



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CURSO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

MATERIAL TEÓRICO
INGENIERIA FORESTAL

UNIDAD DIDÁCTICA C6
Manejo de Suelos Hidromórficos

2018

OBJETIVO

Conocer las causas, consecuencias y dinámica de los excesos hídricos. Brindar elementos para diseñar estrategias de prevención y control.

RESUMEN

Los suelos asociados a excesos permanentes o prolongados de agua, denominados hidromórficos (hidro=agua, morph=forma), representan uno de los problemas más destacados de la llanura pampeana y de otros lugares de Argentina. El hidromorfismo puede devenir del agua de lluvia y posterior encharcamiento, el ascenso de una napa o desbordes de cursos de agua, así como la depositación de materiales sólidos. Dentro de la Región Pampeana pueden distinguirse 3 grandes áreas con problemas de hidromorfismo: los bajos submeridionales santafesinos, la Pampa Arenosa y la Pampa Deprimida. En esta última zona se hicieron durante el siglo pasado una serie de obras que afectaron negativamente la dinámica hídrica regional. Los sistemas hidrológicos pueden clasificarse en típicos y no típicos. El NO bonaerense, la cuenca Salado-Vallimanca, las encadenadas del SO y la laguna de Mar Chiquita son los principales sistemas no típicos de la provincia de Buenos Aires. Estos sistemas no típicos propios de llanuras de origen sedimentario que se caracterizan por la existencia de exiguas pendientes y drenajes superficiales mal definidos. El agua de lluvia se acumula superficialmente o infiltra deficientemente para alimentar un acuífero freático, muchas veces superficial, antes de volver a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración. En estas condiciones y pese a que los suelos son de granulometría fina, predominan los movimientos verticales del agua y la alternancia de excesos y déficit hídricos. Se suele denominar anegamiento cuando el exceso se origina por agua de lluvia o ascenso de la capa freática afectando el suelo desde la superficie o a escasa profundidad, e inundación cuando se trata de desbordes de cursos de agua superficial. Las consecuencias de las inundaciones se relacionan estrechamente con la calidad del agua. Esta puede ser de lluvia (problemas reversibles) o subterránea y en este caso con contenidos variables de sales y sodio (problemas de lenta o nula reversibilidad). Las características diagnósticas de ambientes hidromórficos son la topografía, la profundidad de la napa, el drenaje, signos morfológicos del perfil de hidromorfismo temporario o permanente, y la vegetación. En función de ello pueden definirse 7 estadios de la problemática. Sus consecuencias pueden ser de naturaleza química y/o física en los suelos y en respuesta a ello en la vegetación. El manejo agro-hidrológico puede llevarse a nivel regional o predial. En este último caso se emplean badenes de conducción de excesos hídricos hacia bajos de sacrificio dentro del establecimiento, lo que permite, además, mejorar la disponibilidad de agua en períodos de déficits. Otras prácticas radican en el manejo de la vegetación a través de forestaciones, rejuvenecimiento de especies invernales, implantación de especies mejoradoras, intersembras, pastoreo controlado, entre otras. En la emergencia hídrica en ámbitos de cría vacuna se llevan a cabo acciones relacionadas con el manejo del ganado y el forraje. Es posible utilizar una metodología que establece el riesgo de anegamiento-sequía en llanuras (imágenes satelitales, cartas de suelo y altimétricas, relevamientos de campo integrados en un sistema GIS georreferenciado) para mejorar las estrategias de prevención y control de las inundaciones.

ÍNDICE

DEFINICIONES Y SITUACIÓN EN ARGENTINA.....	- 3 -
GEOMORFOLOGÍA DE ÁREAS INUNDABLES BONAERENSES Y DE SUS SUELOS.....	- 5 -
<i>PAMPA INTERIOR ARENOSA.....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>PAMPA DEPRIMIDA.....</i>	<i>- 7 -</i>
MOVIMIENTO DE AGUA EN LAS LLANURAS.....	- 9 -
INUNDACIÓN Y SEQUÍA.....	- 12 -
CALIDAD DEL AGUA DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO.....	- 13 -
PERFIL HIDROMÓRFICO.....	- 14 -
ESTADIOS HIDROMÓRFICOS.....	- 15 -
REACCIONES QUÍMICAS.....	- 16 -
REACCIONES FÍSICAS.....	- 17 -
CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	- 19 -
MANEJO AGROHIDROLÓGICO DE INUNDACIONES Y/O EXCESOS HÍDRICOS.....	- 20 -
<i>OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>BADÉN BORDEADO.....</i>	<i>- 22 -</i>
<i>DRENES ARTIFICIALES.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>ROTURACIÓN DE HORIZONTES SUPERFICIALES COMPACTADOS CON CORTE HORIZONTAL/VERTICAL.....</i>	<i>- 27 -</i>
MANEJO DE LA VEGETACIÓN.....	- 27 -
Forestaciones.....	- 27 -
Pastoreo controlado.....	- 29 -
Rejuvenecimiento de especies invernales.....	- 31 -
Cultivo del suelo con plantas mejoradoras.....	- 31 -
Intersiembr.....	- 31 -
MANEJO EN LA EMERGENCIA HÍDRICA.....	- 31 -
RIESGO DE ANEGAMIENTO-INUNDACIÓN Y DISEÑO DE OBRAS AGRO-HIDROLÓGICAS.....	- 32 -
CUESTIONARIO.....	- 38 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 39 -

DEFINICIONES Y SITUACIÓN EN ARGENTINA

El hidromorfismo puede devenir de:

- agua de lluvia y posterior encharcamiento
- ascenso de una napa freática
- desbordes de cursos de agua
- deposición de materiales sólidos desarrollando humedales.

El término “saturación” puede definirse de 2 maneras:

- cuando **la presión del agua en el suelo es igual o mayor que la presión atmosférica**. Por lo tanto cuando se hace un pozo, el agua fluirá desde el suelo hacia el pozo excavado (no hay aire atrapado en los poros). Cuando el agua, por ejemplo de lluvia, desciende por una grieta y se acumula luego en un horizonte arcilloso, este generalmente no está saturado, pues siempre hay aire atrapado y la presión del agua es inferior a la atmosférica. Según esta definición la zona de ascenso capilar no forma parte de la zona saturada. Este estado de saturación puede medirse mediante freatómetros o piezómetros, o simplemente haciendo un pozo, ó
- Cuando **todos los poros están llenos de agua**, excepto aquellos que tiene aire atrapado. Bajo esta definición, generalmente la más aceptada, la zona de ascenso capilar se considera saturada. Esta situación puede evaluarse por pérdida de peso de una muestra en estufa a 105°C y comparación con la porosidad evaluada mediante las densidades aparente y real (Ver Manejo de la Fertilidad Física).

Los suelos hidromórficos son aquellos que están saturados de agua algunos períodos del año o todo el año, la mayor parte de los años. Esta situación de anaerobiosis provoca una serie de alteraciones de naturaleza química y física.

En Argentina, es posible agrupar las unidades de suelo según sus limitaciones de drenaje (escala 1:500.000). Esto permite unificar de manera sencilla los suelos hidromórficos, a fin de identificar y planificar las posibilidades de recuperación y mejoramiento de estas unidades. En la Figura 1 se observa el mapa de suelos del INTA, escala 1:500.000, reclasificado según los tipos de drenaje en suelos hidromórficos y bien drenados.

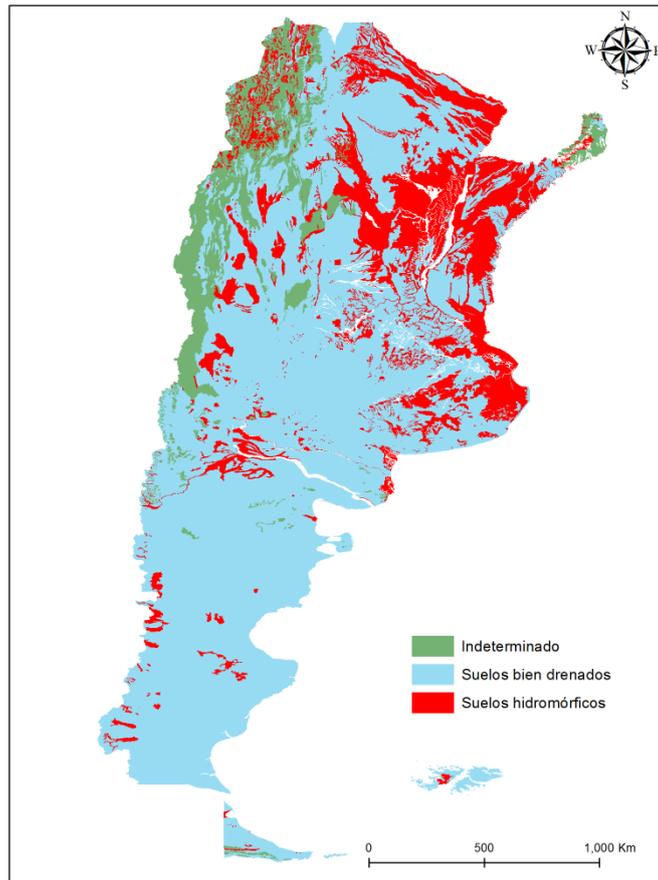


Figura 1. Mapa de suelos hidromórficos de la República Argentina (adaptado del mapa de suelos INTA: <http://geointa.inta.gov.ar/web/index.php/suelos-de-la-republica-argentina/>)

Dentro de la Región Pampeana pueden distinguirse 3 grandes áreas con problemas de hidromorfismo: los bajos submeridionales santafesinos, la Pampa Arenosa y la Pampa Deprimida (Figura 2)

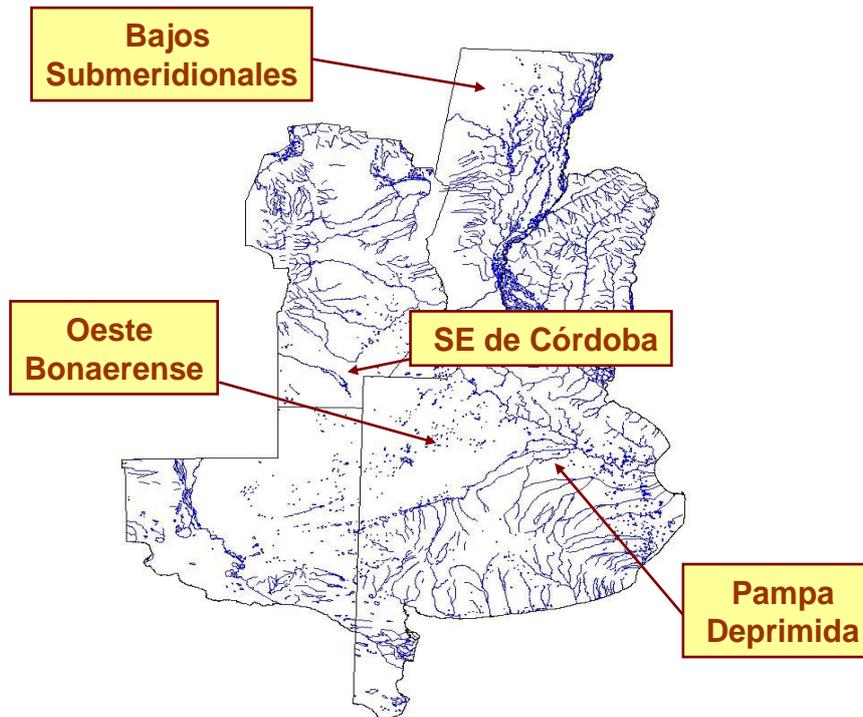


Figura 2. Áreas con hidromorfismo en la Pradera Pampeana. (Extraído de Taboada y Lavado, 2009)

La Región Pampeana se caracteriza por un clima templado húmedo, con buena provisión de agua de lluvia, un régimen térmico moderado. El análisis pluviométrico de la última centuria señala la alternancia de períodos húmedos con fases secas. A partir de la década del 70 se produjo un cambio marcado en el régimen de precipitaciones, particularmente en la franja subhúmeda (Pampa Interior Arenosa en el NO bonaerense), elevándose la pluviometría anual en 100 mm cada 10 años, llevando promedios de 700-800 mm/año a 900 y 1.000 mm/año. Estos valores contrastan fuertemente con los de la fase seca acaecida entre 1925 y 1965. Paralelamente con el cambio en la pluviometría anual, se registró un cambio en la estacionalidad. Por ejemplo, en el Pdo. de Rivadavia en el O bonaerense, las lluvias se concentraron en el período estival, mientras que en Dolores, al E, no se registraron tales cambios. Estos ciclos húmedos, conjuntamente con las características topográficas y redes de drenaje de la región, aumentaron las inundaciones.

