Argentina  
infoeduco@gmail.com  
educoblog.blogspot.com

# INDICE

## INDICE

### CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- 1.1. Presentación del Proyecto
- 1.2. Objetivos del Proyecto
- 1.3. Estructura del Informe
- 1.4. Síntesis de mallines

### CAPÍTULO 2: REVISIÓN COMENTADA DE ANTECEDENTES

- 2.1. Fertilidad
- 2.2. Suelos
- 2.3. Geomorfología
- 2.4. Hidrología
- 2.5. Vegetación
- 2.6. Sociología
- 2.7. Relaciones entre la producción y zona del mallín
- 2.8. Productividad
- 2.9. Tipificación
- 2.10. Manejo actual
- 2.11. Cartografía de mallines

### CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- 3.1. Introducción
- 3.2. Geomorfología y suelos
- 3.3. Hidrogeología
- 3.4. Movimiento de agua y solutos en el suelo
- 3.5. Balance hídrico
- 3.6. Sociedad y Ambiente: algunas cuestiones teóricas
- 3.7. Ingeniería del riego y drenaje
- 3.8. Manejo productivo

## CAPÍTULO 4: APLICACIÓN

- 4.1. Selección del mallín para aplicar la propuesta
- 4.2. Metodología de estudio
- 4.3. Caracterización del Mallín Pampa Ñorquín
- 4.4. Modelamiento del mallín
- 4.5. Simulación del manejo propuesto

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFÍA

- ANEXO I: determinación en suelos
- ANEXOII: determinación de la conductividad hidráulica
- ANEXO III: freáticos lecturas freáticas
- ANEXO IV: calidad de agua
- ANEXO V: fotografías

# CAPÍTULO I

## Introducción

### 1.1. Presentación del Proyecto

El área de estudio abarca pequeñas áreas ubicadas en la provincia de Neuquén, distribuidas desde la Cordillera de los Andes hasta el río Limay, pues los mallines seleccionados son representativos de regiones naturales (Ferrer et al, 1990), con condiciones fitoclimáticas, litológicas, geomórficas y edáficas diferentes.

Neuquén posee dos regiones naturales: Andina y Extrandina, desagregadas a su vez en dos y tres subregiones, respectivamente. La región andina posee clima húmedo y la región extrandina se caracteriza por un déficit hídrico que se acentúa en dirección oeste-este, al que se asocia un paulatino pasaje de una estepa herbáceo-arbustiva a otra, francamente arbustiva y rala.

Los mallines estudiados (Figura 1.1) se encuentran distribuidos en las tres subregiones dentro de la región extrandina a saber:

- Subregión subhúmeda de planicies colinas y serranías: Ea. Pampa Ñorquín (ElHuecú) y Ea. Lolén (Junín de los Andes)
- Subregión árida serrana: Mallín Aguada del Sapo, Comunidad Filipín. (Chacaico)
- Subregión árida mesetifirme: Mallín Ea. Fortín Nogueira (Piedra del Aguila)

La selección de dichas áreas se realizó a partir del análisis de antecedentes aerofotográficos, cartográficos, edáficos, hidrológicos, climáticos del área y sociológicos, entre ellos el “Estudio de suelos a nivel de reconocimiento con fines de riego en 43 áreas

preseleccionadas, parte de las cuencas del río Neuquén y Colorado Superior” (Laya et al, 1981); “Relevamiento y priorización de áreas con posibilidades de riego; Estudio Regional de Suelos; Geomorfología de la Provincia del Neuquén” (González Díaz, Ferrer, 1986); “Estudio de suelos a nivel de reconocimiento en 19 áreas preseleccionadas – Parte de la cuenca del Río Limay” (Irisarri et al, 1987); “Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén” (Ferrer et al, 1990)

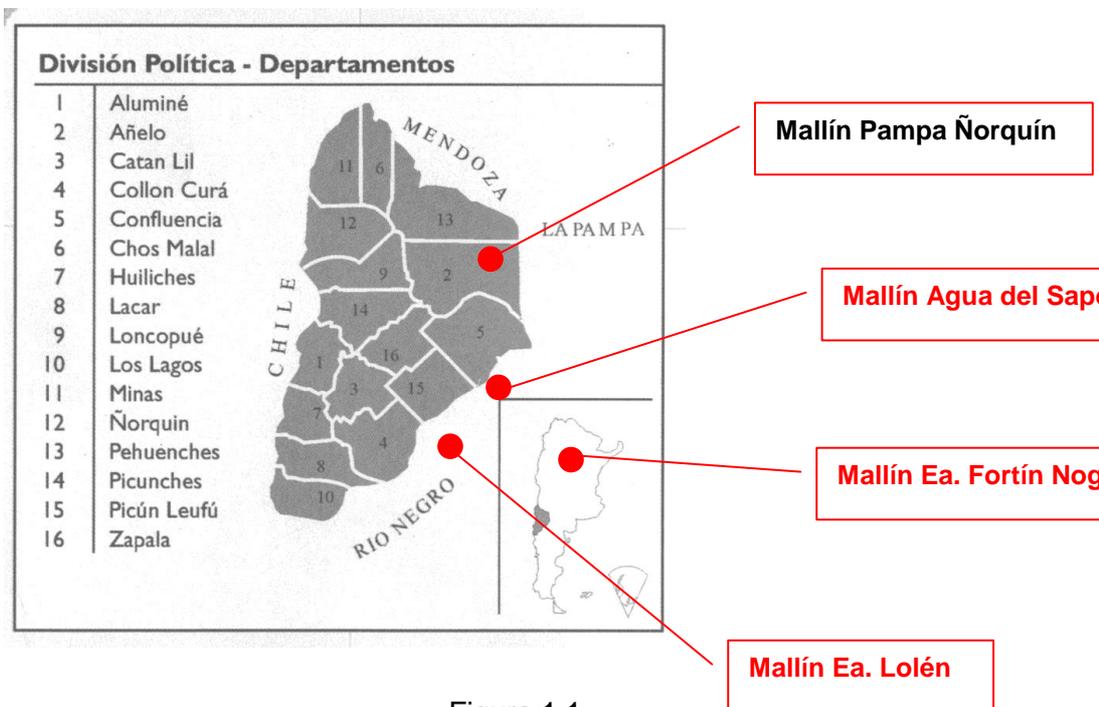


Figura 1.1

Metodológicamente el estudio contó con una instancia preliminar, fundamental, de recopilación de antecedentes teóricos y de estudios de aplicación. El momento de trabajo en terreno, tuvo como fin lograr el registro sistemático de información de base en sus aspectos hidrológicos, edafológicos, sociológicos y climáticos entre otros. Luego, el procesamiento y tratamiento de los mismos mediante modelos matemáticos adecuados permitieron describir y explicar la

dinámica hidrológica de los mallines, punto de partida para generar las diferentes alternativas de estudio y de manejo.

En el presente estudio participaron propietarios y usuarios de los mallines, quienes además ceder su espacio brindando la posibilidad de realizar todos los relevamientos que requería la implementación del presente, colaboraron en el control del instrumental instalado, en los datos sobre el estado, uso y manejo, así como en el relato de los procesos ocupacionales que se sucedieron en su territorio. A ellos el principal agradecimiento de todo el equipo de trabajo.

## **1.2. Objetivos del Proyecto**

### **General**

Determinar la dinámica hidrológica a fin de contribuir al manejo sustentable de mallines.

### **Específicos**

1.- Identificar los procesos relacionados con la dinámica del agua en el mallín, para conceptualizarlos y modelarlos matemáticamente.

2.- Conocer los efectos de estos procesos en la preservación del equilibrio del ambiente sometido a usos productivos por diferentes grupos sociales/económicos.

3.- Formular tecnologías de manejo orientados al uso productivo.

Para alcanzar estos objetivos se requiere del conocimiento de los múltiples factores que intervienen en la productividad y degradación. Se ha puesto especial énfasis en el análisis de los

procesos físicos que intervienen en la dinámica del agua, tanto a nivel hidrológico regional como dentro del perfil del suelo.

### 1.3. Estructura del Informe

El **primer capítulo** introductorio, presenta el enfoque y concepción que el equipo de investigación tiene de los mallines patagónicos remarcando el aspecto de funcionamiento hidrológico pues es tomado como eje para explicar e investigar el comportamiento del mallín en todos los otros aspectos abordados.

El **capítulo II** está dedicado a la revisión de antecedentes de estudios relacionados con los mallines en diversos aspectos, predominando los que han sido enfocados al desarrollo productivo y degradación. Son básicamente descriptivos, inventariales y tendiente a la tipificación estática del mallín.

En el **capítulo III** se presentan los fundamentos teóricos usados para el análisis de la dinámica de los mallines. Dado que esta es abordada desde varias áreas disciplinarias como hidrogeología, edafología, física de suelo, sociología, etc, se dan las bases teóricas de los métodos y técnicas utilizados en cada caso para explicar el funcionamiento y control propuesto para el aprovechamiento sustentable de los mallines.

El **capítulo IV** comprende la aplicación de los elementos teóricos a uno de los mallines estudiados, tendiendo a ensamblar una estructura metodológica que podrá ser de uso práctico en el estudio y control productivo de los mallines.

En el **capítulo V** se enumeran las principales conclusiones de la investigación y se hacen recomendaciones para futuros estudios.

Se incluye una lista de **bibliografía citada** y consultada en el desarrollo del proyecto.

En los **anexos** se ha volcado información y tratamientos que no son centrales para el entendimiento del trabajo y despejan la lectura del mismo.

#### **1.4. Síntesis de Mallines**

*Los mallines son un ecosistema húmedo de regiones áridas. Se desarrollan naturalmente en zonas donde existe agua disponible durante períodos mas o menos prolongados. que permite el desarrollo de vegetación. La característica común a todos es la saturación con agua del perfil del suelo o una parte de él.*

Los mallines en Patagonia ocupan diversos ambientes y amplia distribución geográfica. Proveen forrajes de alta calidad y en cantidades que oscila alrededor del 50% del total producido. Sin embargo ocupan entre el 4 al 8 % del área. Esto lleva por un lado a visualizarlo como áreas intensivas donde es posible buenos réditos como resultante de inversiones productivas, hecho que contrasta con el resto de la meseta patagónica.

Los mallines o humedales se distribuyen en la totalidad del territorio provincial bajo una amplia variedad de geoformas: laderas o pendientes, rivera de ríos, arroyos y lagos, o en posiciones topográficas deprimidas o planas, siendo éstos los mas conspicuos e importantes.

El potencial productivo de los mallines está afectado por la escasez del agua en los periodos de mayor demanda, salinización, degradación debido a mal manejo, sobrepastoreo y erosión hídrica. 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 y pertenecientes o no, a la misma cuenca. No proviene de la misma cuenca cuando se trata de aportes de acuíferos confinados cuya

recarga puede provenir de áreas muy distantes, como es el caso de Patagonia con recarga en cordillera y precordillera.

En su formación estratigráfica presentan, a profundidad variable, un estrato de baja permeabilidad relativa que actúa funcionalmente como hidroapoyo, sobre el cual se conforma el acuífero o medio saturado generalmente con características freáticas o semiconfinadas. Los depósitos que sobreyacen al hidroapoyo pueden ser de diversos materiales de acuerdo a los procesos geomorfológicos que le dieron origen: marino, glacial, aluvial, volcánico, eólico, etc. Los depósitos más recientes dan origen al suelo que soporta un ecosistema más rico que la estepa circundante, confiriéndole un ambiente de oasis. La diversidad de procesos geomorfológicos actuantes han conferido gran heterogeneidad en la constitución fisiográfica, hidrogeológica y edafológica lo que trasciende en las comunidades vegetales que soportan, observación que hizo Boelcke en 1957.

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 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 mátrica 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 (Horne, 1998). Los suelos orgánicos y volcánicos tienen grandes ventajas comparativas en relación al flujo ascensional como pudo evidenciarse en simulaciones matemáticas realizadas.

Se puede explicar así la diferencia de humedad en el suelo que se observa en la zona céntrica del mallín con napa más somera respecto de la zona periférica donde la napa está más alejada de la superficie. Asimismo, se entiende el déficit hídrico de primavera-verano de muchos mallines dado por la imposibilidad de satisfacer en forma total la demanda evapotranspiratoria de ese período. Esto se puede deber tanto a la excesiva profundidad de la napa como a las características físicas del suelo.

Asociado al flujo de agua ascendente se transportan sales a la superficie y a los horizontes de exploración radicular. Estas pueden ser redistribuidas nuevamente en el perfil cuando son lavadas con la recarga superficial tanto por lluvias como por el escurrimiento superficial proveniente de las áreas circundantes. La concentración de sales es dinámica y se debe al material originario, al agua y a los términos del balance salino entre entradas y salidas al mallín. Son relevantes en este proceso la lámina de precipitación anual, el drenaje natural hacia el cauce central y el escurrimiento superficial tanto por los volúmenes que aporta a la infiltración como por su tenor salino.

La capacidad de almacenamiento de los mallines en su formación acuífera es limitado. Su porosidad efectiva es tal que en un metro de altura freática se almacena la lámina evapotranspiratoria de 5-10 días del mes de diciembre o enero. Esto marca la importancia de una recarga permanente que provea la humedad necesaria durante el verano.

El régimen de precipitación de la Patagonia presenta una concentración invernal. Como lo afirma Paruelo et al (1996) en el período otoño-invierno-primavera se produce el 89% de las precipitaciones. Por otro lado, la fusión de nieve acumulada durante este período comienza con la primavera y se extiende hasta noviembre-diciembre. En este período desde otoño hasta comienzo del verano la recarga está mayormente garantizada, a veces en exceso lo cual eleva la napa en los mallines, aumentando la zona central anegada. A partir del comienzo del verano, el régimen de recarga está condicionado por el tipo de cuenca.

Las características fisiográficas de la cuenca pasan a tener un papel fundamental en el régimen del escurrimiento. La composición del mismo, en cuanto al aporte relativo de los flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos determinará el hidrograma estival. Las cuencas con aportes subterráneos importantes, por ejemplo las constituidas por mesetas basálticas, tendrán regímenes más permanentes a lo largo del año que aquellas cuyo componente principal del flujo es superficial. La relación entre superficies de basalto y de mallín es estudiada por Mazzoni (1984). El aporte subterráneo puede presentarse en las laderas como "ojos de aguas" o "lloraderos" permanentes ó no visibles por estar bajo del material sedimentario que rellena el mallín.

Cuando el agua proviene de acuíferos confinados recargados regionalmente, la variabilidad anual del mismo es aún mucho menor, generando las condiciones para conformar los mejores mallines desde el punto de vista productivo.

El conocimiento de todos estos procesos y la identificación y cuantificación de las componentes de flujos de agua y sales permitirá acercarnos a la conservación, el manejo productivo y la recuperación de mallines. El manejo del agua propuesto es una tecnología adecuada al funcionamiento de los mallines y por consiguiente contribuye a la producción +4sustentable en estos ecosistemas patagónicos.

## **CAPITULO 2**

### **Revisión comentada de antecedentes**

Numerosos trabajos han sido realizados en los últimos 50 años sobre diferentes aspectos de los mallines. Lanciotti (1993) hace una recopilación bibliográfica muy útil de 90 trabajos hechos hasta 1993 sobre suelos, vegetación y pastizales, fauna silvestre y manejo nutricional de animales domésticos y silvestres. Estos trabajos han sido una contribución muy importante al conocimiento de los mallines. Una parte de los mismos procura la tipificación de mallines aunque no existe un producto final unificado. Los concernientes al área de suelos, son propuestas basadas principalmente en aspectos descriptivos estructurales de la geología, geomorfología, edafología, fertilidad y productividad. Existen pocos que intenten explicar el funcionamiento y la mayoría de los trabajos son descriptivos.

#### **2.1. Fertilidad**

El aspecto fertilidad es uno de los primeros que se han estudiado. Un informe sobre los factores edáficos limitantes de la producción hecho por Monteith (1970), constituye un diagnóstico en los que, según Lanciotti (1993) se basan muchos estudios posteriores.

Diversos estudios de suelos regionales (Laya, 1969, 1970, 1979) Marcolin (1972, 1973), donde se incluyen áreas de mallines contribuyen al conocimiento de la relación geomorfología-suelos y de las limitaciones físicas y químicas de los mismos a la producción. Asimismo una serie de trabajos edafológicos como Marcolin (1973, 1975), Lanciotti, (1980), Monteith, (1969) junto a los anteriores han servido de apoyo a estudios para identificar

deficiencias de nutrientes en general; o más específicos como Valerini (1970), quien ensaya fertilizaciones con fósforo y azufre. Lanciotti (1983) estudia la mineralización del nitrógeno sujeto a diferentes grados de salinidad, dado por mallines del este y oeste de Río Negro. Ortíz (1982) hace una revisión de trabajos sobre fertilidad en mallines de precordillera, donde analiza tres escalas de trabajo empleadas comúnmente en estos ensayos: laboratorio, invernáculo y campo.

## **2.2. Suelos**

Como se mencionó más arriba existe un gran número de estudios de suelos de mallines para diferentes localidades. En general, todos coinciden en caracterizarlos como hidromórficos por su relación a la dinámica que le confiere al perfil la napa freática y las recargas que recibe por su posición en la cuenca.

La secuencia de procesos geomorfológicos que los originaron dan lugar a la configuración física de horizontes, a veces con discontinuidades litológicas debido a su bajo desarrollo pedogenético.

Luque (1997) entre otros, los clasificó en suelos de mallines minerales y orgánicos.

a) Los minerales caracterizables por su textura arenoso-franco limosa y arcilloso franco con alto nivel de sodio intercambiable, con tendencia a la salinización y sodificación, con pH alcalinos y bajo contenido de materia orgánica. Las propiedades tanto física como químicas de su conformación hace prevalecer su tendencia a la salinización y/o sodificación en caso de suelos mineralizados propio de los mallines de sierras y mesetas.

Los mallines costeros tienen características estructurales similares pero sujetos a un alto grado de salinización dado por el material que lo constituye como por la salinidad del agua que lo recarga.

b) Los mallines orgánicos, con contenido de materia orgánica importante (10-20%) pueden conformar suelos turbosos con la materia orgánica en diferentes estadios de descomposición. Estos mallines caracterizados como “dulces” se ubican preferentemente en ambientes ácuicos de cordillera y precordillera. Por su contenido en materia orgánica y el régimen hídrico al que están expuestos son menos propensos a la degradación. Sin embargo, en el caso de mallines turbosos, van Barneveld (1998) señala la degradación irreversible por secado, cuando por alguna razón dejan de recibir humedad producto de un manejo inadecuado.

Tanto en los mallines con suelo mineral u orgánico el papel de la freática y su fluctuación -en nivel- aparece como determinante en la degradación de los mismos. Todo manejo que provoque una profundización de la misma contribuiría, en general, a la degradación del mallín.

Nakamatsu (1998) observa que en zonas áridas la posición del mallín en la cuenca está relacionada con el grado de salinidad/sodicidad, aumentando desde aguas arribas hacia aguas abajo. Se podría hipotetizar un flujo neto de sales hacia la baja cuenca, junto con el flujo de escurrimiento, tanto superficial como subterráneo a través del acuífero freático.

Se podría decir que la principal fuente de variación del suelo de un mallín típico está dada por su interacción con la napa freática, más que por sus características pedogenéticas y morfológicas.

### **2.3. Geomorfología**

La estrecha relación entre las características del mallín y los procesos hidrológicos pone también en relevancia la importancia de la geomorfología como proceso formador de la cuenca.

Las características fisiográficas o función hidrológica del mallín, está fuertemente influenciado por la estructura geomorfológica. Algunos de los ambientes geomorfológicos han sido estudiados en su

relación con los mallines que contienen, pero indudablemente es un aspecto cuya investigación debe profundizarse a todos los ambientes de la Patagonia.

*a.- Ambiente glacio-fluvial*

Propio de cordillera y precordillera conforman valles con perfiles en forma de “U” con depósitos glaciales.

La alternancia de materiales finos y gruesos propio de estos procesos, y la presencia de till da características propias a la hidrogeología de estos mallines. La recarga superficial directa y lateral proveniente de la formación montañosa adedaña, constituyen la principal fuente de aprovisionamiento. La estratificación de sus depósitos, da lugar a confinamientos y/o semiconfinamientos de los acuíferos conformados. El piso rocoso constituye generalmente una base impermeable o hidroapoyo.

Estos confinamientos y la localización lateral de la recarga, provoca una dinámica estacional en el movimiento de los flujos en los acuíferos saturados. Así, es posible que prevalezca una componente vertical descendente del flujo en primavera con los aportes de la fusión de nieve, mientras que este sentido se revierte en verano con el confinamiento de los estratos inferiores, como se ha podido observar en la Vega Maipú en San Martín de los Andes durante 1987.

El agua en estos mallines es de excelente calidad, con muy bajo contenido de sales. El alto contenido orgánico sujeto a estados de saturación ha originado suelos turbosos en muchos mallines cordilleranos y sobre todo fueguinos (Luque, 1997).

Los mallines ubicados en precordillera generalmente están sujetos a anegamiento en primavera y déficit hídrico en verano. El manejo del agua en estos casos deberá resultar de un reconocimiento de la dinámica hídrica a efectos de diseñar obras o controles de mínimo impacto ya sea para drenar más rápidamente el anegamiento superficial, como para procurar un acortamiento del período de déficit

de humedad haciendo uso de potenciales almacenantes en los estratos confinados/semiconfinados.

*b.- Geomorfología basáltica*

Las formaciones basálticas en mesetas horizontales conforman superficies de captación de precipitaciones con una alta capacidad de infiltración debido a la permeabilidad que le confiere su porosidad y diaclasamiento (Mazzoni, 1984).

La existencia de horizontes infrayacentes relativamente impermeables conforma el hidroapoyo o base del acuífero. El agua fluye subterráneamente siguiendo el gradiente de potenciales hidráulicos, drenando hacia las laderas de las mesetas constituyéndose en fuente de recarga y condición formadora de mallines.

La evolución del paisaje de basalto originado en extensas coladas de lava fue producto de procesos de seccionamiento por formación de cauces y posteriores procesos recurrentes de desmoronamiento, deslizamiento de detritos, caída de detritos, deslizamiento de rocas y alud de rocas (Sharpe, 1938 citado en Mazzoni , 1984, pp 31).

Las geoformas resultantes han sido descriptas por Speck et al. (1982) para la zona de Jacobacci-Maquinchao.

La concentración del agua de lluvia en áreas reducidas, es captada en inmensas superficies basálticas y escurre a través de acuíferos cuyos almacenamientos modifican -aplanan- el hidrograma estacional y así suplen la demanda evapotranspiratoria de mallines en un período importante del año.

Mazzoni (1984) analizando 2 áreas de Neuquén, estima una relación areal de basalto a mallín, de aproximadamente 30 veces. Si suponemos una precipitación de 150 mm anuales y una evapotranspiración de 1.500 mm/año se podría inferir que el 30% del agua captada en basalto, confluye a áreas de mallines.

## **2.4. Hidrología**

En un trabajo realizado por Marcolín en 1978, en un área del sudoeste de Río Negro, se explica la variabilidad estacional de la profundidad de la freática en el mallín, mediante freatómetros colocados y medidos durante dos años. Lamentablemente este trabajo no muestra la ubicación de los freatómetros, ni las lecturas obtenidas, por lo que no pueden hacerse más inferencias ni análisis que los realizados por los autores.

La relación entre la humedad disponible en el suelo y la condición del pastizal, fue analizado por Cremona et al. (1995) para mallines en diferente condición (buena, regular y mala), en áreas de Sierras y Mesetas cercanas a Pilcaniyeu. Se midieron valores de humedad en el suelo a distintas profundidades y se la relacionó con la profundidad de la napa y el estado del mallín. Se concluye que “no se encontró relación entre la condición del pastizal y la disponibilidad hídrica”, aunque sugieren que otros parámetros edáficos sean indicadores del deterioro.

Aspectos descriptivos del origen de la recarga son presentados por Fiorio (1997) y Luque (1997).

Las inferencias de los trabajos realizados en el aspecto hidrológico de los mallines son preliminares. Sin embargo, evidencian la importancia de avanzar con las investigaciones que lleven a una identificación clara de los procesos hidrológicos intervinientes, sus relaciones y forma de cuantificarlas.

## **2.5. Vegetación**

No es el propósito aquí hacer una descripción de los ecosistemas vegetales en mallines pues existe cuantiosa información con distinto nivel de detalle. Además sería complejo abarcar la diversidad propia de los ambientes en mallines a lo largo y ancho de

Patagonia sujetos a condiciones climáticas diversos y a disponibilidad hídrica distintiva.

La literatura disponible establece en general patrones característicos que se relacionan con la zonificación interna del mallín en tres áreas distintivas por su composición florística (Marcolín 1978, Bonvissuto 1997, Luque 1995, Lanciotti 1993 y otros).

Éstas zonas obedecen a distintos grados de humedad disponible en el suelo siguiendo un gradiente decreciente desde el centro hacia la periferia del mallín. Las variaciones en las características del suelo según este gradiente son menos relevantes. El contenido de humedad explica en gran medida la zonificación florística del mallín.

Las especies características de cada zona han sido descriptos para variados ambientes, siendo relevante el trabajo de Bonvissuto y Somlo (1997) para precordillera, sierras y mesetas. La relación entre vegetación y napa freática parece determinante en la variación florística espacial del mallín y de su productividad.

Tanto la palatabilidad de las especies como la productividad en materia seca para estas tres áreas del mismo mallín, son significativamente diferenciables.

En la zona central prevalece el nivel freático prácticamente en superficie una gran parte del año debido al control que ejerce el arroyo central sobre el nivel freático. El suelo así se encuentra saturado en toda su superficie, prevaleciendo condiciones de anaerobiosis relativa. Las especies dominantes según Bonvissuto y Somlo son: *Juncus balticus*, *Carex* spp., *Eleocharis albibracteata*, *Poa pratensis*, *Hordeum halophyllum*, *H. pubiflorum*, *Holcus lanatus*, *Deschampsia caespitosa*, *Trifolium repens*, *Potentilla anserina*, *Taraxacum* sp., *Rumex* spp., *Cardus* sp.

La situación en la zona periférica del mallín es en cierto sentido opuesto a la del centro. El nivel de humedad disponible es menor por estar más profunda la napa. El flujo capilar ascendente es bajo, lo que sólo permite soportar un ecosistema con evapotranspiración real baja.

Las especies predominantes son: *Festuca pallescens*, *Poa* sp., *Juncus balticus*, *Carex gayana*, *Holcus lanatus*, *Bromus setifolius*, *Eleocharis albibracteata*, *Rytidosperma* sp., *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*, *Rumex acetosella*, *Cerastium arvense*, *Relbunium richardianum*, *Viola* sp., *Calceolaria* sp., *Acaena* sp., *Erodium cicutarium*, *Azorella trifurcata*.

En el área intermedia existen las mejores condiciones de humedad y aireación, lo cual se evidencia en la productividad y la calidad de las especies.

Esta caracterización de las comunidades vegetales es relativa y variable de un tipo de mallín a otro. Sin embargo el relevamiento para distintas áreas ecológicas ha sido de gran utilidad para cartografiar mediante imágenes satelitarias las condiciones de productividad de mayores áreas.

El equilibrio de estas tres zonas es dinámico, al menos por su dependencia de la recarga hídrica. Toda desviación de la condición histórica -por causas naturales o antrópicas- tiene inmediatas consecuencias en el régimen de humedad edáfica con efectos inmediatos en la vegetación, pues está es muy susceptible -mucho más que la vegetación de meseta- al estrés hídrico.

## **2.6. Aspectos Sociales relacionados al mallín**

En la zona bajo estudio, la actividad ganadera se realiza utilizando el recurso natural, mallín para estos casos. El uso y manejo pueden conducir o no al deterioro del recurso. Vazquez (1992) concluye que el sobrepastoreo del ganado “doméstico” esta relacionado con la manera poco cuidadosa en que se conduce el pastoreo, sin brindar la posibilidad a las pasturas que se recuperen. Morello (1983) considera que la ganadería extensiva utiliza el sobrepastoreo que lleva a la degradación de los recursos naturales vistos como medios de producción. Se habla de actividad destructiva

del ganado, que además deja los suelos desprotegidos y expuestos a las acciones mecánicas.

En los estudios técnicos realizados, surge la afirmación que es en las tierras publicas donde se produce la mayor degradación y erosión, no en las privadas entendidas como las estancias ganaderas. En las publicas no se ven siquiera indicios de tecnificación (alambrados, aguadas, etc.), (Abadie, 1981). Fiorio (1975) también toma como causa de esta situación el régimen de tenencia de tierra, el cual agudiza el impacto de la pobreza rural. Fiorentino (1986) señala que el pastoreo es una conducta irracional que obedece a la necesidad de maximizar ingresos en el corto plazo.

Vazquez (1992) en las conclusiones de su trabajo de maestría, afirma que la existencia de procesos graves de degradación están asociados al nivel de percepción que el productor tiene del problema, señalando “un grupo mayoritario exhibe dificultad par percibir al sobrepastoreo como causa principal de dicho deterioro, opinan que es el clima la causa determinante de la disminución del recurso”. Nombra esto como “dificultad por percibir el problema del sobrepastoreo”, señalando que “el bajo nivel de instrucción es una barrera importante para comprender en forma sistémica la complejidad de las relaciones hombre medio ambiente.

Son muchos los autores que sustentan este tipo de análisis que reduce la explicación sobre el estado de recursos naturales a la relación sector pobre rural = degradación ambiental, sin profundizar en otras variables económicas, sociales, históricas, culturales que permiten entender la situación ambiental como fenómeno complejo. Es el propio Vazquez (1992) quien concluye “... un grupo minoritario tiene una mejor percepción de los procesos de deterioro del recurso... Se diferencian de los anteriores pro circunstancias socioeconómicas y culturales...”, entre las cuales define que poseen un nivel de instrucción más elevado que les comprender aspectos de la relación hombre naturaleza.

Para contrarrestar estos efectos negativos sobre el ambiente, se proponen desde diferentes ámbitos técnicos y políticos, importantes campañas de capacitación y concienciación, proyectos de desarrollo y proyectos de extensión. Desde los ámbitos considerados más progresistas –las universidades- surgen este tipo de acciones, con su juicio implícito.

Sin embargo, la diferencia entre ambos sistemas no es sólo desde una racionalidad económica, sino histórica y cultural, que los determina como grupos sociales definidos. No se trata de dos modos de producción diferentes, se trata de dos cosmovisiones diferentes.

Los procesos que modifican el paisaje y actúan sobre los recursos naturales, son estudiados también desde marcos científicos diferentes: desde la agricultura se fortalecen los conceptos de erosión como pérdida de capacidad productiva; desde la geología se asumen como cambios del paisaje “en tiempos reales”, desde la sociología como la interacción sociedad-naturaleza. Si una cárcava obedece a un proceso geológico de formación de nuevos paisajes, como se conformaron los valles glaciares, por que detenerlo. Si el suelo resulta el soporte productivo para la sociedad que lo habita y otras que no lo tienen, porque no lograr su máxima productividad. Si la visión sobre la naturaleza depende de cada pueblo, porque accionar contra las pautas culturales propias.

Tantas perspectivas de análisis como marcos referenciales y teorías sociales se presentes. Pero el problema no es esta multiplicidad de perspectivas, el problema se presenta cuando se las considera excluyentes, como las consideran usualmente los grupos científicos o técnicos que las sostienen o aplican

## **2.7. Relaciones entre la producción y zona del mallín**

El tratamiento de la vegetación en mallines ha sido uno de los

aspectos más desarrollados por el INTA, por lo cual en el presente informe se hace mayormente referencia a estos trabajos.

Desafortunadamente son pocos los que relacionan vegetación y productividad con niveles freáticos (Lanciotti y Cremona) explícitamente. En estos se ignora el concepto de flujo capilar como proveedor de humedad. En general la caracterización productiva del mallín que hacen se basa en un esquema de zonificación que si bien obedece por cierto a la profundidad freática, no se explicita como causa principal de soporte del ecosistema. La Tabla 2.1 presenta esta zonificación donde se categoriza el mallín en periférico, intermedio y central. La Tabla 2.2 describe la composición florística típica en mallines precordilleranos y de sierras y mesetas.

Zona	Ubicación	Dinámica del agua	Déficit hídrico	Vegetación
Periférica	Zona de contacto entre el mallín y la estepa	Hay percolación profunda en los meses septiembre y octubre, mayor evapotranspiración en noviembre y diciembre. Recarga a partir de abril-mayo	Hay déficit hídrico de enero a abril.	Festuca pallezensis Stipa spp.
Intermedia	Zona que se ubica entre la periferia y la central	agua disponible en el verano y no alcanza a saturación en primavera temprana	<b>no</b> presenta déficit hídrico en ningún momento del año	Poa pratensis Trifolium repens Taraxacum officinale
Central	La más húmeda e inundable con características inundables	con drenaje impedido porque la napa freática se mantiene en superficie.	está saturado casi todo el año	Juncus balticus Carex subantarctica Carex gayana Holcus lanatus

*Tabla 2.1*

En general los mallines de Sierras y Mesetas con referencia a los de Precordillera, tienen patrones similares pero con déficit hídrico más prolongados, la recarga se atrasa en un mes o más, saturándose la zona de cauce en el verano.

COMPOSICIÓN FLORÍSTICA APROXIMADA (%)	MALLÍN DE SIERRAS Y MESETAS			MALLÍN DE PRECORDILERA
	Periférico	Central	Central (variante muy húmeda)	Mallín Central de precordillera. Condición buena:
<b>GRAMINOIDES</b>		<b>40-60</b>	<b>60-90</b>	<b>60-80</b>
Carex spp	5-13	5-15 (Carex gayana)	2-5 (Carex gayana)	10-20
Juncus balticus	3-6	30-50	50-80	50-70
Puccinellia pusilla	0-5	No	No	
Eliocaris albibracteata	No	1-5	2-5	0-5
Eliocaris macrostachia	No	No	2-7	
<b>GRAMÍNEAS</b>		<b>30-50</b>	<b>10-30</b>	<b>20-40</b>
Festuca pallescens	<b>40-70</b>	No	No	
Agrostis pyrogea	6-11	No	No	
Hordeum spp	0-3	Si		
Poa pratensis, Horeum halophyllum, H. Pubiflorum, Holcus lanatus	No	30-50	10-30 (incluye Alopecurus spp)	20-30 (sin Holcus lanatus)
Deschampsia cespitosa	No	No	0-5	10-20
				0-2
<b>HIERBAS</b>	<b>10-20</b>	<b>0-3</b>	<b>2-5</b>	<b>5-10</b>
Taraxacum officinalis Trifolium repens		0-3	2-5	5-10 (sin Taraxacum officinalis)
Otras				0-5
<b>SUBARBUSTOS</b>		<b>0</b>		
<b>Cobertura aérea del suelo %</b>	<b>95-100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>PRODUCCIÓN ANUAL (Kg. ms/ha)</b>	<b>1300-2500</b>	<b>6000-8000</b>	<b>10000</b>	<b>6000-10000</b>

Tabla 2.2

## **2.8. Productividad**

La bibliografía consultada menciona en general una producción variable de 20 a 30 veces superior en el mallín que en la meseta circundante. Esta impresión condice con las estimaciones precisas realizadas por Bonvissuto y Somlo (1997) realizadas en 18 sitios seleccionados.

La mayoría de las especies de los mallines son perennes e hidrófilas. Ellas se desarrollan y multiplican en forma agámica como graminoideas, gramíneas, leguminosas herbáceas y otras hierbas latifoliadas. Constituyen aproximadamente el 80% de la cobertura vegetal). Este crecimiento clonal a partir de rizomas y estolones en ambientes donde el pastoreo es severo, aventaja relativamente por su rápida propagación vegetativa y por su agresividad para colonizar sitios, usar del agua y nutrientes.

Por otro lado, aquellas que tienen propagación por semilla, cuyo banco varía estacionalmente, de tamaño pequeño, localizadas superficialmente y de corto tiempo de germinación, condicionan fuertemente su establecimiento definitivo. Esto provoca grandes desventajas competitivas con respecto a las enunciadas en el párrafo anterior.

La variabilidad de la productividad es muy grande, desde 200 a 10000 Kg. MS/ ha año, dependiendo del tipo de mallín y ubicación dentro del mismo (Tabla 2.3). A su vez la calidad de las distintas especies para el pastoreo, otorga una variabilidad adicional a su uso con fines ganaderos. La categorización buena, regular y pobre deviene de uno o varios factores que eventualmente afectan la fertilidad como, humedad disponible, sobrepastoreo, tenor salino, composición florística, etc. Desafortunadamente estas categorías son cualitativas y responden a consecuencias en la vegetación, imposibilitando discernir causas.

Área ecológica	Tipo de campo	Condición	Producción forrajes Kg. MS/ha año
Precordillera	estepa gramínea de coirón blanco de altura	buena regular pobre	1600 - 1800 600 - 1000 250 - 500
	estepa gramínea de coirón amargo	buena regular pobre	800 - 1100 400 - 500 200 - 300
	pradera subhúmeda de coirón blanco (mallín periférico)	buena regular pobre	700 - 2200 500 - 1600 400 - 1500
	mallín central	buena regular pobre	6000 - 10000 4000 - 6000 2000 - 3000
Sierras y mesetas	coirón poa en suelos de textura contrastante	buena regular pobre	400 - 500 300 - 400 200 - 300
	pasto hebra en bajos arenosos	buena regular pobre	150 - 300 50 - 100 menos de 50
	pradera subhúmeda de coirón blanco (mallín periférico)	buena regular pobre	1300 - 2500 700 - 1300 500 - 700
	mallín central	buena regular pobre	6000 - 10000 3000 - 5000 1000 - 2500

*Tabla 2.3. Fuente: Bombisuto G, Somlo, R. ( 1997)*

La productividad señalada refleja el efecto de condiciones limitantes. La experiencia adquirida durante este proyecto como la expuesta en trabajos y oralmente por productores indican al déficit hídrico como la principal causa limitante de la producción.

Es esperable así que un mallín de sierras y mesetas pueda llevarse desde una productividad de 700 a 10000 kg/ha año si se revierte su déficit hídrico.

## 2.9. Tipificación

Diversas propuestas han sido presentadas para caracterizar los mallines patagónicos. Cada uno de ellos ha sido producto de algún criterio que su autor consideró relevante. Por ejemplo entre otros se han presentado los siguientes:

<b>criterio dominante</b>	<b>tipos</b>	<b>autor</b>
fisiográfico	llanura aluvial fluvioglacial valles pequeños de ladera vegas de altura	Clara Movia (1978)
ambiente geográfico	cordillera precordillera sierras y mesetas costa estepa magallánica	varios
calidad	Dulces salinos / alcalinos	varios
suelo	Minerales Orgánicos	varios
topográfico	de pendiente de depresión	Iriondo (1974)
forma	Compactos alargados anastomosados dendríticos	varios
geología	de basalto de rocas masivas	varios
vegetación	praderas con juncus estepas con festuca estepa con distichlis	varios

*Tabla 2.4*

Luque (1997) clasifica los mallines desde el punto de vista hidrológico de acuerdo al origen del agua de alimentación (superficial,

subálveo y vertientes) y al período de humedecimiento (extendido y corto).

Cada uno de estos tipos tiene asociado ambientes geomorfológicos, suelos y vegetación características.

En general se observa que la caracterización es de carácter estructural pues los atributos índices tipifican estados de la estructura vegetal, edáfico, geomorfológico, etc. La intersección de características tienden a definir un gran número de posibles tipos o entidades de mallín. Hasta el momento esta tipificación ha servido para acordar entre investigadores la identificación de casos estudiados. Sin embargo, se considera necesario aplicar una tipificación basada en el funcionamiento más que en la estructura.

Los procesos hidrológicos que tienen lugar en los mallines, además de ser comunes a todos ellos, explican en gran parte el funcionamiento y evolución del mallín. Estos procesos deben ser descriptos y cuantificados en función de parámetros relevantes.

Tentativamente se pueden identificar dinámicas agregadas que comprenden a su vez procesos que interactúan conformando un sistema de flujos y almacenamientos:

- dinámica hidrológica superficial: infiltración, escorrentía, escurrimiento
- dinámica hidrología subterránea: dinámica freática, dinámica de la recarga
- flujo en el perfil del suelo: Distribución de la humedad en función de la tensión, distribución de sales, dinámica evapotranspirativa

La parametrización física de la dinámica del agua y solutos permitirá reproducir y explicar el comportamiento de los mallines sujetos a determinadas condiciones de borde.

A partir de la tipificación que surja de aplicar este criterio se podrán identificar problemáticas en común y técnicas de manejo que las solucionen.

Una visión clara de los enfoques posibles de estos estudios, qué contienen y para qué sirven, la aporta C. Movia en un seminario sobre Desertificación realizado en la Universidad Nacional del Comahue en 1984.

*“Los estudios sobre desertificación pueden dividirse en estáticos y dinámicos. Los primeros son descriptivos: inventarios y relevamientos actuales y pueden contar con una estimación de la gravedad de los procesos erosivos (del daño) a través de algún tipo de escala cuali-cuantitativa. Los resultados se expresan cartográficamente y pueden contener pautas sobre tendencias en la vegetación o en la erosión.*

*Los segundos analizan el funcionamiento del sistema como un todo o en sus partes constitutivas (vegetación, suelo, erosión, meso y microclima, etc.) y generalmente no permiten realizar cartografía. Son potenciales.*

*En los relevamientos estáticos se describen, localizan, miden, clasifican, agrupan y cartografían unidades homogéneas según sean los objetivos y escala elegida. Su principal función y utilidad -que condiciona el tiempo de realización, el costo y la precisión- es la de proveer un ‘punto cero’ del estado del sistema a partir del cual se pueden tomar decisiones ejecutivas respecto a prioridades, ensayos, controles, subsidios, estudios dinámicos, etc.*

*La dinámica de la erosión, las etapas sucesionales de la vegetación, los estudios de ecofisiología, los ensayos de manejo y control o recuperación del sistema, son partes integrantes de los estudios dinámicos”. Movia, 1984*

## **2.10. Manejo actual**

Los mallines constituyen el principal recurso productivo de la Patagonia árida excluyendo los valles irrigados.

El mallín como unidad ganadera ha tenido lamentablemente un manejo indiferenciado respecto a la meseta. Según Roux y Du Pisani (1998) este ha sido uno de los mayores factores de desertización en Patagonia. La contrastante capacidad de carga animal entre mallín-meseta no siempre se ha aplicado al manejo del rodeo generando una gran presión de sobrepastoreo en la meseta. Por otro lado es notable la degradación de mallines por sobrecarga animal cuando estos pasan a ser la última reserva de pasto de las unidades productivas. Sin embargo, el mallín es el recurso ganadero privilegiado en los campos de Patagonia por lo cual su manejo pasa a tener un valor estratégico.

Si se tiene que describir el manejo actual que se realiza de los mallines, se podrían definir dos líneas:

- 1) Las que procuran hacer uso de las condiciones naturales ofertadas por el mallín
- 2) Aquellas que intentan controlar algún aspecto o proceso con el fin de incrementar su productividad.

La primera incluye esquemas que van desde la ausencia total de manejo del rodeo que se deja libre al pastoreo, hasta aquellos que sectorizan el mallín y planifican un pastoreo rotativo.

Numerosos trabajos que describen ensayos de pastoreo rotativos (primeros trabajos Producción, Nutrición y utilización de pastizales, 1995) son concluyentes respecto de las ventajas del mismo desde el punto de vista productivo y de preservación del mallín.

El criterio de uso debería estar basado en la medida de receptividad animal. Una evaluación de la condición del pastizal como función del espacio y tiempo, puede ser la base de un plan de manejo ganadero sustentable. Desafortunadamente, por motivos de orden operativo, técnicos, socio-económico y cultural, no se procede con este criterio, aunque indudablemente se avanza en este sentido.

La “Guía de condición para mallines de Precordillera, Sierras y Mesetas” de Bonvissuto y Somlo (1997), es una valiosa contribución

en este aspecto. Caracteriza una variedad de mallines por su composición florística, estructura y producción de forraje, acompañando con fotografías de su aspecto en el paisaje. Su utilidad es la aplicación práctica inmediata en el manejo pastoral como también la identificación de firmas espectrales para el mapeo de grandes áreas mediante imágenes satelitales.

La segunda línea de manejo está enfocada a aumentar la productividad del mallín a partir del control de factores como por ejemplo la fertilidad, la humedad disponible y la composición florística.

a) *Fertilización*

Como ya se ha mencionado, hay variados ensayos de fertilización en mallines. Valerrini (1970) detecta inicialmente carencia de fósforo y azufre en el noroeste de la Patagonia, y Monteith lo confirma para un área mayor.

Habit (1973) citado por Bonvissuto y Somlo, 1994 (página 11), concluyó que:

1. Los factores climáticos limitan la respuesta a los fertilizantes.
2. En las áreas húmedas de mallín hay respuesta a fósforo y azufre.
3. Donde la alfalfa hace uso de la humedad subsuperficial, hay respuesta al azufre.

Luque (1997) en su trabajo, hace una corta revisión de estudios realizados sobre fertilización en mallines de distintas regiones patagónicas y para distintas relaciones de nutrientes.

Cuando la humedad edáfica no es limitante, Cassola (1971), detectó deficiencia de P, S y Nitrógeno. La carencia de este último elemento puede deberse a factores relacionados con la mineralización que tiene lugar cuando se rotura el suelo para realizar la siembra.

b) *Irrigación*

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.

La operación no obedece a esquemas de uso eficiente del agua. Luque (1997) y Fiorio (1997) mencionan la operación continua y controlada o discontinua - en relación al tiempo de riego. Este tipo de esquema puede presentar algunas variantes y mejoras, como compartos y obras de disipación de energía.

Luque (1997) presenta como ventaja del método, el escaso movimiento de suelo implicado (comparado con la sistematización tradicional). Sin embargo, en áreas con pendientes pronunciadas, el grado de disturbamiento del mallín por el sistema de canales y regueros, es importante.

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 curvas de nivel, 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 de la napa al suelo, lo que condiciona la buena distribución de la humedad en el mallín. Este es un enfoque nuevo del riego en mallines. Se estudia un aspecto central relacionado con el flujo no saturado, desde la napa a la superficie del terreno.

El sistema de riego por canales en curvas de nivel se presenta como muy ventajoso cuando se trata de recuperar mallines salinizados. El control de las láminas de lavado acortaría notoriamente el proceso de recuperación.

*c) Siembra de pasturas*

El mejoramiento de las condiciones naturales mediante siembra de pasturas tiene antecedentes desde la década de 1950. Para el proyecto FAO-INTA (1965-1973) las áreas más atractivas para la siembra de pasturas eran los mallines debido a sus condiciones hídricas más favorables y a sus más altas probabilidades de éxito. (Bonvisuto y Somlo, 1994). Existe sin embargo más información sobre siembras en áreas de meseta -con precipitaciones superiores a 300 mm- y de valles que en mallines.

Lloyd y colaboradores, obtienen buenos resultados sembrando agropiro en la periferia de mallines, durante el otoño tardío. Buratovich y Lloyd (1992) ensayan también intersiembra de agropiro para la recuperación de mallines salinos degradados con buenos resultados.

Molina Sanchez propone para valles húmedos con suelos profundos, *Agropyron elongatum*, *Festuca arundi-nacea*, *Melilotus* sp y *Medicago sativa* v. Dawson.

Cassola (1986) afirma que *Lotus tenuis* es una leguminosa apta para sembrar en mallines cubiertos por *Ditichlys* spp., aunque es lenta para establecerse.

Consultas hechas a especialistas en pasturas han sido concluyentes en resaltar la buena calidad pastoril y adaptación de la vegetación natural de los mallines, quedando la siembra de otras especies recomendada solo al mejoramiento de mallines degradados.

*d) Amallinamiento*

El amallinamiento es la denominación regional a la incorporación de nuevas tierras a la conformación de mallines. Esta técnica se practica desde muy remotos tiempos, y consiste

básicamente en derivar agua disponible a tierras topográficamente dominables hasta que toman el “carácter” de mallín.

En general el método ha generado opiniones adversas por parte de los especialistas y técnicos en manejo de riego y cultivos. El fundamento principal es el uso ineficiente del recurso hídrico ya que se trata de aprovisionar un bajo topográfico por medio de uno o varios pequeños canales donde el agua se desborda sin control regando una muy pequeña porción de la superficie del bajo a mallinar. La propuesta técnica alternativa ha sido la implementación del riego en curvas de nivel o terrazas o curvas de contorno que permitan un mojado de toda la superficie a dominar, con la estructura que se explicó en la sección correspondiente. Sarmiento (1997) y Fiorio (1997).

Sin embargo, observaciones y mediciones realizadas por nuestro equipo (HHA-FCA) han llevado a conclusiones, validadas para algunos casos pero que necesitan mayor comprobación, que permiten explicar el amallinamiento desde otro punto de vista donde en realidad este método tradicional pasa a tener un sentido muy práctico y eficiente del uso del agua.

Esto se puede interpretar si se concibe al mallín como una formación geológica que aloja un acuífero a partir del cual se humidifica el suelo. Muchas veces se da la existencia de la formación hidrogeológica pero carente de acuífero por falta de recarga o con un acuífero con niveles freáticos a profundidades que impiden el flujo ascensional compatible con la evapotranspiración de una cubierta vegetal propia de mallines.

Sin embargo, desde el punto de vista hidrológico este método tradicional pasa a tener un sentido muy práctico y eficiente del uso del agua.

De esta manera la recarga por derivación de un curso de agua superficial al área a enmallinar crea las condiciones freáticas adecuadas. El volumen a saturar dependerá del volumen de los depósitos permeables, su coeficiente de almacenamiento (S), la

transmisividad (T) y las condiciones de borde que operan en el sistema.

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.

Es importante recalcar que no todo sitio con disponibilidad de agua y topográficamente dominable es apto para la creación de mallines. Lógicamente los sitios propicios a enmallinar deben reunir ciertas condiciones edáficas, hidrogeológicas, hidroquímicas y geológicas de lo contrario se puede provocar verdaderos sitios de degradación. La frecuencia de lugares aptos en los distintos ambientes patagónicos es un aspecto importante a estudiar.

Un aspecto relevante que debe ser advertido es el referido a la concentración salina del agua de recarga. El balance de entradas y salidas de sales al mallín como la concentración alcanzada en cada uno de los procesos encadenados, puede sobrepasar niveles que induzcan a la degradación acelerada del mallín.

La formulación de una política de ampliación de las áreas de mallines requiere la profundización del conocimiento de los procesos involucrados y de un relevamiento de los parámetros físicos que permitan pronosticar el comportamiento bajo condiciones de recarga distintas a las actuales.

## **2.11. Cartografía de mallines**

Trabajos de integración de enfoques disciplinarios a nivel descriptivo con mediciones de productividad relevadas a campo, han permitido cartografiar mallines en áreas definidas. Marcolin et al (1978), describen mallines al suroeste de Río Negro a partir de características geomorfológicas, edáficas, hídricas y de vegetación.

Sugiere el manejo del agua ingresante al mallín para mejorar la distribución de la humedad.

En esta misma línea en la misma zona, Bran et al (1998) cartografían en un área de 918.000 ha. valles y mallines delimitados por cuencas, tipificándolos por tipos utilitarios. Se hace a partir de imágenes Landsat, estudios de suelo y de productividad de los mallines en condiciones naturales. En este estudio los mallines ocupan un 4% del área total.

No existen relevamientos completos de las áreas con mallines en Patagonia, sino de algunas áreas específicas. El relevamiento realizado por Ferrer 1990, utilizando imágenes satelitales para identificar áreas húmedas que pueden identificarse con mallines, finaliza en un mapeo y cuantificación (cantidad y superficie) por departamentos de las áreas, restando aún realizar las descripciones y observaciones correspondientes a este estudio.

La ubicación geomorfológica y el ambiente en que se encuentra el mallín, definen parte de su comportamiento, por lo cual surge la necesidad de completar la cartografía de los mallines para toda la Patagonia, más aún disponiendo del recurso que brindan las imágenes satelitales.

La distribución de superficie con mallines en precordillera neuquina se resume en las tablas 2.5 y 2.6 y gráficos elaborados a partir del estudio de Ferrer (1990).

SUPERFICIE	MINAS	CHOS MALAL	NORQUÍN	LONCOPUÉ	PICUNCHES	ALUMINÉ	HUILICHES	CATAN LIL	COLLÓN URÁ	LACAR	LOS LAGOS	
ÁREA												
< 5	208	80	43	62	10	08	25	03	22	53	3	507
5 - 25	085	117	265	495	527	936	360	756	663	061	065	6330
25 - 50	845	271	589	708	368	580	378	462	246	605	42	7794
50 - 75	905	147	69	50	35	11	567	299	74	253	00	1210
75 - 100	262	10	890	20	90	000	010	60	270	354	60	1926
> 100	935	440	3863	1230	495	500	680	745	470	067	070	2495
TOTAL MALLINES	9240	1165	4119	6065	5625	1435	0420	0425	1845	1493	430	55262
Superficie por departamento	62860	55480	85060	33000	15451	64200	77900	11010	75360	82730	23180	086231
Porcentaje ocupado por mallines	,164	,126	,268	,208	,9546	,4046	,4035	,3516	,1638	,8181	,8080	

Tabla 2.5: Fuente: Ferrer (1990)

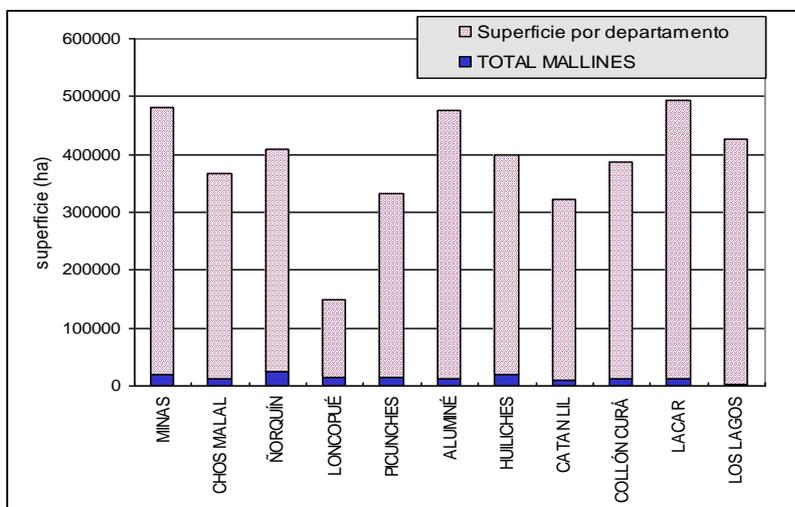


Figura 2.1: Relación superficie departamento con superficie mallines en Precordillera Neuquina

NÚM ERO DE CASOS													TOTAL
ÁREA													
< 5	393	167	349	94	199	237	185	167	93	58	33		1975
5 -25	780	387	310	130	256	318	316	260	257	174	84		3272
25 - 50	96	59	91	44	36	72	120	68	58	73	22		739
50 - 75	29	18	19	10	13	13	26	25	14	20	5		192
75 - 100	14	7	21	8	10	11	40	9	15	15	2		152
> 100	15	11	43	24	24	12	29	16	19	19	8		220
<b>TOTAL CASOS</b>	<b>132</b>	<b>7</b>	<b>649</b>	<b>833</b>	<b>310</b>	<b>538</b>	<b>663</b>	<b>716</b>	<b>545</b>	<b>456</b>	<b>359</b>	<b>154</b>	<b>6550</b>

Tabla 2.6: Fuente: Ferrer (1990)

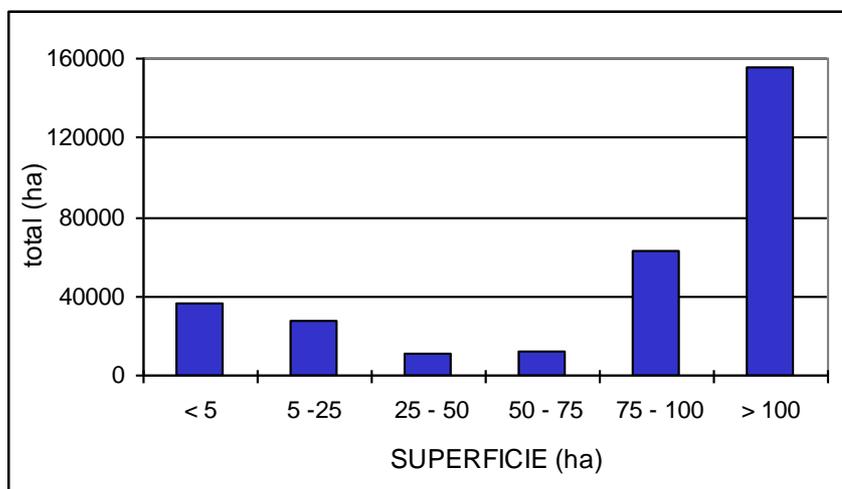


Figura 2.2: Distribución de superficie según tamaño de mallines en Precordillera Neuquina.



## Capítulo 3

### Fundamentos teóricos

#### 3.1. Introducción

En este capítulo se exponen los fundamentos teóricos de los métodos y técnicas empleadas tanto para el análisis del funcionamiento hidrológico del mallín como las empleadas para lograr un manejo que conduzca a maximizar su aprovechamiento bajo condiciones sustentables.

El lineamiento metodológico propuesto para el logro de los objetivos, tiene tres escalas espaciales distintas; cuenca, acuífero y suelo, cada una abordada con técnicas distintas.

La escala mas puntual es la referida al suelo, centrada en el análisis del movimiento del agua y solutos entre el acuífero freático y la superficie del mallín. Este sea probablemente el especto mas comprometido, pues implica reconocer el proceso por el cual el mallín se mantiene con la humedad suficiente para sostener un ecosistema productivo y además evaluar mecanismos de control. Las características del suelo son determinante en el movimiento de agua y sales, por lo cual se describen los fundamentos de las técnicas aplicadas en su caracterización fisicoquímica, taxonómica y geomorfológico.

El movimiento horizontal del flujo dentro del manto freático es determinante para investigar la influencia de la recarga y descarga en los niveles freáticos, y la posible intervención para su control. Los métodos de estudio son fundamentados en la teoría del flujo darciano en medio saturado, adecuado a la estructura hidrogeológica que conforma el mallín. La escala espacial de abordaje en este caso es a nivel del acuífero. En esta escala también se plantean las técnicas de

diseño de drenes y acequias de recarga que podrían resultar en las obras de control del mallín.

La disponibilidad del agua requerida para un eventual control freático es cuantificada a nivel de cuenca. Se describe así, el fundamento de esta técnica.

La secuencia metodológica transita desde la escala puntual o micro a la global o macro, con el fin de integrar los procesos físicos – hidrológicos en un sistema cuya parametrización permita caracterizar en forma practica el funcionamiento hidrológico del mallín e identificar su manejo productivo optimo.

Una escala espacial superior, no abordada por este proyecto, es a nivel regional con tratamientos y técnicas de imágenes satelitarias. Se espera que el conocimiento afiatado de los procesos hidrológicos, permita formular una etapa sucedánea a este escala de análisis.

### **3.2. Geomorfología y Suelos**

Las mas notables y principales variaciones del relieve neuquino deben atribuirse a la estructura geológica, a los procesos de naturaleza tectónica y volcánica recurrentes a lo largo de su historia geológica, aun cuando los acaecidos durante el Terciario y Cuaternario fueron los responsables de su actual fisonomía. Sobreimpuestos a ellos, otros procesos llevados a cabo por los agentes externos, como por ejemplo el último englazamiento, le confirieron una específica morfología a determinadas porciones del territorio neuquino.

En función a las características geomorfológicas mas conspicuas de la provincia, González Díaz et al, (1986) propone una zonificación regional en tres zonas (oriental, central y occidental) que reseñamos brevemente en la presentación.

Si dentro de este contexto observamos la distribución de mallines en el territorio provincial -Considerando que es un área diferente del medio que lo circunda, temporal o permanentemente húmeda, cuyo desarrollo está condicionado a la presencia de agua en el suelo - comprobamos su existencia en las tres zonas anteriormente mencionadas, bajo una amplia variedad de geformas.

### **Tipos de mallines. Características geomorfológicas y edáficas.**

Tomando como base la tipificación de mallines con énfasis en el relieve (topografía) podemos aceptar que mallines o humedales pueden desarrollarse en laderas o pendientes, en rivera de ríos, arroyos y lagos o en posiciones topográficas deprimidas o planas, siendo éstos los mas conspicuos e importantes.

Los **mallines de laderas**, de menor desarrollo areal, están ubicados en zonas de pendiente de grado variado sobre flancos de valles, pedimentos, conos coluviales, abanicos o bajadas aluviales, etc, siempre que el suelo se mantenga húmedo por causa de un flujo que lo atraviesa, predominantemente gravitatorio en este caso.

En estos ambientes es importante tener en cuenta el balance entre meteorización y transporte. De este modo se pueden distinguir (Weyman y Weyman, 1977 citado en Porta et al,1999):

- **Laderas de desarrollo limitado por el transporte**, donde la tasa de transporte es inferior a la de meteorización y se produce un progresivo aumento del espesor del suelo, y
- **Laderas de desarrollo limitado por la meteorización**, con suelos de escaso espesor.

Es innegable que la orientación de la pendiente, el gradiente de la misma, su complejidad como así también su forma (lineal, cóncava, convexa) serán elementos que influirán sobre el tamaño y forma del mallín.

En muchos de estos casos los suelos, si bien poseen deficiencias en su drenaje (clases imperfectamente drenados a moderadamente bien drenados), no alcanzan a cumplimentar las restricciones tan acentuadas que corresponden al régimen de humedad ácuico.

Si bien solo se pueden hacer declaraciones específicas sobre las relaciones entre la pendiente y las propiedades del suelo, dentro de zonas geográficas dadas -debido a la variación en la intensidad y naturaleza de otros factores de formación de suelos- se puede generalizar diciendo que las propiedades de los suelos relacionadas comúnmente con el relieve son a) profundidad del suelo; b) espesor del horizonte A y contenido de materia orgánica; c) humedad relativa del perfil; d) color del perfil; e) grado de diferenciación de horizontes; f) reacción del suelo; g) contenido de sales solubles; h) temperatura; i) tipo de material inicial.

En base a éstos conceptos (Buol et al, 1981) y a las observaciones realizadas, podemos afirmar que los suelos que forman los mallines de laderas se caracterizan en general por ser poco evolucionados sensu stricto (Duchaufour, 1975) y deben su carácter de “juventud” principalmente a causas mecánicas (erosión o aporte) que intervienen en relación con el relieve.

Si predomina la erosión son suelos que no han sufrido mas que una disgregación física, sin verdadera alteración química; por consiguiente no existe complejo húmicoarcilloso. En algunos casos el horizonte humífero posee 2 ó 3 cm de espesor que pasa a un horizonte C, suelto y gravilloso, constituido por restos de roca madre.

La roca madre que los constituye puede ser dura o blanda. Estos suelos poco evolucionados son muy frecuentes sobre las rocas blandas, como por ejemplo las cretas, los materiales sedimentarios arcillosos y los loess ya que en este caso son suficiente unas pendientes relativamente débiles para impedir cualquier tipo de evolución. Cuando se desarrollan sobre margas o materiales arcillosos presentan a menudo características hidromórficas.

Si predomina el aporte, caso de los piedemontes, los suelos están formados por material procedente de la erosión de las cimas de las pendientes. Generalmente poseen un perfil homogéneo y desprovisto de horizontes, muy poroso, constituido por una mezcla de materiales finos y gruesos (situados alpié de pendientes escarpadas) o bien por material fino, situados a una cierta distancia de las pendientes que, a su vez, son mas suaves.

El contenido de materia orgánica es muy variable: unas veces es bajo y otras por el contrario elevado si se trata de un coluvio de montaña.

Todos los casos se caracterizan por poseer ausencia de estructura, textura heterogénea, elevada porosidad y buena aereación al menos superficialmente.

Los **mallines que se encuentran a la vera de cuerpos de agua** (ríos o lagos) se desarrollan sobre topografías generalmente planas o de escasa pendiente: terrazas fluviales o fluvio-glaciales bajas, planicies de inundación, márgenes de lagos, etc.

Estos suelos, formados por material transportado y/o depositado por el agua, poseen un régimen hídrico particular (en algunos de ellos capas freáticas con fuerte oscilaciones) que les confiere propiedades especiales. Las situaciones de interés son aquellas que por una u otra causa –distancia al río, materiales muy finos, oscilaciones reducidas de la freática que puede permanecer bastante alta en el verano- la circulación de la capa de agua es frenada, aparecen fenómenos de óxido-reducción en profundidad, en forma de manchas de herrumbre sobre matriz beige oliva.

La textura y la granulometría presentan variaciones bruscas, tanto lateral como verticalmente, en el interior del perfil: por regla general un material fino descansa sobre un lecho de arenas o de gravas. Con frecuencia las raíces se paran a nivel de esta capa gruesa que por otra parte frena los movimientos descendentes del agua gravitacional y por otra limita fuertemente el ascenso capilar del agua de la freática; por estas razones el espesor de material fino tiene

mucha importancia desde el punto de vista de la fertilidad del suelo y de las posibilidades de la alimentación hídrica de las plantas; de un punto a otro, se puede pasar rápidamente de un tipo de vegetación muy hidrófila a una vegetación xerófila.

La humificación generalmente activada por las condiciones favorables de humedad puede pasar a tipos de humus turbosos en estos medios con tendencia hidromorfa.

Pero indudablemente que los mallines más conspicuos se ubican en posiciones topográficas deprimidas o planas con presencia de la freática en ó cerca de la superficie, lo cual otorga a esa porción del paisaje características diferentes a su entorno. Se manifiesta aquí el concepto de intrazonalidad, que implica la dominancia de algún factor local (relieve, roca madre) que les transfiere ciertas características comunes, independiente del clima y biota de la zona. Los suelos que componen estos mallines, si bien generalmente profundos, pueden presentar diversas características en cuanto al material originario, granulometría, grado de estructura, homogeneidad de los estratos, porosidad, conductividad hidráulica, etc., de acuerdo a la región donde se encuentran

La característica común de éstos suelos -mencionada en el párrafo anterior- es la saturación con agua del perfil, o una parte de él, durante períodos más o menos prolongados, lo que origina un complejo de procesos -Hidromorfismo- que se traduce en la aparición de rasgos hidromórficos en el perfil, originados principalmente por reacciones de reducción y oxidación.

De acuerdo al origen del agua que satura el suelo, los mallines estudiados presentan hidromorfismo de profundidad, causado por capas freáticas pobres en oxígeno produciendo la reducción del hierro. Sea el medio ácido, neutro o alcalino, el proceso recibe el nombre de gleización. El siguiente cuadro resume las características más conspicuas de éste proceso, que también se observa, en mayor o menor intensidad en los suelos estudiados:

CARACTERISTICA	HIDROMORFISMO DE PROFUNDIDAD	HIDROMORFISMO POR FLUJO LATERAL
Causa de la saturación	Agua freática	
Geomorfología	Fondo de valles, planicies glacifluviales, planicies aluviales, relieve plano-cóncavo.	Pedimentos, conos coluviales, abanicos aluviales, flanco de valles.
Potencial matricial (pF)	Disminuye en profundidad	
Movimiento principal del agua	Ascendente	Lateral descendente
Ascenso capilar	Fuerte	Moderado a nulo
Contenido de nutrientes	A menudo alto	A menudo bajo
Penetración por las raíces	Limitado por la freática	Limitado por el suelo

Tabla 3.1: Características sobresalientes del hidromorfismo

El reconocimiento y análisis de los procesos hidromórficos puede realizarse siguiendo los requerimientos definidos para las “condiciones ácuicas” de la Taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1992, 1994, 1996). La tabla siguiente resume los elementos que definen estas condiciones:

Saturación	Por flujo ascendente, descendente o lateral
Grado de reducción	Reacción positiva al test de Childs ( $\alpha$ $\alpha$ dipiridil) con aparición de color rojo (Fe+2) sobre agregados frescos en por lo menos algún horizonte.
<b>Rasgos hidroximórficos</b>	
Concentraciones redox	En masas de altos cromas
	En masas de bajos cromas neoalbanes
	nódulos
Matriz de bajos cromas	x
Matriz reducida	x
Pérdidas redox	Albanes, neoalbanes, neoesqueletanes

*Tabla 3.2: Elementos que definen las condiciones ácuicas*

### **El suelo como condicionante del movimiento del agua**

El suelo, sus propiedades y limitaciones, condicionan fuertemente los alcances del movimiento del agua a flujo saturado y no saturado.

En el caso de los mallines propiamente dichos, que sustentan suelos con régimen de humedad ácuico y clases naturales de drenaje muy pobremente drenados a pobremente drenados, las diferencias de tensión mátrica producidas entre la superficie del suelo y el nivel freático generan un flujo vertical ascendente destinado a suplir la intensidad evapotranspiratoria que obviamente se intensifica en verano. El caudal capilar ascendente puede o no alcanzar a compensar las pérdidas producidas, dependiendo la buena distribución de la humedad en el mallín de: la recarga del acuífero, profundidad de la napa freática, evapotranspiración y características del suelo.

En caso de mallines o vegas ubicados en zonas de pendiente mas pronunciadas, la recarga (precipitación, en forma de nieve o agua), mas el escurrimiento superficial ó subsuperficial de áreas circundantes se infiltran y redistribuyen en el perfil en función de las tensiones reinantes y propiedades del suelo, respondiendo mas al flujo gravitatorio que al capilar.

Sea cual fuere el caso, el fenómeno por el cual el agua es retenida y su movimiento dentro del suelo responde a las mismas leyes, ya que el suelo se mantiene húmedo debido a un flujo que lo atraviesa. Independientemente de las características de este flujo dominante, la aptitud del suelo para retener agua queda expresado en la curva de tensión-humedad, siendo los mas favorables aquellos que, en el rango de tensiones fácilmente absorbibles por la planta, retengan la mayor proporción de agua posible.

La figura 3.1 (Horne et al, 1999) habla de la sensibilidad del flujo ascendente respecto a las variables físicas/hídricas del suelo dado que la altura de la freática quedará condicionada por la conductividad hidráulica para compensar las pérdidas del sistema. Suelos de menor  $k_s$  exigen menores profundidades al manto saturado.

Es observable también que cuando la demanda evapotranspiratoria se hace mayor, el proceso se hace más sensible a la profundidad de la freática.

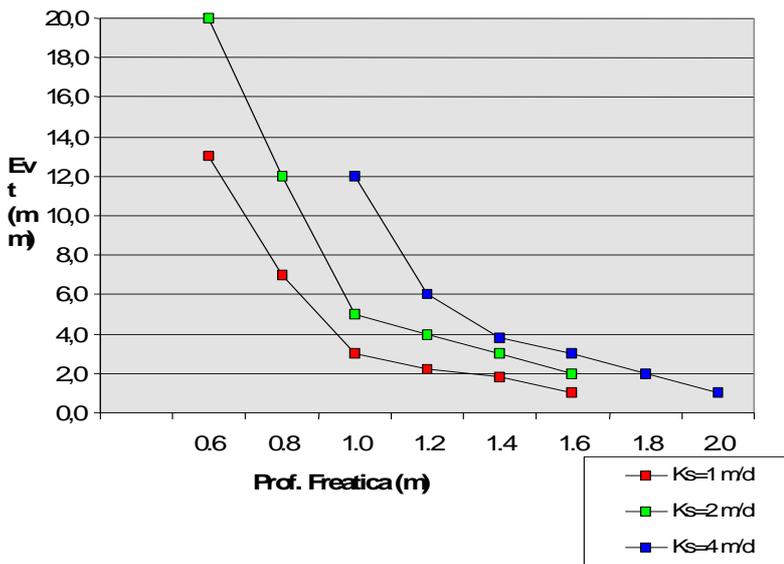


Figura 3.1: Profundidad freática requerida para suplir demandas evapotranspirativas

Los parámetros físicos del suelo que cobran relevancia en ésta situación son: textura, estructura y densidad aparente, que condicionan la porosidad, retención hídrica y conductividad hidráulica. Las características químicas más importantes a tener en cuenta son salinidad y tenor de sodio. Las propiedades fisicoquímicas están relacionadas con la presencia y características de la fracción coloidal

del suelo, ya sea ésta inorgánica (arcillas cristalinas o amorfas y óxidos) u orgánica (materia orgánica del suelo).

*Todas aquellas limitaciones que afecten las propiedades físico químicas mencionadas van a influir sobre la permeabilidad, porosidad, retención de agua y homogeneidad del suelo, y consecuentemente también sobre el movimiento del agua a través de él.*

El efecto de la porosidad del suelo es similar al que presenta la conductividad, siendo los suelos con mayor porosidad los propicios para generar flujos capilares mayores (o caudal capilar). Es claro que alta altura capilar no implica flujo capilar alto, que es este último el que determina la posibilidad de subirrigación. Las leyes que rigen el flujo capilar es discutido más adelante.

La distribución del tamaño de poros juega el papel fundamental en el flujo capilar. Clases texturales mas gruesas que areno-franco-fino implican alta permeabilidad y baja disponibilidad de agua. Aunque altamente permeables, no establecen la tensión suelo-agua necesaria, predominando así el flujo gravitatorio. Por el contrario, texturas arcillosas se asocian a grandes alturas capilares pero bajo caudal capilar.

Suelos con Permeabilidad restringida, por ejemplo, dificultan el movimiento vertical del agua por la presencia de algún impedimento físico ó químico.

Suelos heterogéneos a causa de discontinuidades litológicas, presencia de duripanes, horizontes petrocálcicos ó petrogípsicos, dificultan ó impiden el ascenso capilar en sus niveles impermeables. Algo similar ocurre por alternancia de horizontes con texturas contrastantes o presencia de fragmentos gruesos cuya presencia en el suelo interrumpe el flujo capilar ascendente. Si existe un horizonte impermeable, la conductividad promedio del perfil se hace  $K(s) \cong 0$ , ya que es la media armónica de los valores de cada horizonte.

Dentro de las propiedades químicas cobra relevancia la presencia de horizonte nátrico ó capas de suelo con mas del 15% de sodio intercambiable, afectando la permeabilidad, estabilidad

estructural, etc. De igual modo, horizontes con enriquecimiento de sales solubles ó zona del perfil con C.E.E. mayor de 4 dS/m. interfieren la absorción de agua por parte de los cultivos por incremento del potencial mátrico del suelo.

Si, por otra parte analizamos los Subordenes de suelos identificados en la Prov. de Neuquen y en función a las definiciones de la taxonomía de suelos (Soil Taxonomy, 1996) para cada uno de ellos consignamos sus características y limitaciones para la subirrigación, podemos extraer las siguientes consideraciones:

**Alfisoles:** Dentro de este orden, los acualf y xeralf presentan limitantes a la subirrigación por fragmentos gruesos y heterogeneidad textural. Cuando el horizonte Bt es muy potente, estos suelos manifiestan lenta permeabilidad. Todo ello afecta la tensión agua-suelo necesaria para el ascenso capilar y la conductividad hidráulica ( $K_s$ ).

**Aridisoles:** Su abundante contenido de fragmentos gruesos, frecuentemente desde superficie y escasa profundidad efectiva en caso de encontrarse el horizonte petrocálcico o petrogípsico interrumpen el ascenso capilar y afectan la  $K_s$ . Suelen presentar concentraciones calcáreas, yesosas y/o salinas y en el caso de los Argides, presencia de Bt que además de contener elevado tenor de arcilla puede ser nátrico, afectando la permeabilidad del horizonte y la  $K_s$  del suelo .

**Entisoles:** Los Acuentes pueden presentar sales en el perfil, lo cual afectaría a  $K_s$ .

Los Fluventes presentan en su sección vertical una rápida y a veces contrastante composición granulométrica, con horizontes de lenta permeabilidad que, en suma, afectan la  $K_h$  del suelo.

Los Ortentes, que generalmente poseen una apreciable participación de fragmentos gruesos, ó que son de textura no arenosa (Torriortentes vértico.) pero muy fina, de bajo caudal capilar.