GEOMORFOLOGÍA DE ÁREAS INUNDABLES BONAERENSES Y DE SUS SUELOS

(EXTRAÍDO DE TABOADA Y LAVADO, 2009)

En la Figura 3 puede verse una subdivisión de la Región Pampeana.

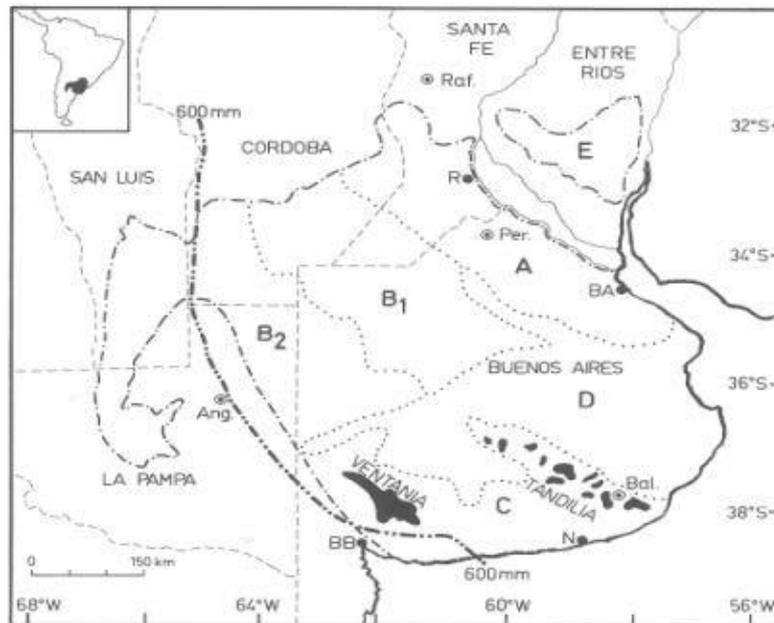


Figura 3. Subregiones de la Región Pampeana.

Referencias: A (Pampa Ondulada); B (Pampa Interior Arenosa; B1: plana, B2: occidental), C (Pampa Austral o Interserrana); D (Pampa Deprimida); E (Pampa Mesopotámica).

PAMPA INTERIOR ARENOSA

Configura una gran llanura con pendiente regional suave O-E, siendo el gradiente promedio de 25 cm/km. Paralelamente, toda la subregión esta surcada por médanos transversales que dificultan el drenaje superficial haciendo a la cuenca arreica, sin poder eliminar por pendiente los excesos hídricos (Figura 4). La única manera de perder agua es la percolación profunda a las napas o la evaporación. Toda la región presenta lagunas que se expanden o contraen según la situación pluviométrica, y carece de cauces fluviales. Sus suelos se han desarrollado a partir de materiales arenosos recientes sobre sedimentos finos, poco permeables que hacen de apoyo a la freática (“napa colgada”) y configuran un horizonte “thapto” formado en un paleoclima distinto al presente (Figura 5). La profundidad de esta capa es variable por lo que también lo es la profundidad de la freática, pudiendo incluso aflorar en las depresiones intermedanasas. En otras áreas de la Pampa Arenosa, las partes bajas del relieve están ocupadas por suelos inundables sin horizonte thapto. Como la napa es salobre y/o sódica, el ascenso capilar saliniza/sodifica los suelos.

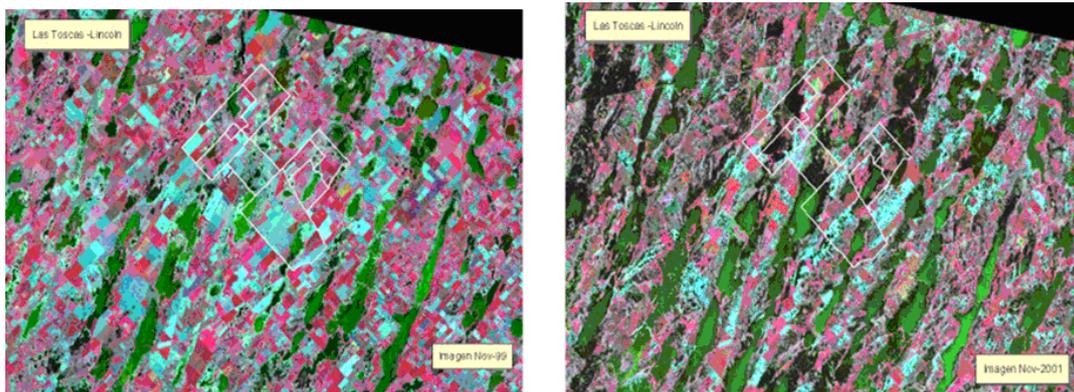


Figura 4. Imágenes de Satélite Landsat mostrando los médanos longitudinales (colores claros) y áreas intermedanasas (color verde oscuro) en condiciones de déficit (izquierda) y de exceso hídrico (derecha) en el sur del Pdo. De Lincoln (Pampa Arenosa central). Fuente Instituto Clima y Agua, INTA.

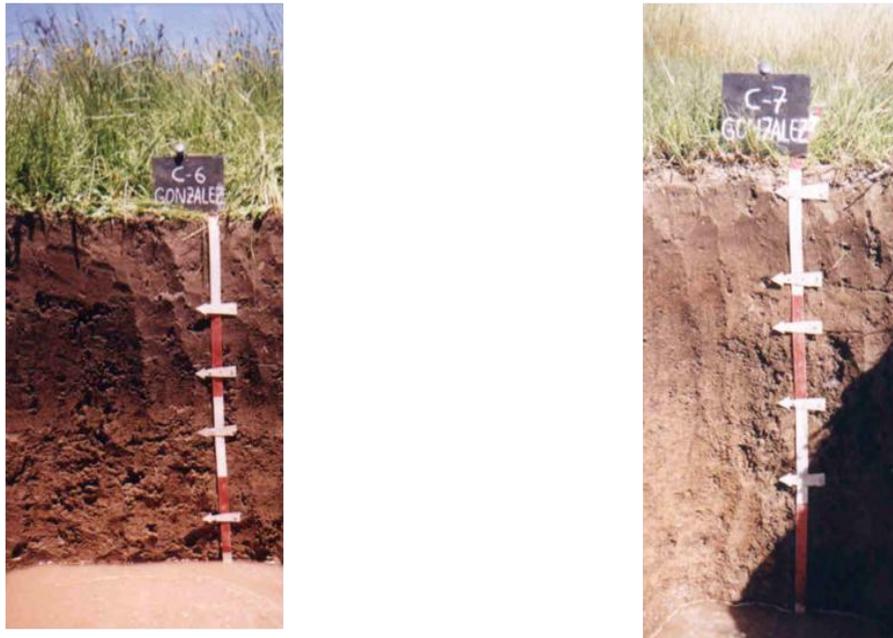


Figura 5. Suelo característico de la Pampa Interior con horizonte thapto arcilloso.

PAMPA DEPRIMIDA

Se trata de un relieve plano, suavemente deprimido y con muy bajo gradiente. Posee escasos cursos de agua ($0,05 \text{ km/km}^2$) y existen áreas con drenaje arreico. Según Barbagallo (1983) y Prego (1989), la problemática se ve originada en la falta de control y manejo de las aguas pluviales que recibe, en respuesta a una pendiente casi inexistente y una red de drenaje natural anárquica e insuficiente (Sala et al, 1983), y la existencia de estructuras antrópicas desordenadas e ineficientes. Además se ve agravada por las condiciones alcalino-sódicas en casi un 50% de los suelos del área (Scoppa y Di Giacomo, 1985), el drenaje interno de los suelos (INTA, 1977), el elevado nivel freático (Paruelo y Sala, 1990) y la degradación del pastizal natural por efecto del sobre pastoreo y la dinámica de las sales (Taboada y Lavado, 1987). En la Tabla 1 pueden verse las características dominantes de la región y los problemas asociados.

En la Figura 6 se ilustran los suelos característicos de esta subregión.



Izquierda: suelo sódico en profundidad (Natracuol). Derecha: suelo sódico desde superficie (Natracualf).

Figura 6. Suelos característicos de la Pampa Deprimida.

Tabla 1. Importancia áreal de las diferentes geomorfologías, suelos y problemáticas asociadas en la Pampa Deprimida.

Paisaje	Suelo Principal	Limitantes	% de Ocupación
Planicies relativamente altas	Hapludol thapto árgico Hapludol típico	Drenaje moderado Erosión hídrica ligera	20
Planicies intermedias con micro-relieves	Hapludos thapto nátrico	Sodicidad media Drenaje algo pobre	11
Planicies bajas alcalinas	Natracualf Natrálbol	Sodicidad alta Salinidad media Riesgo alto de inundación Drenaje muy pobre	46
Planicies bajas hidromórficas	Algialboles Argiacuoles	Riesgo alto de inundación Drenaje pobre	11
Áreas aluviales	Complejo de suelos salino-sódicos	Sodicidad muy alta Salinidad muy alta Riesgo alto de inundación	2
Lomas amplias aisladas	Argiudoles típicos	Riesgo de erosión ligero	10

En esta zona se hicieron durante el siglo pasado una serie de obras que afectaron la dinámica hídrica regional.

A título de ejemplo se muestra en la Tabla 2 la superficie anegada atribuida a distintas obras viales.