Los Psammentes, de texturas gruesas, no poseen porosidad efectiva al ascenso capilar. Predomina en ellos el agua gravitacional (no útil).

**Histosoles:** Los fibristes no manifiestan limitación alguna para la subirrigación, excepto la necesidad de planificar obras de drenaje.

**Inceptisoles:** Los Acueptes no presentan limitaciones (excepto la necesidad de planificar obras de drenaje) para la subirrigación.

**Andosoles:** Presentan, por características propias del material originario un perfil homogéneo, en la mayoría de los casos de textura media ideales para obtener ascenso y caudal capilar.

Los Vitrandes poseen las texturas más gruesas (franco arenosas).

Los Udandes pueden presentar grava muy fina a media.

**Molisoles:** Los Acuoles poseen buenas condiciones para la subirrigación.

Los Alboles presentan Lenta permeabilidad y contraste textural por presencia del horizonte B, afectando la  $K_s$  del suelo.

*Los Xeroles reconocidos son Haplo y Argixeroles. El primero reúne buenas condiciones para la subirrigación. El segundo, por presencia de fragmentos gruesos y lenta permeabilidad, afecta negativamente la  $K_s$  del suelo.*

**Vertisoles:** Solo se reconocieron los Xerertes. Son texturalmente muy finos, presentando lenta a muy lenta permeabilidad.

Resumiendo, podemos concluir que los suelos de mayor aptitud para la subirrigación natural deben caracterizarse por poseer alta porosidad efectiva y alta conductividad. **Deben ser también homogéneos e isotrópicos. Esto permitirá aplicar las mismas constantes hídricas a todo el perfil estudiado.**

*A nivel de Orden, los suelos de Neuquén se ubicarían, según su aptitud para la subirrigación, en función a los conceptos anteriormente vertidos, de la siguiente manera: Histosoles (abarcando 3.900 ha; correspondiendo al 0,05 % del territorio provincial) ≥*

*Inseptisoles (85.400 ha; 1,10 % de la superficie provincial) ≅ Andosoles (1.529.700 ha; 19,85 % del territorio) > Molisoles ( 762.500 ha; 9,89 %) > Entisoles (3.342.900 ha; 43,38 %) > Alfisoles (183.500 ha; 2,38 %) > Aridisoles ( 1.708.000; 22,16 %) > Vertisoles (89.200 ha; 1,15 %).*

A nivel de Suborden, la aptitud para la subirrigación que presentan los suelos de Neuquén sigue el siguiente orden, con sus respectivos porcentajes areales en función al total provincial: Fibristes (0,05 % del territorio provincial) ≥ Acueptes (1,10 %) ≅ Vitrandes (15,10 %) = Udandes (4,75 %) > Acuoles (1,42 %) = Xeroles (8,33 %) > Alboles (0,14 %) > Acuentes (0,58 %) ≥ Ortentes (30,98 %) ≅ Fluventes (2,66 %) ≅ Psammentes (9,16 %) > Acualf (0,02 %) ≅ Xeralf (2,36 %) > Ortides (16,64 %) ≥ Argides (5,52 %) > Xerertes (1,15 %).

Es de hacer notar que en este trabajo de investigación la profundidad del estudio de suelos va mas allá de lo propuesto inicialmente dado que el mallín es una unidad productiva cuyos rendimientos deberían maximizarse ya sea desde el punto de vista pastoril o con miras a otros usos agronómicos aún no muy difundidos.

### **3.3. Hidrogeología de mallines**

Como ya se indicó los mallines se desarrollan naturalmente en zonas donde existe agua disponible durante un período de tiempo que permite el desarrollo de vegetación. Es un ecosistema húmedo de regiones áridas.

Se pueden identificar mallines con dinámicas diferentes basadas en las características del flujo de agua:

- Flujo laterales por gravedad: en ladera
- Flujo principalmente vertical debido a infiltración por precipitación y ascenso por capilaridad. Mallines ubicados sobre formaciones acuíferas.

Esto permite realizar una clasificación de mallines que tiene en cuenta la dinámica del agua en el mallín.

### **Hidrogeología de mallines de ladera**

Los mallines de ladera se producen en lugares donde aflora agua en puntos localizados (manantiales) o zonas de surgencia o bien donde el agua se encuentra muy cerca de la superficie del terreno. La existencia de discontinuidades estratigráficas en los suelos y sedimentos y de diferencias en conductividad son responsables de afloramientos de agua y áreas encharcadas (interflujo o flujo subsuperficial).

Las condiciones más favorables son las áreas de cordillera con mayor precipitación y los bordes de las mesetas basálticas y planicies con rodados patagónicos.

La evaluación del caudal de agua (Q) surgente de un manantial sin recarga en un tiempo t puede realizarse a través de modelos sencillos, tal como:

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \text{E.3. 1}$$

donde  $Q_0$  : caudal inicial;  $\alpha$ : coeficiente de descarga ( $T^{-1}$ ); t: tiempo a partir de  $Q_0$ .

El movimiento del agua en las laderas se realiza como flujo saturado y no saturado, dependiendo de las condiciones locales predominará uno u otro, pudiendo haber afloramiento de agua y el desarrollo de vegetación. En el caso de manantiales permanentes estos flujos serán más o menos constantes y la vegetación será permanente. El desarrollo de vegetación tendrá mayor importancia en el sentido de la pendiente. Cambios en el contenido de agua ocurre en

pocos metros horizontalmente y decenas de centímetros en la vertical. Las zonas saturadas son temporales, discontinuas y colgados respecto al nivel local o regional.

Los factores que controlan el flujo del agua son el relieve, forma del terreno, propiedades del suelo y discontinuidades en los sedimentos de ladera. El flujo saturado en general refleja la forma del relieve, alejándose en formas convexas y acercándose o aflorando en áreas cóncavas. Los suelos de estos mallines son a menudo de poco espesor (inferiores a 0.5m). Los sedimentos de laderas con altas pendientes son más gruesos y de conductividad mayor que las rocas subyacentes; el tamaño de grano disminuye ladera abajo y en consecuencia la permeabilidad.

La dinámica del movimiento lateral del agua puede explicarse a partir de la infiltración y acumulación de agua encima de un horizonte menos permeable con lo cual se genera un gradiente hidráulico que origina movimiento lateral del agua, subsuperficial, paralelo a la superficie del terreno. Daniels y Hammer (1992) citan varios autores que han realizado investigaciones para definir las causas de este movimiento horizontal. Se ha encontrado que en muchos suelos tanto la conductividad hidráulica saturada como no saturada decrece con la profundidad por el aumento de arcillas. El agua se acumula en los horizontes permeables superiores, el aumento de humedad genera aumento de la conductividad hidráulica horizontal y el agua se mueve en el sentido de la pendiente debido a la componente lateral del gradiente hidráulico. A su vez citan a Heath (1987) quien formuló la ecuación para flujo en ladera:

$$v = \frac{K}{n} \times \frac{dh}{dl} \quad \text{E.3. 2}$$

donde v: velocidad, K: conductividad hidráulica, n: porosidad, dh/dl: gradiente hidráulico.

Esta ecuación no requiere que se cumplan las hipótesis de Dupuit (flujos horizontales); es aplicable en flujos de pendiente que sean laminares y con número de Reynolds  $R < 10$ . En pendiente pronunciadas el gradiente es elevado lo que genera alta velocidad de flujo que es una condición favorable para la degradación y erosión de los suelos.

La aplicación de esta ecuación permite estimar el control de los niveles impermeables en la recarga de los acuíferos y definir el potencial para el movimiento de agua en laderas.

El flujo no saturado en sedimentos de ladera se explica con buena aproximación mediante la ley de Darcy, pero el caudal unitario está expresado en función de la conductividad no saturada o capilar.

Los flujos laterales subsuperficiales también son importantes en la generación de hidrogramas en cuencas sobre todo cuando existan condiciones de suelos poco profundos y muy permeables. Freeze (1972b) indica que la contribución del flujo subsuperficial es importante en relieves convexos.

### **Hidrogeología de mallines ubicados en formaciones acuíferas**

Estos mallines están asociados a la existencia de acuíferos que aportan el agua necesaria para el desarrollo de la vegetación. El proceso de transferencia de agua desde el acuífero hacia la superficie se realiza como flujo no saturado y será analizado en el capítulo correspondiente.

Se reconocen al menos dos estratos diferentes: uno superior con desarrollo de suelos donde predomina el flujo no saturado y otro inferior de sedimentos más gruesos (gravas, arenas, etc) con flujo saturado.

Ocupan bajos topográficos donde el agua se almacena proveniente de diversas fuentes: de la infiltración por lluvia o nieve en

el mallín, infiltración desde cauces y ríos permanentes o transitorios, aportes subterráneos y subsuperficiales desde el entorno y hasta aportes desde acuíferos confinados inferiores (aunque no se tenga conocimiento de casos de extensión significativa).

Las áreas de recarga de mayor interés en Patagonia lo constituyen los basaltos, rocas volcánicas y rocas permeables -como los rodados patagónicos.

El flujo subsuperficial de laderas disminuye el gradiente al llegar a las áreas deprimidas por lo que el flujo de salida será menor lo que provoca aumento de los niveles y encharcamiento.

Los acuíferos están formados por sedimentos permeables, en general terrenos aluviales, glaciales, coluvios y tobas no consolidadas o redepositadas. Son favorables las formaciones terciarias y más jóvenes pues en general los procesos de diagénesis son débiles o inexistentes. La composición química de estos sedimentos es variable pero debe tenerse en cuenta ya que condiciona la composición de los suelos y la calidad del agua circulante.

Las características más importantes desde el punto de vista del flujo son la conductividad hidráulica y la porosidad efectiva del acuífero. Estos sedimentos son depositados en ambientes inestables y dinámicos lo cual les confiere un carácter heterogéneo a escala de perfil, pero que como formación pueden considerarse homogéneas. La existencia de lentes impermeables intercalados provoca situaciones de confinamiento local que no adquieren relevancia areal.

La conductividad hidráulica ( $k$ ) estimada de acuerdo al tipo de sedimentos del acuífero varía de 10 a 50 m/día. Las mediciones en los horizontes superiores han dado valores menores,  $k = 3$  a 5 m/d.

La porosidad en el acuífero es menor a 0.2 mientras que en el suelo superior es mayor, oscilando entre 0.4 a 0.7 dado fundamentalmente por la presencia de abundante material volcánico (cenizas, lapilli). El funcionamiento del estrato superior es

fundamentalmente libre, por lo tanto la porosidad efectiva es igual al rendimiento específico.

Los espesores saturados son variables, dependiendo de la morfología del substrato sobre el cual se depositaron los sedimentos que forman el acuífero. En general se puede hablar de predominantemente glaciarios con fondos en U hasta aquellos aluviales. Los primeros predominan en la zona cordillerana y los segundos en la zona extrandina. Las estimaciones de espesores se han basado en la topografía del relieve circundante considerando el origen del valle. Es posible que en este espesor existan niveles confinados, se han detectado confinamientos puntuales aunque no se pudo confirmar la extensión areal.

Las oscilaciones de niveles freáticos en el mallín se deben a la superposición de dos componentes: las oscilaciones en el nivel del río y las variaciones en la recarga-descarga (infiltración, lluvia, aportes laterales). La importancia relativa de estos componentes dependerá de los parámetros hidrogeológicos ( $k$  y  $s$ ) y de las características geométricas del acuífero y sus condiciones de borde.

La red de cauces de los bordes se une, generalmente, en un cauce central cuya relación con el acuífero puede ser efluente o influente. En general, en cordillera y precordillera los cauces son efluentes, drenantes o ganadores mientras que en la región extrandina son influentes o infiltrantes (cauces efímeros). Este cauce marca una condición de borde de vital importancia en el balance y la dinámica del mallín, ya que su nivel establece los flujos de agua; si se profundiza el cauce aumenta el gradiente aumentando el flujo y drenando el mallín pudiendo descender los niveles freáticos de manera tal que no es posible la subirrigación desde la napa. Esto es frecuente en mallines degradados donde por diversas circunstancias naturales (crecidas extraordinarias) o antrópicas (sobrepastoreo) la escorrentía ha provocado cárcavas con niveles de base muy profundos.

El “amallinamiento” es un tipo especial de este caso donde se aplica agua mediante canales siguiendo aproximadamente las curvas

de nivel (condición de borde) sobre terrenos con escaso o nulo desarrollo de suelos.

### Ecuación de flujo saturado

Las ecuaciones que rigen el movimiento del agua en medio poroso saturado se basan en:

1. Ecuación de Continuidad

Flujo entrante - Flujo saliente = Almacenamiento

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad \text{E.3. 3}$$

2. Ecuación Dinámica: Ley de Darcy

$$v = -k \frac{dh}{dl} \quad \text{o} \quad Q = vA = -kA \frac{dh}{dl} \quad \text{E.3. 4}$$

donde:

v: velocidad aparente

k: conductividad hidráulica

dh/dl: gradiente de carga

Q: caudal que pasa a través sección A

A: sección transversal al flujo

De ambas leyes se obtiene la ecuación general de flujo subterráneo para un medio poroso heterogeneo y anisótropo:

E.3. 5



donde:

$k_x, k_y, k_z$  : conductividad hidráulica en la dirección x, y, z, respectivamente.

S: coeficiente de almacenamiento

W: acciones externas (bombeo, recarga)

Es una ecuación diferencial en derivadas parciales, de segundo orden y de tipo elíptico que en acuífero libre es no lineal. La solución para obtener las alturas piezométricas se obtiene por métodos numéricos, siendo los más empleados diferencias finitas y elementos finitos. Las soluciones analíticas se pueden obtener para casos sencillos tal como el que se plantea para flujo unidimensional.

La ecuación de flujo supone que se cumple la hipótesis de Dupuits que pueden expresarse de diversas formas equivalentes:

1. La carga permanece constante a lo largo de una vertical, por lo tanto

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{ó} \quad h = \text{constante}$$

2. La distribución de presión es hidrostática:  $h = z + p/\gamma$

3. El radio de curvatura de la superficie libre S es despreciable

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} \approx \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}$$

El flujo principal se realiza desde la periferia hacia el centro, desde las mayores equipotenciales hacia las menores, según la dirección del gradiente hidráulico. Los flujos pueden considerarse bidimensionales -en la dirección z son despreciables- por lo que el término en z en la ecuación general se elimina.

### **Condiciones de borde**

La relación del mallín con el entorno en cuanto flujos se expresa a través de dos tipos de condiciones de borde:

carga conocida (Dirichlet) gradiente conocido  $dh/dx$  (Neumann), ya sea flujo o borde impermeable

La condición de borde superior está definida por la superficie libre con presión atmosférica  $P = 0$

Tal como se comentó, en algunos casos los flujos pueden plantearse como un caso unidimensional (v.g. plano perpendicular al río). En estas condiciones se obtiene a partir de E.3.5 con

$$\frac{\partial K_x}{\partial x} = 0 \text{ (acuífero homogéneo), la siguiente expresión:}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{K}{2S} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad \text{E.3.6}$$

6

Para configuraciones sencillas de acuíferos homogéneos e isótropos se puede estimar el alcance de la influencia del río sobre el acuífero y el tiempo que tarda, utilizando la ecuación E.3.6. mediante métodos analíticos.

Distancia  $x = t_i \sqrt{\frac{4KI}{t_0 S}}$  E.3.7

Tiempo de llegada al punto x  $t_i = x^2 \frac{t_0 S}{4KI}$  E.3.8

Este método es también utilizado para estimar conductividad hidráulica K en acuíferos.

### 3.4. Movimiento de agua y solutos en el suelo

Dado el carácter físico conceptual con que este aspecto es abordado, se presentan las bases teóricas del flujo y transporte en medio no saturado. Las ecuaciones diferenciales que gobiernan estos procesos son resueltas con técnicas numéricas mediante modelos matemáticos. Estos permiten resolver los sistemas complejos que resultan de incorporar múltiples aspectos como el sistema vegetal, suelos heterogéneos, reacciones químicas, adsorción por el suelo, etc.

#### Ecuación de flujo

La ecuación diferencial parcial usado para describir el movimiento del agua en una dimensión en un medio poroso no saturado basada en el flujo darciano fue establecido por Richards en 1931 y se puede expresar:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

E.3.

9

donde

$h = h(z,t)$  potencial matricial (l)

$z$  = dimensión en la dirección del flujo (positivo hacia abajo) (l)

$t$  = tiempo

$A$  = ángulo entre dirección flujo y la vertical

$K(h)$  = conductividad hidráulica - función de  $h$  (l/t)

$S$  = término sumidero (1/t)

$C(h)$  = capacidad específica, variación del contenido de humedad  $\theta$  respecto de  $z$ .

$$C(h) = \frac{d\theta}{dz}$$

Cuando el flujo se realiza en dirección vertical  $\cos A = 0$ . En el caso de flujo horizontal  $\cos A = 1$ . La ecuación (E.3.9) es fuertemente no lineal debido a la función  $K_{(h)}$ , lo cual dificulta su solución analítica o semianalítica quedando restringida a pocos casos muy simplificados (Kutilek, 1994). Los métodos numéricos permiten soluciones precisas de (E.3.9) para condiciones de borde no triviales, más ajustados a los casos reales. En el presente trabajo se aplica un esquema implícito de diferencias finitas descrito por Haverkamp (1977).

### **Absorción de agua por las raíces**

El término sumidero en la ecuación (E.3.9) representa el volumen de agua removido por unidad de tiempo por unidad de volumen de suelo debido a la absorción radicular. Feddes et al. (1978) define  $S$  como

$$S(h) = a(h) S_p$$

Donde  $a(h)$  es la función de respuesta al estrés hídrico, la cual es adimensional y debe prescribirse ( $0 < a < 1$ ), y  $S_p$  es la tasa de absorción potencial ( $1/t$ ). En la Figura ... se esquematiza la función de Feddes. Se puede observar que la absorción se considera nula en la cercanía del punto de saturación ( $h < h_1$ ) hasta pasar el "punto de anaerobiosis"  $h_1$ . Asimismo, la absorción es nula cuando  $h > h_4$  o potencial del PMP. La absorción se considera óptima entre  $h_2$  y  $h_3$ , intervalo fuera del cual la absorción decae linealmente con  $h$ . Los valores de  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ , y  $h_4$  deben ser dados de acuerdo al cultivo, por ejemplo 2, 6, 8 y 9 respectivamente como indica el gráfico. Estos

parámetros fotométricos están tabulados de acuerdo a experiencias de múltiples investigadores.

Van Genuchten expandió la función S(h) incluyendo la tensión osmótica:

$$S(h) = \left[ \frac{h_0}{h + h_0} \right]^p \quad \text{E.3.} \quad 10$$

Donde  $h_0$  es la tensión osmótica que se relaciona con la concentración a través del coeficiente experimental  $\alpha$

$$h_0 = a_i c_i \quad \text{E.3.} \quad 11$$

El valor de S (h,  $h_0$ ) esta en función de ambos potenciales (matricial y osmótico) y de  $h_{50}$ , que representa la tensión a la cual la absorción se reduce al 50% bajo tensiones osmóticas despreciables. Se proponen 2 modelos para  $\alpha$ , uno aditivo y otro multiplicativo:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{h + h_0}{h_{50}} \right]^p} \quad \text{E.3.} \quad 12$$

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{h + h_0}{h_{50}} \right]^{p_1}} \frac{1}{1 + \left[ \frac{h + h_0}{h_{50}} \right]^{p_2}} \quad \text{E.3.} \quad 13$$

con p,  $p_1$  y  $p_2$  constantes experimentales.

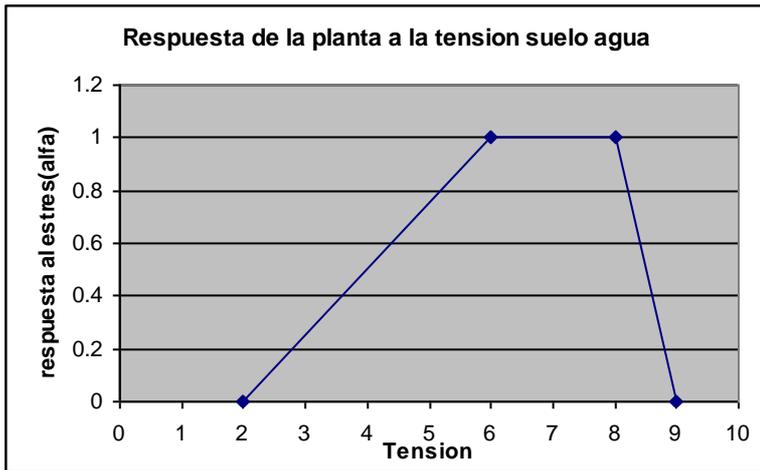


Figura 3. 2

### Condiciones Iniciales y de borde

Para un suelo cuyo perfil tiene una longitud L, las condiciones iniciales se expresan

$$\theta(z, 0) = \theta_0(z)$$

E.3. 14

Las condiciones de bordes que deben ser especificadas a cada extremo ( $z= 0$  y  $z= L$ ) de la “columna”de suelo simulado, estos pueden ser de tres tipos:

- potencial constante  $h(0,t)$  ó  $h(L,t) = h_0$

E.3. 15

- flujo constante  $q_0 =$

$$-K(h) \left[ \frac{dh}{dz} - \alpha(A) \right]_{z=0} \quad \text{E.3. 16}$$

- tipo mixto  $q_0 =$

$$-K(h) \left[ \frac{dh}{dz} - \alpha(A) \right]_{z=0, z=L} \quad \text{E.3. 17}$$

$$h(Q,t) = h_0 \quad \text{para } t \leq t_0$$

$$h(z,t) = h_L \quad \text{para } t > t_0$$

La condición de borde mixta se ajusta a la simulación de lluvia efectiva sobre la superficie. La evapotranspiración se introduce por imposición de un flujo constante negativo en  $z=0$ . El nivel freático que conforma el límite inferior del perfil  $z=L$  se expresa como borde de potencial constante  $h(L,t) = 0$ .

La resolución de la ecuación (1) requiere la provisión de la función de conductividad hidráulica por lo cual se utilizó la propuesta por (Van Genuchten, 1980).

$$K(h) = K_s \left[ \frac{h - h_r}{h_s - h_r} \right]^{2m} \quad \text{para } h > h_r \quad \text{E.3. 18}$$

$$K(h) = K_s \left[ \frac{h - h_r}{h_s - h_r} \right]^{2m} \quad \text{para } h < h_r$$

$$K(h) = K(s_a) \quad \text{para } h = 0 \quad \text{E.3. 19}$$

donde  $m = 1 - 1/b$

Asimismo la función de retención hídrica del suelo utilizada (Van Genuchten, 1980) tiene la siguiente forma:

$$\theta(h) = \theta_s) \quad \text{para } h < 0 \quad \text{E.3. 20}$$

$$\theta(h) = \theta_s) \quad \text{para } h = 0 \quad \text{E.3. 21}$$

Los parámetros a y b son datos de entrada al sistema basado en determinaciones de humedad  $\theta$  del suelo sometido a distintas tensiones, y  $m = 1 - 1/b$ .

El esquema numérico de diferencias finitas establece una ecuación (ecuación E.3.9, ver incrementos finitos) por nodo interior i,j; siendo i la posición espacial discretizada en  $\Delta z$  y j la posición temporal discretizada en  $\Delta t$ . Se debe incluir una ecuación para cada condición de borde en los extremos, arribando a un sistema de n ecuaciones algebraicas con n incógnitas [h], [C] y [K].

Los valores de humedad suelen expresarse adimensionalmente en términos de humedad efectiva,  $S_e$ , que varía entre 0 y 1.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Conocidos los valores de que toman estas variables en cada intervalo de tiempo y en cada elemento de discretización del espacio, es posible calcular para ese dominio el flujo q (z)

$$q(z) = K(h) \frac{dh}{dz} \quad \text{E.3. 22}$$

Tanto q (z,t) como C (h ) son imprescindibles para resolver el transporte de solutos, como se describirá en la próxima sección.

### Ecuación de transporte

El movimiento y degradación de compuestos químicos se puede expresar mediante la ecuación de Advección – Dispersión.

Simplificando su expresión a dos fases y a una dimensión (z) toma la forma:



E.3. 23

Donde:

$c$  = concentración en la fase líquida

$R = 1 + \rho k / \theta$

$D$  = coeficiente de dispersión

$\alpha$  = constante de degradación de primer orden en fase líquida

$\beta$  = constante de degradación de primer orden en fase sólida

$\gamma$  = constante de degradación de orden cero, fase líquida

$\rho$  = densidad aparente del suelo

$k$  = coeficiente de partición entre fase sólida y líquida

El coeficiente de partición  $k$  en este caso considera una concentración proporcional entre la fase líquida y la adsorbida por el suelo como la propuesta por Freundlich (1926) para sistemas en equilibrio. Este supuesto puede fácilmente modificarse incorporando ecuaciones que represente sistemas en situación de no – equilibrio como las presentadas por Lapidus y Amudson, Langmuir o van Genuchten.

La solución de esta ecuación para un dominio discretizado en elementos y para un periodo temporal discretizado en intervalos de tiempo, se logra por acoplamiento con la ecuación (E.3.9) que describe el movimiento del agua en el suelo, discretizada en forma análoga.

### **Condiciones iniciales**

Se satisface prescribiendo una concentración inicial a la columna de suelo a simular. Se lo puede expresar como:

$$c(z,t) = c(z,0) \quad \text{para } t = 0 \text{ y } 0 < z < L$$

siendo L la longitud de la columna de suelo con origen en la superficie.

### **Condiciones de borde**

Estas pueden ser de dos tipos; Dirichlet o concentraciones constantes también llamada de primer tipo y de Cauchy o de tercer tipo, donde el flujo de solutos es de concentración prescrita. Ambas se fijan para un segmento superior o inferior de la columna de suelo a estudiar.

1. Dirichlet: expresa que la concentración en superficie  $z=0$ , o en la base  $z=L$  es constante y dada.

$$c(0,t) = c_0 \quad \text{para todo } t$$

$$c(L,t) = c_0 \quad \text{para todo } t$$

Tiene la desventaja de mantener las concentraciones aun cuando el flujo ingresante sea nulo. Se ajusta adecuadamente para simular condiciones de freática, con presencia permanente de fase líquida.

2. Cauchy: expresa concentración constante en la solución que ingresa o sale del suelo

$$D \frac{\partial C}{\partial z} = qC$$

E.3. 24

$$D \frac{\partial C}{\partial z} = -qC$$

Esta condición de borde es usada para simular el movimiento de solutos cuando la solución que ingresa o sale del suelo tiene una determinada concentración. Así la cantidad de solutos entrantes y salientes dependerán del flujo intercambiado a través de los bordes.

### Ecuación Adicional

El flujo de solutos o densidad del flujo en la masa de solutos por unidad de superficie transversal atravesada por el flujo por unidad de tiempo. El flujo de solutos  $j(z,t)$  en la posición  $z$  y tiempo  $t$ , se expresa como:

$$j(z,t) = -D \frac{\partial C}{\partial z} + qC$$

E.3.  
25

Coefficiente de dispersión

Toma la siguiente expresión:

$$D = D_0 \left( \frac{\lambda}{\tau} \right) + q \theta$$

E.3. 26

Donde  $D_0$  es el coeficiente de difusión moléculas,  $\tau$  is el factor de tortuosidad del suelo,  $\lambda$  es la dispersividad,  $q$  es el flujo de agua y  $\theta$  el contenido de humedad. El factor de tortuosidad se estima a través de varias posibles expresiones entre ella la de Millington y Quirk (1961) en función de la porosidad.

Para la solución del sistema acoplado basado en la discretización de las ecuaciones (E.3.9) y (E.3.23) se han propuesto diversos algoritmos de reconocida eficacia aplicable a condiciones muy diversas. Cabe mencionar que existen una serie de restricciones e inconvenientes numéricos en la resolución de este sistema complejo de ecuaciones. Los mismos han sido solucionados en base a esfuerzo en el desarrollo de nuevos métodos numéricos y al notable crecimiento en los recursos computacionales.

No es el propósito en este proyecto entrar en la discusión de los métodos numéricos y códigos computacionales que se emplean para dar solución a las ecuaciones de flujo y transporte, sino utilizarlos como herramienta para la investigación de estos procesos en los mallines patagónicos. Así, se han utilizados diversos códigos de carácter público como el Chemflow, Retc, Nosat y comerciales como Hydrus2D de la Universidad de California, Riverside o propios (mas elementales) con similares resultados.

Los resultados de la simulación se expresan tanto en forma numérica como gráfica. La aplicación de este modelo físico al mallín Pampa Ñorquín en El Huecú se describe en el Capítulo IV, el cual ilustra sobre los datos necesarios y resultados alcanzados.

### 3.5. Balance hídrico

*En función de los caudales estimados para suplir el deficit hídrico de cada unos de los mallines estudiados resulta necesario posteriormente buscar una metodología que permita evaluar la disponibilidad real a lo largo del período de interés y así detectar los períodos donde habrá que realizar un manejo adecuado para mantener la humedad del suelo en valores agrónomicamente convenientes.*

Una de las formas de evaluar la disponibilidad de agua dentro de un mallín, para mantener las condiciones hídricas óptimas, es

realizar un balance hidrológico que permita identificar las variables que actúan sobre el mismo y cuantificar sus aportes o salidas.

*En todo balance hídrico existen dos elementos fundamentales, la unidad hidrológica donde será aplicado y el intervalo de tiempo elegido para el análisis.*

En el caso de la unidad hidrológica es importante identificar los aportes o ingresos al sistema así como las descargas del mismo.

*El análisis completo de un sistema hidrológico normalmente es muy complejo debido a las innumerables variables intervinientes. Para poder facilitar su estudio se identifica un subsistema dentro del sistema general, acotando de ésta manera los procesos y las variables estudiadas.*

En el caso particular de un mallín los límites del sistema lo componen la extensión del acuífero, la superficie del terreno y el hidroapoyo.

El intervalo de tiempo a que se refiere el balance hidrológico puede ser cualquiera, normalmente se toma el año hidrológico como intervalo de análisis o como en éste caso particular el período de mayor demanda evapotranspirativa por parte de los cultivos.

Analizando la ecuación general que describe el balance sobre el sistema hidrológico "mallin".



E.3. 27

donde:

P: aporte proveniente de la precipitación o de la escorrentía superficial.

Qinf: filtraciones de cauces que estén ubicadas en niveles superiores a la capa freática.

Qisi: aporte lateral subsuperficial proveniente de zonas con niveles freáticos superiores.

Qup: flujo vertical ascendente de agua que entra al acuífero libre atravesando la capa semimpermeable inferior.

Etr: evapotranspiración real producida sobre el sistema.

Cap: ascenso capilar desde la zona saturada a la no saturada.

Qdr: salidas desde la napa freática hacia cauces ubicados en niveles inferiores.

Qiso: salida lateral subsuperficial hacia zonas con niveles freáticos inferiores.

Qdo: flujo vertical descendente de agua desde el acuífero libre hacia el acuífero semiconfinado.

$\Delta S_{grw}$ : cambio en la cantidad de agua almacenada.

*Puede suceder que existan casos especiales donde algunos componentes no formen parte de la ecuación.*

*Un ejemplo de esto se observa cuando el límite inferior del mallín es una capa de terreno de conductividad hidráulica muy baja o nula, por lo que no son consideradas las componentes Qup y Qdo. Este es el caso del mallín denominado Huecú.*

En esta condición la forma de medir la variación de la napa freática es a través de la colocación de pozos de observación o freatómetros.

En el caso que exista como límite inferior un manto semimpermeable y el nivel piezométrico del acuífero confinado sea mayor que el del libre existirá un aporte ascendente y si es menor descendente. La forma de medir las presiones existentes en este tipo de acuífero es colocando sobre el mismo una batería de piezómetros.

## **Componentes del balance hídrico**

### ***Precipitación y escorrentía superficial (P)***

Su forma de ingreso al sistema puede ser por lluvia, nieve o variaciones de estas formas.

Esta componente se caracteriza por tener una variedad interanual importante a diferencia de otras componentes como la evapotranspiración o la temperatura.

Se incluyen además en éste término todos los aportes superficiales que alimentan el sistema.

### ***Evapotranspiración (ETP)***

Este parámetro lo representa el volumen utilizado por la vegetación y lo que se evapora directamente del suelo o de los cursos de agua.

Esta no depende solo elementos físicos (climáticos) que afectan la evaporación, sino también del cultivo y del grado de cobertura del terreno por el mismo, así como sus características morfológicas y fisiológicas, del suelo y de su nivel de humedad las cuales también cambian en función del tiempo. (Grassi, 1998).

### ***Caudales de entrada y salida ( $Q_e$ y $Q_s$ )***

La importancia que adquieran estas componentes dependerá básicamente de la extensión del área de estudio, si el análisis se está centrado sobre grandes áreas la influencia que tendrían dichas componentes es despreciable.

Ambas variables se las engloba en un único término que expresa su diferencia. Este término se lo denomina “ entrada neta subsuperficial” (Iss). Sus valores pueden ser positivos o negativos dependiendo de la diferencia de los valores de agua.

Un valor negativo de Iss indica que las salidas son mayores que los ingresos. Tal situación podría producir, si se mantiene en el tiempo, problemas de salinización.

Si el valor es positivo, ingresos mayores que salidas, estos podrían producir un aumento en el nivel freático que si supera una profundidad crítica predeterminada debería evaluarse la posibilidad de

realizar un manejo adecuado que produzca una disminución de la misma.

### **Percolación y Ascenso capilar**

Son dos componentes de gran importancia en el balance. No se presentan al mismo tiempo sino alternativamente.

Si se analiza la situación al comienzo de la estación lluviosa donde la humedad del suelo no es de capacidad de campo y la precipitación mayor que la evapotranspiración, se observa que existe un incremento en la humedad del suelo aunque su magnitud no es tal que produzca un aporte de agua hacia capas más profundas (percolación).

Si en cambio se considera la época lluviosa, donde la precipitación es mayor a la evapotranspiración, y el contenido de humedad se mantiene a capacidad de campo, entonces el ascenso capilar se considera nulo y la percolación del mismo valor que la precipitación menos la evaporación.

Dependiendo del período analizado y la situación, el flujo capilar ascendente, será tomado como la evapotranspiración real ya que representa la lámina que el suelo puede proveer a la demanda evapotranspirativa de acuerdo a las condiciones y características del mismo.

Si la napa se ubicara a grandes profundidades, por ejemplo mayor de 3 m, el ascenso capilar se puede considerar despreciable.

Analizando la situación de una napa freática a poca profundidad el ascenso capilar ya no sería considerado nulo sino que sus valores son importantes dependiendo del contenido de humedad del suelo.

## **Flujo vertical ascendente o descendente desde otro acuífero**

*Estas variables solo se incluyen en la ecuación cuando el existe un acuífero semiconfinado inferior que produzca flujo vertical ascendente o descendente.*

Cuantificarlas es muy difícil ya que se deberá instalar una red o batería de piezómetros o realizar ensayos de bombeo.

Es por eso que en muchas oportunidades estos términos son tomados como las incógnitas de la ecuación.

### **Variación en la cantidad de agua almacenada**

Esta es una variable se modifica constantemente producto de la influencia de las demás.

La porosidad efectiva y las variaciones que sufre la napa freática son los dos factores más importantes a considerar a la hora de analizarla.

La variación de la napa se puede registrar a través de pozos de observación o freatómetros en cambio el valor de porosidad efectiva es muy difícil de cuantificar, por lo que a continuación se enumeran algunas opciones de cálculo:

✓ *Estimarla en función del tipo de suelo y considerar que mantiene un valor constante.*

Si el área del sistema analizado fuera de gran extensión se debería definir los distintos tipos de suelo que puedan encontrarse y buscar una metodología apropiada que tome un valor de porosidad efectiva media representativa de toda la extensión.

✓ Identificar períodos de tiempo con alta percolación (luego de una lluvia o un riego) y dado que se desprecia el valor de **Iss** entonces:

$$\mu = \text{Perc} / \Delta h$$

E.3. 28

✓ Si se cuantifican las salidas hacia cauces abiertos, donde no hubo variaciones en el almacenamiento entonces:

$$\mu = (Perc - Qdr) / \Delta h \quad E.3. 29$$

Este parámetro muchas veces se la considera una constante hidrológica, aunque tal consideración es falsa debido a que la misma varía con la profundidad de la napa ( disminuye al aumentar su profundidad ).

Como conclusión se puede señalar que cada sistema estudiado tendrá determinadas particularidades que se deberán reflejar en la ecuación de balance elegida.

Posteriormente se diferenciarán aquellas variables que puedan ser medibles de otras que serán determinadas a partir de otros parámetros o variables.

Para clarificar dicha metodología en el capítulo 4 se realiza una aplicación de la ecuación de balance al mallín Pampa Ñorquín.

### **3.6. Sociedad y Ambiente: algunas cuestiones teóricas**

Las discusiones teóricas sobre sociedad y ambiente han tenido diferentes etapas. Inicialmente la discusión se centro en diferenciar los aspectos naturales y culturales de ser humano, inclusive la propia esencia natural de este, llamando a la relación hombre-naturaleza. Durante el siglo XX y debido a la masificación conflictos ambientales, el debate se centró en los modos de vinculación (distribución, uso y apropiación) de las sociedades con el ambiente físico y natural. (Galafassi y Levin, 2001), centrados en la relación sociedad-naturaleza. Actualmente, se considera la relación sociedad-ambiente, es decir ambiente como naturaleza transfigurada por la humanidad, donde los cambios en el ambiente son producto de “la interacción de los agentes sociales en la reproducción de su vida social”. Giddens

(1997) sentencia “en estos días, entre muchos casos podríamos hablar sin duda del fin de la naturaleza como una manera de referir a su completa socialización”.

Se identifican áreas de estudios concretas, también diferentes. El desarrollo sustentable que hace énfasis en lo económico, desde lo clásico a lo neoclásico (Galaffasi, 2001), y el enfoque de desastres, que tiene en cuenta la ocurrencia de fenómenos ambientales con consecuencia en la sociedad (Allan Lavell Thomas, 1993).

No caben dudas que el problema del medio ambiente, se vincula con la forma que una sociedad concreta utiliza sus recursos naturales, de que manera la emplea para satisfacer sus necesidades y porque lo hace de esa manera particular. En este marco, cada sociedad mantiene una relación específica con la naturaleza, que implica una racionalidad diferente. Así, tal lo señala Cloquell (1999) “la biosociología, como ciencia encargada de analizar las formas de indeterminación entre la legalidad biológica y la legalidad social, surgió por la necesidad de fundar una base teórica y metodológica de articulación a partir de las condiciones históricas que han producido las crisis ecológicas y como efecto de las crisis del capital”.

En el caso concreto de la actividad agropecuaria, la naturaleza –tierra y agua- representan la base de la actividad productiva, sobre la cual se interviene a partir de la aplicación de determinadas tecnologías (Marx, 1988). Estos mecanismos de transformación y aprovechamiento de recursos naturales, responden a determinadas racionalidades e intereses.

Gallopín (1982) plantea en este sentido, que los estudios ambientales deben considerar los fundamentos de las acciones humanas que se llevan a cabo sobre la naturaleza y de las tecnologías que se adoptan. De este modo, por contraposición, surgirían las acciones a favor del ambiente o para disminuir los conflictos ambientales.

La incorporación de la perspectiva sociológica en la interpretación y explicación de lo ambiental, queda fundada en la

necesidad de romper la dicotomía sociedad-ambiente reduccionista, y estudiar los cambios en la naturaleza y en la sociedad como producto de la interacción de los agentes sociales en la reproducción de la vida social.

### **3.7. Ingeniería del Riego y Drenaje**

*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.

Se desarrollan en este capítulo los conceptos teóricos que sirven de fundamento para el análisis de los distintos métodos de recarga y descarga del acuífero. Se describen los principales métodos de resolución y las limitaciones a su aplicación en mallines. Se realiza una descripción detallada de la expresión de Ernst y de las consideraciones que indican la conveniencia de su utilización en la resolución del problema planteado.

#### ***Recarga artificial***

La recarga artificial consiste en la intervención en los procesos de recarga de un acuífero, en los lugares y periodos más convenientes a su régimen de explotación o funcionamiento. Los métodos de recarga pueden agruparse en:

I - Recarga inducida, que consiste en crear situaciones favorables a la infiltración natural.

II - Recarga artificial propiamente dicha, que consiste en crear dispositivos especialmente diseñados a tal fin. Se distinguen esencialmente dos sistemas:

1) De superficie: se trata de extender el agua buscando una gran superficie de contacto agua-terreno. Se utiliza en caso de acuíferos libres, sin estratos poco permeables próximos a la superficie. Generalmente se compone de una red de distribución conformada por acequias y/o surcos.

2) De profundidad: en estos sistemas se emplean drenes (zanjas o tubos) y galerías de infiltración. Es el caso típico de la subirrigación, donde la eficiencia de aplicación del agua a la rizósfera es del 100 %. Su inconveniente más notorio es el mayor costo de construcción y mantenimiento, pero con una menor ocupación del terreno.

### **•Descripción del proceso. Fases**

*La porosidad efectiva del acuífero freático y el sentido e intensidad que toma el gradiente hidráulico entre la acequia y el acuífero, da lugar a las distintas fases en el movimiento del agua.*

La recarga artificial desde una zanja o acequia pasa por 3 fases fácilmente caracterizables, que son:

*1 - Crecimiento de la cresta de recarga y evolución temporal del caudal de recarga por unidad de superficie, por efecto hidráulico, en ausencia de colmatación, Toda el agua se almacena hasta el nivel establecido mediante el manejo de las compuertas que encierran las dársenas; esto hace que la napa crezca formando una cresta bajo las zanjas, primero y luego hasta el límite permitido por el potencial del nivel de agua en la zanja. Este nivel está establecido sobre la base de la profundidad de raíces y el volumen de evapotranspiración; o sea,*

*que el nivel evoluciona primero verticalmente y luego horizontalmente hasta conectarse con las zanjas vecinas, elevando la napa freática hasta el punto de control que se establezca*

2 - mantenimiento del nivel al alcanzarse el régimen estacionario entre el ingreso de agua a través de las zanjas y el caudal evapotranspirado, o sea entra tanta agua como se descarga por los distintos medios, incluyendo la fuga a acuíferos más profundos o a un drenaje regional

3 - Al comenzar la época de las lluvias debe suprimirse la recarga y dar paso a la etapa del drenaje controlado, en principio a través de las mismas zanjas o por cañerías que desagüen en ellas; podría ocurrir que antes de alcanzarse el régimen estacionario deba comenzar la etapa de cese de la recarga y comienzo del drenaje.

Es importante señalar que cuando el nivel freático alcanza el fondo de la zanja el caudal aportado decrece, esencialmente por la disminución del gradiente hidráulico disponible, y puede llegarse al punto que el nivel de agua en el acuífero sea prácticamente igual al nivel de agua en la zanja de recarga, momento en el que cesa la entrada de agua al terreno.

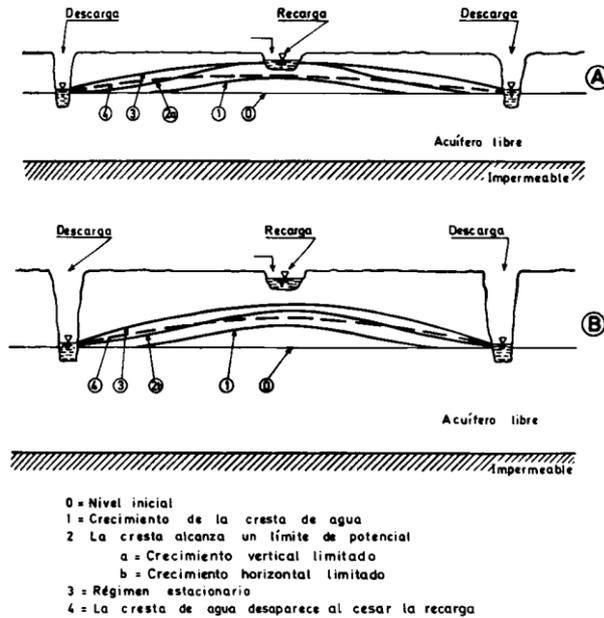


Figura 3.3

### Métodos de análisis

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 como se muestra en la simulación del acuífero del mallín de El Huecu, en su estado natural y con obras de control.

Los métodos analíticos basados en simplificaciones y supuestos importantes de homogeneidad, isotropía, recarga uniforme, flujo horizontal, etc., pueden ser de utilidad en estos casos por 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.

1) Métodos de superficie

**a) - Método de Custodio**

•Aspectos Hidráulicos

Se plantean zanjas de infiltración y de drenaje - paralelas y de gran longitud - lo que permite considerar el problema como unidimensional, aunque en las proximidades de las zanjas y por debajo de las mismas, el flujo resulte esencialmente bidimensional en un plano vertical. Se considera el flujo del agua subterránea en régimen permanente, es decir, la recarga es igual a la descarga en el tiempo, lo que resulta en un tratamiento simplificado del problema, aún cuando estén bien definidas una estación seca y otra de drenaje.

En la ecuación del flujo para acuíferos libres, se aceptan las hipótesis simplificativas de Dupuit - Forcheimer, que suponen que:

1) En cualquier lugar la velocidad es horizontal, o sea que las superficies equipotenciales son planos verticales

2) Que el gradiente, a lo largo de una vertical, es constante e igual a la pendiente del nivel libre del agua, esto nos permite obtener soluciones aceptables, salvo para el análisis por debajo de las zanjas,

*Se considera que el flujo de recarga es vertical y que el flujo en el acuífero es horizontal, supuesto admitido en la deducción de las formulas de De Glee - Jacob y de Hantush – Walton:*

$$s = \frac{Q}{2\pi} Ks(r/B)$$

donde:

s: máximo abatimiento observado en un piezómetro situado a  $r$  mts. del bombeo.

T: trasmisividad del estrato saturado,  $m^2/d$ .

Q: caudal del pozo de bombeo,  $m^3/d$ .

$K_0$ : función modificada de Bessel.

B: factor de filtración.

Tal hipótesis es demasiado grosera para valores de la permeabilidad vertical  $k_v$  elevados y/o valores pequeños de espesor del lecho semipermeable  $b$  en la expresión del caudal por unidad de superficie  $qs$ :

$$qs = kv * \Delta Hr / b$$

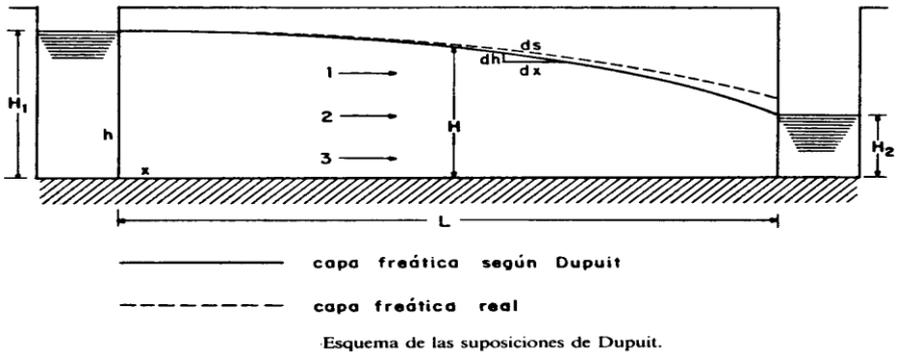


Figura 3.4

- Información necesaria

El estudio hidráulico de la recarga artificial requiere disponer de la siguiente información:

- Permeabilidad
- Espesor del suelo permeable
- Altura libre disponible
- Duración de la recarga
- Porosidad del acuífero
- Profundidad del nivel freático inicial
- Espesor saturado inicial
- Pendiente del estrato impermeable

- Pendiente del nivel freático
- Posición de la base del sistema de recarga (Zanja o cañería)
- Incidencia de la colmatación, medido como variación de la permeabilidad de los sedimentos.

Las hipótesis de Dupuit - Forcheimer permiten calcular directamente la ecuación de la superficie libre para régimen permanente y flujos horizontales, arribando a:

$$H_R^2 - H_B^2 = Q L / k I$$

Siendo:

$H_R$  = Espesor de agua bajo la zanja de recarga

$H_B$  = Espesor de agua bajo la zanja de drenaje

$Q$  = Caudal de la zanja de recarga

$L$  = Distancia entre las zanjas de recarga y drenaje, contada desde los bordes de las mismas.

$k$  = Permeabilidad horizontal

$I$  = Longitud de las zanjas

Adoptando:

$$H = \frac{1}{2} ( H_R + H_B ) ,$$

y siendo  $H$  un valor intermedio entre  $H_R$  y  $H_B$

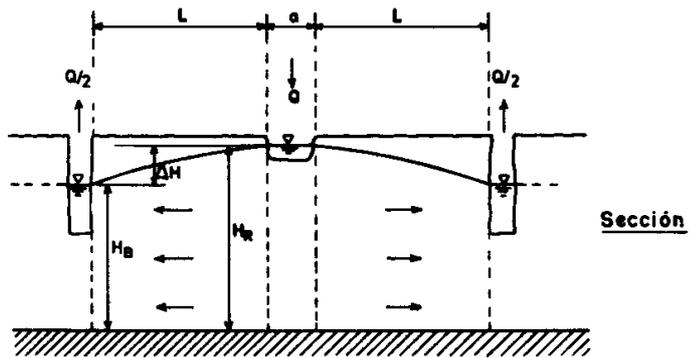
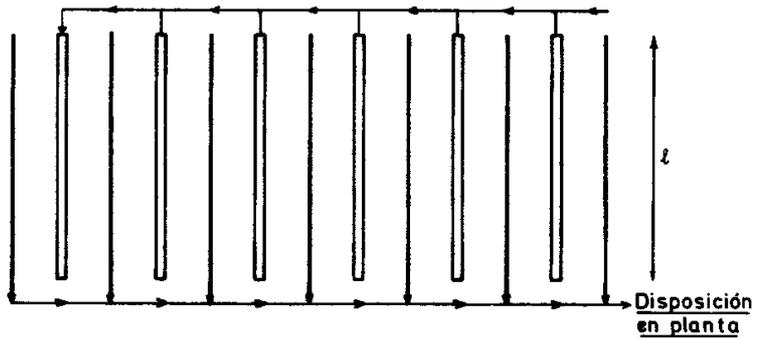
Se tiene:  $H_R - H_B = Q L / 2 H k I$

también:  $\Delta H = Q L / 2 H k I$

Por otro lado, se define la capacidad de infiltración como:

$$q_s = Q / a I ,$$

siendo:  $a$  = el ancho de solera de la zanja de recarga



- |  |   |
|--|---|
|  Zanja de recarga   |  Línea de pozos  |
|  Dren de extracción |  Tubería o canal |

*Esquema de un sistema de recarga continua, con zanjas y drenes*

*La figura inferior esquematiza el sistema hidráulico.*

Figura 3.5

La aplicación de esta técnica demanda la medición o conocimiento previo de la conductividad hidráulica (permeabilidad) y el

espesor del estrato transmisor ( $k ; H$ ), de la infiltración básica de la capa superior del suelo ( $q_s$ ), y la diferencia de potencial entre el pelo de agua de la acequia y el dren ( $\Delta H$ ). De esta manera, se pueden estimar cualquiera de las variables que caracterizan hidráulicamente las acequias de recarga (caudal de escurrimiento, longitud y perímetro mojado).

### Limitaciones del método.

Los supuestos sobre los que se basa este método no hacen posible su aplicación en perfiles marcadamente estratificados; es decir, al considerar al medio como homogéneo e isotrópico y no tener en cuenta el flujo radial por debajo de los drenes o zanjas, el margen de error al calcular los espaciamentos puede ser significativo.

### ***b)- Método de Bouwer (1969)***

#### - Información necesaria

Los factores considerados en el proceso de infiltración en canales o acequias - recarga del acuífero - se agrupan en:

- 1 - Características del suelo (permeabilidad y porosidad) donde se encuentra el canal.
- 2 - Tirante del canal, perímetro mojado y profundidad del nivel freático.
- 3 - Contenido de sedimentos en el agua, velocidad de la corriente y tiempo de uso del canal.

Asimismo, determina que la infiltración aumenta con el tirante, incrementándose a medida que es mayor la diferencia entre el pelo de agua en el canal y el nivel freático.

Las soluciones gráficas que presenta el autor son deducidas a partir del tratamiento teórico de los sistemas de infiltración por medio de analogías eléctricas. De aquí surgen distintos perfiles típicos, de

los cuales, el planteo aplicable al caso genérico de mallines, es el correspondiente a canales en suelo con perfil homogéneo y estrato subyacente impermeable ( $K_2 < 10 K_1$ )

La ecuación planteada es:

$$q = \frac{I_s}{K} K W_s$$

siendo:

$K$  = Conductividad Hidráulica

$W_s$  = ancho de la superficie libre del pelo de agua

$I_s / K$  = Valor adimensional, obtenido de las figuras resultantes de ensayos de analogías eléctricas, en nuestro ejemplo: caso B. (Ver figura para  $H_w / W_b = 0,75$ )

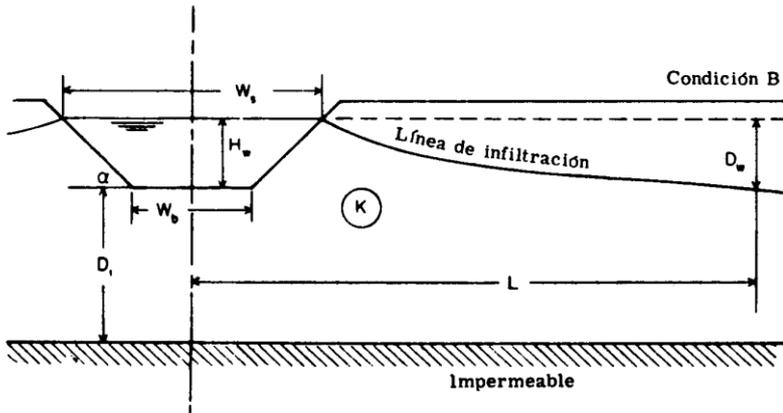


Figura 3.6

Resultados de los análisis de infiltración por analogía eléctrica para un canal trapezoidal ( $H_a/W_b = 0.75$ ).

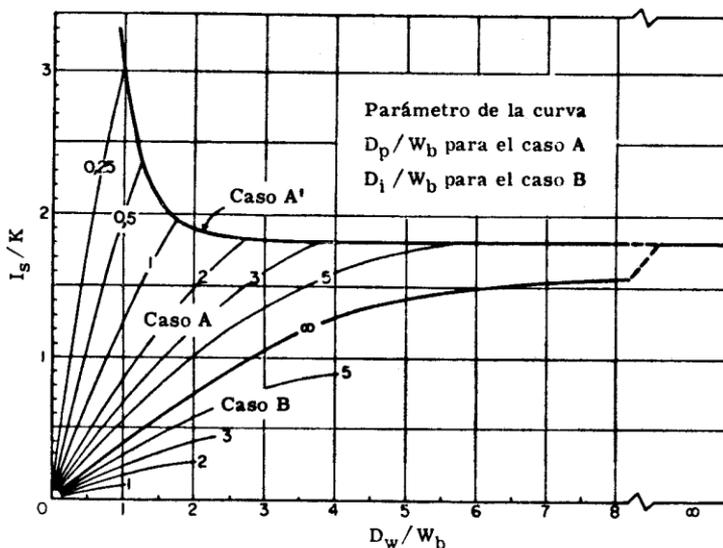


Figura 3.7

### Limitaciones del método

Fundamentalmente, se basan en el supuesto de que el efecto de las pérdidas por infiltración de un canal sobre la freática, cesa a una distancia lateral de diez veces el ancho de solera. Esto traería aparejadas complicaciones insalvables al momento de implementar las soluciones técnicas resultantes, en lugares con el manejo productivo dominante en la región.

### **c)- Métodos empíricos ( Kraatz, 1977)**

Las formulas empíricas han sido obtenidas en condiciones locales y por lo tanto, bajo condiciones difícilmente repetibles.

Además, la característica de este tipo de expresiones es la de producir estimaciones imprecisas. En general, todas estas fórmulas están en función de la geometría del canal, el tirante y la velocidad del agua, y una o más constantes que represente las propiedades del suelo.

Las principales formulas citadas en esta obra son:

- Formula de Davis y Wilson.
- Formula de Moritz (USBR)
- Formula de Molesworth y Yennidumia (Egipto).
- Formulas utilizadas en la ex URSS y Alemania

## **2) Métodos de profundidad**

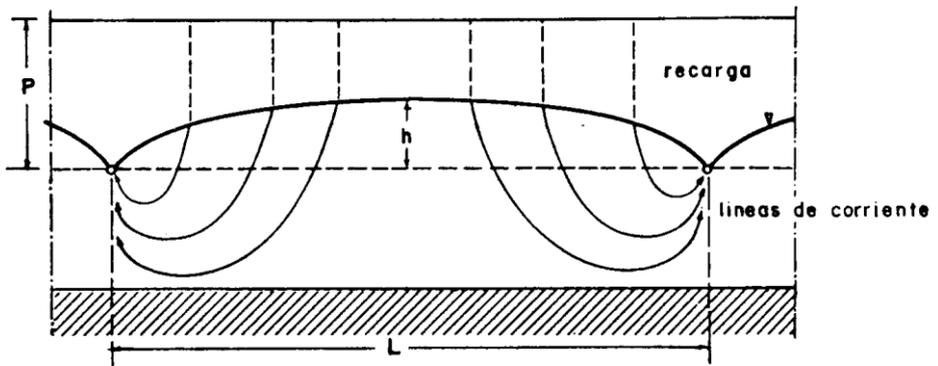
*Comprende diferentes técnicas de manejo del agua que permiten impedir el encharcamiento superficial del suelo y controlar la posición de la capa freática, de forma que el balance de agua en la zona radicular sea favorable para las especies vegetales.*

### **a) Sistemas de drenes profundos.**

El sistema de drenaje sub-superficial (zanjas o tubos), debe mantener bajo control un plano freático próximo a la base del sistema radicular, a fin de garantizar la aireación del mismo y, en el caso que nos ocupa, la humedad necesaria para mantener la evapotranspiración.

Los criterios de drenaje son los parámetros utilizados en el cálculo del espaciamiento entre drenes, de tal forma que, el mismo sistema a utilizar para eliminar la recarga producto de las precipitaciones (otoño – invierno), se convierta en un sistema de sub-irrigación durante el periodo estival, a fin de lograr la regulación de la humedad del suelo por un período prolongado. Por lo tanto, la formulación de estos criterios debe hacerse por separado para cada una de las épocas consideradas.

- Parámetros que definen el sistema:
- Profundidad media de los drenes ( $P$ )
- Espaciamiento entre drenes ( $L$ )
- Radio de la tubería ( $r_0$ ) o sección hidráulica de las zanjas.
- Pendiente de los drenes.



Sección transversal de la región de flujo.

Figura 3.8

En drenes de tubería hay que considerar los materiales de drenaje y envolventes.

Además se debe fijar la longitud de los drenes (depende de la traza que se adopte) y diseñar las estructuras de salida al cauce o a los cauces principales.

El flujo de agua a los drenes se produce debido al gradiente hidráulico entre la napa y el dren. La magnitud de este gradiente depende de la carga hidráulica en el punto medio entre dos drenes ( $h_T$ ) referida al nivel de los drenes, y del espaciamiento entre drenes ( $L$ ). La densidad de flujo ( $C_d$ ) o descarga específica por unidad de superficie, depende del gradiente hidráulico, de la conductividad hidráulica ( $K$ ) y del espesor del perfil drenable ( $D$ ). De esta manera,

queda claro que el espaciamiento entre drenes y su profundidad depende mutuamente entre sí; cuanto más profundo es el nivel de los drenes mayor es el espaciamiento entre ellos.

### Determinación de parámetros.

a) *Profundidad de los drenes:* En el diseño de un sistema de drenes subterráneos el primer paso es fijar la profundidad media del nivel de drenaje. Con la maquinaria disponible es posible instalar drenes hasta, al menos, tres metros de profundidad.

Teniendo siempre en mente el principio general que a mayor profundidad corresponde menor densidad de drenaje, el nivel de drenaje se determina considerando primeramente la trasmisividad de las diferentes capas de perfil permeable, colocándolo lógicamente, en o próximo a capas de buena permeabilidad. La profundidad óptima resulta de consideraciones hidrogeológicas, hidráulicas y económicas, y hay técnicas desarrolladas para calcularla (Horne et al, 1998).

Además, hay que considerar la profundidad de salida al colector o cauce principal, para que este tenga cota suficiente para desaguar por gravedad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el nivel de drenaje depende de la profundidad mínima no saturada y de las características de la capa freática, en lo referente al proceso de elevación capilar. En otras palabras, se debe determinar la profundidad crítica en función del suelo y de las especies vegetales consideradas.

b) *Espaciamiento entre drenes:* La distancia entre dos drenes consecutivos se calcula mediante ecuaciones de drenaje, que son expresiones matemáticas deducidas por simplificación de la teoría del flujo de agua freática, para ciertas condiciones de límite de la región de flujo. Estas ecuaciones ligán los criterios de drenaje aplicados, que son la posición de la capa freática y la descarga de drenaje, con las

características hidráulicas de la región de flujo (conductividad hidráulica, porosidad).

c) *Diseño hidráulico*: El caudal máximo de drenaje se determina una vez conocidos el espaciamiento entre drenes, la longitud máxima de los laterales y las descarga específica máxima. La sección hidráulica de las zanjas y el diámetro de la tubería se calculan una vez determinada la pendiente, que ha de ser la máxima disponible para minimizar la sección.

### Ecuaciones de drenaje

Las ecuaciones de drenaje, que se utilizan para el cálculo de espaciamiento, son expresiones matemáticas deducidas de las condiciones del movimiento del agua hacia los drenes para ciertas condiciones geométricas.

Se considera que el flujo es bidimensional, es decir, idéntico en cualquier sección transversal perpendicular a los drenes y que la distribución de la recarga es uniforme. Además se basan en las suposiciones de Dupuit, por lo que solo pueden considerarse como soluciones aproximadas al problema.

### **Regímenes del flujo del agua a los drenes**

Existen dos regímenes del flujo del agua hacia los drenes. Si la descarga del sistema iguala a la recarga de la capa freática, el balance de agua en la zona saturada está equilibrado y la posición de la capa freática no cambia, siendo la carga hidráulica función exclusivamente de la distancia al dren; las condiciones son entonces de régimen permanente que se dan cuando la recarga es de baja intensidad pero constante, como ocurre cuando es debida a lluvias moderadas de larga duración o a filtraciones.

Si la descarga difiere de la recarga, el balance no está en equilibrio y la capa freática fluctúa, siendo la carga hidráulica función

de la distancia al dren y del tiempo; las condiciones son entonces de régimen variable y se presentan por ejemplo en zonas regables, donde la recarga debida a la percolación es discontinua en el tiempo, y en regiones con lluvias de gran intensidad y corta duración.

### **Ecuaciones para régimen permanente**

En esencia, el flujo de agua hacia un dren es no permanente, ya que para cierta capacidad de descarga, existe una recarga que de hecho es variable. En efecto, los aportes por lluvia (u otras formas de precipitación) ocurren en forma discontinua, produciendo un flujo no estacionario a través del suelo. De esta manera, el volumen de agua caído se almacena temporalmente en el espacio poroso del suelo, en condiciones de saturación.

Sin embargo, en algunas zonas ocurren recargas por lluvias frecuentes que permiten asumir como si fuesen a velocidad constante, pudiéndose aceptar un régimen permanente. Por otra parte, la marcada estratificación del perfil del suelo, desaconseja el uso de las ecuaciones de régimen variable.

#### Fórmula de Ernst

Ernst dedujo una ecuación para flujo en régimen permanente, particularmente adecuada para suelos estratificados, donde el nivel de drenaje no tiene porque coincidir con el limite entre capas de diferente conductividad hidráulica.

Ernst dividió el flujo hacia los drenes en tres componentes: vertical, a través de la capa superior poco permeable, horizontal, a través de la región mas permeable, y radial, en la proximidad de los drenes. Además puede añadirse el flujo de entrada del agua al dren, que depende mas del material de drenaje que de las propiedades del suelo.

Las pérdidas de carga debidas a cada componente son las siguientes (Ver figura siguiente):

Flujo vertical:  $h_v = h_1 - h_2$

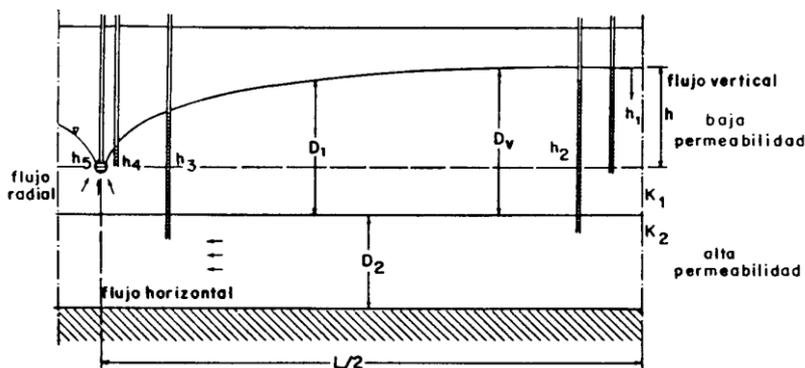
Flujo horizontal:  $h_h = h_2 - h_3$

Flujo radial.  $h_r = h_3 - h_4$

Flujo de entrada:  $h_e = h_4 - h_5$

La carga hidráulica en el punto medio entre dos drenes es:

$$h = h_1 - h_5 = h_v + h_h + h_r + h_e$$



Componentes del flujo del agua hacia un dren según Ernst.

Figura 3.9

Cada uno de los componentes de la ecuación se determina separadamente.

**-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:

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

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.

Previamente hay que determinar la resistencia radial: Si el nivel de los drenes está situado por encima del límite entre las capas de diferente permeabilidad, se aplican la siguiente ecuación:

$$\text{Si } K_2 / K_1 > 20 \quad W_r = [ 1 / \pi K_1 ] [ \ln (4 D_0 / u) ]$$

Donde:  $D_0$  = Espesor de la región de flujo radial (m).  
 $u$  = perímetro mojado de la zanja.

Si el nivel de drenaje coincide con el límite la resistencia es igual a:

$$W_r = [ 1 / \pi K_2 ] [ \ln (4 D_0 / \pi b) ]$$

Donde:  $b$  = anchura de la zanja de drenaje (m)

En el caso de que el dren se sitúe en la capa inferior mas permeable, la expresión de la resistencia radial es:

$$W_r = [ 1 / \pi K_2 ] [ \ln ( D_0 / u) ]$$

Limitaciones de las fórmulas de drenaje.

La importancia de una buena fórmula de drenaje para calcular el espaciamiento apropiado entre drenes, a menudo se sobrestima. El factor crítico en el cálculo del espaciamiento del drenaje no es la propia fórmula, son los datos introducidos en ella: *los criterios de drenaje y las condiciones físicas del perfil hidrológico del suelo*. Esto es debido a que los datos hidrológicos del suelo, en particular, pueden variar ampliamente dentro de una corta distancia, y su exactitud está, a menudo, en duda. Debe recordarse, por consiguiente, que en la práctica, el uso de fórmulas de drenaje nunca puede resultar más que una estimación calculada del espaciamiento entre drenes, que probablemente será aproximadamente correcta.

### **3.8. Manejo productivo del mallín**

Manejo actual

Además de su alta productividad en relación a la meseta circundante (20-30 veces superior) el ecosistema que conforma le otorga estabilidad estructural. La biodiversidad de especies vegetales y fauna silvestre como su capacidad para la regulación de los procesos hidrológicos y la calidad de las aguas, le dan una importancia ecológica sustancial dentro de los ambientes de Patagonia.

Sin embargo, debido al uso generalizado todo el año, por su alto valor forrajero y disponibilidad de agua, en muchos casos se llega al sobrepastoreo y degradación. Generalmente las cargas animales de los herbívoros están fijadas considerando la superficie de estepa y mallín, cuando en realidad la dieta en primavera-verano es fundamentalmente compuesta solo por forraje del mallín. Esta

sobrecarga es la responsable del deterioro de los mallines (Somlo y col 1992).

La permanente sobreutilización de las praderas por el pastoreo directo, desemboca en una disminución de la producción forrajera, continuando en un cambio de la composición botánica por especies herbáceas exóticas o heliófitas, disminución de la cobertura, degradación física –química del suelo resultando en disminución de la producción primaria neta. Esta situación es progresiva acelerando el proceso de deterioro con sucesiones o estadios de transición en composición de especies de menor calidad.

Sin embargo es relevante destacar que por sus atributos de estabilidad presentan una muy buena capacidad de resciliencia en los primeros estadios de degradación. El manejo del pastoreo y del agua permiten ciertos déficit en la medida que no sean extremos, ni extendidos en el tiempo.

El ecosistema responde a dos aspectos básicos que deben darse simultáneamente para que se produzca crecimiento vegetal: disponibilidad de humedad y temperatura. En patagonia el déficit hídrico estival coincide con el periodo de alta temperaturas, favorables al crecimiento, lo cual pone a la humedad del suelo como factor limitante o condicionante del crecimiento. La temperatura constituye un límite biológico al crecimiento debajo de los 5°C (Monteith,1970), rango en el cual el crecimiento es muy lento.

Por las características de las especies se destacan dos períodos de crecimiento: otoñal y primaveral en ambos casos se debe dar la condición de humedad requerida y temperatura. De este modo el primer rebrote se da en el mes de abril cuando empieza la recarga de agua en el mallín y el descenso de la temperatura no es muy marcada. El segundo rebrote generalmente es en el mes de noviembre, cuando se da el descenso de los niveles freáticos y el aumento de la temperatura. El período sin crecimiento de las especies forrajeras comprende los meses de mayo a setiembre.

A medida que la latitud es mayor la “ventana” termica se acorta. Buono y Nakamatsu hablan de un ciclo de crecimiento muy corto, dependiendo de la temperatura y precipitaciones. Cuando ocurre eventualmente, se dan desde mediados de octubre, con pico de crecimiento a fines de primavera, finalizando a principios del verano.

### Perspectiva de mallin bajo control de humedad

Una forma de mejorar la composición florística y productividad primaria de los mallines es la aplicación de riego en periodos de déficit hidrico. El riego generalmante sistematizado en en curvas a nivel se ensayó en forma discontinua en mallines y continua en laderas a “enmallinar”. Los resultados logrados permiten mejorar la calidad y cantidad de forraje producido.

La propuesta alternativa es llevar adelante la práctica de subirrigación, cuyo principal objetivo es mantener los niveles freáticos a una profundidad tal que permita una adecuada disponibilidad de agua por las especies forrajeras más deseables y asi crear condiciones para que los animales la puedan disponer. Bajo esta perspectiva se pueden prever los siguientes cambios que redundan en beneficios productivos:

- aumento en la producción por expansión de la zona central del mallín (la mas productiva). Se modifica la proporción 25/75 de mallín central sobre mallín periférico.
- aumento en la calidad del forraje debido a la mayor calidad de las especies que la componen. Se puede decir que tendremos igual cantidad de junco (menor proporción relativa) con mayor cantidad de gramíneas, graminoideas, tréboles etc.(mayor proporción relativa).
- mayor producción al evitar inundación central, ya que i) hay mayor aireación de las raíces, ii) mayor superficie de área fotosintéticamente activa, mayor IAF resulta en mayor tasa

de crecimiento, como consecuencia mayor acumulación de forraje.

- La primera utilización en primavera se podrá hacer antes, esto nos permite lograr mayor crecimiento para los próximos rebrotes y evitar que se produzca un bache en la producción (Buono, G.y Nakamatsu, V.). Finalmente lograr mayor producción total.
- La máxima producción de forraje a fines de primavera a principios de verano, la hacienda no puede controlar todo el crecimiento de las pasturas. Bajo pastoreo rotativo racional esa sobre-oferta puede ser conservada. De esta manera se puede lograr forraje de alto valor nutritivo ya que el corte se podrá hacer en estado fenológico adecuado (comienzos de espigazón).(Becker et. al.,1997)
- mayor producción en el rebrote otoñal, por que se darán las condiciones de humedad, elemento limitante en todos los mallines para esa época, con temperaturas no limitante al inicio de esa estación.
- Con referencia al efecto del animal sobre el mallín, la mejoría en el piso por evitarse el anegamiento contribuye a disminuir el efecto de compactación y preservar la estructura de macro y microporos.
- La contribución proveniente del reciclado de nutrientes (N,P y micronutrientes) como consecuencia de la devolución de los animales puede ser significativa pero amerita estudios específicos.
- Con referencia al efecto de la pastura en el animal, como aspecto principal será la de lograr mayor tamaño de bocado esto permite mayor consumo por ende mayor producción animal. Esto por que tendrá forraje con mayor contenido de MS.

- La estructura de la pastura por modificación de la composición botánica deberá ser estudiada junto al tipo de manejo que se le dará a las distintas zonas del mallín.
- La modificación en la composición botánica de la pastura amerita estudios para optimizar el tipo de manejo que se le dará a las distintas zonas del mallín.
- Menor incidencia de enfermedades producidas por endo y ectoparasitos.

Estas apreciaciones de orden cualitativo pueden ser el punto de partida para evaluar en términos de la actividad ganadera la factibilidad y eventualmente la conveniencia de un manejo del mallín que apunte a controlar la humedad disponible en el suelo.

Cabe mencionar que en estado inicial del mallín es determinante en la evaluación de los potenciales beneficios, lo cual dificulta hacer una generalización o sistematizar los beneficios netos del sistema controlado.

## **Capítulo 4**

### **Aplicación**

#### **4.1. Selección del Mallín Pampa Ñorquín**

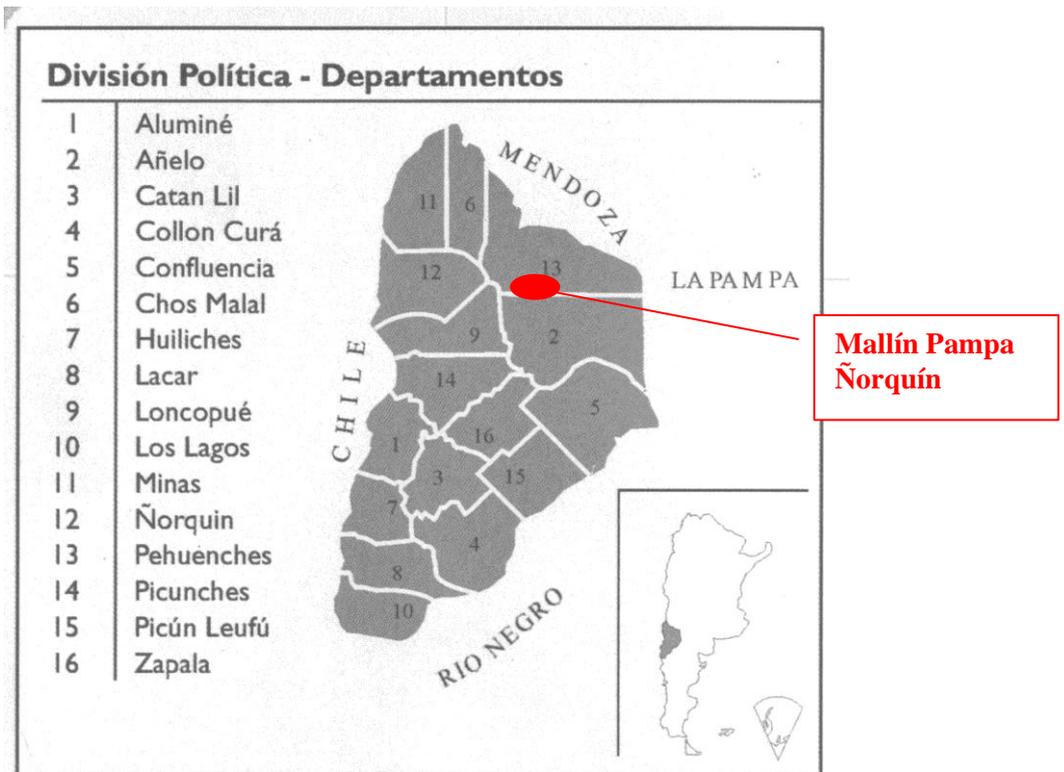
La propuesta que origina el presente proyecto, contempla la observación en un conjunto de mallines que a priori se representaban ares distintas por uno o varios aspectos como clima, geomorfología, tipo de suelo, salinidad en freática, uso agrícola, degradación. Se buscaba reconocer así rasgos y funcionamientos diferenciales, para lo cual se seleccionaron 5 mallines que fueron relevados y monitoreados siguiendo criterios y técnicas definidas. La información recolectada fue procesada y cada uno de ellos fue analizado en forma similar.