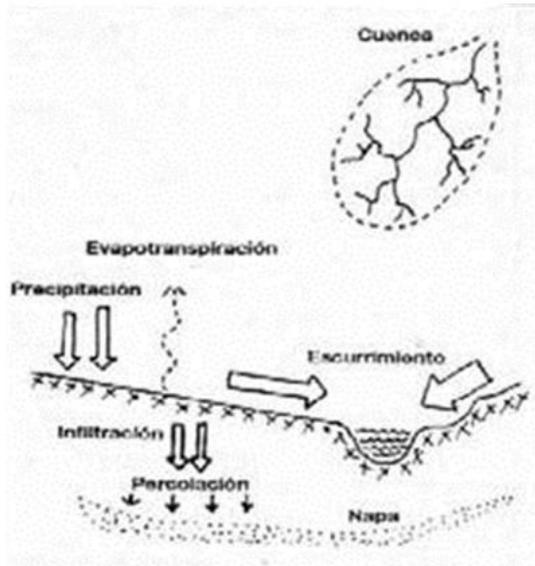
Tabla 2. Superficie anegada atribuible a obras de infraestructura (60% recurrencia) en la Pampa Deprimida.

Lugar	Superficie anegada (ha)
<i>Canal 9</i>	9.972
<i>Canal 11</i>	25.753
<i>Intersección canal 11 con Ayo. Azul</i>	9.122
<i>Ruta Prov. 29 y camino Rauch-Pila</i>	50.971
<i>Ayo. Los Huesos (Pdo. Azul-Rauch)</i>	6.563
<i>Ayo. Cortaderas (Pdo. Azul)</i>	42.120
<i>Intersección Ruta Prov. 50 y FFCC Roca</i>	5.336
<i>Intersección Ruta 60 y Ayo. Langueyu</i>	13.900
<i>Intersección Con. Rauch-Pila y FFCC Roca</i>	1.425
<i>Intersección Ayo. Tapalqué, Canal Piñeyro y FFCC Roca (Alvear)</i>	14.400
Total	179.562

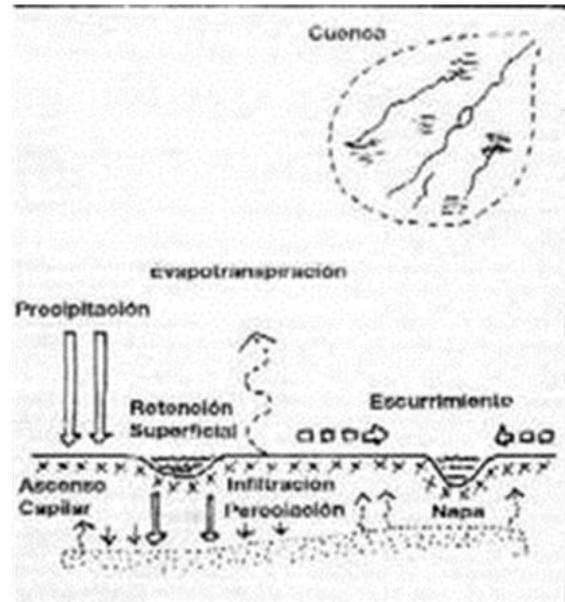
El principal colector de los excedentes hídricos es el Río Salado, típico río de llanura con régimen permanente y caudal sumamente variable. En esta región los suelos están afectados por excesos de agua, sales y sodio intercambiable. La mayor parte de ellos presenta horizonte nátrico (Natracuol, Natracualf). Los Natracuoles son ácidos en superficie y alto contenido de MO, mientras que los Natracualfes poseen elevado PSI y pH desde la superficie. En los bordes septentrional y austral de la Pampa Deprimida existen suelos que gradan a los característicos de las Pampas circundantes. Hacia el O con horizonte thapto y escaso manto arenoso.

MOVIMIENTO DE AGUA EN LAS LLANURAS

Los sistemas hidrológicos pueden clasificarse, como ilustra la Figura 7, en típicos y no típicos.



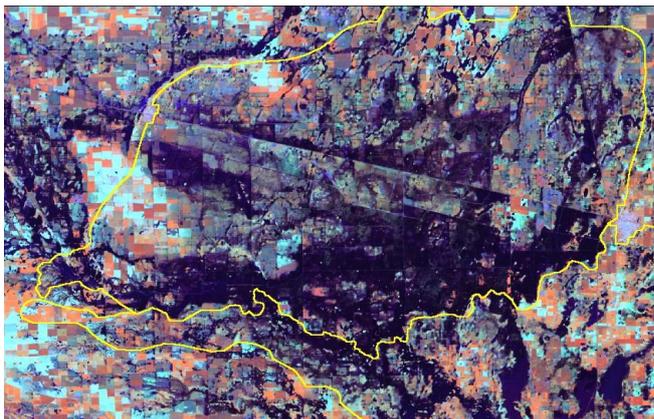
SISTEMA HIDROLOGICO TIPICO
 Prevalece Inundación (rápida).
 Divisoria de Aguas Definida (Cuenca)
 Red de Drenaje Definida.
 Pendiente pronunciada.
 Esguerrimiento rápido (40 a 60%)
 Energía morfogenética alta.



SISTEMA HIDROLOGICO NO TIPICO
 Prevalece Anegamiento (prolongado).
 Divisoria de Agua Difusa
 Red de drenaje poco definida o arreica.
 Pendiente escasa o nula.
 Sin Esguerrimiento o lento (10%)
 Energía morfogenética baja

Figura 7. Características de los distintos sistemas hidrológicos.

En la Figura 8 se ilustran imágenes satelitales de ambos sistemas hidrológicos.



Sistema hidrológico típico



Sistema hidrológico no típico

Figura 8. Imágenes satelitales de sistemas hidrológicos

En la Pcia. de Buenos Aires pueden mencionarse los siguientes sistemas hidrológicos no típico, los cuales son ubicados en el mapa de la Figura 9:

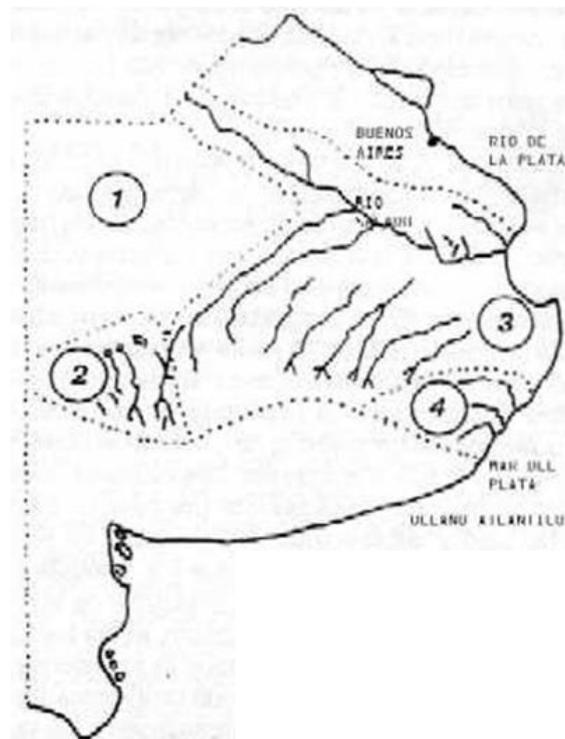


Figura 9. Sistemas hidrológicos no típicos de la Pcia. de Buenos Aires.

Referencias: 1.- Noroeste: cuenca arreica (no desemboca en ningún lado; 2.- Encadenadas:(cuenca endorreica (desemboca en lago/laguna; 3.- Salado-Vallimanca: cuenca exorreica (desemboca directa o indirectamente en el mar); 4.- Laguna de Mar Chiquita.

Los ámbitos de llanura constituyen terrenos típicamente sedimentarios caracterizados por la existencia de exiguas pendientes y drenajes superficiales mal definidos. El agua de lluvia que alcanza estas tierras, se acumula superficialmente o infiltra deficientemente para alimentar un acuífero freático, muchas veces superficial, antes de volver a la atmosfera por el proceso de evapotranspiración. En estas condiciones y pese a que los suelos son de granulometría fina, predominan los movimientos verticales del agua y la alternancia de excesos y déficit hídricos. Estas características condicionan ambientes de suma fragilidad ante lo eventos extremos de lluvias y se los identifica para su estudio como sistemas hidrológicos no típicos. Esto es así dado que las cuencas de llanura poseen características particulares que las distinguen de las que tradicionalmente se ocupa la hidrología clásica.

Mientras que el concepto clásico reconoce a la cuenca como una unidad física delimitada por las divisorias de agua, donde los excedentes hídricos drenan siempre por un determinado punto (Chow et al., 1994), las cuencas de llanura se desarrollan sobre rocas sedimentarias de estructura acinal (Gaspari et al., 2009), donde la escasa energía morfogenética hace que los excesos hídricos no estén necesariamente encausados ni drenando hacia un mismo sitio. Inclusive, ante excesos hídricos prolongados, pueden acumularse grandes volúmenes de agua capaces de desbordar por sobre las divisorias de aguas pobremente definidas (Giraut, 2006).

La escasa pendiente de las cuencas de llanura condiciona que los gradientes hidráulicos sean extremadamente bajos y que el flujo horizontal de agua en el suelo sea muy lento. De esta manera, el agua que se infiltra en el terreno es prácticamente incapaz de escurrir horizontalmente, acumulándose hasta alcanzar un equilibrio entre la infiltración a través de la zona vadosa y la evapotranspiración. El balance de agua en el suelo es por lo tanto principalmente vertical (Fuschini Mejía, 1994, en: Badano, 2010).

Bajo estas condiciones, Auge (2009) señala que en las llanuras áridas (áreas con agua freática profunda), las depresiones topográficas son los ámbitos de recarga preferenciales, mientras que en ambientes con nivel freático cercano a la superficie topográfica (profundidades menores de 10 m) (llanura húmeda), los cursos fluviales y los bajos (lagunas, bañados) generalmente son efluentes o sea constituyen zonas de descarga del agua freática. En éstos ámbitos, la recarga normalmente se produce en las partes topográficamente elevadas o intermedias (Figura 10)

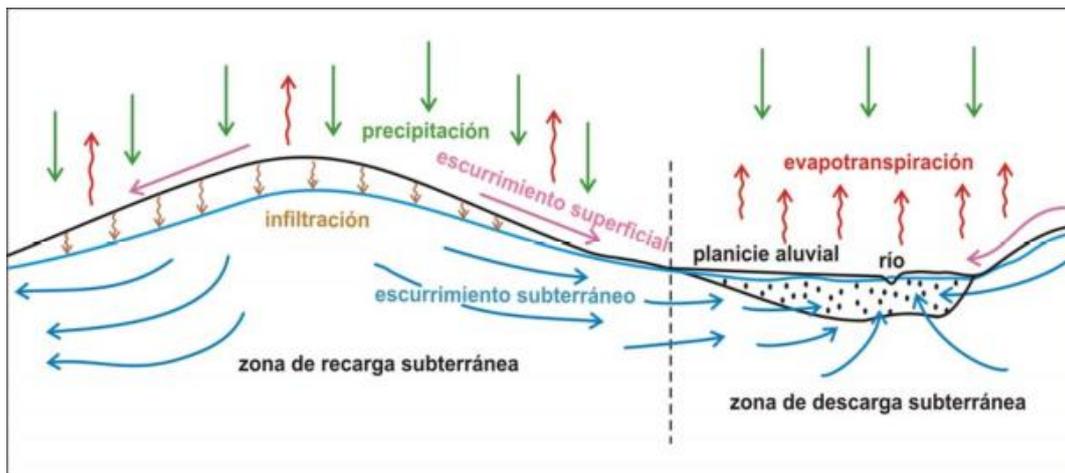


Figura 10. Dinámica del agua en llanuras húmedas con freática poco profunda

En estas condiciones, los cambios de uso del suelo y las características de la cobertura vegetal, tendrán una incidencia directa en el balance hídrico vertical. El escurrimiento general será inferior al 5% de la precipitación y, cuando las precipitaciones superan la capacidad de almacenamiento de los suelos, se producirá el llenado secuencial de los bajos y lagunas, la elevación de los niveles freáticos, interconexión de cauces indefinidos, escurrimiento mantiforme y ocasionalmente en inundaciones (Sallies, 1999).