En este capítulo se presenta la aplicación de los métodos y técnicas de análisis descritas en el capítulo III a los mallines estudiados. Cabe advertir que la aplicación se hizo fundamentalmente al mallín Pampa Ñorquín de El Huecú y en algunos casos se incluyen en el análisis otros mallines a los efectos comparativos. Se considero redundante y excesivo, por ejemplo, presentar la aplicación de los modelos matemáticos a todos los mallines estudiados ya que el funcionamiento hidrológico resulto ser el mismo. El valor que toman las variables de interés (nivel freático, humedad del suelo, tensión suelo – agua, etc) es distinto en cada caso dependiendo del tipo de suelo, clima, vegetación etc, pero los procesos hidrológicos que gobiernan el funcionamiento son idénticos. Los procesos resultaron así ser el elemento unificador cuya modelización permitió la reproducción de las observaciones realizadas.

Se incluye la aplicación de las técnicas para evaluar el funcionamiento del mallín bajo condiciones controladas o “con proyecto” lo cual implica un avance en la tecnología de manejo de mallines que debiera ser pulida en futuros estudios.

El modelo matemático aplicado al flujo y transporte en suelo, ha sido aplicado en mallines con observaciones periódicas de humedad, lo cual permitio validar esta técnica (Horne et al 1998). De hecho la observación de humedad de suelo en forma periódica en mallines alejados constituye una restricción insuperable, por lo cual la validación se hizo con datos aislados de humedad, medidos simultáneamente con niveles freaticos

### Ubicación geográfica



## **4.2. Metodología de estudio**

### **4.2.1. Suelos**

Se basa en primer lugar, en trabajos de gabinete que servirán de base a los posteriores trabajos de campo.

A su vez los trabajos de campo, definieron dos niveles de detalle en cuanto a la información a obtener.

Se adjunta un esquema que resume lo que se detallará a continuación:

Recopilada la información precedente, se realizó la fotointerpretación inicial de cada una de las áreas a estudiar. Una vez recopilados los pares fotográficos correspondientes a cada zona, con ayuda del estereoscopio se identificaron las distintas unidades geomorfológicas, siguiendo el criterio de patrones asociados a texturas y tonos fotográficos definidos, las cuales fueron posteriormente supervisadas y ajustadas en el campo.

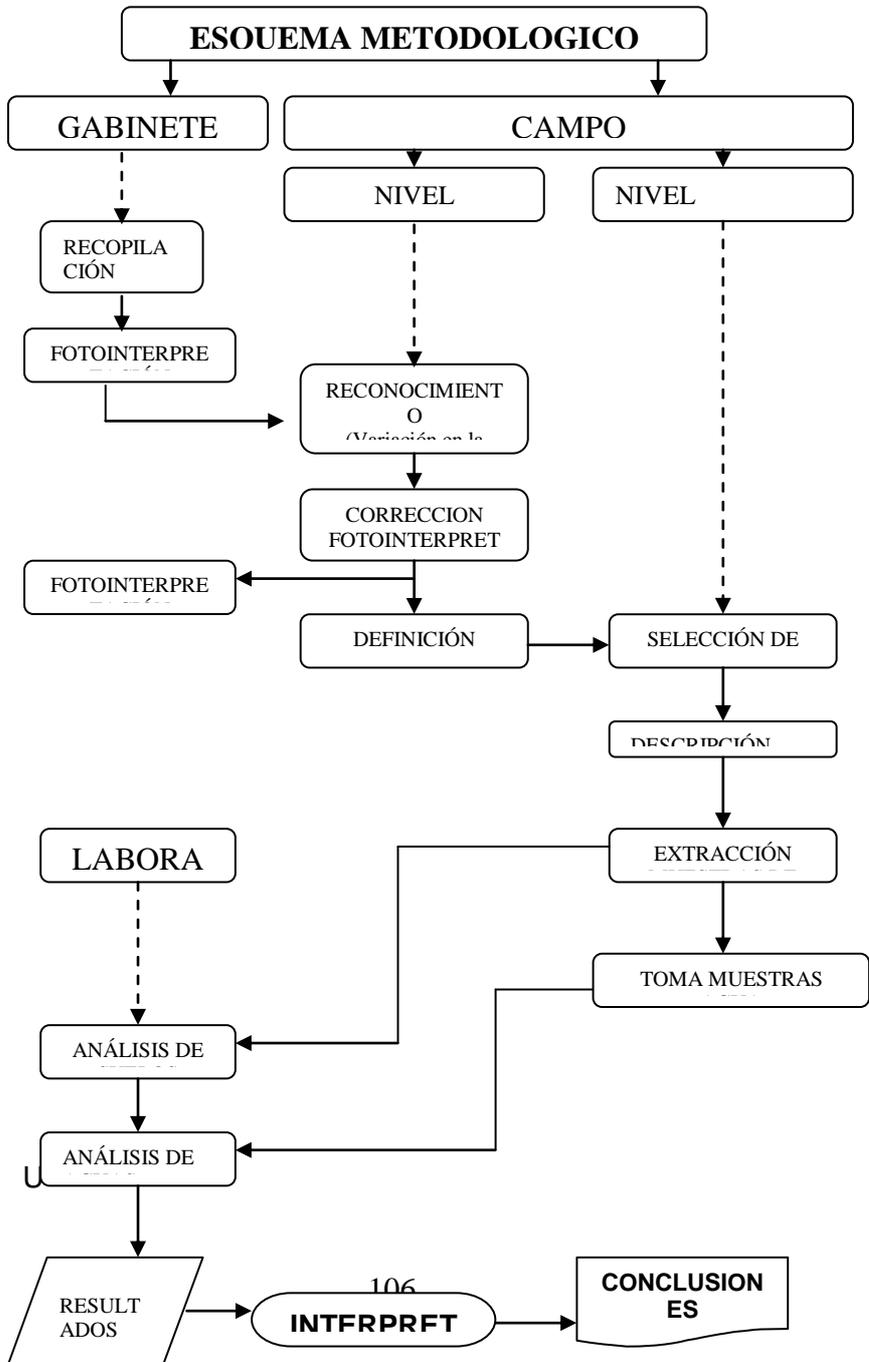
### **Trabajos de campo**

Sobre el área se definieron dos niveles de información a obtener: nivel orientativo o de reconocimiento y nivel representativo o de detalle.

#### **Nivel de información orientativo o de reconocimiento**

A este nivel la prospección a campo consistió en el reconocimiento de cada uno de los sitios fotointerpretados para poder así controlar y corregir la fotointerpretación preliminar. Se prestó atención a las variaciones de la topografía, de la vegetación y de los suelos, en este último caso mediante barrenadas hasta una profundidad de aproximadamente 2,5 a 3 m. Se consideraron las siguientes

propiedades según las normas de reconocimiento del USDA (Soil Taxonomy, 1996):



#### ubicación geográfica

- Coordenadas geográficas y altitud
- Superficie aproximada
- Posición geomorfológica
- Material originario de suelos
- Relieve y pendiente
- Clase Natural de Drenaje
- Textura al tacto
- Profundidad a la grava
- Profundidad a la capa freática
- Presencia (tipo y abundancia) de rasgos hidromórficos  
Clase natural de drenaje
- Color de la matriz
- Presencia de carbonatos
- Presencia de alofano

En base a la interpretación de éstos datos se definió el trazado de una ó dos transectas (de acuerdo a la menor ó mayor heterogeneidad del sitio) perpendiculares al centro del mallín, que atraviesan las distintas unidades geomorfológicas presentes en el área. Estas transectas son utilizadas como base de las posteriores actividades a realizarse en el mallín.

#### **Nivel de información representativo**

Se seleccionaron los sitios representativos para la apertura de calicatas. Se efectuó una caracterización completa del sitio ( rasgos externos) y una caracterización completa del perfil del suelo (rasgos internos). Para ello se abrieron calicatas de aproximadamente 1,5 m de largo por 1m de ancho por una profundidad variable (de acuerdo a las limitantes del sitio: capa freática y presencia de grava en caso que lo hubiere), entre 0,5 a 1,8 m. Se extrajeron muestras disturbadas y muestras no disturbadas, con fines analíticos. A partir de la

información obtenida en campo y laboratorio se realizará la clasificación de los suelos hasta nivel de familia según Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1996).

Se identificaron los freáticos más cercanos a los perfiles estudiados de cada una de las transectas. Posteriormente se analizó la composición química del agua de la capa freática extraída de estos freáticos como así también el agua de ingreso y la del curso central.

### ***Determinaciones realizadas sobre muestras de suelos a nivel Específico:***

#### **Determinaciones físicas:**

- Pretratamiento para análisis granulométrico.
- Análisis granulométrico (Método de Bouyucous, 1927).
- Densidad aparente ( Mét. del cilindro)
- Porosidad total, de aireación y capilar
- Agua en el punto de saturación
- Retención hídrica a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 y 15 atm. (Mét. de Richard, 1954).

#### **Determinaciones Químicas y Físico-químicas:**

- Carbono Orgánico. Mét. de Walkley y Black, 1934. (Jackson, 1982).
- pH en pasta. Mét. Potenciométrico ( Bates, 1954), (Schafield et al, 1955).
- PH en relación 1: 2.5 (Soil Reaction Comittee, 1930).
- PH en KCl (Puri y Asghar, 1938)
- PH en FNa (Fieldes, M.P. y K. W. Parrot, 1966)
- Retención de fosfatos (Blackmoore, 1980)

- Carbonato de Calcio. Método volumétrico. (Sadsawaka, 1990).
- Resistencia eléctrica (Puente de Wheastone, U.S.S.L. Staff, 1954).
- Conductividad eléctrica específica (U.S.S.L. Staff, 1954).
- Bases de Intercambio para suelos calcáreos (Bower et al, 1952)
- Capacidad de Intercambio Catiónico con Acetato de Sodio (Sadsawaka, 1990)
- Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases de Intercambio en Acetato de Amonio (Schollember, C. J. & R. H. Simon, 1945)
- Aniones y Cationes en el extracto de saturación (U.S.S.L. Staff, 1954).
- Porciento de Sodio de Intercambio (U.S.S.L. Staff, 1954).

**Determinaciones a realizar a muestras de aguas:**

- PH. Mét. Potenciométrico ( Bates, 1954), (Schafield et al, 1955).
- Conductividad eléctrica específica (U.S.S.L. Staff, 1954).
- Aniones y Cationes (U.S.S.L. Staff, 1954).
- Relación de Absorción con sodio RAS (U.S.S.L. Staff, 1954).

**Freatímetros**

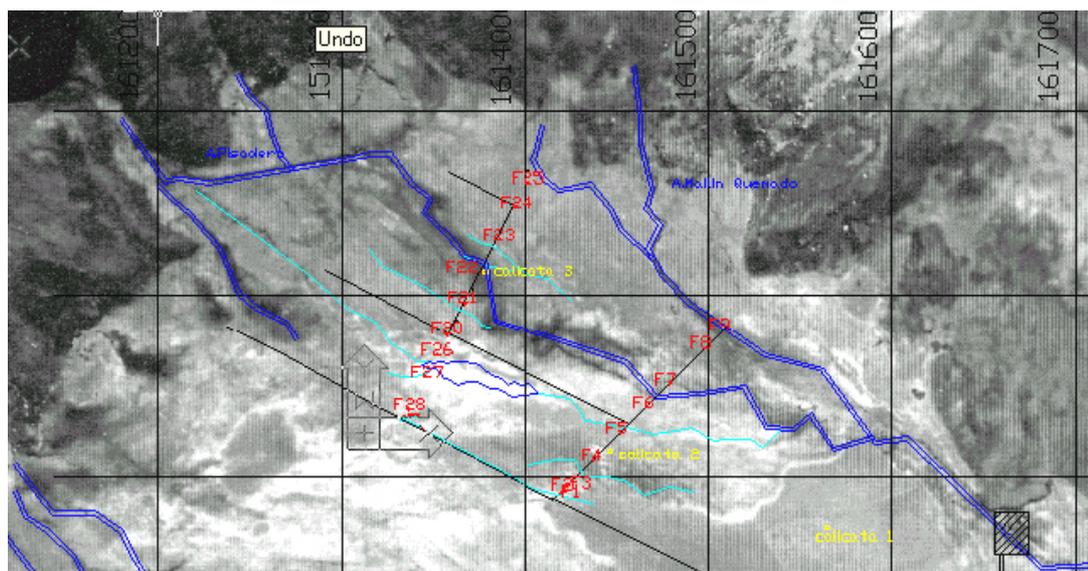


Figura 4. 1

## Evaluación de la calidad del agua

La calidad del agua se define por una o mas características físicas, químicas o biológicas. En la evaluación del agua de riego se tienen en cuenta sobre todo las características químicas y físicas. El tipo de sales disueltas, aún en cantidades relativamente pequeñas pero significativas, puede variar elocuentemente la calidad de agua de riego.

Se tomaron muestras del agua ingresante al mallín, para determinar la calidad de la misma en las condiciones iniciales, del agua de la capa freática pues en los mallines la recarga del acuífero y la proximidad de la napa al suelo condiciona la buena distribución de la humedad edáfica y del agua saliente del mallín para observar las transformaciones de la misma luego de atravesar el mallín..

Las directrices para evaluar la calidad del agua son las siguientes (FAO, 1987).

**Salinidad:** Las sales del suelo y del agua reducen la disponibilidad del agua a las plantas, afectando sus rendimientos. Se determinó en base a ....

**Infiltración de agua:** Contenidos relativamente altos de sodio, o bajos de calcio en el suelo y agua, reducen la velocidad con que el agua atraviesa la superficie del suelo.

**Toxicidad de iones específicos:** Ciertos iones (sodio, cloro) contenidos en el agua o el suelo, se acumulan en los cultivos en concentraciones suficientemente altas para causar daños y reducir los rendimientos en cultivos sensibles.

Si bien las directrices mencionadas tratan de abarcar una amplia gama de condiciones, sus hipótesis consideran suelos bien drenados y riegos convencionales. No obstante ello, las mismas nos ubican en cuanto a las características del agua entrante al mallín, del agua de la capa freática, y del agua saliente del mallín, para evaluarlas y compararlas.

Se tuvieron en cuenta además, los siguientes índices:

Carbonato sódico residual (Índice de Eaton, en Cuenca, 1990) señal de la acción degradante del agua.

Coefficiente alcalimétrico o índice de Scott (Cuenca 1990), definido como la altura del agua, en pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm) que después de la evaporación dejaría en un terreno vegetal de cuatro pies de espesor (1 pie = 30,48 cm), álcali suficiente para imposibilitar el desarrollo normal de las especies vegetales mas sensibles.

Los cálculos y las tablas correspondientes a cada índice se exponen en el anexo IV.

## **Mapeo de parámetros**

La determinación de las características referidas al drenaje de un área determinada no pueden ser apreciadas a simple vista sino

que requieren de la confección e interpretación de una variedad de mapas temáticos.

El análisis conjunto de los mismos nos permite realizar una evaluación global de las condiciones de drenabilidad de dicha área.

### ***Mapa de isohipsas***

Estos mapas son determinados ubicando sobre un mapa topográfico los diferentes pozos de observación y los niveles absolutos de la superficie de agua (cota de los niveles freáticos).

Los mapas isofreáticos o equipotenciales son de suma utilidad ya que permiten determinar la configuración de la superficie freática, la dirección de las líneas de flujo (perpendiculares a las equipotenciales), el gradiente hidráulico del agua subterránea así también como las zonas de recarga y descarga.

Es importante destacar que a partir de los valores de gradiente hidráulico se puede inferir las características de conductividad hidráulica. Considerando que la velocidad del flujo varía directamente con el gradiente hidráulico, para una velocidad constante, el gradiente es inversamente proporcional a la conductividad (ley de Darcy).

Respecto a las áreas de recarga y descarga, un montículo causado por una recarga puede deberse al aporte de riego localizado o subsuperficial como flujo de agua ascendente desde capas inferiores.

### ***Mapa de profundidad de la tabla de agua***

Este mapa es deducido de la diferencia de elevación entre las líneas isofreáticas y las curvas topográficas.

El mapa de isobatas es de especial interés ya que permite delimitar áreas con problemas de drenaje.

Debido a esto es que deben ser confeccionados en épocas críticas y diferentes, por ejemplo en períodos donde la tabla de agua tenga valores elevados, o cuando se espera que los cultivos sean más sensibles a altas elevaciones.

En el caso particular del mallín del Huecú la fecha elegida fue el 8 de junio de 1999, dado que en ese momento la tabla de agua se encontraba en sus valores mínimos.

Para dicha fecha se confeccionaron mapas de isohipsas e isobatas a partir del programa de mapeo denominado SURFER.

### Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es función de la porosidad efectiva, que a su vez depende de la textura y estructura del suelo. Por lo tanto, una primera idea de las características hidráulicas del perfil del suelo, puede obtenerse determinando el grado de estratificación del mismo y las propiedades físicas de cada capa. Dado el número de variables que afectan la conductividad hidráulica, su determinación a campo constituye el único procedimiento confiable que puede emplearse con fines de diseño.

Se presentan dos alternativas para determinar "in situ" el valor de  $K$ :

- a) por debajo del nivel freático
- b) por sobre el nivel freático.

En cualquiera de los casos, los métodos de medida se basan en un mismo principio; se imponen ciertas condiciones al flujo del agua a través de un determinado volumen de suelo y se mide la densidad de flujo, calculándose  $K$  mediante una ecuación que la relaciona con las condiciones de flujo y con la descarga.

#### a) Método del pozo barrenado.

Se basa en la relación existente entre la velocidad de recuperación del agua en un sondeo que atraviesa la zona saturada de un acuífero libre - cuyas características geométricas son conocidas - después de crearse una depresión por bombeo, y la conductividad hidráulica del suelo circundante. Esta relación se expresa por la siguiente fórmula:

$$K = C.v$$

donde:

K = Conductividad hidráulica (m/d)

v =  $\Delta h / \Delta t$  = Velocidad de elevación del nivel del agua en el sondeo (cm/s)

h = Profundidad del nivel del agua libre en el sondeo por debajo de la capa freática (cm).

C = f ( J,  $\bar{h}$ ,  $r_a$ , E ) – Igual factor geométrico.

J = Profundidad del sondeo por debajo del nivel freático (cm).

$r_a$  = Radio del sondeo (cm).

E = Profundidad del estrato impermeable, por debajo del fondo del sondeo.

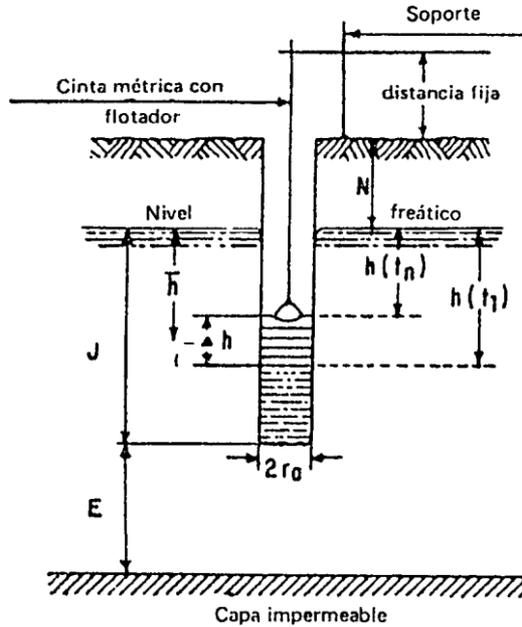
La velocidad de recuperación del nivel del agua en el sondeo se determina mediante lecturas tomadas inmediatamente después del bombeo, a intervalos de tiempo constantes, que varían de 5 a 30 segundos según tipo de suelo. El factor geométrico C se calcula con una de las formulas siguientes:

$$\text{Si } E > \frac{1}{2} J : C = \frac{400\bar{Q}}{(J+2r_a)e^{-\frac{\bar{h}}{J}}\bar{h}}$$

$$\text{Si } E = 0 : C = \frac{360\bar{Q}}{(J+r_a)e^{-\frac{\bar{h}}{J}}\bar{h}}$$

Donde  $\bar{h}$  es el valor medio de las lecturas de h que cumplen la condición  $h > \frac{3}{4} h(t_1)$ , siendo  $h(t_1)$  el valor correspondiente a la lectura inicial; es decir, mientras solamente la cuarta parte del volumen de agua bombeada ha sido reemplazada por el agua freática que fluye al sondeo.

Con este método se mide la permeabilidad de una columna de suelo de unos 30 cm de radio y de altura comprendida entre el nivel freático y unos 20 cm por debajo del fondo del sondeo.



b) Método del infiltrómetro.

El infiltrómetro, con el que se determina la velocidad de infiltración, se utiliza también para medir la conductividad hidráulica capilar por encima del nivel freático.

La velocidad de infiltración en un suelo no saturado es, según la ley de Darcy, proporcional a la conductividad y gradiente hidráulicos:

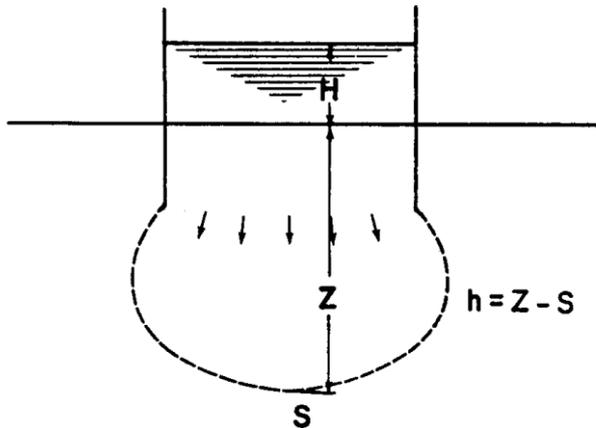
$$V = K_h \frac{S + z + H}{z}$$

donde:

v: velocidad de infiltración (cm)  
 $K_h$ : conductividad hidráulica capilar (cm/s)  
 S: succión del suelo (cm)  
 Z: profundidad de la zona de transmisión de humedad

(cm)

H: altura de agua en el infiltrómetro (cm)



Esquema del infiltrómetro.

A medida que el contenido de humedad del suelo aumenta y la zona de transmisión se alarga, la altura de agua y la succión disminuyen en comparación con el valor de  $z$ , por lo que el gradiente hidráulico tiende a la unidad y se alcanza la velocidad de infiltración básica que equivale a la conductividad capilar.

\_ Ecuaciones empíricas: Kostiakov fue quien presentó la ecuación

$$L = K T^n$$

donde:

L = lamina total infiltrada en el tiempo T  
K ; n = parámetros experimentales

Derivando la ecuación: 
$$\frac{dL}{dT} = n K T^{n-1} = I$$

que es la ecuación de velocidad de infiltración y que expresada en cm/hr es:

$$I = 60 n K T^{n-1}$$

Entendiendo por infiltración básica, el valor de velocidad de infiltración en un punto de la curva tal que la pendiente de la misma sea lo suficientemente pequeña como para estar cerca de un valor constante, se tiene:

$$\frac{dI}{dT} = D$$

siendo D suficientemente pequeño

luego, 
$$\frac{dI}{dT} = 60 n(n-1) K T^{n-2} = D$$

de aquí se deduce fácilmente  $I_b$  llamando  $T_b$  al tiempo que corresponde a ese valor D de la pendiente.

En consecuencia, se puede decir que la velocidad de infiltración tiene valores altos en suelos secos y disminuye hasta hacerse constante en suelos saturados, situación en que ambos parámetros (K ; I) toman igual valor numérico.

### **Modelo matemático empleado**

El modelo matemático se basa en una función analítica desarrollada por Strack (1989). Para calcular la altura potencial en

cada punto del acuífero, usa el principio de superposición que permite contabilizar las acciones de recarga uniforme (precipitación, evapotranspiración), canales, desagües y áreas circulares de recarga (lagos).

Se utiliza la ecuación continuidad para igualar los valores del vector de descarga en la dirección del flujo y la magnitud del potencial de descarga con el volumen que pasa a través de una sección unitaria.

La ecuación analítica es linearizada expresándola en términos de descarga potencial de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\Phi(x,y) = \frac{Q_0}{2k} \left( \cos \alpha_{\mu} x + y \cos \alpha_{\mu} \right) + C \quad E.4.1$$

donde:  $Q_0$  = flujo uniforme por ancho unitario de acuífero =  $k \cdot B \cdot i$  ( $L^2/T$ ) ( $k$ =conductividad hidráulica,  $B$ =espesor saturado,  $i$ =gradiente)

$x, y$  = coordenadas de los puntos

$\alpha_{\mu}$  = ángulo entre el flujo y el eje  $x$

$C$  = constante que se computa a partir de una altura de referencia

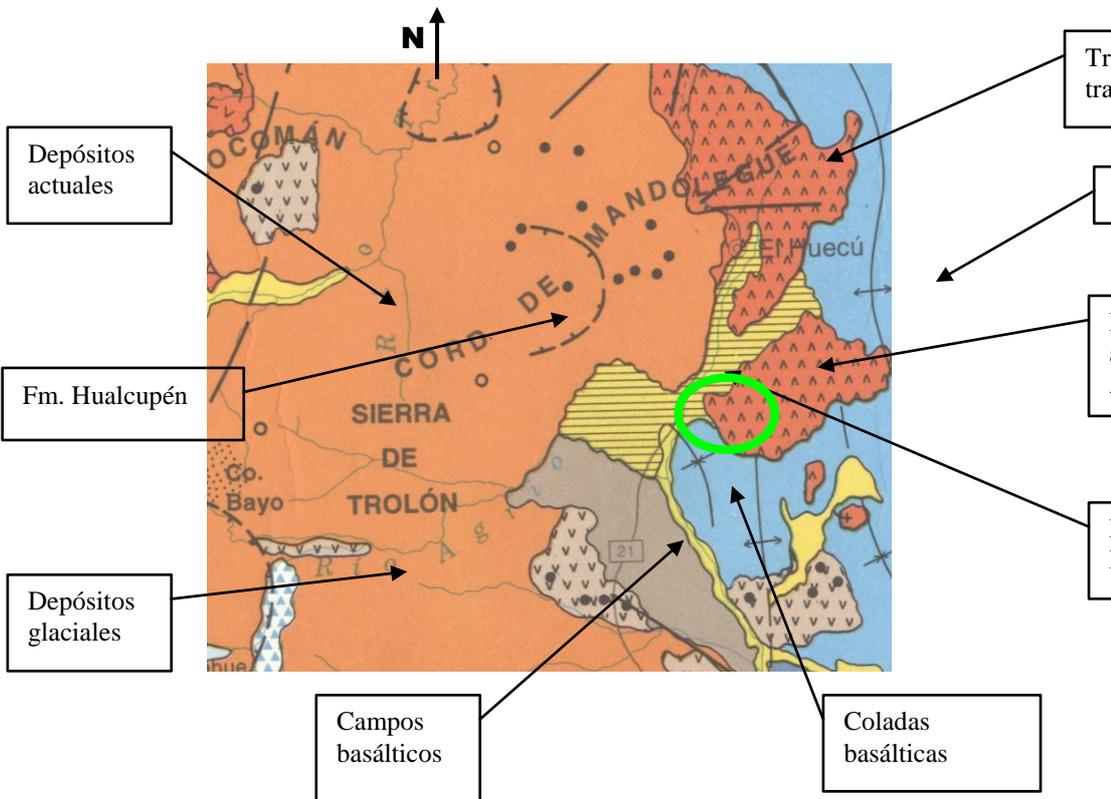
Esta descarga potencial es convertida en altura piezométrica ( $\phi$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$\phi = \sqrt{\frac{2\Phi}{k}} \quad E.4.2$$

### 4.3. Caracterización del mallín Pampa Ñorquín

#### 4.3.1. Geología

Está ubicado en el borde oriental de la Unidad Tectono-Sedimentario Area Andina.



Fuente: Mapa Geológico y de Recursos Minerales de la Provincia del Neuquén. Esc. 1:500.000

Figura 4. 2

En el Mapa Geológico se realiza la siguiente caracterización de la litología, ambiente geológico, litoestratigrafía y período geológico.

- Formación Agrío del Cretácico Inferior. Grupo Mendoza. Lutitas, calizas, fangolitas, arcilitas y areniscas. Los ambientes varían entre la zona marina distal, sublitoral, litoral y continental. Se registran transgresiones marinas sucedidas por episodios de progradación deltaica.

- Traquitas y traquiandesitas: domos extrusivos, coladas y diques de edad plioceno inferior. (Vn. Auca Mahuida). Período eruptivo: Chapualitense.

- Formación Hualcupén: andesitas, basandesitas, basaltos, tobas, brechas, cenoglomerados, areniscas y conglomerados. Plioceno superior. Depósitos de flujos piroclásticos y coladas relacionadas a estratovolcanes, algunos con evolución en calderas. Desarrollo local de ambiente fluvial. Período eruptivo: Chapualitense.

- Campos basálticos: basaltos del pleistoceno inferior. Coladas y piroclastitas en volcanes monogénicos. Período eruptivo: Puentelitense.

- Depósitos aterrazados del Río Agrío: Conglomerados, gravas, bloques y arenas. Sedimentación fluvial y de llanuras pedemontanas. Edad pleistocena.

- Depósitos glaciales: drift glacial no estratificado (till) y estratificado (ritmitas). Acarreo y deposición glacial, glacifluvial y glacialacustre.

- Coladas basálticas: basaltos y basandesitas del Vn. Copahue. Son coladas y piroclastitas básicas en volcanes compuestos y monogénicos. Edad: Holoceno. Período eruptivo: Tromenlitense

- Depósitos actuales: arenas, gravas, limos y bloques de sedimentación fluvial, eólica y procesos de remoción en masa. Edad: Holoceno.

### 4.3.2. Geomorfología

Tomando como base la zonificación geomorfológica regional propuesta por González Díaz et al, (1990) se localizan los mallines estudiados dentro de ese contexto general describiendo asimismo, en cada caso, sus particularidades.

**Zona oriental**, caracterizada por un paisaje estructural mesetiforme donde la acción de los agentes geomórficos exógenos han intervenido condicionados por la disposición horizontal de los estratos.

Adosados al pie de las planicies se hallan manifestaciones de procesos de deslizamientos y remoción en masa, como también se detecta la presencia de pedimentos no muy extendidos que junto a abanicos aluviales o conos coluviales se posan sobre planicies aluviales de valles mas o menos estrechos. Estas características geomorfológicas son las que corresponden al mallín de la estancia Fortín Nogueira, ubicada en el valle del arroyo Santa Teresa, en las cercanías de la ciudad de Piedra del Aguila.

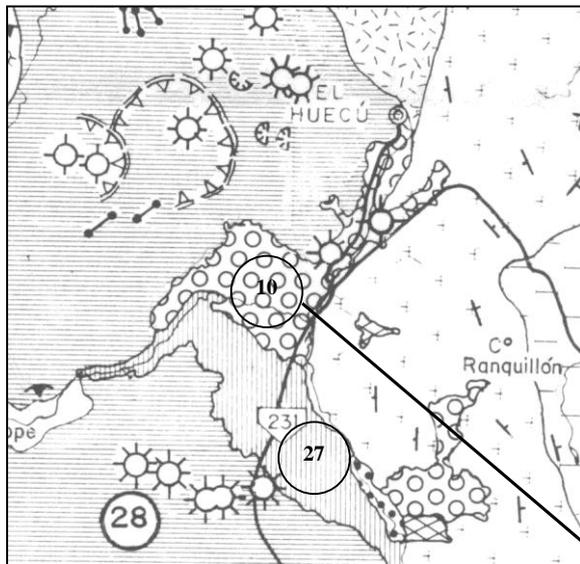
**Zona central**, abarcando una faja mas o menos comprendida entre los meridianos 70°30' y 69°15' de longitud oeste. Respecto de la zona oriental presenta mayores elevaciones y una mayor heterogeneidad en sus pendientes, más escarpadas y por lo general de escaso desarrollo longitudinal, constituyendo también un paisaje estructural. En este caso las estructuras fuertemente plegadas y fracturadas, así como la disposición homoclinal en algunos sectores, han condicionado la participación del ciclo fluvial, generando una compleja configuración de valles anticlinales y sinclinales, zigzagueantes divisorias, serranías de asimétrico perfil y fenómenos de inversión de relieve. En esta **zona** queda descripta la geomorfología del mallín agua del sapo, enclavado en un valle estructural y rodeado de "espinazos" y "cuestas".ya que las pendientes

occidentales son cortas y abruptas mientras que las orientales son suaves y alargadas.

**Zona occidental:** Se caracteriza por un neto predominio de cordones montañosos dispuestos de norte a sur, separados por valles profundos y paralelos. El rasgo morfológico distintivo deriva de la acción glacial y en menor medida de la acumulación glaciaria producidas por el mas reciente englazamiento que afectó la fisonomía del previo paisaje montañoso y serrano. La acción generada por procesos glacifluviales, glacialacustres y el posterior modelado fluvial ha dado origen a planicies estrechas caracterizadas por un relieve plano, a menudo inferior a 2% de inclinación.

El mallín Estancia Lolén, ubicado a 10 kilómetros al noreste de Junín de los Andes, está situado en una planicie glacifluvial de relieve plano con ligeras complejidades circunscripto entre morenas laterales y extensos abanicos aluviales que descienden de los cerros aledaños. Lo atraviesa el A° Lolén, (afluente del río Malleo) franqueado por estrechas terrazas.

Otra geoforma de notable desarrollo areal lo constituye la “planicie lávica pedemontana” que se extiende entre los 37 y los 39° de latitud sur. En algunos sectores se observa, superpuesto, un paisaje de coladas modernas, principalmente basálticas. En cercanías de El Huecú, el mallín de la estancia Pampa Ñorquín se desarrolla sobre una planicie aluvial pedemontana, bordeada al Norte por la planicie lávica pedemontana desde donde descienden abanicos aluviales y al sur por la colada basáltica moderna. Este mallín está atravesado prácticamente en toda su longitud por el A° Pisadero que luego se une al A° Cerro Quemado (ambos descienden de la planicie lávica) para desembocar en el A° Ñorquín.

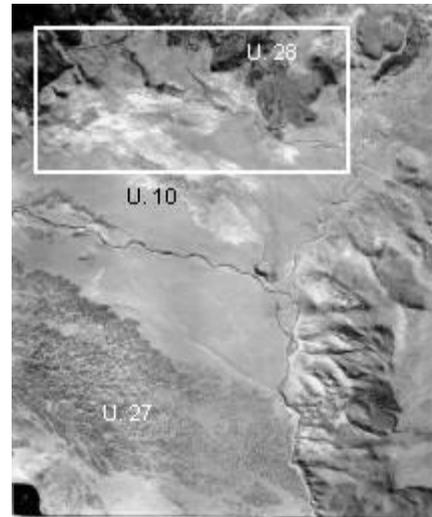


### LEYENDA

- 10 Planicie aluvial pedemontana (bajada) y abanicos aluviales
- 27 Paisaje de coladas modernas, principalmente basálticas
- 28 Planicie lávica pedemontana

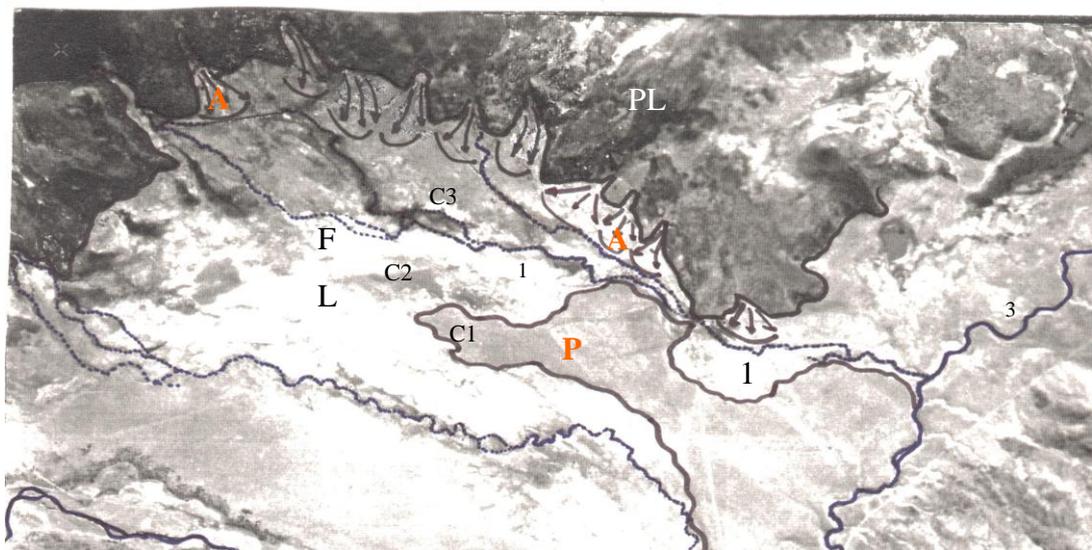
Fig. Sector del mapa geomorfológico de Neuquén (González Díaz, 1986) que muestra la zona del mallín Ea Pampa Ñorquín (unidad 10) en un contexto más regional

Fig. : Fotografía aérea en cuyo centro se observa la unidad geomorfológica 10. Al norte de la misma se visualiza un pequeño sector de la unidad 28 y al sudoeste podemos distinguir parte de la unidad 27. El recuadro muestra el área de estudio, que se describe en la fig.



Las **figuras --- muestran** un recorte de la geomorfología regional de la zona del Huecú y una imagen de la fotografía aérea del mismo sitio donde se detalla la unidad geomorfológica 10.

La **fig.** corresponde a un mapa con la geomorfología detallada del área de estudio del mallín Ea. Pampa Ñorquín.



*Fig. : Área de estudio mallín Ea Pampa Ñorquín.  
Fotointerpretación.*

#### **LEYENDA:**

##### **Rasgos genéticamente vinculados a procesos endógenos**

Geoformas derivadas de procesos eruptivos

Planicie lávica pedemontana.

##### **Rasgos genéticamente vinculados a procesos exógenos**

##### **GEOFORMAS DERIVADAS DE PROCESOS ERUPTIVOS**

A: Abanicos aluviales.

F: Fondo de valle

L: Ladera de valle

P: Planicie aluvial pedemontana

##### **REFERENCIAS:**

1: Arroyo Pisadero

2: Arroyo Mallín quemado  
3: Arroyo Ñorquín.  
C1: Perfil 1  
C2: Perfil 2. Sitios Bajos    C5: Perfil 5: Sitios mas altos  
(microrrelieve)  
C3: Perfil 3.

### 4.3.3. Suelos

Los suelos del mallín ubicado en la estancia Pampa Ñorquín se clasifican como xerortente típico franco grueso (perfil 1), endoacuyente aérico franco grueso (perfiles 2 y 4), xerortente ácuico franco grueso (perfil 5) y Haploxeroll ácuico cumúlico limosa fina (perfil 3).

#### Características morfológicas, físicas y fisicoquímicas

Las **características morfológicas** de los perfiles reconocidos en el mallín de la Estancia Pampa Ñorquín se presentan en la tabla 1 (Anexo I).

Son suelos moderadamente profundos a muy profundos, de escasa evolución pedogenética, cuya secuencia de horizontes es A, AC, C, pudiendo presentarse frecuentemente discontinuidades litológicas.

La clase Natural de drenaje varía de moderadamente bien drenada a pobremente drenada en función a las fluctuaciones de la freática y la evidencia de los rasgos hidroximórficos presentes en los suelos.

Estos suelos poseen en general colores pardo, pardo grisáceo o gris parduzco (Matiz 10YR a 2,5Y en profundidad), claros en seco y muy oscuros cuando húmedos, producto de luminosidades variables e intensidades bajas, generalmente  $\leq 2$ .

La granulometría dominante es media a gruesa, con presencia de gravas, en algunos casos desde superficie pero generalmente en profundidad, lo que determina límites abruptos entre horizontes y discontinuidades litológicas.

La estructura del horizonte superficial se presenta en grado débil a moderado, con agregados tipo granular ó bloques subangulares medios a finos. Subsuperficialmente y en profundidad, los horizontes se presentan masivos.

La consistencia presenta horizontes blandos en seco en todo el perfil, a ligeramente duros en profundidad, friables en húmedo, no plásticos y no adhesivos en mojado.

Estos suelos se presentan húmedos desde superficie ó a partir del horizonte subsuperficial, llegando a saturación completa en cercanías de la freática.

Los rasgos hidroximórficos que presentan son: Matriz reducida y concreciones redox en masas, predominantemente de Fe, las cuales pueden estar presentes a partir de los 10 cm de profundidad. Su tamaño varía de fino a grueso, siendo en general mas pequeñas en los horizontes superiores y aumentando en tamaño y cantidad en profundidad.

Todos los suelos descriptos presentan reacción positiva al test de Fieldes y Perrot, como también reacción positiva al test de Childs en por lo menos algún subhorizonte del perfil.

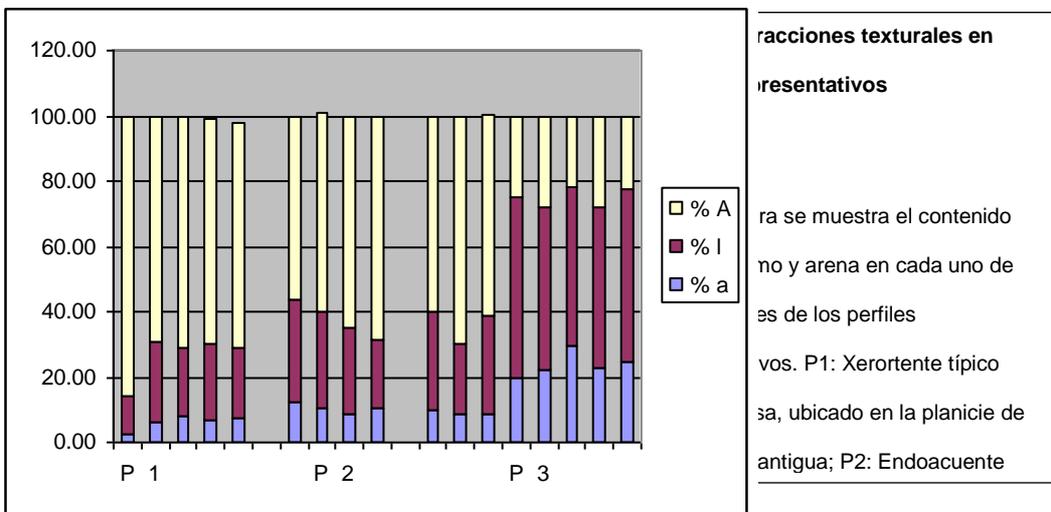
Las raíces finas abundan en los primeros 30 cm del perfil y van disminuyendo en profundidad. En los horizontes subsuperficiales se destacan las raíces medias, abundantes a comunes hasta el metro de profundidad, que llegan hasta casi los 2 metros.

La **caracterización física** de los suelos del mallín ubicado en la estancia Pampa Ñorquín se aprecian en la tabla 2 (Anexo I). De acuerdo a estos resultados podemos establecer que estos perfiles poseen texturas gruesas (Af a fA) a medias (f a fl), con porcentajes en

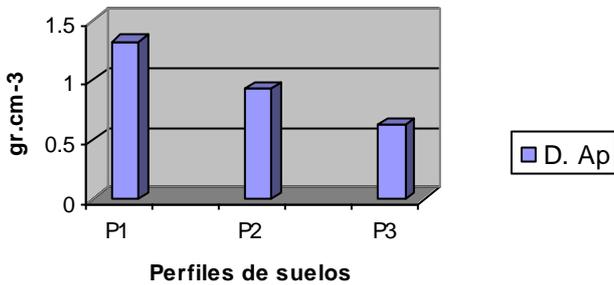
general bajos de arcilla, dominando el limo en algunos perfiles y la arena en otros.

Los suelos de la planicie aluvial pedemontana son gruesos en general, de textura areno franca a franco arenosa, con gravas en todo el perfil.

Los suelos aluviales que conforman el mallín poseen discontinuidades litológicas formadas por horizontes gravosos (25 % de gravas) a extremadamente gravosos (80 % de gravas) en profundidad. Los suelos de los amplios abanicos laterales poseen textura gruesa en la parte superior, donde dominan las arenas y media en profundidad, dominando limos y siguiéndole en importancia arcillas.



La densidad aparente de estos suelos es baja, variando de 0.6 a 0.7 g.cm<sup>-3</sup> en los horizontes mas finos, a 0.9 – 1,3 g.cm<sup>-3</sup> para aquellos mas gruesos (figura 2).



**Figura 2: VARIACIÓN EN LA DENSIDAD APARENTE (PROMEDIO PONDERADO) EN PERFILES REPRESENTATIVOS.**

se presenta la densidad para los tres suelos citados anteriormente. Para simplificar la lectura del gráfico, se realizó el promedio ponderado de las variables mencionadas.

En los primeros casos, donde la textura es franca a franco limosa, la porosidad total varía entre 65 y 76 % siendo prácticamente similar la distribución entre macro y microporos (figura 3).

Las densidades mayores, correspondiendo a texturas franco arenosas a areno francas, se correlacionan con porosidades entre 50 al 70 %, siendo en estos casos los macroporos quienes predominan.

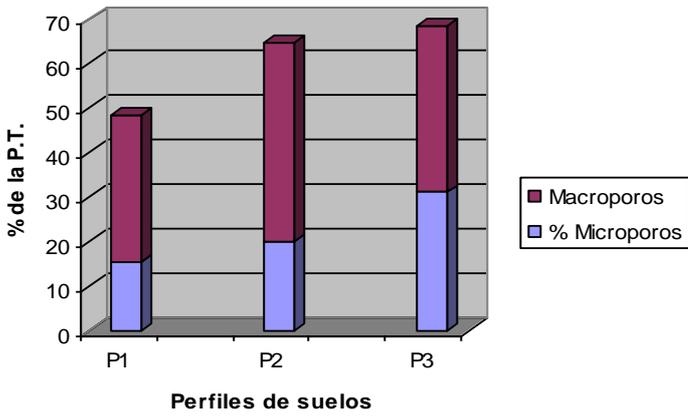


FIGURA 3; VARIACIONES EN LA POROSIDAD TOTAL (Promedio ponderado) EN PERFILES REPRESENTATIVOS. Los perfiles seleccionados son los mismos que se representaron en la figura anterior.

La retención hídrica de los suelos franco arenosos es baja en los (perfil 1, 2, 5 y 4), con valores de agua útil menores del 20 %. Es notorio el incremento de la retención de agua en los suelos de textura franca ó franco limosa, con valores de agua útil de 25 a 45 % (figura 4).

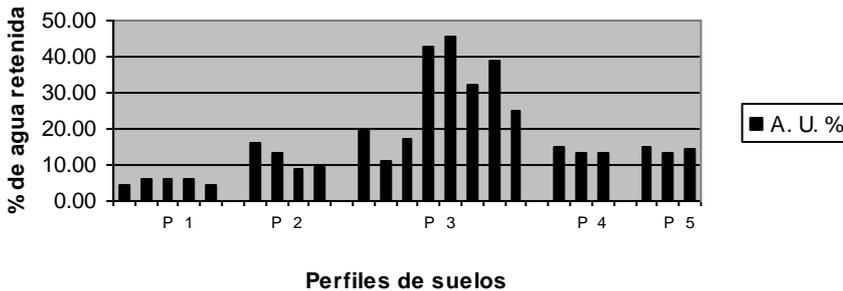
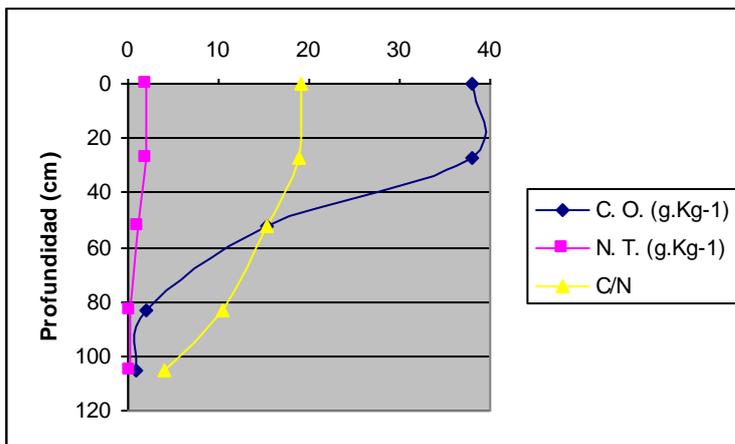


Figura 4: **ONTENIDO DE AGUA UTIL**

Esta figura muestra la retención hídrica (CC-PMP) de cada uno de los horizontes – representados por las barras - de los diferentes perfiles estudiados.

Las **propiedades fisicoquímicas** que caracterizan los suelos del mallín ubicado en El Huecú (Ea Pampa Ñorquín) se encuentran en la tabla 3 (Anexo I). De acuerdo a los resultados obtenidos podemos afirmar que los perfiles con drenaje deficiente están en general muy bien provistos de materia orgánica, la cual puede mantenerse con altos valores hasta el metro de profundidad o descender hasta pobremente provistos.

El nitrógeno presenta valores tal que la relación C/N es siempre mayor a 12 en todos los perfiles. En cada perfil, la relación es mayor en el horizonte superficial (figura 5).



5: CARBONO NICO, NITRÓGENO Y RELACION C/N.

Son suelos moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos. El pH CIK, con valores entre 5 y 6, disminuye respecto del pHp en 0.5 a 1 unidad. Las figuras 6 y 7 muestran estas variaciones en dos perfiles representativos.

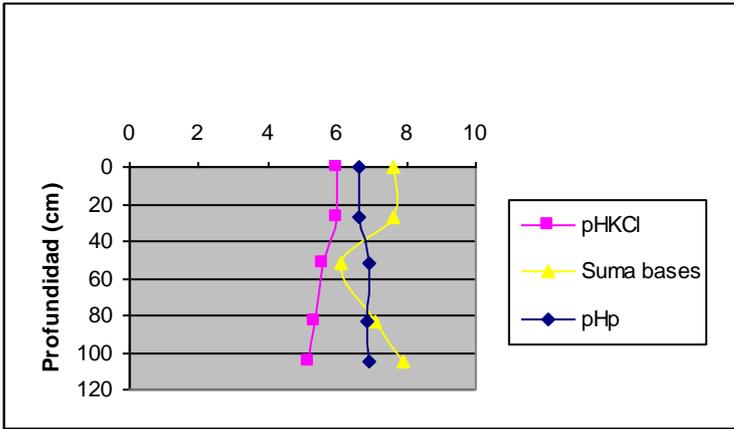


Figura 6: FUNCION PROFUNDIDAD pHp, pHKCl y SATURACIÓN CON BASES. PERFIL 2.

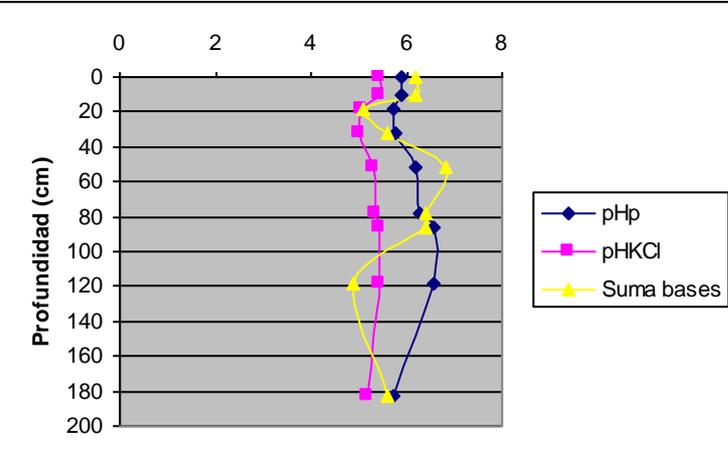
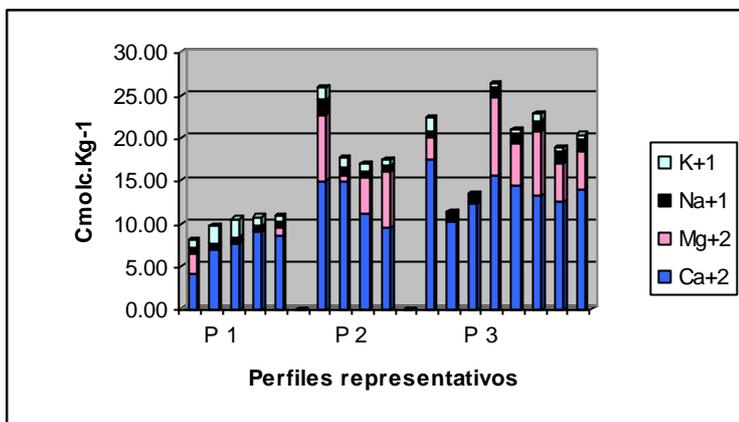


Figura 7: FUNCION PROFUNDIDAD pHp, pHKCl y SATURACIÓN CON BASES. PERFIL 3.

El pH FNa a los 2 minutos es, en todos los casos, menor a 9,2. Solo un perfil presenta valores mayores a 9,2 a los 60 minutos en los horizontes superficiales.

La CIC, para los suelos con contenidos elevados de M.O. posee valores entre 24 y 38  $\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$ . El suelo ubicado en la posición topográfica mas alta posee valores mas bajos de M.O y su CIC varía entre 10 a 15  $\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$ .

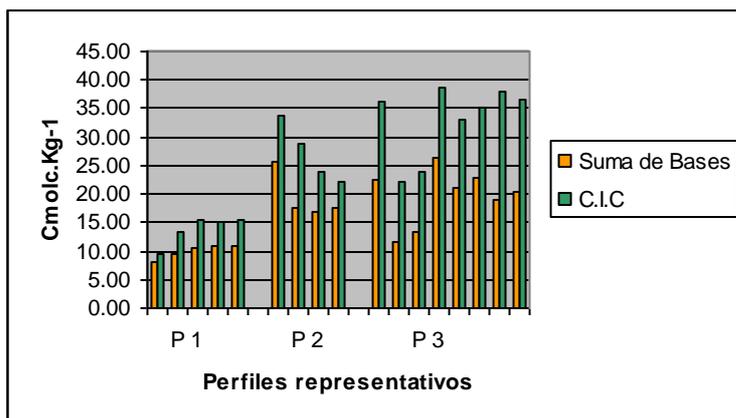
Las bases de cambio están mas concentradas en los horizontes superficiales, disminuyendo en los subsuperficiales para, en algunos casos, volver a aumentar en profundidad. Predomina el  $\text{Ca}^{+2}$ , le sigue en importancia  $\text{Mg}^{+2}$ ; En general  $\text{K}^{+1}$  ocupa el tercer lugar, aún en los casos en que la saturación con sodio es importante (figura 8).



#### BASES DE CAMBIO

de las barras representa un del perfil. Los perfiles nos se clasificaron: ite típico franco gruesa. lente aérico franco gruesa roll ácuico cumúlico limosa fina

La saturación con bases varía de 55 a 80 %, siendo mayor en los perfiles mas salinos y con mayor porcentaje de sodio de intercambio (Figura 9).



APACIDAD DE  
IBIO CATIONICO Y  
3ASES EN PERFILES  
TATIVOS.

La resistencia eléctrica en general es superior a 1000. En caso de ser menor a 500, se realizó la conductividad en el extracto, dando valores en superficie de hasta 3.27 dS/m.

#### 4.3.4. Hidrogeología

El mallín se sitúa sobre sedimentos aterrazados del Río Agrío que en la parte superior presentan desarrollo de suelos más finos con presencia de material volcánico.

El espesor máximo del acuífero -estimado de acuerdo a las características del entorno y origen aluvial de los depósitos- es de 50 m en la parte más profunda acuñándose hacia los bordes.

La conductividad hidráulica correspondiente al estrato inferior – de acuerdo al tipo de roca- es elevada: 20 a 50 m/día. El coeficiente de almacenamiento es menor a 0.2. El estrato superior al predominar los materiales finos, con abundancia de cenizas y lapilli, arrojó un  $k = 2-5$  m/día, medido en varios lugares del mallín a través de ensayos de conductividad o de infiltración según sea el caso tal como se

describirá en la metodología de estudio. La porosidad efectiva es elevada, 50 a 70 %.

### **Condiciones de borde**

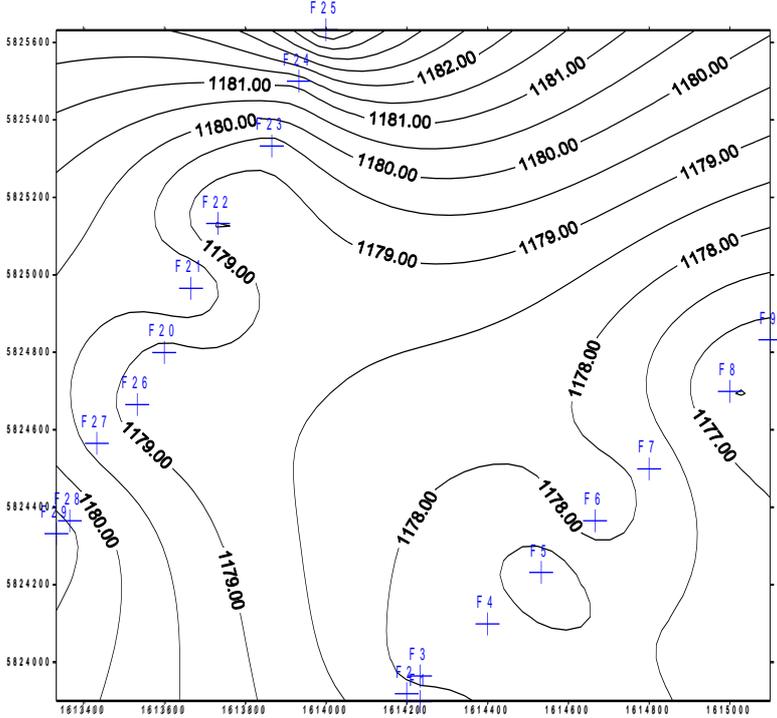
Desde el norte y oeste recibe aportes superficiales permanentes (arroyo Mallín Quemado y arroyo Pisadero) y efímeros que recargan al acuífero por infiltración en los cauces. Recibe también los aportes de flujos subsuperficiales a subterráneos provenientes de infiltración en las rocas permeables de la Fm. Hualcupén aflorantes en la Cordillera de Mandolegue.

Hacia el sur, el área estudiada presenta continuidad litoestratigráfica en profundidad si bien en superficie existe una divisoria de aguas de relieve poco marcado, que coincide aproximadamente con el límite físico del estudio. Se estima que por este límite, aproximadamente E-O, ingresa un flujo de agua al mallín que llega a ser importante cuando el Río Agrio está crecido y recarga al acuífero de la porción sur, con lo que aumenta el gradiente y el flujo hacia la porción del mallín estudiada.

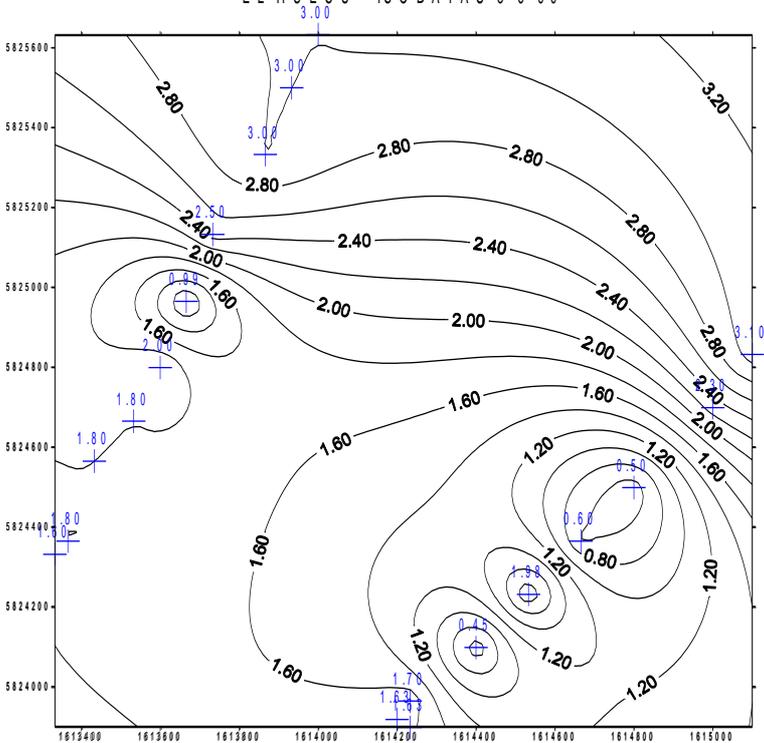
El borde este del mallín, corresponde al área de descarga a través del río –efluente- y de los flujos subterráneos que tienen su nivel de base en el Arroyo Ñorquín.

En síntesis, los bordes tienen flujos hacia el centro del mallín y en éste se dirigen hacia el este.

EL HUECU - ISOHIPSAS 8-6-99



EL HUECU - ISOBATAS 8-6-99



#### 4.3.5. Muestras de Agua

El agua ingresa al mallín en forma permanente a través de un canal que nace en el río Agrío, aguas arriba de la zona de estudio, y posee dominio sobre la ladera Sur. La ladera opuesta colecta el agua de escurrimiento e infiltración proveniente de los cerros que bordean el mallín en ese sector. En el centro del mismo se observa una laguna, de mayor o menor tamaño según la época del año y el aporte de agua que desagua en el arroyo Ñorquín.

La muestra de agua ingresante al mallín fue tomada el 4/12/2000 en el canal mencionado, cuya función es la de recargar permanentemente el acuífero. El agua de la capa freática se tomó en la calicata 2 y el agua de salida se tomó sobre el arroyo Ñorquín, en el puente de ingreso al casco, donde el mallín se estrecha y finaliza.

Analizando los valores de la [tabla .... para](#) la muestra de agua ingresante al mallín, podemos afirmar que es de reacción débilmente ácida, dulce, que sus cationes están ampliamente dominados por calcio, como lo indica su relación respecto a la suma de calcio, magnesio y sodio y el bajo valor de RAS; no posee carbonato sódico residual, el alcali (CINa) aportado no afecta su buena calidad para riego. Por su bajo valor de conductividad, la salinidad aportada al suelo no constituye restricción de uso alguno, pero puede afectar la infiltración de la misma siendo en este caso su restricción de uso de grado ligero. No se presentan toxicidades debidas a la concentración de sodio ni de cloruro.

#### Resultados

<i>Agua Estancia Pampa Ñorquín</i>			
N muestra	9121	9122	9216
Identificac.	Entrada	napa	salida
pH	6.40	6.98	6.28
C.E.(mmhos/cm)	0.19	0.74	0.21

Cont. de Sales (gr/l)	0.122		0.474		0.134	
Po (atm)	0.068		0.266		0.076	
	meq/l	gr/l	meq/l	gr/l	meq/l	gr/l
Na +	0.300	0.007	1.450	0.033	0.390	0.009
K +	0.090	0.004	0.210	0.008	0.100	0.004
Ca <sup>2+</sup>	1.000	0.020	2.640	0.053	1.610	0.032
Mg <sup>2+</sup>	0.770	0.009	3.040	0.036	0.810	0.010
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		0.000	1.760	0.053		0.000
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.540	0.033	3.420	0.209	0.910	0.056
Cl <sup>-</sup>	1.370	0.049	1.860	0.066	1.420	0.050
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.250	0.012	1.300	0.062	0.640	0.031
G an+cat	4.320	0.133	15.680	0.521	5.880	0.191
R.A.S.	0.32		0.86		0.35	
Dureza	8.81		28.23		12.05	
Relación de Calcio	0.48		0.37		2.20	
Relación de Sodio	0.14		0.20		0.14	
CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> Residual	-1.23		-0.50		-1.51	
Coef. Alcalimétrico	41.99		32.32		40.51	

Comparando esta muestra con el agua proveniente de la capa freática, el pH y la dureza en esta última aumentan, tornándose medianamente dura y de reacción neutra, el contenido de sales aumenta, la concentración de sodio se quintuplica, la de magnesio se cuadruplica, potasio se triplica y calcio se duplica. Los aniones se concentran entre 1.3 (cloruros) y seis veces (bicarbonatos).

Magnesio y calcio superan ampliamente los valores de sodio y potasio. La relación del calcio respecto a la suma (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y Na<sup>+1</sup>) es el doble que la misma relación con respecto al sodio. Estos valores, relacionados con el carbonato sódico residual y el valor de RAS, implican que la acción degradante del agua para el suelo (disminución de la infiltración, por ejemplo), es nula. No se detectan problemas de toxicidad por cloruros.

El agua de salida del mallín se caracteriza por poseer valores intermedios respecto a las muestras anteriores; la evaluación de calidad de la misma sería similar al agua de ingreso

#### **4.4. Modelamiento del mallín**

##### *4.4.1. Calibración modelo de flujo saturado*

A efectos de la investigación acerca del manejo de mallines es suficiente considerar que el sistema está en equilibrio lo que permite trabajar con alturas freáticas críticas y no tener en cuenta las variaciones temporales. Utilizando el modelo descrito anteriormente, se reproduce el estado del mallín para un período crítico que corresponde con los niveles freáticos más bajos observados (junio de 1999).

De esta manera, a través del modelo calibrado se representan las condiciones hidrogeológicas que caracterizan el funcionamiento del agua subterránea en el mallín. Estas condiciones son las explicadas en el punto anterior y que se reproducen con el modelo a través de los elementos que permite utilizar.

El cauce central permanente es representado por segmentos de altura constante, entonces el modelo calcula los flujos necesarios para cumplir esta condición. El resto de los cauces -de la periferia del mallín, canales, cauces efímeros- han sido expresadas a través de segmentos de flujo conocido ya que si se utiliza borde constante, el flujo que es necesario para mantener estos niveles, no es compatible con los caudales y balance realizado. El flujo por unidad de segmento, tiene dimensión L/T o sea que se trata de una velocidad que se relaciona con valores de infiltración o de conductividad vertical. Los valores empleados en la calibración son de alrededor 1m/día para canales y cauces. El Arroyo Mallín Quemado y se considera que aportan un flujo superior -dada la presencia de materiales gruesos y permeables y de caudales permanentes- entre 3 a 5 m/día.

El flujo subsuperficial de las laderas norte y oeste se consideran como sectores de flujo conocido, estimado en 1 a 2 m/día debido a los aportes de precipitaciones en los cerros en los meses precedentes a junio de 1999.

El ajuste de los niveles freáticos en la parte sur se obtuvo con un flujo hacia el mallín de 1 m/día a lo largo de todo el límite. Este flujo es pequeño si se tiene en cuenta el potencial de flujos en un acuífero aluvial, lo que hace pensar que la divisoria de aguas superficial reproduce en parte una divisoria subterránea.

El borde Este es atravesado por el cauce central que en todas las épocas del año drena el agua del mallín. no se representa con ninguna condición

Las características hidrogeológicas representadas son sencillas: acuífero homogéneo e isótropo, espesor 50 m,  $k=5$  m/día. Como se considera al acuífero en equilibrio se representa en régimen permanente por lo que la porosidad no es requerida. El gradiente hidráulico regional estimado de las piezometrías medidas es 0.001 con dirección E20°S.

Las salidas por evapotranspiración para el mes de junio se calculan en 1 mm/día y se representa por una elipse de descarga que tiene la forma aproximada del mallín.

Los niveles freáticos obtenidos por el modelo con esta configuración, se pudieron ajustar con un error cuadrático de 1, obtenido por diferencia entre observado y calculado en los puntos de observación medidos (freatímetros).

El mapa de niveles y flujos se muestra en la Figura.

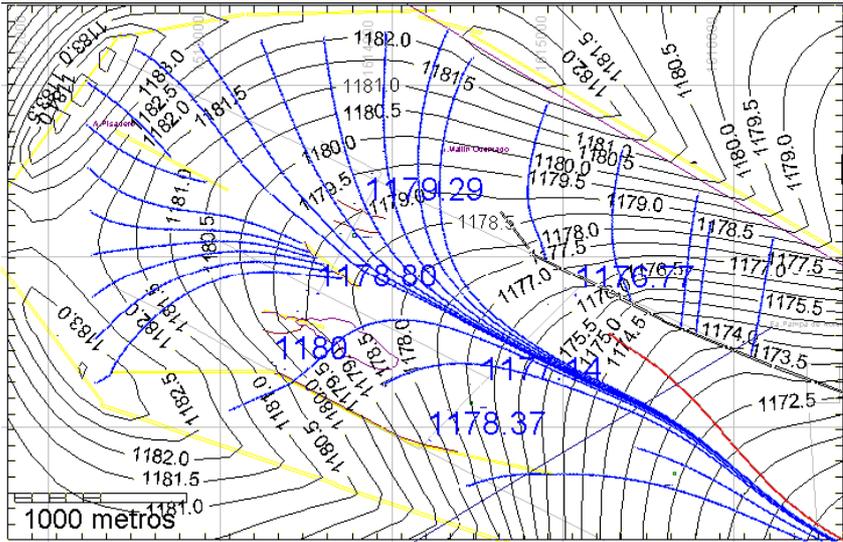


Figura 4. 3

Referencias:

Equipotenciales, equidistancia 0.5 m (negro)

Líneas de flujo (azul)

Segmento de flujo conocido (amarillo)

Segmento de altura conocida (negro)

Puntos de observación (números azules)

Se realizó análisis de sensibilidad para distintos valores de  $k$  (2 y 10 m/día), obteniendo que para mayores valores los flujos son mayores pero las alturas se reproducen adecuadamente.

#### 4.4.2. Balance hídrico

Como se expresó en el capítulo 3 el balance hidrológico aplicado a un mallín particular tiene como objetivo identificar las variables más importantes que actúan sobre el sistema y cuantificar sus aportes o salidas. Esto permitirá contrastar la necesidad del

mallín para mantenerse en buenas condiciones de humedad con la disponibilidad real del mismo que es cuantificada a partir del balance.

Las necesidades hídricas resultan de las consideraciones y modelamiento del flujo y transporte entre la capa freática y el suelo. Los niveles establecidos a que debe controlarse la freática son la base para estimar la dotación o caudal por unidad de área demandada por el mallín.

En cuanto a la estimación de las disponibilidades se debe adecuar la ecuación de balance al mallín Pampa Ñorquín del Huecú.

Para poder aplicar dicha ecuación fue necesario definir algunos supuestos generales:

- Los valores puntuales observados de cada variable se extrapolan a valores medios areales.
- Suelo homogéneo a lo largo del perfil analizado.
- Porosidad efectiva independiente de las variaciones de humedad.
- La evapotranspiración es independiente de la altura de la napa freática usada en el balance.
- El análisis se hace sobre el concepto de modelo agregado y se ignora el retraso entre las entradas y salidas de agua y la manifestación en la napa freática.

### **Ecuación de balance**

En el caso de éste mallín los límites que lo definen son la extensión del acuífero, la superficie de terreno y el hidroapoyo impermeable.

Es importante aclarar que las principales vías de alimentación son la precipitación y el escurrimiento superficial proveniente de las zonas que los circundan.

Recordando la ecuación general planteada en el capítulo 3, ecuación E.3.27, cuyos términos ya fueron definidos,



se puede observar en este mallín de El Huecú que no se considerarán los componentes que indican el flujo vertical ascendente (Qup) o descendente (Qdo) desde el manto inferior (hidroapoyo), dado que a éste se lo considera impermeable.

Los aportes (Qisi) y salidas laterales (Qiso) subsuperficial provenientes de otros niveles freáticos (superiores o inferiores) se consideran nulos, ya que no existen.

El balance hídrico se calculará para dos situaciones distintas. La primera para el mallín en condiciones naturales y el segundo suponiendo una condición de proyecto donde se hará un manejo que permita suplir las necesidades hídricas en el período de mayor requerimiento evapotranspirativo (octubre-marzo).

- **Aplicación de la ecuación de balance a la situación natural (sin proyecto)**

Los componentes como Qinf (filtraciones producidas por cauces superiores a la capa freática), Qdr (salidas desde la napa freática hacia cauces ubicados en niveles inferiores) se engloba en una única variable (Q) que será la incógnita en la ecuación.

Los valores que tome dicha variable nos dará el diagnóstico de la condiciones de humedad en que se encuentra el mallín entre los meses de octubre y marzo suponiendo que mantiene su dinámica natural.

En función de éstas consideraciones la ecuación de balance será:

$$QPET = Q + \Delta H \quad E.4.3$$

donde:

P: precipitación (mm).

Etpr: evapotranspiración real (mm).

Q: diferencia entre caudales entrantes y salientes (mm).

$\mu$  : porosidad efectiva.

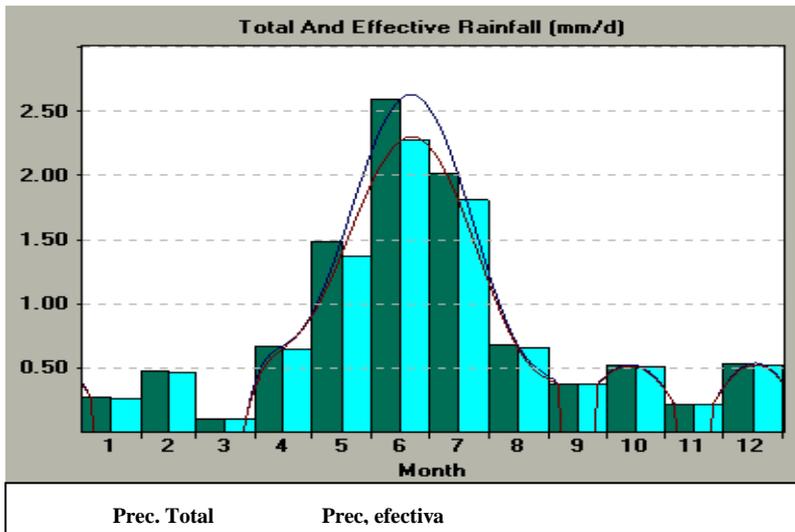
$\Delta H$ : variación del almacenamiento

### **Obtención de componentes**

Los registros de precipitación fueron tomados de las estadísticas meteorológicas, período 1977-1995, de la Dirección de Recursos Hídricos de la Pcia del Neuquén. La estación seleccionada fue Taquimilán dada la cercanía geográfica al mallín estudiado.

Además de los datos de precipitación total se calculó, a partir del método del servicio de conservación de suelos de la U.S.D.A, la precipitación efectiva.

Con los máximos valores coincidentes con el período de invierno (valor máximo junio 77.8 mm) y mínimos con el período de verano ( valor mínimo marzo 3.1 mm).



*Figura 4. 4*

El valor de la evapotranspiración real se obtuvo mensualmente a partir de la aplicación del modelo de simulación. Fig.....

Los valores asignados se detallan en la tabla.....

Mes	O	N	D	E	F	M
-----	---	---	---	---	---	---

Etreal (mm/día)	5	7	8	7.5	6.5	5
Etreal (mm/mes)	<b>-155</b>	<b>-210</b>	<b>-248</b>	<b>-232</b>	<b>-182</b>	<b>-150</b>

Las variaciones mensuales de la capa freática se calcularon como la diferencia entre las profundidades freáticas (en condiciones naturales) de cada mes y su valor consecutivo.

Para conocer la variación del almacenamiento, como lámina, a la variación de los niveles freáticos se la afectó por el valor de porosidad ( $\mu$ ). La misma se consideró como constante e igual a 0.6, valor adoptado suponiendo un suelo franco-arenoso.