Figura 11. Lagunas interconectadas (Gentileza Taboada M.)

INUNDACIÓN Y SEQUÍA

Al abordar el estudio del agua en zonas de llanura es preciso identificar una serie de conceptos básicos. Estos son el de inundación y el de sequía (Fuschini Mejia, 1993):

1. Según su origen los excesos hídricos en ambientes llanos se pueden diferenciar en 3 grandes tipos: el anegamiento, las inundaciones y los humedales:

- a) El primero (anegamiento) se origina por un exceso temporal de agua de lluvia(la inundación también puede ser por exceso de agua) o por el ascenso de la capa freática. Cualquiera fuese el caso, el agua anegada se extiende ampliamente con una lámina de pequeño espesor, caracterizada por un movimiento horizontal nulo o muy reducido y de gran permanencia, ya que se pierde casi exclusivamente por evapotranspiración. Este exceso de agua alcanza lagunas y/o depresiones del terreno y aumentan su nivel, desbordan y pueden conectarse consecutivamente con otras lagunas formando las llamadas “encadenadas”.
- b) El desborde de cauces hace referencia a inundaciones causadas por el desborde de ríos de llanura que reciben agua en sus nacientes. A estos desbordes se los conoce también como almacenamiento lateral y pueden cubrir los campos vecinos con un espesor importante de lámina de agua. Esta lámina o almacenamiento lateral, finalmente se retira, volviendo al curso cuando finaliza la onda de crecida, a la vez que es sometida al efecto de la evapotranspiración.
- c) La sedimentación de materiales de suelo configurando “humedales”.
- d)

1. Respecto a la sequía, puede indicarse que hace referencia a la ausencia temporaria de agua en relación con el ciclo vegetativo de los cultivos (sequía agrícola o de corta duración), y la sequía de larga duración, donde la carencia de precipitaciones se mantiene uno o varios años y se puede llamar sequía hidrológica.

El riesgo de anegamiento se puede expresar en forma:

- Cuantitativa: recurrencia (1:10 años) o probabilidad (10%)
- Cualitativa: Sin riesgo (no anegable), mínimo (poco anegable), moderado (mod. anegable) o alto (muy anegable)

CALIDAD DEL AGUA DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO

Las consecuencias de las inundaciones se relacionan estrechamente con la calidad del agua. Esta puede ser de lluvia o subterránea y en este caso con contenidos variables de sales y sodio, como se ilustra en el diagrama de la Figura 12.

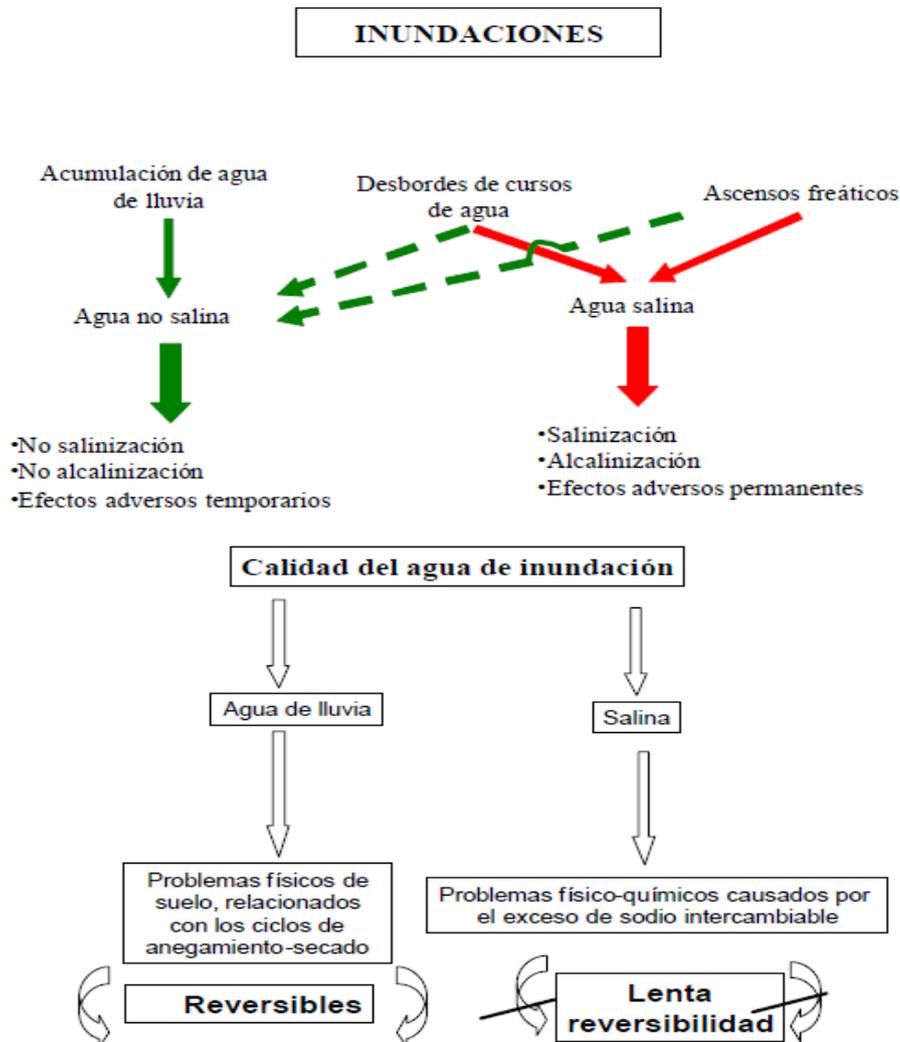


Figura 12. Esquema del efecto de la calidad del agua de inundación sobre los suelos (Extraído de Taboada y Lavado, 2009).

Cuando la inundación es causada por el agua de lluvia las sales se diluyen, por lo tanto las problemáticas se asocian a la falta de aireación y de transitabilidad (maquinaria, animales, vehículos). La condición de mayor susceptibilidad a la compresión de los suelos es la de suelo húmedo pero no saturado, cercano a la capacidad de campo. Cuando el suelo está seco se torna más resistente a la degradación de la estructura y cuando está saturado, ya que el agua no es compresible, tampoco puede compactarse. En esta última condición el suelo se “amasas” con efectos físicos también adversos, a la vez que el tapiz vegetal se deteriora.

Cuando la inundación deviene del ascenso de la napa, las consecuencias variarán según la calidad de la misma. En situaciones de hidromorfismo, a causa del mal drenaje, el sodio no se pierde por percolación y generalmente acompaña al proceso de salinización, con las consecuencias que son tratadas en el capítulo de Suelos Halomórficos. La presencia del horizonte Bna poco permeable al pasaje del agua puede constituir una zona de aislamiento entre el agua salino/sódica de la napa y la de lluvia acumulada por sobre este horizonte. Este tipo de horizontes son prácticamente constantes en la Pampa Deprimida y pueden existir en la Pampa Interior Arenosa. Debido a esta barrera para el ascenso de sales, cuando existe este horizonte Bna suelen presentarse horizontes superiores con menos restricciones que en ausencia de él.

PERFIL HIDROMÓRFICO

Las características diagnósticas de la situación de hidromorfismo pueden verse resumidas en Tabla 3.

Tabla 3. Características diagnósticas de suelos hidromórficos

Tópico	Característica en suelo hidromórfico
<i>Ambiente</i>	bajos, tendidos, depresiones, planicies de ríos y lagunas, litoral marino
<i>Relieve</i>	planos con muy escasa pendiente o cóncavos-subnormales
<i>Napa freática</i>	escasa profundidad (50 cm) o en superficie
<i>Escurrimiento</i>	lento a muy lento o nulo
<i>Drenaje</i>	muy pobremente drenado, pobremente drenado, imperfectamente drenado, moderadamente drenado
<i>Permeabilidad</i>	lenta a muy lenta con horizontes texturales
<i>Color</i>	grises, verdosos y azulados (Fe ²⁺) decoloración de matriz y agregados
<i>Pedogénesis</i>	presencia de horizonte E
<i>Hidromorfismo</i>	concreciones de Fe-Mn en la zona de fluctuación de la napa
<i>Carbonatos</i>	precipitados en la zona de contacto con la primera napa y a menor profundidad de los suelos bien drenados de la zona
<i>Uso del suelo</i>	ganadero
<i>Comunidades Vegetales (bajos dulces)</i>	espartillar, juncal-totoral, pasto laguna, duraznillo

Las condiciones hidromórficas del suelo quedan reflejadas en su perfil. Normalmente la saturación con agua del suelo no es homogénea para todo el suelo sino que hay un gradiente vertical de manera que al separarse del nivel del agua freática o libre, los horizontes se encuentran cada vez menos afectados por la hidromorfía. El hidromorfismo. Por ello normalmente en un suelo hidromórfico se presenta una secuencia vertical de sus rasgos hidromórficos.

- Moteados y concreciones: los moteados/concreciones de Fe(rojos) y Mn (negros), son indicadores de alternancia de humedecimiento/secado, por lo que se encuentra en la interfase con la zona saturada o de fluctuación de la capa de agua y decrecen con la profundidad. A partir de allí alternan junto a otras zonas grisáceas más o menos verdosas y/o azuladas, correspondientes a los compuestos ferrosos y cuprosos. Se trata, pues, de los horizontes pseudogleyizados tradicionales, estando siempre sometidos a condiciones reductoras temporales que alternan con otras en la que prevalece la oxidación.
- Perfil con gley en los horizontes inferiores: si la capa de agua permanente no está situada en la superficie del suelo, sino que se encuentra a una determinada profundidad, es lógico que por encima de esta profundidad existan horizontes con distintos grados de hidromorfía, debido a las fluctuaciones estacionales del nivel freático, y a la ascensión diferencial del agua capilar. De esta forma que desde el horizonte con matriz gris hacia la superficie del suelo encontremos una secuencia de niveles hidromórficos decrecientes en intensidad, con representación de todos los rasgos morfológicos descritos. La zona de saturación permanente queda representada por el horizonte de color gris, verdoso, azulino, denominado gley.

Existen suelos que presentan una intensa hidromorfía que afecta a todos los horizontes. En ese caso presentan una matriz decolorada (gris verdosa azulada), sin acumulaciones de altos cromas, en todos sus horizontes minerales.

ESTADIOS HIDROMÓRFICOS

La hidromorfía de los suelos puede evaluarse en cinco grados de intensidad creciente.