Aplicando la ecuación de balance para esta Aplicación

<i>Mes</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>
<i>P(mm/mes)</i>		<b>6.6</b>	<b>16.6</b>	<b>8.3</b>	<b>13.3</b>	<b>3.1</b>
<i>Evap. Real (mm/mes)</i>	<b>-155</b>	<b>-210</b>	<b>-248</b>	<b>-232</b>	<b>-182</b>	<b>-150</b>
<i>Prof. Freat. (mm/mes)</i>	800	1500	1800	1700	1800	1800
<i><math>\Delta h</math>(mes)</i>	-	-700	-300	+100	-100	0
<i><math>\Delta h * \mu</math> (mm)</i>	-	<b>-420</b>	<b>-180</b>	<b>+60</b>	<b>-60</b>	<b>0</b>
<i>Q(mm/mes)</i>	-	<b>-623</b>	<b>-411</b>	<b>-164</b>	<b>-229</b>	<b>-147</b>
<i>Dotación (l/seg ha)</i>		-	-	-	-	-
		<b>2.4</b>	<b>1.6</b>	<b>0.63</b>	<b>0.8</b>	<b>0.57</b>

Del análisis surge que suministrando las dotaciones del cuadro para los meses correspondientes, se satisfecería la evapotranspiración potencial óptima para la pradera.

Surge además que si se controla el drenaje natural, impidiendo la salida de agua del sistema esta sería suficiente para satisfacer la demanda, no requiriéndose de aportes externos.

La forma de control del drenaje subterráneo hacia los cauces dependería básicamente de la carga de estos arroyos, la cual puede

ser perfectamente controlada con compuertas o endicamientos muy simples.

Se observa además de la tabla ..... que las pérdidas por evapotranspiración (noviembre=210 mm/mes) se adiciona al caudal que sale del sistema por drenaje natural (420 mm/mes). Estos volúmenes que salen del mallín son producto del efecto de drenaje al cauce central y/o secundarios, el flujo subsuperficial que deja el sistema por emerger a superficie o escurrir a otras áreas y/o la eventual recarga a un acuífero subyacente.

Cualquier sea la o las causas debería planearse un control de los mismos a efecto de utilizar estos volúmenes para suplir la evapotranspiración potencial.

Obviamente esta cuantificación para los meses invernales arroja un caudal neto ingresante al mallín de gran magnitud.

#### **4.4.3. Flujo capilar**

##### **Relacion EVT- Profundidad, determinante del flujo capilar ascendente**

Una de las principales cuyo conocimiento permite un posible control del mallin en cuanto a la humedad disponible es la funcion EVT-profundidad. Esta relacion se obtiene de aplicar las ecuaciones de flujo al estrato no saturado entre la superficie 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-freatica 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.

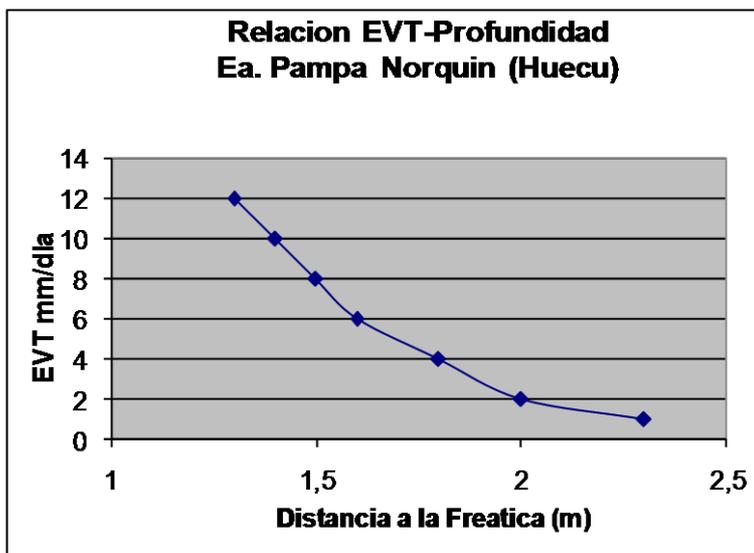
La Figura 1, muestra la curva obtenida para varios niveles de EVT y profundidades a la freática correspondiente al suelo de un mallin del Huecu.

Para obtenerla se simulo la columna de suelo y se fijo una tensión admisible máxima en el horizonte de raíces que garantice un optimo 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 condicion de borde inferior se establecio como carga prescripta 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 evapotranspiracion máxima de verano (10 mm/dia) se requiere mantener la freática a una profundidad de 1.3 metros, mientras que en invierno (2 mm/dia) la profundidad puede llegar a 1.8 metros. En ambos casos estos flujos evapotranspirados estan igualados por el caudal capilar ascendente, sin causar estrés hídrico alguno el la pradera vegetal.

Esta relacion propia de cada mallin obedece básicamente al tipo de suelo conformado en horizontes diferenciados y a la calidad del agua que en este caso se fijo en 5 mmol/l. Este valor medido se considero en equilibrio y se tomo como valor inicial de concentración salina.



Dado que la tensión total o potencial agua en las raíces es la suma del potencial o tensión matricial y el potencial osmótico, la concentración salina determina también la profundidad a la freática ya que la restricción de estrés hídrico va a reflejar la componente de salinidad.

La curva obtenida contribuye a establecer el “freatograma de diseño”, como se verá en el apartado siguiente, que deberá imponerse en el mallín para garantizar que el flujo capilar ascendente iguale a la EVT a lo largo del año.

### **Simulación del flujo y transporte no saturado mallín Huecu**

#### **a. Situación natural**

El tratamiento del flujo y transporte capilar que ocurre en los mallines fue cuantificando mediante las ecuaciones ya descritas. La parametrización de los procesos identificados, son la base para aplicar estas ecuaciones.

El modelamiento matemático de flujo y transporte aplicado a distintos mallines permitió simular su funcionamiento hidrológico a lo largo del año y además evaluar su comportamiento ante el control de ciertas variables manejables. Esta segunda tarea se desarrolla en el apartado siguiente. Específicamente en esta instancia se propone cambiar los niveles freáticos a efectos de satisfacer la demanda evapotranspirativa mediante el flujo capilar ascendente. Asimismo se estimó el régimen de concentraciones salinas en el perfil a lo largo del año, particularmente a profundidad de raíces.

El esquema de modelización aplicado es similar en todos los casos simulados. Se trata de un esquema de columna de suelo abierta superiormente e inferiormente al flujo y conformado por los horizontes del suelo correspondiente. Esta columna está sujeta a condiciones de borde especificados para el flujo de agua y transporte de solutos.

Se prescribió para la parte superior (interfase suelo-atmósfera) la condición de flujo variable (condición mixta) determinados por un flujo potencial dado por las condiciones atmosféricas exclusivamente (evapotranspiración especificado). Sin embargo el flujo real que cruza la interfase será menor o igual al potencial y determinado por las condiciones de humedad o tensión del suelo, procesa específicamente interpretado por la condición de borde mixta.

La condición de borde inferior esta dado por el nivel freático (variable en el tiempo) y prescripto en los datos de entrada.

La caracterización de las condiciones de borde mas propicias para los límites laterales de la columna de suelo llevaron a ensayar dos alternativas: potencial o carga variable y flujo nulo. La primera considera el flujo horizontal como preponderante, por lo cual se aumento el ancho de la columna simulada de tal forma de no interferir con la parte central estudiada. La segunda opción planteada considero los laterales impermeable donde el movimiento principal se realiza n el sentido vertical, lo cual parece un supuesto razonable en mallines horizontales, con altos niveles de humedad.

Los resultados que se obtuvieron en ambos casos fueron similares, con menores caudales capilares (no significativo) para el caso de bordes permeables. Se adopto para la simulación la columna con laterales de flujo nulo, sin embargo este aspecto requiere análisis mas profundo, sobre todo en las consecuencias para el transporte de solutos y para evaluar el efecto de arroyos cercanos

Para el transporte de soluto se fija la condición de borde de Dirichlet (concentración prescripta) para la freática y atmosférica para la parte superior.

La demanda atmosférica no permite transferir solutos desde el suelo a la atmósfera pues no se incorporó el proceso de volatilización de sales.

### **Datos requeridos**

La distribución de raíces en el perfil se especifica en base a las observaciones realizadas en las calicatas de relevamientos y con apoyo de distribuciones espaciales propuestas en la literatura para pradera de pasturas

<b><i>Profundidad (m)</i></b>	<b><i>% de raíces</i></b>
0-0.15	40
0.15-0.3	40
0.3-0.45	15
0.45-0.6	5

Las fuentes consultadas para la obtención de los datos meteorológicos fueron el anuario meteorológico del año 1995 de la Dirección de Recursos Hídricos de la Pcia del Neuquén, y el anuario del período 97-98 de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas.

Si bien la aplicación en este capítulo se hace solamente al Mallin de El Huecu, se presentan los datos climáticos utilizados en

cada uno de los mallines. En todos los casos se tomaron de las estaciones meteorológicas más cercanas geográficamente, a saber:

- Mallín Lolén – Estación Chapelco.
- Mallín Felipín – Estación Zapala.
- Mallín Cayol, El Huecu – Estación Loncopué.
- Mallín Yamuco – Estación Covunco Abajo.
- Mallín Piedra del Aguila – Estación Picún Leufú.

Cabe aclarar que los datos de heliofanía, dado que no se contaban con éstos en cada una de las estaciones, se obtuvieron de los valores promedio año 1961-1990 correspondientes al promedio de las localidades de Neuquén, Cinco Saltos y Alto Valle perteneciente a la cátedra de Climatología de la Facultad de Ciencias Agrarias.

La evapotranspiración se calculó mediante el método de Penman-Montheit a partir de datos diarios de radiación (o nubosidad), temperatura, humedad y viento.

Los valores diarios se distribuyeron uniformemente a lo largo del día (24 hs).

Dado que se consideró la extracción de agua por las plantas, la evapotranspiración se asimiló a la transpiración por parte del sistema vegetal. Esto se acerca más a la realidad en cuanto a la distribución de humedad y tensión resultante en el suelo, ya que la humedad se extrae principalmente del horizonte radicular.

La precipitación utilizada fue la observada, distribuida uniformemente en el día.

La discretización del dominio de estudio se hizo en elementos triangulados mediante un mallado automático cuya distribución y densidad se ajusta a las variaciones del flujo y transporte en el espacio.

Las condiciones iniciales se prescribieron en función de las mediciones realizadas de niveles freáticos, salinidad y humedad del suelo.

La zonificación del mallín condujo a la selección de 3 sitios de relevamiento de suelo para su caracterización.

El sitio 2 consta de 4 horizontes de suelo hasta el nivel freático descrito en el apartado edafológico.

Los parámetros de la función  $\psi$ - $\theta$  obedecen al método de van Genuchten-Mualem y fueron introducidos en el modelo como 4 materiales constitutivos distintos. Se introdujo como datos los puntos  $\psi$ - $\theta$  obtenidos en laboratorio por el método de platos de tensión aplicado a los horizontes reconocidos.

Los niveles freáticos registrados fueron interpolados para obtener los valores medios mensuales a lo largo del año. Se considera que estas fluctuaciones se producen en el horizonte más profundo.

La distribución de raíces siguió lo descrito para pasturas. Los parámetros fitométricos de Feddes fueron:

Presión mínima a partir de la cual la planta toma agua: -0.1 m

Presión óptima a partir de la cual la planta extrae máxima agua: -0.25 m

Presión máxima a partir de la cual no extrae más agua al ritmo máx.: -2 m

Presión a partir de la cual no se extrae más agua: -8 m

Las sales fueron tratadas como un único soluto y no se consideraron reacciones químicas o biológicas que modificarán dicha concentración. Tampoco se incorporó adsorción o desorción por parte del suelo.

El conocimiento que se tiene en el presente de la dinámica de solutos en mallines es escasa. Si bien existen antecedentes sobre algunos aspectos de la dinámica cinética de nutrientes en relación con la productividad de las pasturas naturales e implantados, no proveen la información suficiente para considerar varios solutos con dinámicas particulares.

En consecuencia, las concentraciones observadas se refirieron a una sal tipo, con peso molecular medio de 68, la cual obedece a la composición salina relevada.

Las condiciones iniciales de la simulación se corresponden con 200 decimemens medidos in situ simultaneamente con las lecturas freaticas.

## **Resultados**

La simulación de un año hidrológico permitió observar las variaciones en el suelo de humedad, tensión y concentraciones salinas.

Dada la disponibilidad de datos de un año, no es posible analizar comportamientos medios a lo largo del año, sin embargo dado el carácter metodológico de este proyecto el análisis presente podrá aplicarse idénticamente a otros años y/o situaciones medias. Cabe mencionar que mucha precaución debe aplicarse a tratamientos “medios” ya que no tiene que haber correspondencia entre los valores medios de los factores que fuerzan el proceso (EVT, PTT, Potencial Freático) con los “consecuentes” valores medios de potencial y humedad resultante en el suelo, pues se trata de procesos altamente no-lineales, Horne (1996, informe nieve)

A efecto de analizar los resultados se presenta un conjunto de gráficos que reflejan el comportamiento del flujo y transporte integralmente. Los valores numéricos que respaldan dichos gráficos son obviamente más difíciles de interpretar tanto en términos absolutos como relativos, cuando se quiere hacer comparaciones entre parámetros. Se pretende que la lectura de estos gráficos den los elementos necesarios y suficientes para reconocer el funcionamiento del estrato no saturado del mullin.

Los gráficos se dividieron en descriptivos del clima, suelo, flujo y transporte.

Los Figuras (1 y 2) describen la precipitación observada y la evapotranspiración calculada con el método Penman-Monteith basada en datos observados (temperaturas, radiación, humedad y viento) durante el año de estudio.

Si bien se trata de un año más húmedo que el medio del lugar, los gráficos indican el comportamiento climático clásico. La resultante deficitaria anual típica de la región árida tiene su período más marcado de déficit desde noviembre a marzo, acompañado con pérdidas observables de productividad de materia seca y consecuentemente en la disminución de la actividad ganadera.

Las propiedades del suelo están presentadas en 4 gráficos (Figuras 4 a 7). Estos provienen de observaciones edafológicas en campo y análisis físico-químico de muestras en laboratorio. La determinación en laboratorio de relaciones de tensión - humedad a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 y 15 atmósferas, permitió ajustar la función teórica de van Genuchten - Mualem con un coeficiente de regresión mayor a 95% en todos los casos. Esta función teórica basada en la física del flujo y transporte es la base del cálculo de los parámetros  $K_s$ ,  $S$  y  $C$ . Además de requerirse para resolver las ecuaciones de Richards y de advección-dispersión.

Cabe mencionar que los valores de  $K$  saturada obtenidos por el modelo van Genuchten - Mualem arrojan valores inferiores a los medidos a campo con el método del pozo barrenado. Los observados oscilaban entre 3 y 6 m/día y los calculados se aproximan a 1 m/día. Aunque esta diferencia no es apreciable para la variabilidad de  $K$  en la naturaleza, se prefirió, por consistencia, usar en el modelo los calculados ya que responden a la teoría cuyas ecuaciones el modelo matemático resuelve.

Las variaciones de humedad ( $\theta$ ), humedad efectiva ( $S$ ), conductividad hidráulica ( $K$ ) y capacidad específica respecto de la tensión suelo-agua  $h$ , indican el comportamiento general del suelo. Cada horizonte identificado en el relevamiento edafológico está representado por una curva de los gráficos. El comportamiento

combinado de diferentes horizontes es de difícil predicción a través de las curvas y requiere del uso de técnicas más complejas, como el modelamiento matemático usado en este proyecto.

En general la preponderancia de la porción horizontal de parte de las curvas indican suelos con buenas propiedades al ascenso capilar, y más aun cuando esta porción horizontal tiene valores altos, por ejemplo, de humedad. Aunque es muy general la apreciación, indica altos valores de almacenamiento y de conductividad hidráulica, combinación favorable al funcionamiento del mallín.

Los gráficos correspondientes al flujo y transporte son particulares de la dinámica a la que está sujeto el mallín a lo largo del año simulado, por lo que su eje horizontal representa los días del año comenzando desde el 1 de enero.

El freaticograma (Figura 8) debe ser analizado considerando que 230 cm de carga  $h$ , representa el nivel de la superficie del suelo, por lo que el primer tramo de la curva corresponde con una profundidad a la freática de 170 cm (230-60). Se observa claramente mayores valores en la época estival. El gráfico de la Figura 9 refleja la humedad a distintas profundidades, 70, 100 y 130 cm, y su variación a lo largo del año, en clara correspondencia con los niveles freáticos y la demanda EVT.

Los gráficos de la Figura 10 y 11 muestran la variación de tensión y concentración salina respectivamente a la profundidad de raíces, esto es el horizonte más sensible para el sistema vegetal. Las Figuras 12 y 13 indican también potencial o tensión y salinidad pero a 3 profundidades, 70, 100 y 130 cm.

Del gráfico 13 de tensión para los distintos puntos de observación especificados se puede observar la prevalescencia del gradiente ascendente en períodos con ausencia de precipitación y/o alta demanda de EVT, lo cual es consistente con la hipótesis de subirrigación capilar.

Este comportamiento es convalidado por los gráficos de las Figuras 9, 10 y 12, en relación a la variación de humedad en el suelo

provista desde la freática de acuerdo al freatigrama (Figura 8). A la profundidad de raíces se observa este fenómeno, demarcando períodos con tensiones suelo-agua elevadas para la pastura del mallín (Nov-abril) también en consonancia con el período típico de déficit hídrico observados en todos los mallines precordilleranos. (Figura 10)

Estos planteos para la variación de tensiones son reafirmados para las variaciones de humedad de suelo, tanto en los puntos de observación seleccionados como en el horizonte de raíces.

Las variaciones en concentración salina son fluctuantes y dependen de flujo advectivo y dispersivo, prevaleciendo el primero cuando hay suficiente humedad disponible en el perfil. Altos coeficientes de dispersión ensayados en varias corridas aumentan el flujo dispersivo en relación al advectivo desestabilizando el sistema numérico de solución de las ecuaciones. Las concentraciones varían dentro de un rango delimitado, lo cual permite caracterizar el proceso como sustentable en cuanto a que mantiene el tenor salino. Este efecto es básicamente controlado por los aportes de las lluvias, que aunque aparentemente escasas, lavan muy efectivamente el perfil del suelo.

Los gráficos de las Figuras 14, 16 y 18 conforman flujos acumulados entrantes y salientes del suelo. Los valores negativos en este caso significan ingreso al suelo. Se puede apreciar que el flujo transpirado proviene en gran medida de los aportes de la freática y de lluvia.

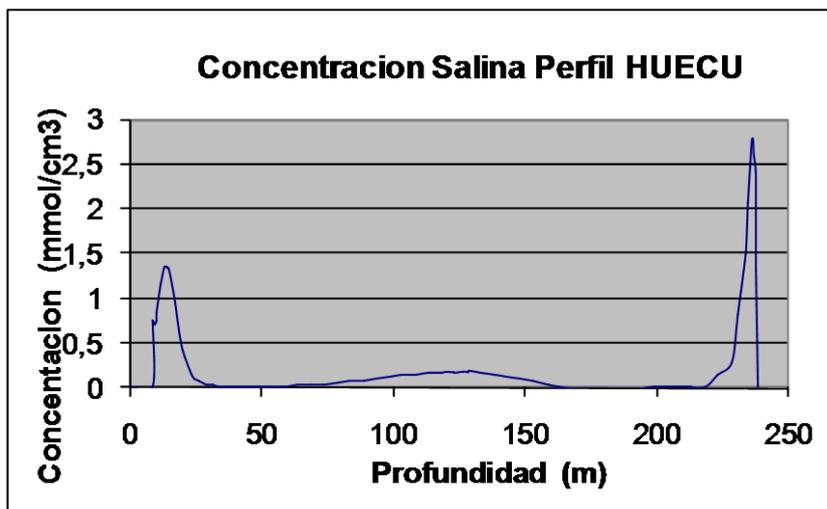
La EVT potencial y real están representadas en las Figuras 15 y 17 respectivamente. La primera es la demanda atmosférica y la segunda lo que el suelo y la concentración salina del agua le permite tomar a las plantas. Las diferencias entre ellas demarcan los períodos de déficit hídrico y están en correspondencia con disminución de humedad disponible y aumento de tensiones en el horizonte radicular. En el mallín Huecu, es detectable el ritmo evapotranspiratorio por debajo del potencial durante la estación estival.

Como se observa en la Figura 19 la tensión en la superficie del suelo es elevada y alcanza los valores máximos que se presentan en el perfil del suelo.

La Figura 20 muestra las concentraciones a lo largo del eje z del perfil del suelo para un momento del año simulado. Puede observarse 3 picos de concentración; en la superficie, en las inmediaciones de la freática y una “onda” que se translada en el sentido del flujo advectivo. Este patron es tipico del transporte de sales y se verifica a lo largo del año, tomando estos picos diferentes magnitudes.

En conclusión, el mallin Pampa Norquin del Huecu, esta bastante favorecido (al menos para el año de estudio) por el regimen climático y las características físicas del suelo resultando en un regimen de humedad compatible con el uso agrícola del mallin. Sin embargo el déficit hídrico durante el periodo estival esta limitando su capacidad productiva y condicionando su manejo ganadero.

FIGURAS 2 a 19 (todos los graficos)



## 4.5. Simulación del manejo propuesto

En base al diagnóstico de funcionamiento del mallin Huecu, se establecieron las condiciones para su control mediante la modificación de los niveles freáticos en el periodo estival. Conceptualmente, se trata de hacer uso del mecanismo natural de funcionamiento hidrológico del mallin controlando un aspecto, el nivel freático, para hacer más conveniente el uso productivo del mismo. Este control en nada difiere de lo que pudiera ocurrir un año hidrológicamente rico, por lo cual se tiene una garantía, a priori, del bajo impacto ambiental asociado con esta práctica.

Primero se considera el efecto en el perfil del suelo a un cambio en el régimen de cargas o potenciales freáticos. Las técnicas de recarga, su cuantificación y la ingeniería para llevarla a cabo se discuten más adelante.

### 4.5.1. Efecto en el perfil del suelo

En tal sentido, con el apoyo de la curva EVT – profundidad de la Figura 1, se probaron varias configuraciones de niveles freáticos obteniéndose resultados satisfactorios con la siguiente, expresados como profundidad a la freática en cm:

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
Natural (obs)	170	180	180	89	100	135	55	50	50	80	150	180
Controlado	150	150	150	89	100	135	55	50	50	80	150	140

Los resultados se presentan en la misma sistemática de gráficos ya explicados, salvo que no se repite la serie correspondiente al clima y suelo, ya que estos permanecen inalterados.

Los resultados en general indican que mediante un aumento de los niveles freáticos durante diciembre – marzo es posible revertir el déficit de humedad del suelo, creando las condiciones de tensión suelo-agua favorable al sistema vegetal. Se puede inferir de las Figuras 15b y 17b que las condiciones creadas, permiten llevar la EVT real al nivel de la potencial. Esto equivale a afirmar que el flujo capilar ascendente desde el acuífero satisface totalmente la demanda evapotranspiratoria.

Las Figuras 9, 10, 12 y 13 confirman el estado de tensiones y humedad favorable a la pradera del mallín. Las características fitométricas de Feddes correspondiente a la pastura ubicada, por las tensiones reinantes, la absorción de agua en un nivel óptimo.

Las concentraciones salinas descritas por la Figura 4b no indican cambio sustancial respecto de la análoga del estado natural, es más, existe un descenso de concentración en diciembre dado por la “invasión” de la freática de una porción de suelo.

Esto es corroborado por las mediciones de salinidad en el cauce entrante, freática y cauce saliente del mallín, que indican un equilibrio entre aportes y efluencias de sales.

El efecto de concentración de sales en el perfil se hace manifiesto cuando las concentraciones de la freática son altas. Se realizaron diversos ensayos y se pudo observar que a medida que es mayor la concentración en freática, mayor debe ser la lámina anual de precipitación para compensar por lavado, la tendencia acumulativa de sales.

La eficacia de la lluvia en el lavado es alta y depende del tenor de humedad que tenga el suelo en relación a la lámina de lluvia. Cuando el suelo está seco, la lámina percolada debe ser alta para ser efectiva en el lavado. Esto se debe a que la conductividad hidráulica aumenta enormemente con la humedad.

Hay que tener en mente que la existencia del mallín está basada en puntos de concentración del agua proveniente de una gran cuenca que entra, en general, lateralmente como interflujo y solo un

pequeño aporte entra por su superficie con capacidad de lavar el suelo.

La técnica de simular el mallin permite evaluar el comportamiento ante determinadas condiciones y es lo que permite afirmar que el mallin Huecu puede ser mejorado con control freático. Sin embargo, es necesario profundizar el conocimiento en la dinámica, enfatizando en el transporte de sales no solo en el perfil del suelo sino también en el acuífero, a efecto de establecer a priori condiciones necesarias para caracterizar el mallin como apto para el control freático. Es recomendable usar modelos de flujo bidimensional para un seguimiento de solutos desde la superficie hasta el cauce central.

Los demás mallines estudiados responden análogamente al control freático. Por haberse enfocado este trabajo desde el punto de vista metodológico, no se presentan los gráficos obtenidos que por otro lado sería conceptualmente redundante. En un futuro próximo se espera realizar un análisis comparativo de los mismos.

FIGURAS 8b a 19b (Flujo y Transp. Estado proyecto)

### **Sensibilidad del proceso a la variabilidad del nivel freático**

El caudal capilar es sensible en alto grado a la distancia que debe recorrer el flujo en su camino desde la freática al horizonte de raíces.

Si bien es posible fundamentar esto de manera teórica a partir de la fuerte no-linealidad de la ecuación que gobierna el flujo (ecuación de Richards), se ha realizado mediante la técnica de simulación, una aplicación que permite evidenciar este efecto.

En tal sentido, se ha recalculado el estado natural del mallin descrita en el apartado anterior modificando (aumentando) la profundidad a la freática en 0.15 m para los meses críticos, esto es noviembre, diciembre, enero y febrero.

Los demas parámetros correspondientes al suelo, vegetación y salinidad del agua han permanecido inmodificados. Igualmente, la EVT, precipitación, condiciones iniciales y de borde.

Los resultados se han volcado en la Figuras 8c a 13c, 15c y 17c. Se puede observar los efecto del estrés debido al aumento de tensión o potencial agua en el horizonte radicular (Figura 10c). Cabe mencionar que el tipo de suelo del mallin Huecu es favorable al regimen de subirrigacion. Aun asi es relevante el efecto que 0.15 m de descenso freático produce en las tensiones en el horizonte de raices. La evapotranspiracion real en relacion a la potencial (Figuras 15c y 17c) es un indicador de cuan alejada esta la humedad disponible en relacion a la optima para el desarrollo del cultivo. Otros mallines observados han evidenciado una sensibilidad aun mayor a la variación de niveles freáticos. La concentración de sales si bien algo disminuida sigue el mismo patron.

Este efecto drástico de aumento de tensión y estrés hídrico causado por profundizacion de los niveles freáticos explica la gran susceptibilidad e los mallines a las variaciones climáticas interanuales, evidenciado en la variación de la superficie de mallines en Patagonia: 4% en años secos a 8% en años húmedos. Dada la forma generalmente cóncava de los mallines, la disminución del nivel freatico por déficit en los aportes resulta en la perdida del “anillo” periférico cuya distancia a la freática supera la adecuada para satisfacer la demanda de la EVT.

FIGURA 8c a 13c, 15c, 17c

## **Manejo sustentable y degradativo del mallin**

En base al funcionamiento hidrológico es posible establecer como esta dinamica puede afectar los aspectos productivos y ecológicos. Es perfectamente predecible que toda accion que afecte los niveles freáticos por debajo del critico, tendra consecuencias sobre la productividad. El nivel freático critico ( o profundidad critica) es el minimo nivel por el cual el caudal capilar ascendente satisface la demanda evapotranspiratoria. Varía obviamente de un suelo a otro y de un mes a otro y de un cultivo a otro.

Variadas causas tanto de orden natural como antrópica pueden incidir sobre el nivel critico. Las causas naturales son producto de cambios eventuales como incendios, sequías extremas o vulcanismo, no en equilibrio con los procesos biofísicos del mallín. En este aspecto la variabilidad climáticas, como ya se comento, juega un papel trascendente. Años hidrológicamente pobres con menor aporte hídrico afectan sensiblemente la humedad del mallín ya que la recarga es insuficiente para elevar la freática a los niveles criticos, al menos durante parte del año.

Esta variabilidad interanual debería ser acompañada por adecuadas programas de manejo del ganado, de lo contrario el factor antrópico pasa a constituirse como primer elemento de degradación. La receptividad animal de los mallines debería ser evaluada en tiempo real y en base a parámetros fisiográficos y climáticos que permitan pronosticar su comportamiento para diferentes escenarios climáticos.

La sobrecarga animal en relacion al estado productivo (o de humedad o de niveles freáticos) del mallin conlleva a su degradación progresiva y creciente. La secuencia que rompe el equilibrio comienza con el sobrepastoreo, disminución de la masa vegetal, aumento de la escorrentía hacia el cauce central, profundización del mismo para alcanzar las condiciones hidráulicas en equilibrio con el mayor caudal, disminución del nivel de agua en el cauce cuando se vuelve a los caudales normales y drenaje subsuperficial hacia el arroyo central

hasta alcanzar el nuevo equilibrio entre niveles freáticos y el nuevo nivel de agua del cauce central. La profundización de las cargas hidráulicas en el cauce central produce una influencia logarítmica en los abatimientos de la freática. La consecuencia es un aumento importante del área marginal del mallín, donde las profundidades freáticas superan la crítica. De mantenerse la carga animal, la secuencia degradativa se repite pero intensificada, como se evidencia en la fotografía del Anexo. (CARCAVA)

Además de la degradación por cambios en la disponibilidad de agua, es frecuente en los mallines de costa y los del este patagónico, la degradación por aumento de salinidad y/o sodicidad. Las características de los suelos, la concentración de sales en el agua, el drenaje natural hacia el cauce central y la recarga superficial parecen ser factores relevantes en el proceso de salinización.

Cuando la salinidad es aportada por el agua freática el proceso de ascenso capilar, concentra sales en el horizonte inmediatamente superior a la napa y en los horizontes superficiales distribuidos en función de la densidad radicular. Este proceso es interrumpido con el proceso de infiltración por precipitación directa, fusión de nieve o escorrentía superficial. Este aporte es clave en la dilución y lavado de sales que son transportadas a través del perfil del suelo hacia la freática. El aumento de los potenciales hidráulicos en la freática, provoca un drenaje natural de agua y sales hacia el cauce central, contribuyendo a mantener bajo el tenor salino en la freática.

Una de las maneras de romper con este equilibrio aumentando la salinización de los suelos, es a partir de la disminución de la lámina de infiltración proveniente de la recarga superficial. Nuevamente, si se pierde cobertura vegetal por sobrepastoreo, la lámina de detención sobre el terreno disminuye, encauzándose el agua en cárcavas para finalmente escurrir hacia el cauce central. Se atenúa así el efecto de lavado de sales y transporte hacia afuera del mallín, con aumentos relevantes de salinidad en el suelo.

La composición química del agua y del suelo según su origen, le impone características específicas al mallín como es el caso de sodicidad y alcalinidad. Tanto el carácter salino como el sódico inducen a la desestabilización estructural del suelo incrementando el riesgo a la erosión hídrica y eólica, como lo han mencionado diversos autores entre ellos Van Barneveld (1998). Distinto es cuando la lámina de recarga superficial es alta, como en precordillera y cordillera y de bajísimo tenor salino, ya que le confiere un carácter ácido al suelo.

Dependiendo de las consecuencias de los distintos procesos degradativos, es posible también caracterizar la dinámica de las comunidades vegetales que evolucionan hacia estadios menos productivos. Estudios de estados y transiciones de la vegetación sujeta a una secuencia de deterioro fue presentado por Paruelo (1993).

En relación a la reversibilidad en la evolución degradativa del mallín parece haber distintas instancias. Cuando el mallín se degrada por desecación sin cambios en las propiedades del suelo, es posible revertir su evolución si se crean las condiciones de humidificación adecuadas. Mucho más difícil es la recuperación cuando la degradación es por salinización. Esto se puede confirmar observando las variaciones reversibles en la vegetación entre años húmedos y secos, producto de estrés hídrico en la estación estival.

En cambio la afectación de suelos por cambio de propiedades físicas o químicas como porosidad o salinidad/sodicidad, requieren de técnicas adecuadas, recursos disponibles y tiempos prolongados para revertir -cuando sea posible- su estado de degradación. Sobre este aspecto se requiere estudios y ensayos que van más allá de este proyecto.

El equilibrio entre estos procesos dependerá de parámetros físicos del agua, suelo, acuífero, lámina e intensidad de la precipitación y evapotranspiración, la configuración geométrica del acuífero en relación al cauce, entre otros. Estos parámetros son ampliamente variables entre cuencas y entre mallines de una cuenca,

por lo cual se justifica concentrar esfuerzos en técnicas para su estimación a partir de rasgos fisiográficos de fácil relevamiento.

En conclusión, el manejo de un mallín no salino debe condicionarse a los niveles freáticos, pues descensos por debajo del nivel crítico conducen a una evolución degradativa. Las razones pueden ser diversas; baja precipitación efectiva, menor aporte lateral, mayor drenaje hacia el cauce central, etc. Independientemente de las causas, niveles freáticos por debajo del crítico indican que el mallín debe ser descargado de animales. Si por diferentes manejos hidráulicos en el cauce central o recargas con acequias periféricas se logra recuperar los niveles freáticos adecuados, la carga animal podrá mantenerse en su máximo potencial para ese mallín.

Parece que una contribución importante en el manejo de mallines bajo ganadería, es la observación permanente de los niveles freáticos.

#### 4.5.2. Aplicación de la ecuación de balance a la situación con proyecto

Esta es la segunda situación planteada donde se toma los valores hídricos ideales que debería tener el mallín de manera que la humedad del mismo se considere a capacidad de campo durante el período más crítico.

A partir de ésta consideración la ecuación de balance planteada resulta:



donde:

P: precipitación (mm).

ET<sub>real</sub>: evapotranspiración real (mm).

ET<sub>potencial</sub>: evapotranspiración potencial (mm).

Q: diferencia entre caudales entrantes y salientes (mm).

$\mu$  : porosidad efectiva.

Preal: profundidad freaticograma real (mm)

Pprop: profundidad freaticograma propuesto (mm)

### ***Obtención de componentes***

En esta situación, los valores de precipitación se obtienen del mismo registro de datos que se utilizó para la aplicación en condiciones naturales.

La componente evapotranspiración esta compuesta por la diferencia entre la evapotranspiración potencial y real.

La evapotranspiración potencial se calculó a partir del programa de computación denominado CROPWAT que calcula dicha variable mediante la fórmula de Penman-Montheit, partiendo de variables tales como temperatura máxima y mínima, humedad del aire, velocidad del viento y heliofanía.

Todos los datos necesarios para aplicar esta fórmula se extrajeron de “Las estadísticas meteorológicas, período 1977-1995” de la Dirección de Recursos Hídricos de la Pcia del Neuquén en la estación Taquimilán.

Los datos de heliofanía, dado que no se contaban en los registros anteriores, se obtuvieron de los valores promedio año 1961-1990 correspondientes al promedio de las localidades de Neuquén, Cinco Saltos y Alto Valle perteneciente a la cátedra de Climatología de la Facultad de Ciencias Agrarias.

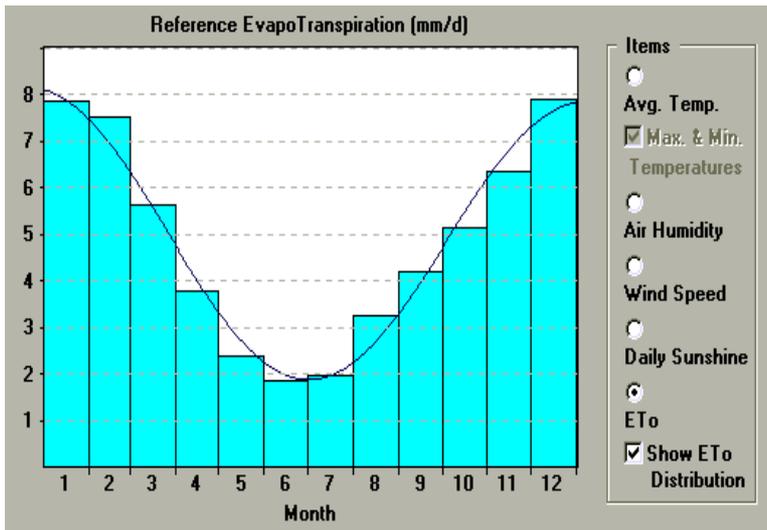


Figura 4. 5

Las variaciones de niveles freáticos surgen como la diferencia entre el freaticograma real del propuesto a nivel de proyecto.

Los componentes como  $Q_{inf}$  (filtraciones producidas por cauces superiores a la capa freática),  $Q_{dr}$  (salidas desde la napa freática hacia cauces ubicados en niveles inferiores) se engloba en una única variable ( $Q$ ) que será la incógnita en la ecuación.+

Como en la aplicación anterior la ecuación se aplica entre los meses de octubre y marzo.

Aplicando la ecuación de balance a esta condición.

Mes	O	N	D	E	F	M
<b>P(mm/mes)</b>	<b>15</b>	<b>6.6</b>	<b>16.6</b>	<b>8.3</b>	<b>13.3</b>	<b>3.1</b>
<b>Evap. Real (mm/mes)</b>	-155	-210	-248	-232	-182	-150
<b>Evap. Pot. (mm/mes)</b>	-170.5	-225	-	-264	-221	-168
<b>Dif (Etp-Etr)</b>	<b>-15.5</b>	<b>-15</b>	<b>-77.5</b>	<b>-32</b>	<b>-39</b>	<b>-18</b>
<b>Freat. Real</b>	800	1500	1800	1700	1800	1800
<b>Freat. Prop.</b>	800	1500	1400	1500	1500	1500
<b>Dif prof. freat. (real – propuesto) (mm/mes)</b>	0	0	-400	-200	-300	-300
<b>Dif*<math>\mu</math> (mm)</b>	-	<b>0</b>	<b>-240</b>	<b>-120</b>	<b>-180</b>	<b>-180</b>
<b>Q(mm/mes)</b>	<b>-0.5</b>	<b>-8.4</b>	<b>-300</b>	<b>-144</b>	<b>-206</b>	<b>-195</b>
<b>Dotación (l/seg ha)</b>	<b>-0.002</b>	<b>-0.032</b>	<b>-1.12</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>

De la tabla .....se puede observar que si se realizara un manejo tal que se aporten las dotaciones calculadas, el mallín se podría encontrar en condiciones hídricas óptimas.