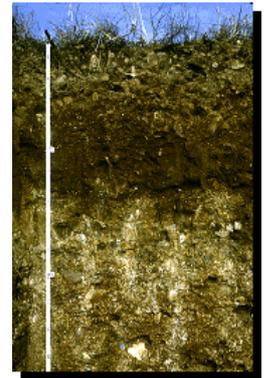
Estadio 0: representa un suelo sin ninguna hidromorfía. Se trata de unos horizontes con altos cromas, saturados en agua durante muy pocos días, aunque pueden permanecer húmedos durante algunos meses, y en los que predomina una intensa oxidación.



Estadio 1: se define por un suelo con una matriz de altos cromas y con cortos periodos de saturación. Representa una hidromorfía incipiente. El suelo muestra altos cromas pero con desarrollo de concreciones y cutanes fundamentalmente de Mn. El régimen hídrico de este suelo se caracteriza por presentar una saturación completa de agua sólo durante breves días, aunque puede permanecer húmedo durante varios meses. En estas condiciones el interior de los agregados permanece húmedo durante un largo tiempo, se reduce y se moviliza el Mn, sobre todo, y al desecarse el suelo, la solución migra hacia los poros grandes, que estarán completamente secos, y por tanto, con ambiente oxidante. Por ello el Mn se oxida y recubre las paredes de los agregados.



Estadio 2: se define por presentar moteados de bajos cromas con cortos periodos de saturación. Este estadio representa ya un suelo hidromorfo, se trataría de un pseudogley poco desarrollado. Sus rasgos se caracterizan por la presencia de moteados de bajo cromas, con el interior de los agregados decolorado mientras que su superficie presenta amplios ferranes, neoferranes, nódulos de Fe y algunos manganesos y neomanganesos. Se trata de un suelo que se encuentra totalmente saturado sólo durante algunos días, pero repitiéndose esta situación durante varias veces al año y permanece muy húmedo durante muchos meses, alcanzándose la saturación de los microporos durante largos periodos. En estas condiciones se produce ya una importante reducción del Mn y del Fe del interior de los agregados. Los mismos migrarán en los periodos de aridez hacia la superficie de los agregados en donde se producirá la oxidación y su correspondiente inmovilización. Como el Mn se oxida con mayor dificultad será lavado en gran parte. La migración del Fe y Mn del interior de los agregados deja a estas zonas decoloradas



Estadio 3: se define también por tener moteados de bajo cromas, pero ahora con largos periodos de saturación de agua. Representa a un suelo con fuerte hidromorfía, aunque todavía del tipo denominado pseudogley. Sus rasgos micromorfológicos son muy distintivos. Presenta una matriz con moteados de cromas bajo (<2), con el interior de los agregados parcialmente decolorados mientras que la superficie se encuentra totalmente decolorada, formando neoalbanes. A veces entre ambas zonas se encuentran acumulaciones de hierro dando cuasiferranes y concreciones de Fe muy abundantes en las zonas más internas de los agregados.



Estadio 4: representa un suelo con la máxima hidromorfía, se trata de un gley con la matriz totalmente decolorada, un cromas < 1 y con una reducción total para el Mn y el Fe debido a la prácticamente continua saturación a lo largo de todo el año.



REACCIONES QUÍMICAS

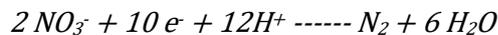
Entre las reacciones químicas típicas de estos suelos se encuentran la de reducción de varios compuestos de interés agronómico. Las reacciones de óxido-reducción transfieren electrones desde un elemento a otro. Aquel que pierde los electrones se oxida, y viceversa, el elemento que los gana, se reduce. La materia orgánica (MO) es la fuente de la mayor parte de los electrones que están en juego en estas reacciones en los suelos. Los microorganismos que mineralizan MO, producen oxidación y por ende, liberación de electrones. La reacción de reducción más común en los suelos es la que da lugar a la formación del agua, a partir del O₂ gaseoso (que difunde con rapidez) y disuelto en el agua:



Cuando todo ese O₂ se reduce a H₂O, el suelo pasa a condiciones de anaerobiosis.

En un suelo saturado los poros están llenos de agua y el O₂ difunde, en este caso, lentamente. A pesar de ello los microorganismos siguen respirando y mineralizando MO, pero los e⁻ no son transferidos al O₂ para dar agua, sino a los NO₃⁻, MnO₄⁻, FeOOH, SO₄⁼, CO₂, produciéndose las siguientes reacciones:

2. Desnitrificación

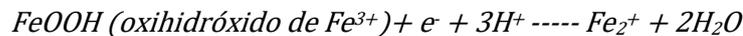


Si esta reacción es incompleta se generan óxidos de N que pasan a la atmósfera.

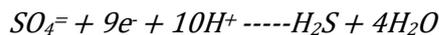
3. Reducción del Mn



4. Reducción del Fe

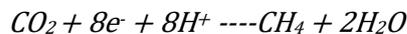


5. Reducción de sulfatos



La abundancia de sulfuros produce olor a "huevo podrido"

6. Producción de metano



Cuando los suelos poseen abundancia de los productos de estas reacciones, se dice que están reducidos y ello ocurre, como se ha visto, cuando a causa de la saturación hídrica, el O₂, difunde lentamente. Para que ello sea posible, se deben cumplir, resumiendo, las siguientes condiciones:

1. **Saturación.** El requisito indispensable para que se desarrolle el proceso de reducción es la existencia de un exceso de agua en el suelo durante un determinado tiempo. Para que exista esta saturación se requiere primero que se produzca un aporte importante y en segundo lugar que se encuentren ciertas dificultades para su rápida eliminación (mal drenaje). El aporte de agua puede proceder tanto de un nivel freático suficientemente superficial, como puede ser de origen pluvial o nival.

2. **Ausencia de oxígeno disuelto.** Esta condición se cumple fácilmente en el suelo siempre que el agua permanezca estancada en él y no se renueve. Este es el caso, por ejemplo, de los suelos arcillosos, con mal drenaje interno. De esta forma los microorganismos consumirán rápidamente todo el oxígeno que estaba disuelto en el agua.

3. **Presencia de materia orgánica disuelta.** El agua al desplazarse lentamente a través del suelo se va cargando de residuos orgánicos y adquiere una fuerte reacción reductora. Los suelos muy pobres en materia orgánica no presentan, en general, rasgos hidromórficos aunque se encuentren saturados en agua durante un tiempo apreciable. Para generar condiciones reductoras debe haber actividad biológica que genere los e^- a partir de la MO respirada. El tipo de MO es un factor importante para la reducción, pues si esta tiene un proceso de humificación avanzado resiste al ataque microbiano y la reducción no ocurre. Este es el caso de las huminas u otras sustancias húmicas con elevado grado de polimerización y aromatización.

4. **Alta temperatura.** La temperatura debe ser lo suficientemente alta como para no limitar la actividad biológica. Debido a que las reacciones de reducción-oxidación se desarrollan a una velocidad muy lenta, en la práctica es necesaria la acción de los microorganismos que actúan como catalizadores. Es por ello que la temperatura deberá ser superior a los 5° C.

5. **pH no excesivamente ácido.** Como la reducción del Fe y del Mn es un proceso fundamentalmente bioquímico, el pH tampoco ha de ser un factor limitante de la actividad microbiana.

La reducción del suelo puede ser evaluada a través del potencial redox (Eh) midiendo el voltaje que se establece entre un electrodo de platino y uno de referencia insertos en el suelo (Ver guías de Edafología).

En situaciones de anegamiento existe pérdida de N por volatilización, sin embargo, puede aumentar la disponibilidad de P por >solubilización de este elemento cuando está combinado con Fe o Mn. En la Figura 13 se muestra el efecto del agua sobre el contenido de P extractable (Bray-Kurtz) en un lote sin fertilizar.

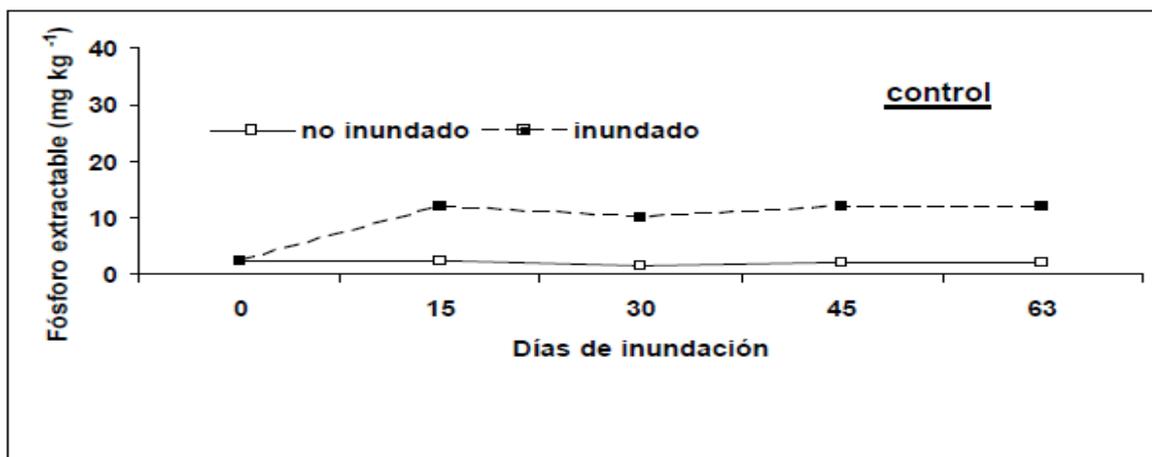


Figura 13. Efecto del agua de inundación sobre la disponibilidad de P (Taboada et al., 1999)

REACCIONES FÍSICAS

Las consecuencias de la saturación dependen fuertemente de la calidad del agua inundante o anegante. Si se trata de aguas salobres, las consecuencias son las derivadas del exceso de sales/sodio, ya estudiadas (Ver capítulo de Manejo Suelos Halomórficos). Existe menor conocimiento de los efectos de aguas no salobres, como lo que ocurre en la depresión del Salado de la Pampa Deprimida, en suelos con B nátrico. Cuando estos suelos son pastoreados, el mayor perjuicio se produce con contenidos moderados de agua, no con saturación, alterándose la porosidad del suelo, con destrucción de los macroagregados y los pequeños agregados remanentes bajan la estabilidad estructural. Algunos investigadores afirman que posteriores períodos de inundación, permiten la recuperación del espacio poroso por hinchamiento del suelo que provoca la unión de pequeños agregados para formar otros mayores (Taboada et al, 1993; Taboada et al., 1999). El modelo conceptual que proponen los autores para explicar este fenómeno se ilustra en la Figura 14.