Las dotaciones varían en función del mes analizado, si se calcula el valor promedio para este período, el mismo alcanza los 0.53 l/seg ha.

La Fig..... nos muestra la curva de demanda para el mallín del Huecú, donde se observa que el resto de los meses la dotación será nula ya que la humedad será suficiente para suplir las necesidades del mismo.

Cabe aclarar que a pesar que dicha curva corresponde a un solo año de análisis, la misma nos puede dar una primera noción de cuales son los requerimientos mensuales del mallín estudiado.

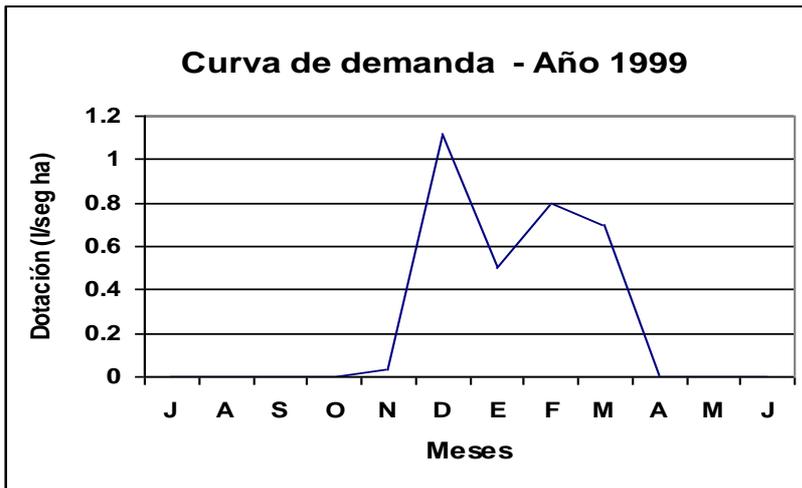


Figura 4. 6

La forma en que se proveerán estos caudales y su ingeniería se encuentra detallado en el capítulo.....

#### 4.5.3. Ingeniería del riego

Las estructuras que se proponen en este capítulo tienen como finalidad combinar los procesos de recarga y descarga de la freática, desfasados en el tiempo pero espacialmente superpuestos.

Con el drenaje, los excesos de agua fluyen a través del suelo hacia los drenes y desde allí son evacuados por el cauce central. Así, un sistema de drenaje baja la superficie freática, de tal manera que el desarrollo del sistema radicular de las plantas no esté limitado debido a la falta de aireación.

Con la subirrigación, el agua se introduce dentro canales de recarga o eventualmente drenes y luego se infiltra en el suelo. De esta manera, la superficie freática se mantiene en una altura apropiada

para permitir que los cultivos absorban el agua necesaria para su desarrollo. Si se usa un sistema de cañerías para alimentar de agua al suelo, no pueden descuidarse las necesidades del drenaje.

La cantidad máxima de agua a ser proporcionada al suelo (o descargada de él), está determinada por la resultante de la evapotranspiración, las precipitaciones, la infiltración, y la superficie del mallin. Si la extensión del campo está fijada, pueden variarse la longitud y el diámetro de las tuberías para mantener la superficie freática en la cota deseada. Las tuberías cortas y de gran diámetro tienden a aproximarse al ideal, aunque debe aceptarse una cierta variación de la superficie freática por encima de las tuberías.

### **Criterios de diseño.**

Los datos básicos para el diseño de un sistema de subirrigación, son:

1. Parámetros físicos del suelo y del acuífero.
2. Variaciones freáticas en su distribución espacial y temporal.
3. Lámina de recarga necesaria para suplir el déficit hídrico.

#### **- Alternativas de manejo en el campo:**

Posteriormente a la estimación de la lámina de recarga a aportar a la freática, se deben establecer el diseño tecnológico mas adecuado en el sentido económico, ambiental y social.

Existen muchas alternativas o esquemas teóricos posibles para recargar y controlar los niveles freáticos, en este capítulo se revisan alguno de ellos que se consideran mas propicios a la región patagónica.

*- Esquema I) Acequias perimetrales de recarga y un dren central único (arroyo):*

La experiencia ha mostrado que bajo las condiciones que se presentan en los periodos secos, el método más práctico es, a menudo, un conjunto de acequias o regueras de alimentación, esencialmente paralelas y convenientemente espaciadas. El agua corre bajo control por estos alimentadores se infiltra y alimenta el acuífero freático.

Las regueras de alimentación son trazadas, dentro de lo posible, con pendiente mínima o nula (siguiendo las curvas de nivel), estando en este ultimo caso, sujetas solamente al gradiente hidráulico.

El diseño de las acequias (ancho y distanciamiento) será tal que graantice suplir el agua en el período de déficit crítico. Así mismo, es deseable que la profundidad de agua en el alimentador se mantenga con poca variación a lo largo de su recorrido, en estas condiciones, la infiltración será similar en los diferentes tramos considerados.

En la temporada de lluvias, estas acequias son utilizadas para controlar y encauzar la escorrentía superficial hacia el cauce principal del mallin.

- *Esquema II) Drenes entubados perimetrales con doble función:*

Consiste en un sistema de tuberías de drenaje, sensiblemente paralelas (profundidad media de 2,50 m), que descargan o nacen en el cauce central del mallin según la necesidad de recarga de la freática. A fin de poder controlar el nivel de agua en el arroyo se deben instalar estructuras de control, compuertas de ataje tipo tablero, y/o retención sobre el cauce , que serán operadas permitan poner o quitar fácilmente.

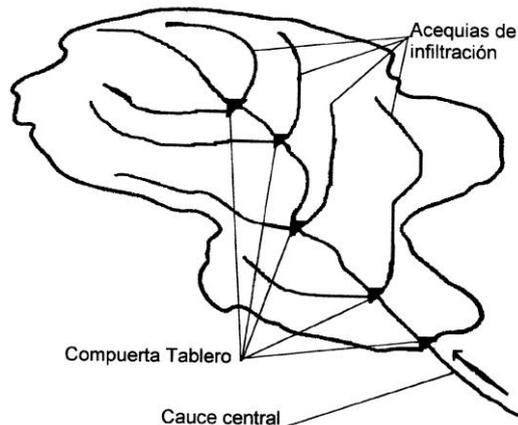
Las figura 2<sup>1</sup> muestra un esquema que se ha adoptado para ejemplificar de modo simple lo antes descripto. Cada pequeño dique

---

<sup>1</sup> Walker, W,R, *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation*

de control encierra un tramo de canal que se constituye así en una ensenada de nivel de agua constante. En cada dique se instalan compuertas de movimiento rápido. Los círculos representan los conductos que actuarán alternativamente como drenes u tuberías de subirrigación. Cuando interese subirrigar la carga de agua retenida en la reguera ingresa a los conductos de PVC, liberados de sus tapones terminales.

La figura 3 es una vista lateral de un control ajustable de salida del agua freática a la reguera, (Zimmer, 1994)<sup>2</sup>. Representa un corte transversal del cauce central (fig. 2) a la altura del caño de descarga (o recarga, según el caso) de PVC. La descarga de un sistema subsuperficial de drenaje puede regularse con una estructura de control de PVC similar a la que se muestra en esa figura.



**POSIBLE CONFIGURACION DEL SISTEMA**

---

*systems*, Roma, 1989

<sup>2</sup> Zimmer, D, Madramamootoo, Ch., Op, Cit,

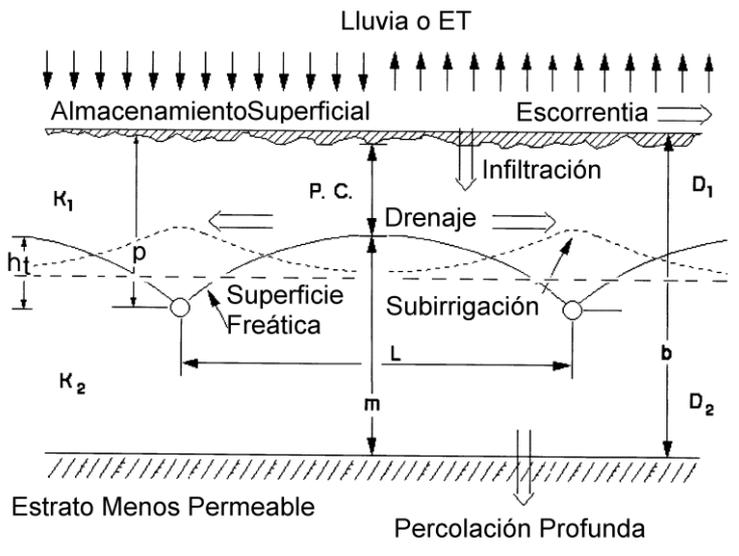


Figura N° 1

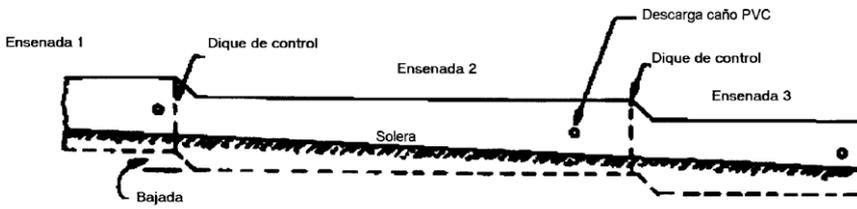


Figura N° 2

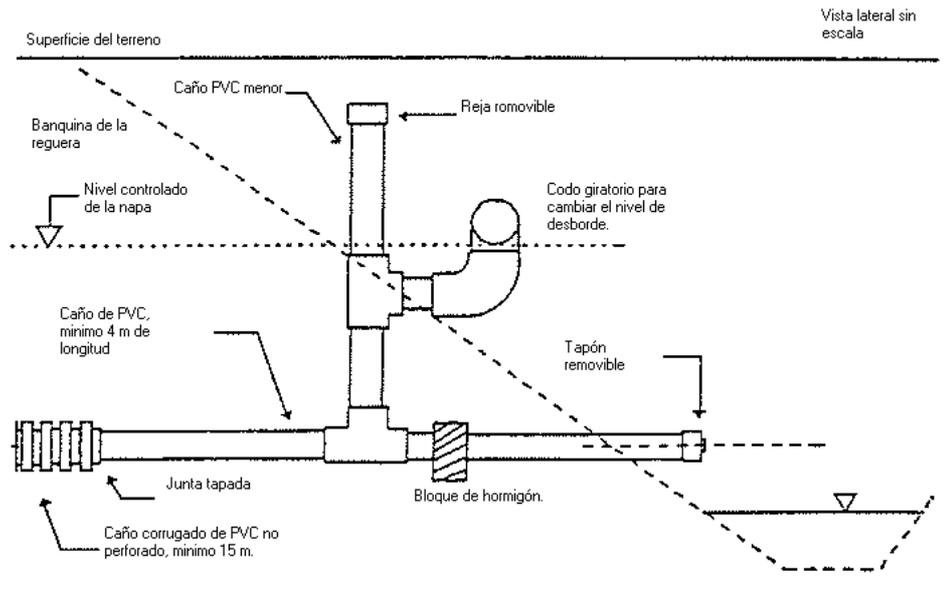


Figura N° 3

- Cálculo del espaciamiento entre tuberías y/o zanjas:

Según lo expuesto en los items anteriores, queda claramente indicado el porque de la utilización de la expresión de Ernst para el calculo del espaciamiento entre tuberías y/o zanjas de control de la freática en mallines. En tal sentido, las variables intervinientes toman los valores que surgen de los relevamientos de campo – mediciones directas y/o estimaciones - de los parámetros hidrogeológicos, según se detallan a continuación:

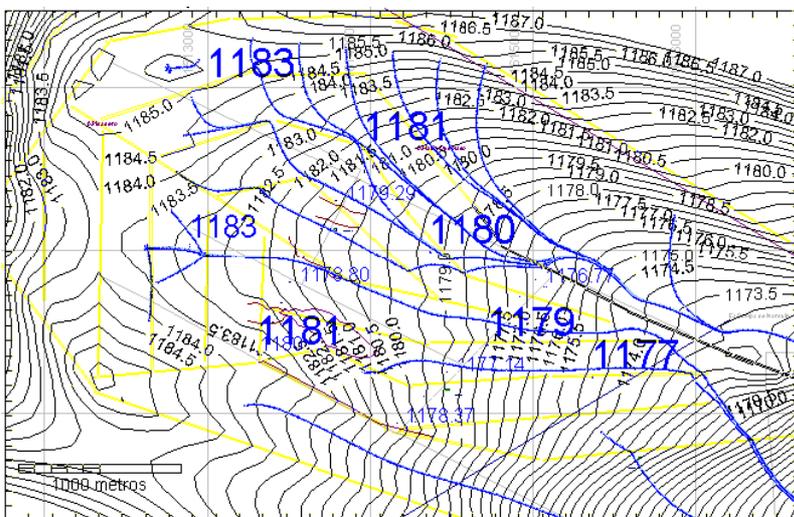
- Espesor de los diferentes estratos:
  - estrato superior:  $D1 = 2,0 \text{ m}$
  - estrato inferior:  $D2 = 13,0 \text{ m}$
- Espesor saturado:  $m = 13,5 - 14,0 \text{ m}$
- Conductividad hidráulica de los estratos:
  - estrato superior:  $K1 = 2,0 \text{ m}$
  - estrato inferior:  $K2 = 14,0 \text{ m}$  (valor medio estim.).

- Descarga o recarga específicas: -  $q = 0,010 \text{ m/d} \cong \text{ETc}$
- Nivel freático de proyecto: - prof. crítica = 1,3 m
- Profundidad de la tubería: -  $p = 2,3 - 2,5 \text{ m}$

El espaciamiento resultante (L), teniendo en cuenta que las tuberías deben ubicarse en el estrato inferior (el de mayor conductividad), es el que surge de la resolución de la ecuación de Ernst:

$$L \cong 350 \text{ m}$$

#### 4.5.4. Simulación de las obras de ingeniería propuestas



**Figura 4.7**

#### 4.5.5. Resultados de la propuesta

*Resultados de la propuesta*

Los resultados de la simulación se presentan en la fig. 4.66 que representa la diferencia entre el nivel freático natural y el obtenido con el proyecto. Representa el aumento de nivel debido a los canales de infiltración proyectados.

Valores positivos indican aumento y negativos descenso respecto a la condición natural. El descenso es debido por un lado a estar aplicando una EVT = 8 mm/día (superior a la considerada durante la calibración de junio EVT= 1 mm/día) a toda el área de cálculo (rectángulo) mientras que las obras de recarga se han diseñado en el área de interés del mallín. Por el otro es clara la influencia del arroyo principal que actúa como drenaje.

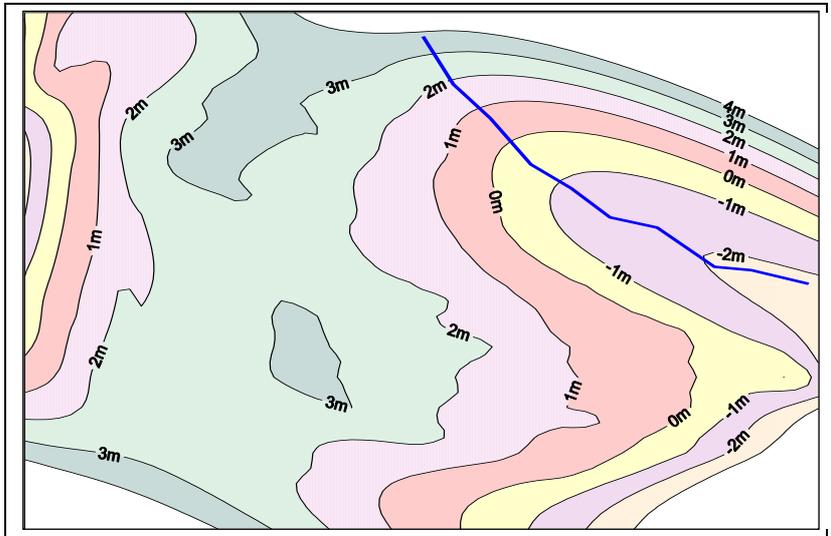
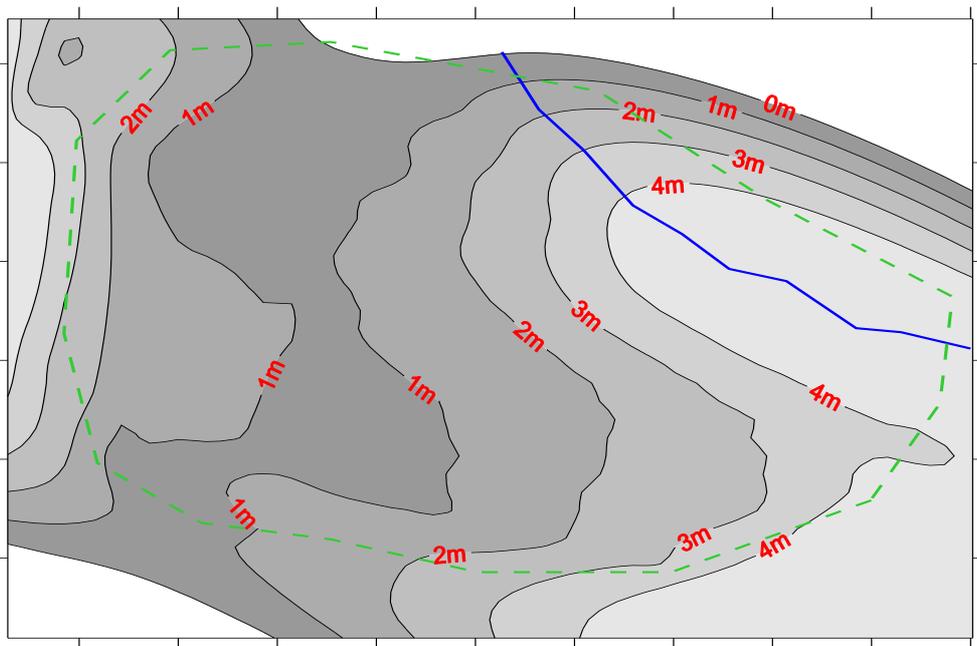


Figura 4.66: efecto debido a canales de infiltración.

Interesa además presentar la profundidad de napa resultante con las obras, ya que conviene recordar que el objetivo de los canales

es elevar el nivel de agua en el acuífero hasta niveles que sea factible la subirrigación. La fig. 4.67 de isobatas simuladas se obtuvo por diferencia entre el mapa topográfico del terreno y el mapa de niveles freáticos simulados con el modelo de flujo.

Como para el caso de la fig 4.66 se observa la influencia en los bordes del aumento de la EVT y la influencia del cauce central, ambos deprimiendo los niveles.



**Figura 4.67: profundidad del nivel freático simulado con proyecto**

En la figura se puede observar que en el área del mallín (encerrada por línea de trazos verde) la profundidad de napa está dentro de los rangos requeridos para la subirrigación. Para mejorar el ajuste en la zona del cauce sería necesario impedir que actúe como

dren lo cual se lograría aumentando los niveles del pelo de agua mediante pequeños endicamientos.

En síntesis, la simulación permite analizar alternativas de obras en el mallín y evaluar la eficiencia para controlar el nivel freático que permita la subirrigación, restando el análisis socio-económico para determinar costos y en definitiva factibilidad del proyecto.



## Capítulo 5

### Conclusiones y recomendaciones

1. Se pudo verificar que el funcionamiento hidrológico responde a una cuenca concentradora del agua disponible, a una recarga del acuífero freático y fundamentalmente a una dinámica del agua y sales entre la freática y la superficie. La cuantificación de estos procesos esta en función de parámetros físicos medibles a nivel de cuenca, acuífero y suelo. A su vez estos son responsables y determinantes de la productividad del ecosistema, de su estabilidad y evolución.

2. Se identificó un funcionamiento unificador de mallines en relación al movimiento de agua en el mallín. Mallines sujetos a diferentes ambientes geológico, geomorfológico, edáfico, fitogeográfico y climático responden a los mismos procesos y pueden ser simulados con modelos físicos conceptuales. Contrasta con las múltiples clasificaciones existentes para caracterizar el mallín, que no explican necesariamente su dinámica ni su posible evolución tanto productiva como ambiental.

3. Independientemente de las características de este flujo dominante, la aptitud del suelo para retener agua queda expresado en la curva de tensión-humedad, por lo cual aquellos mas aptos para la subirrigación natural deben poseer alta porosidad efectiva y alta conductividad.

4. Se identificó un posible control al déficit hídrico natural de los mallines. En base al reconocimiento del papel de la freática se planteó controlar sus niveles mediante canales de recarga, manejo de niveles del agua en el cauce central y drenes. No se requiere del riego tradicional con mojado superficial para compensar el déficit hídrico estival.

5. La solución del déficit de esta manera es asimilable a un sistema de riego con una eficiencia total del 100 %, pues esencialmente no hay pérdidas y el sistema vegetal consume solo la demanda evapotranspiratoria. Para una región árida con recursos hídricos desfavorablemente distribuidos y/o escasos, esto constituye una importante ventaja.

6. Se reconoció las causas de degradación de los mallines y se explicó en términos de la física de los procesos hidrológicos las consecuencias en el ecosistema. La física que gobierna el flujo y transporte permite explicar la notable sensibilidad de los mallines a variaciones climáticas y a las alteraciones en el coeficiente de escorrentía. Con respecto a estas últimas el sobrepastoreo se visualiza como factor determinante en la degradación de mallines por exponerlo tanto a déficit hídrico como a la salinización.

7. El balance salino simulado y las observaciones evidencian que el control freático puede ser sustentable como manejo productivo. Sin embargo, es recomendable mayor investigación en cuanto a las condiciones límites de cumplimiento de la sustentabilidad o régimen permanente de concentraciones salinas. Esto exige más mediciones y análisis del flujo y transporte en 2 dimensiones.

8. El entendimiento de la física de los procesos permite abordar el manejo desde otras escalas y observaciones. En el funcionamiento del mallín es relevante el nivel freático, las características físicas del suelo y las concentraciones salinas. Si estas componentes pueden ser expresadas en función de parámetros identificables mediante imágenes satelitales, el manejo puede abordarse a escala regional.

9. El entendimiento de la dinámica hidrológica de los mallines da lugar a plantear una política productiva en Patagonia, pudiéndose revertir una de las manifestaciones más nocivas en el escenario de desertificación a que la región está sujeta.

10. El funcionamiento hidrológico explicado permite una tipificación funcional de mallines patagónicos basado en el balance hídrico, el flujo predominante y el transporte de sales.

11. Intentar la consideración de los aspectos sociales en el estudio de los mallines, permite más que una conclusión sobre el caso en estudio, una conclusión que la excede:

- Los estudios del ambiente en general y del agua en nuestro caso, deben incorporar la perspectiva sociológica, no en términos dicotómicos sociedad y ambiente, sino bajo una perspectiva compleja desde un inicio del estudio. Esta inclusión, que obedece a una concepción teórica definida, permitirá reorientar las políticas de intervención y adecuar las propuestas tecnológicas.

- La metodología de estudio debe contemplar la interacción directa de los grupos sociales intervinientes, a los fines de explicitar las visiones actuales y culturales. Los métodos y conclusiones no son generalizables, en tanto cada espacio-ambiente y cada sociedad son diferentes.

## Bibliografía

### Básica

Amisial, Roger A. y Herve J. Jegat, 1978. *Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas*. CIDIAT, Venezuela, 92 pp.

Bedient, Phillip B., 1992. *Hydrology and Floodplain Analysis*. Addison-Wesley-Publishing Company, segunda edición.

Buol, S. W.; HOLE, F. D.; Mccracken, R. J. 1981. "Génesis y clasificación de suelos. Ed Trillas, México, 417 pp.

Canovas Cuenca, J.; 1990. "Calidad agronómica de las aguas de riego". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 61 pp.

Daniels Raymond B., Hammer Richard D., 1992. *Soil Geomorphology*. John Wiley & Sons, Inc. United States. 236 p.

Douchaufour, P., 1975. *Edafogénesis y Clasificación*. Editorial Toray Masson, S.A. Barcelona. 493 pp.

Douchaufour, P., 1975. *Manual de Edafología*. Editorial Toray Masson, S.A. Barcelona. 478 pp.

Eastman J. Ronald, 1992. *Idrisi versión 4.0 - Technical Reference - Users Guide*. Clark University, Massachusetts.

Freeze, R.Allan y John Cherry, 1994. *Groundwater*. Prentice-Hall, New Jersey, 605 pp.

Geología Regional Argentina, 1979. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Volumen I y II.

Kessler, J.; Ridder N.A., 1973. *Evaluación de balances de agua subterránea*. Wageningen.

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

Lanciotti, M., Belatti, J. y otros, 1993. *Mallines: Recopilación bibliográfica*. Precodepa. INTA EEA Bariloche. 28 pp.

Martinez Beltrán, 1986. *J. Drenaje Agrícola*.

Modflow/EM, 1990. U.S. Geological Survey, Denver Colorado. *Manual del usuario*.

Nofziger, D.L., Rajender, K., 1989. CHEMFLO, One-Dimensional Water and Chemical Movement in Unsaturated Soils. U.S. EPA, Oklahoma.

Porta, J.; Lopez Acevedo, M.; Roquero, C. 1999. "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona. 2ª edición. 849 pp.

Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:318-333.

Soil Survey Staff, 1994. *Keys to Soil Taxonomy*. Virginia. USA.

Soil Survey Staff, U.S. Department of agriculture, 1993. *Soil Survey Manual. Handbook 18*. Washington.

Soil Survey Staff. U.S. Department Of Agriculture; 1996.

"Keys to Soil Taxonomy. Pocahontas Press, Inc. Virginia. United States of America. 644 pp

Strack, O.D., 1989. *Groundwater Mechanics*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 732 p.

Strahler, A.; 1981. "Geografía Física", Ediciones Omega, Barcelona. 767 pp.

### Geomorfología y suelos

Bates, R.G. 1954. *Electrometric pH determinations* John Wiley and sons, Inc. New York.

Black (Ed). 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and mineralogical properties*. American Society of Agronomy. Madison, USA. 1 - 770 pp.

Black (Ed). 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Madison, USA. 771 - 1572 pp.

Blackmoore, S. 1980. *Complex Interchange dominated by amorphous materials*. 1º Ed. Bureau of Soil. New Zealand. 63 pp.

Bouyoucos, G.W. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. *Soil Sci.* 23: 343-353.

Bower, R. 1952. Determination of exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73: 251-261.

Diehl, H.; Goetz, C.A. And Hach, C.C. 1950 The versenate titration for total hardness. *Am. Water Works Assoc. J.* 42:40-48.

Ferrer, J. A. et al, 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén, Vol. 1, Tomos 1 a 4. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. (inconcluso).

Fieldes, M.P. Y K. W. Parrot, 1966. The nature of allophane in soils. III Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zealand. Journal Sci.* 9:623-629.

Gonzalez Diaz, E; Ferrer, J; 1986. "Relevamiento y priorización de áreas con posibilidades de riego. Estudio Regional de Suelos. Geomorfología de la Provincia del Neuquén", Consejo Federal de Inversiones, Buenos Aires. 98 pp.

Irisarri, J.; Apcarian, A.; Schmid, P.; Bianco, H.; Antiquero, A.; Beretta, G.; Muguerza, D.; Ferrari, L.; Viscovich, S.; Antiquero, M. 1987. Estudio de suelos a nivel de reconocimiento en 19 áreas preseleccionadas – Parte de la Cuenca del Río Limay. Consejo Federal de Inversiones-Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.Comahue. 200 pp, 8 mapas.

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

Lanciotti, M.L., 1980. Fertilidad de Suelos en Patagonia. Informe interno de beca. Período 1978-80.

Lanciotti, M.L., 1983. Nitrógeno mineral en mallines. Actas del 10 Congreso Argentino y 8 Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, pág. 165.

Laya, H.; Irisarri, J.; Schmid, P.; Apcarian, A.; Crespo, G.; Mussini, E.; Bianco, H.; Antiquero, A.; Antiquero, M. 1981. "Estudio de Suelos a nivel de reconocimiento con fines de riego en 43 áreas preseleccionadas". Consejo Federal de Inversiones - Facultad de Ciencias Agrarias (U.N. del Comahue), Cinco Saltos. 350 pp, 26 mapas.

Laya, H.A. y M.S. Pazos, 1979. Estudio ecológico integrado de la cuenca del Río Manso Superior. V. Relevamiento semidetallado de suelos. Fundación Bariloche.

Laya, H.A., 1969. Cartografía de los principales grupos de suelos y sus relaciones genéticas en la región de Trevelín -Chubut. Actas del 5 RAACS, pp 359-371.

Laya, H.A., et al., 1970. Suelos del área de El Bolsón y Mallín Ahogado (Río Negro). Informe inédito. UNS 38 pp.

Luque, J., Amari, M., 1997. Características edáficas e hídricas de los mallines del Chubut. EEA INTA Chubut. Trelew. 36 pp.

Marcolin, A.A., 1972. Cartografía de los principales grupos de suelos de Chollila y Epuyén. Informe Final del Plan 39:1857. Inédito, 22 p.

Marcolin, A.A., 1973. Relevamiento edafológico como base para otros planes de trabajo. EEA Bariloche INTA. Bariloche. 18 pp.

Marcolin, A.A., 1975. Relevamiento expeditivo de los suelos de Loncopué-El Huecú (Neuquén). Actas del 7 RAACS. Suplemento 33. IDIA, Bahía Blanca, pp 511-516.

Ortiz, R.E., 1982. Estado actual del conocimiento sobre fertilidad de suelos en Patagonia. I Jornadas Regionales de Suelos de la Patagonia. Neuquén, p147-159.

Puri Y Asghar, 1938. Influence of salts and soil-water relation on pH value of soils. Soil Sci. 46:299

Richards, L. A 1956. Sample retainers for measuring water retention by soil. Soil Sci. Am. Proc. 20:301-303.

Sadzawaka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias serie La Platina N° 16. Estación Experimental La Platina, Santiago de Chile, 123 pp

Salazar, J.C., 1995. Degradación de suelos. INTA Castelar.

Salazar, J.C., 1997. Suelos. Geomorfología. INTA Castelar.

Schafield, R. K. And A. W. Taylor, 1955. The measurement of soil pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19:164 -167.

Schollember, C. J. & R. H. Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil – ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59:13-25.

Soil Reaction Committee, 1930. *Intern. Soc. Sci. Soil Res.* 2:241.

U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handbook 60. 172 pp.

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.

Walkley, A. And Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 28-29.

## Vegetación

Bernardón, A., 1994. Los modelos ecológicos tradicionales a los actuales en la interpretación de la dinámica de los pastizales de la región Centro-oeste de la Argentina. Conferencia. *Rev. Prod. Anim.* 14: 25-29.

Bertiller, M.B., 1994. Modelos ecológicos alternativos de dinámica de la vegetación en ecosistemas de pastizales: un caso de estudio en la Patagonia. Conferencia. *Rev. Prod. Anim.* 14: 15-23.

Boelcke, O., 1957. Comunidades herbáceas del norte de la Patagonia y sus relaciones con la ganadería. *RIA Tomo 1 (1)*. 98 pp.

Bonvissuto, G. y Somlo R., 1994. Guías de condición para los principales tipos de campo de dos áreas ecológicas de Patagonia Argentina. INTA -EEA Bariloche.

Bonvissuto, G. y Somlo R., 1997. Guías de condición para los mallines de cordillera y sierras y mesetas. INTA -EEA Bariloche.

Bran, D. et al., 1998. Valles y Mallines de la comarca de Ingeniero Jacobacci (Río Negro). Distribución y tipificación utilitaria. EEA INTA Bariloche. 26 pp.

Cassola, A., 1986. Una forrajera exótica y 'milagrosa'. Presencia 1(5), pp.45-46.

Clements, F.E., 1928. Plant succession and indicators. A definitive edition of plant succession and indicators. H.H. Wilson Co., New York 453p. Holechek, J., Pieper, R. y Herbel, C. 1989. Range Management, Principles and Practices . Prentice-Hall, Inc. 499 pp.

Holechek, J., Pieper, R. y Herbel, C., 1989. Range Management, Principles and Practices . Prentice-Hall, Inc. 499 pp.

Iriondo, M.; Orellana J.; Neiff M., 1974. Sobre el concepto de mallín cordillerano. Rev. Asoc. Científico Nat. Literario N° 5: 45-52.

Jornadas de Actualización de Mallines, 1997. Resúmenes. Proyecto Mallines, Prodesar y Cambio Rural. EEA Bariloche INTA. Bariloche. 58 pp.

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.

Marcolin, A.A. et al., 1978. Caracterización de mallines en un área del sudoeste de la Provincia de Río Negro. 8va Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. EEA INTA Bariloche. 18 pp.

Monteith, N.H., 1970. The development of a Soil Science Programme within the FAO-INTA Project in Patagonia, Argentina. Report UNDP/SF 146 Arg.14. Inédito. INTA Bariloche.

Monteith, N.H., Vallerini, Merlo, 1969. Resultados de ensayos en invernáculos para orientación de deficiencias minerales en suelos de la Patagonia. Actas quinta RAACS, Santa Fé.

Movía 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

Nakamatsu, V.B., 1998. Mallines, Valles y Áreas ribereñas. Consultoría DHV-SCC Swedforest. Módulo Desertificación. Módulo 1: Ecología de Recursos Naturales. EEA Chubut. 11 pp.

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.

Roux, P.W., Du Pisani L.G., 1994. Impressions of situations in Patagonia. Inédito.

Senft, R. et al., 1987. Large Herbivore Foraging and Ecological Hierarchies. Landscape ecology can enhance traditional foraging theory. 9 pp. En: Curso de Actualización Interacciones Planta Animal dictado por Cid, M. y Brizuela, M. 1994.

Vallerini, J., 1970. Ensayos de fertilizantes en el NO de Patagonia. Rev. Agr. NOA VII(1-2): 231-245.

Westoby, M., Walker, B. y Noymeir, I. 1989. Opportunistic management for rangeland not at equilibrium. Journal Range Management 42: 266-274.

## Hidrología

CFI, 1990. Análisis de caudales de estiaje en la cuenca superior y media del río Chubut.

Coronato, F. y H. Del Valle, 1988. Caracterización hídrica de las cuencas hidrográficas de la Provincia del Chubut.

Cremona, M.V.; Lanciotti, M.L.; Bonvissuto, G.L., 1995. Dinámica del agua en mallines con diferente condición de pastizal en Patagonia Norte. INTA EEA Bariloche.

Dufilho Ana C. , Horne, Federico E., Polla Gabriela M., 1998. Dinámica del agua en mallines de la patagonia, III. Comportamiento espacial del escurrimiento subterráneo

Estadística Hidrológica, 1994. Secretaría de Energía, Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Tomo I-II.

FCA, UNC (Fac. de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue) - DPA (Dirección Provincial del Agua de Río Negro), 1995. Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles de agua freática en el Alto Valle de Río Negro. Convenio.

Fiorio, D., 1997. Manejo del agua en mallines. Presencia XI (41), pp19-23.

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, Federico, Dufilho Ana C., Polla Gabriela M., 1998. Dinámica del agua en los mallines de Patagonia. II. Movimiento del agua en el perfil.

Marcolín, A.A. et al., 1978. Caracterización de mallines en un área del sudoeste de la Provincia de Río Negro. Octava Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, 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.

Paredes, Bernedo-CFI, 1984. Aprovechamiento de los recursos agua-suelo para el desarrollo integral de la zona de Los Antiguos y Lago Buenos Aires, Santa Cruz.

Patagonia - Programa Regional de investigación y desarrollo en Recursos Hídricos, 1983. Presidencia de la Nación, Subsecretaría de Ciencia y Tecnología

Polla, Gabriela, Horne Federico, 1998. Dinámica del agua en los mallines de Patagonia. I. Balance Hídrico.

PROSAP, 19 . Presentación. Capítulo III: Riego y drenaje. Breve descripción de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la provincia de Chubut.

Van Genuchten, M ; Leij, F.; Yates S. The RETC code Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soil. 1991.

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.

## SOCIOLOGICA

Cloquell, Silvia (1999). "Apuntes y discusiones sobre la construcción de una sociología ambiental" en Norma Guiarraca "Estudios Rurales: teoría, problemas y estrategias. Editorial La Colmena, Buenos Aires.

Galafassi, Guido (1999). Teoría y método antropológico. Entre la naturaleza y la cultura. Theorethikos, Año 2 N° 7.

Galafassi, Guido (1999). "La articulación sociedad naturaleza y la problemática ambiental: una aproximación a su análisis.

Galafassi, Guido y Levin, Luciano (2001). "Las preocupaciones por la relación Naturaleza-Cultura-Sociedad. Ideas y teorías en los siglos XIX y XX. Theomai, N° 3.

Gallopín, Gilberto (1982). "Tecnología y Sistemas Ecológicos". CIFCA—UCORED.

Gallopín, Gilberto (1980). "El medio ambiente humano" en Osvaldo Sunkel "Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina". Fondo de Cultura Económica.

Guiddens, Anthony (1997). "La vida en una sociedad post tradicional. Cuadernos Agora, Año 3, N° 6.

Hernández, Roberto (1998). "Teorías sobre el campesinado en América Latina. Una evaluación crítica. Revista Chilena de Antropología N° 12.

Lavell Thomas, Allan (1993). "Ciencias Sociales y Desastres Naturales en América Latina. Un encuentro inconcluso. La Red, Panamá

Redclif, M. (1994). "El desarrollo y la sociología: discurso discordante. London Routledge.

Toledo, V. (1981). "Intercambio ecológico e intercambio económico en el proceso productivo primario. UNAN.

Vazquez, Alfredo (1992). Aspectos socioeconómicos y culturales de los productores ganaderos del Centro Oeste de la Provincia del Neuquen (Argentina), relacionados con los procesos de desertificación. Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magister Scientiae en Extensión Agropecuaria. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Litoral