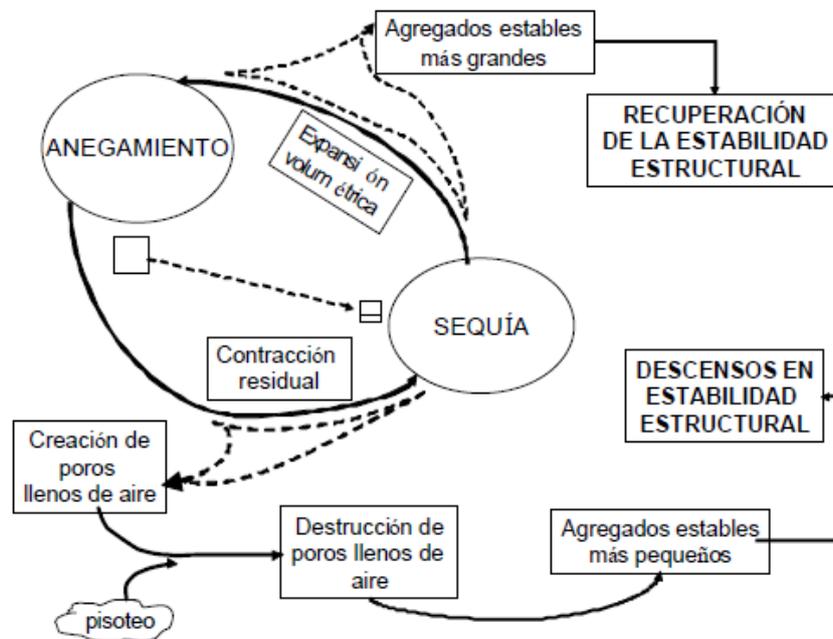


Figura 14. Modelo conceptual de descenso y recuperación de la estabilidad estructural en suelos de la Pampa Deprimida en períodos de anegamiento-sequía

En la Figura 15 se esquematizan los procesos de expansión volumétrica a causa del aire atrapado:

- Antes de la inundación (beforeponding, Figura 15 a): existen movimientos libres de agua y aire en todo el perfil (sistema bio-abierto)
- Durante la inundación (duringponding, Figura 15 b): el hinchamiento del suelo por aire atrapado dentro de una napa colgante (perched watertable) sobre un horizonte Btk impermeable (sistema de aire ocluido)
- Después de la inundación (afterponding, Figura 15 c): contracción del suelo luego de los descensos en las profundidades de la napa colgante y de la capa freática, y un rápido escape de aire hacia la atmósfera (Taboada *et al.* 2001).

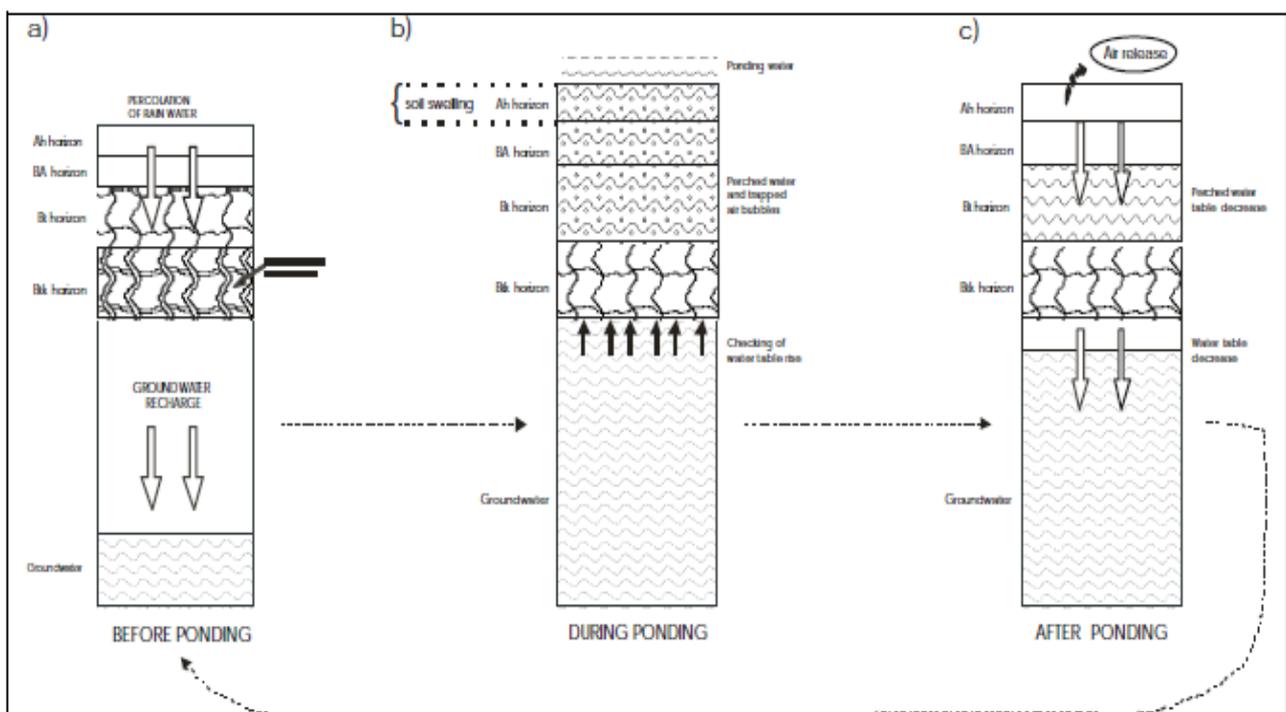


Figura 15. Modelo conceptual de expansión volumétrica a causa del aire atrapado

Este aspecto queda demostrado en los resultados obtenidos por Taboada et al. (1993) que se ilustran en la Figura 16. Puede observarse una tendencia a la existencia de mayores niveles de humedad en el suelo de clausura al pastoreo a causa de la cobertura vegetal, y la coincidencia de estas situaciones con mayor porosidad total en períodos de inundación.

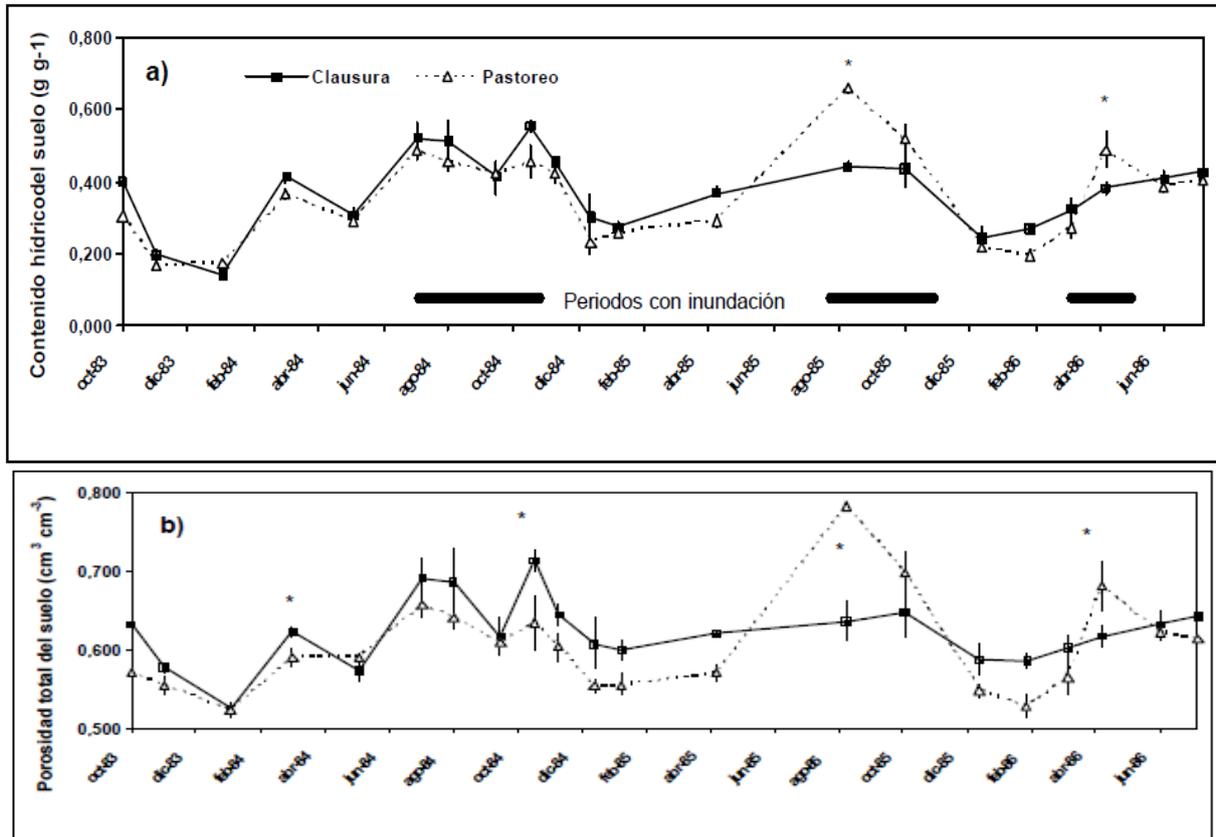


Figura 16. Variaciones de la humedad y de la porosidad total del suelo en situaciones bajo pastura y pastoreo continuo en el centro de la Depresión del Salado. Los * indican dif. Est. Sign. ($p < 0,05$) entre tratamientos.

CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Las inundaciones provocan efectos directos e indirectos sobre las plantas. El 1º de ellos es la falta de O₂ para el metabolismo. Entre los indirectos se encuentra el cierre estomático cuando el anegamiento es corto y un flujo lento del agua dentro de la planta. Se produce marchitamiento, como por ejemplo en tomate, maíz, vicia y alfalfa. Se reduce la fotosíntesis.

Pueden existir, sin embargo, especies más tolerantes donde este fenómeno es menos importante. Con anegamiento prolongado se desarrollan raíces adventicias y se abren los estomas. Bajan las concentraciones foliares de P, N y K, por varios motivos, por ejemplo la falta de energía para la absorción activa, las alteraciones físicas del suelo o el cambio de la permeabilidad de las membranas, además de la disminución de la disponibilidad de algunos de estos elementos, como por ejemplo el N. La situación puede llegar a la muerte de raíces. Muchas plantas han desarrollado mecanismos de adaptación a los excesos de agua. Estos pueden ser morfológicos, anatómicos o metabólicos. Algunas respuestas anatómicas facilitan el transporte interno de O₂ por difusión y a veces por flujo masal. Un ejemplo es el tejido aerenquimático que permite acumular O₂ y transportarlo desde los tallos bien aireados a las raíces insertas en el medio anaerobio. Cuando los tallos se inundan, la situación es de mayor dificultad, pues la fotosíntesis baja mucho. Algunas especies elongan los tallos para superar la dificultad.

Todas las especies son capaces de sintetizar proteínas anaeróbicas que posibilitan la producción de energía no dependiente del O₂, siempre y cuando existan sustratos fermentescibles, que a veces pueden sostener la vida por meses.

Otro mecanismo adaptativo es la prevención del aumento de fitotoxinas. Por ejemplo la fitoglobina juega un rol singular en la detoxificación del ácido nítrico formado durante la hipoxia de las raíces.

A raíz de estos efectos sobre las plantas, las consecuencias del anegamiento pueden resumirse en:

- disminución de la posibilidad de hacer agricultura
- disminución de los rendimientos de los cultivos de cosecha y pastoriles
- disminución de la posibilidad de implantar ciertas especies pastoriles, con la consecuente pérdida de palatabilidad, materia seca y valor forrajero.

MANEJO AGROHIDROLÓGICO DE INUNDACIONES Y/O EXCESOS HÍDRICOS

Las prácticas de manejo de los suelos afectados por excesos de agua deben considerar:

- Origen de los anegamientos: superficial-profundo
- Calidad del agua de inundación: dulce o salina
- Posición en el paisaje: tendido (1/2 loma) alto, tendido (1/2 loma) bajo, bajo
- Características de los suelos: drenaje, presencia de Na⁺ o sales
- Riesgo hídrico: frecuencia y permanencia del anegamiento
- Posibilidad de manejo de excedentes: condiciones de relieve (pendiente)
- Contexto socio-económico

OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Para llevar adelante un manejo agro-hidrológico es necesario identificar pautas o ***criterios de conservación del suelo*** que nos permitan escoger las medidas de manejo del agua que mejor se adapten a la problemática local. Para ello, se establece como primera medida, el diagnóstico temprano y el desarrollo y mantenimiento de estudios de tipo multidisciplinarios. No es posible la implementación de prácticas de uso y manejo del suelo-agua con criterios conservacionistas, si desconocemos la dinámica y los procesos de degradación que en ellos operan. Por tanto, el diagnóstico temprano de estos procesos y el desarrollo y mantenimiento de estudios de tipo multidisciplinarios, son esenciales para hallar soluciones concretas a problemas concretos.

El siguiente paso consistiría en definir la escala de trabajo en función de los recursos y capacidades disponibles. Una escala regional, llevaría a adoptar a la cuenca hidrográfica como unidad de estudio e integrar en ella todos los actores que la componen. Esta escala involucra principalmente intervenciones de gran cuantía para el manejo de los excedentes como grandes canales y reservorios, protección de ciudades y conservación de vías de comunicación tales como caminos y vías férreas. En cambio, la elección de una escala local, permitiría actuar a nivel predial (tranqueras adentro), donde cada predio formaría parte de un área topo-hidrográfica en el que el productor puede y debe efectuar el control de su agua según su relieve. o de un grupo relativamente pequeño de establecimientos donde cada predio o el conjunto de algunos formaría parte de una unidad de manejo agrohidrológica donde cada productor/res puede efectuar un manejo más limitado de los excedentes a través de pequeñas obras hidráulicas de conducción y retención, debiendo respetar el drenaje natural de las aguas según la topografía del lugar. De acuerdo a las características de las cuencas, en algunas circunstancias es conveniente trabajar a escala de un grupo relativamente pequeño de establecimientos donde cada predio o el conjunto de algunos formaría parte de una unidad de manejo agrohidrológica donde cada productor/res puede efectuar un manejo más limitado de los excedentes a través de pequeñas obras hidráulicas de conducción y retención, debiendo respetar el drenaje natural de las aguas según la topografía del lugar.

Independientemente de la escala de trabajo que sea considerada, es preciso contemplar las prácticas y obras más convenientes según las características y circunstancias locales y regionales, a la vez que atenuando los efectos negativos sobre el medio ambiente.

A nivel regional es importante que se contemplen las posibilidades de impacto ambiental de obras como: canales y reservorios; protección de ciudades; rutas y caminos; ferroviaria.

Un ejemplo muy ilustrativo de la ejecución de obras sin visión regional son las efectuadas en la Pcia. de Buenos Aires durante el siglo XX y que pretendían solucionar excesos hídricos y perjuicios locales:

- Canales que desvían cursos de agua desde sierras de Tandil y Balcarce hacia la Bahía de Samborombon (eficaces en inundaciones chicas, no controlan movimientos mantiformes)
- Canales de drenaje desde el NO (cuenca arreica) hacia la Cuenca del Salado
- Derivación de la Laguna La Salada al Río Quinto que ingresa a Buenos Aires en Banderoló. (Canal Dulce-Vidaña) (Pdos. Rivadavia y T. Lauquen) Canal Cuero de Zorro hacia Hinojo-Las Tunas, Canal Alta Italia (Pehuajó, Carlos Casares, 9 de Julio)
- Canales que drenan aguas de las Lag. Encadenadas hacia la Cuenca del Salado
- Canales no planificados construidos por propietarios hacia canales existentes

Estas obras condujeron a severas problemáticas, entre las que se destacan:

- Trasvase de agua de la zona O alterando el patrón estacional, incrementando el volumen actual y potencial de escurrimiento superficial por el cauce del Río Salado aguas abajo
- Los trasvases son más salinos pudiendo alterar el aporte salino a la cuenca baja
- El aumento de su superficie aumenta el aporte de materia orgánica (cloacas de las urbes), agroquímicos, metales pesados.

El Plan Maestro de la Pcia. de Buenos Aires es un ejemplo de plan hidrológico integral que recibió financiamiento de: el Banco Mundial (1997) LEY Nº 12.511 – DECRETO 4269/2000 y el Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE) (2003). Involucra 58 partidos sobre el área que se muestra en la Figura 17.

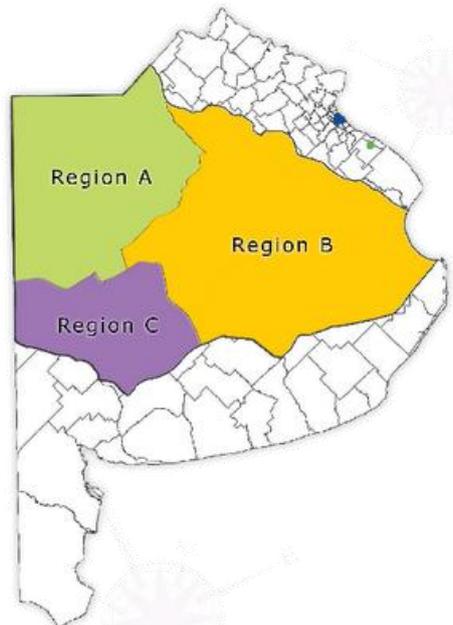


Figura 17. Área de acción del Plan Maestro de la Pcia. de Buenos Aires
(<http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/hidraulica/informacion/planmaestro/ubicacion.php>)
Región A: Noroeste (55.000 km²); Región B: Salado - Vallimanca - Las Flores (85.000 km²); Región C: de las Encadenadas del Oeste (30.000 km²)

Los objetivos del plan han sido:

- Reducir los impactos negativos de las inundaciones y sequías en el economía de la cuenca
- Mejorar las condiciones económicas de la cuenca a través del desarrollo sustentable de su potencial
- Preservar y desarrollar el valor ambiental de la cuenca, sp. sus humedales, sus recursos hídricos subterráneos y la calidad de los suelos
- Desarrollar lineamientos y formular recomendaciones para la implementación de un marco institucional.

Los aspectos abordados fueron:

1. Ecológicos y ambientales (zonación y estudio de impacto ambiental)
 - Agua, vegetales, paisaje, fauna
2. Productivos
 - Descripción, Mapas y Planos
 - Regionalización, Sistema experto en evaluación de suelos
3. Económicos
 - Pérdidas productivas directas
 - Pérdidas en infraestructura de establecimientos
 - Cambio uso del suelo
4. Institucionales
 - Articulación público-privada, varios ministerios, distritos, INTA

BADÉN BORDEADO

El manejo agro-hidrológico a escala predial tiene como objetivo el aprovechamiento ordenado del recurso hídrico, posibilitando la aplicación de medidas de manejo de agua y suelos. En las características de la Pradera Pampeana, se prefiere la retención del agua y no su evacuación, bajo el precepto de retener el agua donde cae, de manera de hacer frente a los períodos de sequía.

La idea de retener agua en vez de canalizarla surge en 1884 con Florentino Ameghino en su obra de "Las secas y las inundaciones". A pesar que hoy en día estas ideas se complejizan al adaptarlas al nuevo estado de conocimiento de la dinámica de las aguas subterráneas, el principio rector sigue siendo el mismo. A continuación se listan los períodos con exceso y déficit de agua en la Pcia. de Buenos Aires en el siglo XX, a manera ilustrativa de estos comentarios:

Períodos Húmedos	Períodos secos
• Enero a mayo de 1961	• Septiembre a noviembre de 1943
• Enero a Marzo de 1980	• Enero 1941
• Marzo a Abril de 1966	• Marzo a julio de 1947
• Diciembre de 1982 a Febrero de 1983	• Diciembre de 1941 a marzo de 1942
• Junio a Octubre de 1967	• Marzo a Noviembre de 1959
• Noviembre de 1994 a febrero de 1995	• Año 1944
• Febrero a Abril de 1973	
• Junio de 1976 a Marzo de 1977	
• Enero a Marzo de 1978	
• Marzo a Julio de 1980	
• Enero a Marzo de 1984	
• Abril a diciembre de 1985	
• Febrero a mayo de 1987	
• Marzo a Abril de 1988	
• Abril a diciembre de 1993	
• Marzo a Mayo de 1999	
• Abril a Noviembre de 2000	

Tal como afirmaba Ameghino, la Pcia. de Buenos Aires padece alternancia de excesos y déficits hídricos, por lo que el manejo agro-hidrológico tiene que tener este efecto en consideración. A esta situación se le añade el pronóstico de variaciones climáticas a causa del cambio climático, las temperaturas tenderán a ser más altas, sobre todo en invierno, con un aumento simultáneo de las temperaturas máximas y mínimas, y un aumento de la precipitación particularmente en otoño, lo que podría agravar la situación de los excesos.

Por otro lado, Sallies (1999) indica que retener agua de períodos de excesos para utilizarla en los de sequía es una utopía a nivel regional, imposible de realizar por poderosas razones técnicas y económicas y no existe un solo proyecto que demuestre como puede ser llevado a la práctica en un área tan extensa como la llanura pampeana. Sin embargo a nivel predial, este concepto tiene asidero.

Varios especialistas han evidenciado las ventajas de retener el agua en la provincia de Buenos Aires (CADIA, 1987) al aumentar el volumen de agua infiltrada por medio del almacenamiento de la misma en cubetas naturales y la utilización de bordos en los límites de las mismas. Estos **bordos o badenes bordeados** pueden incluso ser forestados. La forestación facilitaría la fijación de estos bordos a la vez que aumentaría la infiltración de agua en el perfil (efecto estructurante de las raíces forestales), y se reduciría la evaporación del agua almacenada (efecto de sombreado y barrera contra el viento).

Estas cubetas son alimentadas mediante el agua derivada de otras partes del establecimiento de mayor cota con posibilidades de recuperación para la producción agropecuaria. La derivación del agua puede hacerse mediante badenes bordeados diseñados de tal manera que evacuen el agua desde los lotes a recuperar hacia las cubetas (Figura 18). El escurrimiento mantiforme de áreas planas se concentra entre los bordos en los badenes de conducción, aumentando su energía cinética y la velocidad de evacuación. Debe aclararse que en este tipo de obras no se modifica la pendiente natural del terreno (Figura 19). No siempre el excedente puede almacenarse dentro del propio establecimiento y en muchas situaciones debe eliminarse fuera del campo/s sistematizado/s en forma ordenada, respetando la vaguadas naturales a los fines de no provocar trasvasamientos de cuencas, situación muy común de observar en la construcción de canales de drenaje no autorizados por la normativa en vigencia (llamados clandestinos). Estos canales a diferencia de los badenes, no respetan el drenaje natural, modifican la pendiente natural del terreno y no retienen agua, por lo contrario en meses o épocas de seca agravan importantemente la falta de agua. La red de canales de desagüe construidos de forma clandestina en la región pampeana es muy densa, trasladando los problemas de excesos aguas abajo de la cuenca.



Figura 18. Conducción mediante badén y bordo hacia cubetas de almacenaje de agua



Figura 19. Construcción de badenes y bordos para conducir agua dentro del establecimiento hacia cubetas de almacenaje
(Extraído de Damiano, 2000)

Cabe destacar que está prohibido por ley a los propietarios derivar agua mediante canalizaciones fuera del establecimiento de su propiedad.

En la Figura 20 se ilustra la sistematización agrohidrológica del establecimiento de la Escuela Salesiana de Don Bosco en Uribelarrea.



Figura 20. Obras agro-hidrológicas del establecimiento educativo salesiano en Uribelarrea. a) badén y bordo en la periferia de lote, b) cubeta de acumulación, c) intersección de badén 2º que deriva en badén 1º.

Los badenes bordeados se ubican en áreas con cota superior al bajo de sacrificio, en suelos donde el drenaje puede constituir una mejora sustancial de calidad productiva. En la Figura 21 se muestra cómo los badenes se harán en las posiciones topográficas denominadas “mediano” y bajo” conduciendo agua hacia los “muy bajos”.

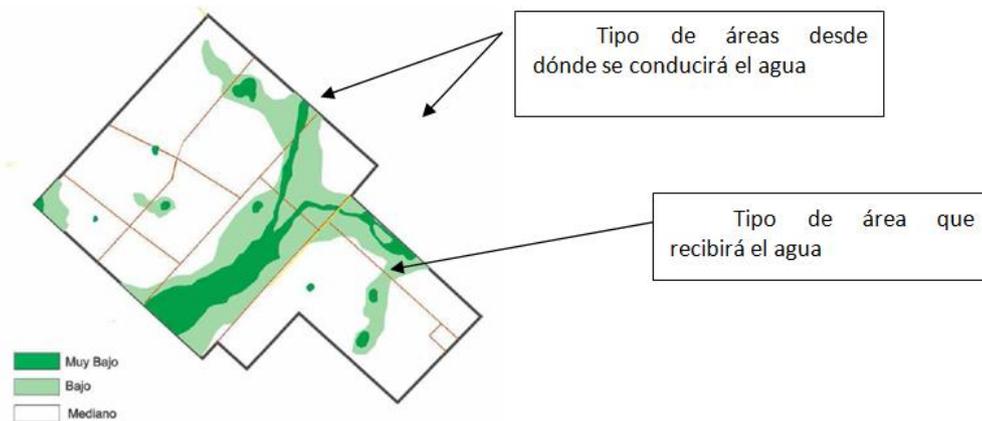
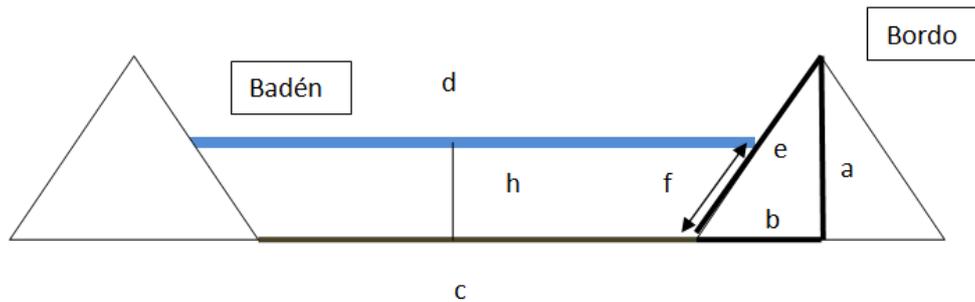


Figura 21. Altimetría de un establecimiento ilustrando a partir de qué áreas se conducirá agua hacia las posiciones más deprimidas del paisaje

Para calcular las dimensiones apropiadas del badén es necesario conocer:

- Caudal a conducir (Q) (m^3/s) (Se calcula o mide)
- Pendiente (%)
- Altura del pelo de agua (h)
- Talud (a/b)



Q (caudal a conducir) = área x velocidad

$$\text{Área del trapecio (badén por donde circula el agua)} = \frac{(\text{base mayor} + \text{base menor}) \times \text{altura}}{2}$$

Por tanteo propongo “x” metros para la base menor (c) de dicho trapecio.

El talud forma en el bordo un triángulo (lados a, b, e), cuyos lados a y b son conocidos si se estableció el talud. Luego por el teorema de Pitágoras se tiene que:

- Como conocemos h, podemos calcular la porción de “e” que estará mojada, a la que llamaremos “f”.
- Luego por fórmula de Manning se puede calcular la velocidad:

$$V = (Rh^{2/3} \times S^{1/2}) / n$$

V: velocidad

Rh: radio hidráulico

S: pendiente (al tanto por 1)

n: coeficiente de rugosidad (Ver GTP E. Hídrica)

Para calcular V, debemos primero calcular Rh, y para ello se tiene que:

El área se calculó a través de la fórmula correspondiente al trapecio y el PM se calcula como:

$$PM = c + 2f$$

Luego de calculado Rh, aplicando la fórmula de Manning calculo la velocidad (V).

Conocidos la velocidad (V) y el área, vuelvo a la fórmula:

$$Q (\text{caudal}) = \text{área} \times \text{velocidad}$$

Reemplazo ya que tengo todos los términos.

Ahora comparo el caudal (Q) que es capaz de conducir el badén diseñado con el medido o calculado originalmente para la situación en estudio y que establece qué caudal es necesario que conduzca el badén. Si el cálculo me diera que el badén diseñado conduce menos o más agua que la necesaria, debo repetir los cálculos con una propuesta de mayor o menor dimensión, según el caso, siempre controlando que la velocidad resultante no fuera erosiva. Normalmente la construcción se hace con un margen de seguridad de +/- 10%.

DRENES ARTIFICIALES

En producciones intensivas existe la posibilidad de instalar drenes artificiales, constituidos por tubos perforados que conducen el agua hacia cursos de agua superficiales. En la Figura 22 se ilustra la instalación de este tipo de obras en la producción de caña de azúcar en el NO argentino.



Figura 22. Instalación de drenes artificiales en campos azucareros de Jujuy. (Gentileza Ing. Agr. Fada).

En producciones del ámbito pampeano se utilizó en el pasado un equipo denominado dren “topo” que mediante un “balín” posterior va generando un canal de tierra a su paso. En la Figura 23 se muestra este equipo.

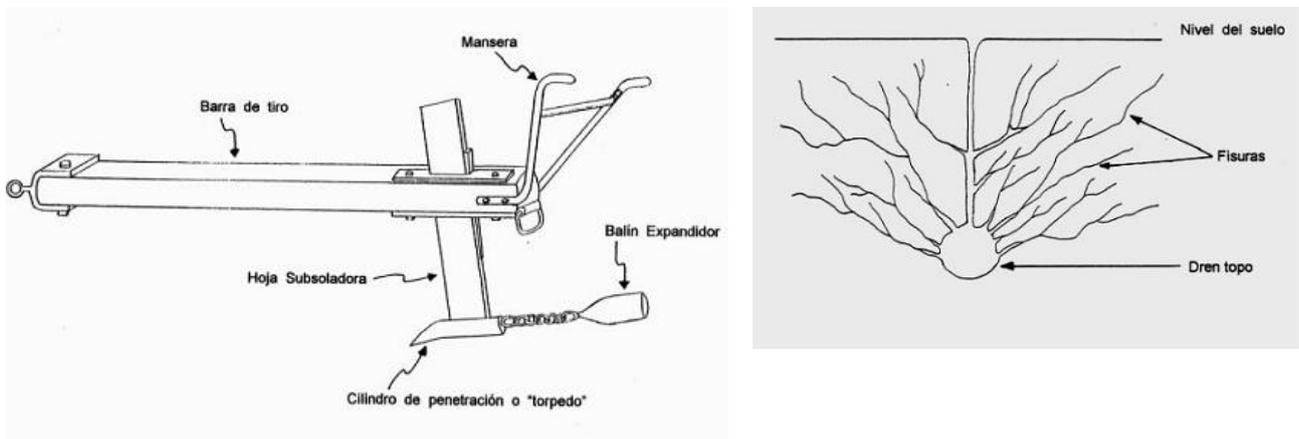


Figura 23. Dren topo y perfil de suelo a posteriori de la labor

Las condiciones óptimas para el empleo de este equipo son:

- Contenido de arcilla: >20%, por lo que esto determina también la profundidad (40-60 cm)
- Época: humedad que dé friabilidad al suelo, particularmente seguido de baja humedad para fraguado natural del dren
- Velocidad de labor estable para evitar derrumbes internos del dren (3 km/h)
- Distanciamiento: alrededor de 2m

ROTURACIÓN DE HORIZONTES SUPERFICIALES COMPACTADOS CON CORTE HORIZONTAL/VERTICAL

En algunas circunstancias se pueden utilizar herramientas de corte vertical como los subsoladores y cinceles de arco rígido (paratill) o flexible, de manera de mejorar la infiltración, en caso de existir horizontes superficiales compactados.

Las condiciones para su empleo son:

- cobertura viva o muerta (no hacer en peladares o calvas): clausuras, mulches, intersembras
- no inversión de suelo
- tipo de herramientas: arados tipo paraplow o similares, adaptaciones de arados de reja o cincel (reja cero UNRC)
- época: depende de piso, posibilidad de lluvia para lavar las sales, época de la intersiembra
- dirección de la labor: cortando la pendiente principal
- humedad del suelo: friabilidad

Debe destacarse que estas labores son relativamente efímeras, particularmente en suelos arcillosos, pudiendo como máximo tener residualidades de 2-4 años. Es por ello que en las áreas con hidromorfismo de nuestra Pradera Pampeana, como la Pampa Deprimida, la labranza vertical profunda para mejorar el drenaje de los suelos no resulta recomendable por lo efímero de la labor, su alto costo y potencia requerida, la falta de piso que provoca y la presencia normalmente de una napa freática alta que no permite el drenaje profundo de los excedentes.

MANEJO DE LA VEGETACIÓN

Forestaciones

Las napas freáticas, como se ha visto, pueden mostrar dos caras a la agricultura, la amortiguación de sequías y la inundación. Jobbágy *et al.* (2007) propone, entre otros autores, que el aprovechamiento activo de la primera (oportunidad) puede ayudar a regular la segunda (riesgo). En llanuras con pobre drenaje superficial y bajas pendientes resulta difícil evacuar excesos hídricos por sistemas de canalización y cabe revisar el papel que el manejo de la evapotranspiración puede cumplir como control. El consumo de agua de napas puede proveer el doble beneficio de aumentar la producción primaria y controlar los niveles de napa máximos. ¿Qué prácticas agronómicas pueden estimular este consumo? Reconocer ambientes bajos de alto potencial y apostar a máximas producciones en ellos es uno de los caminos. Uso de especies y cultivares de raíces profundas, altas densidades de siembra, cultivos de cobertura, ciclos largos, intercultivo y fertilización más intensa fomentarán el uso de agua freática, cuando ello fuera posible (Mueller *et al.* 2005). La implementación variable de estas prácticas en bajos y lomas permite aprovechar el agua freática sin desperdiciar insumos en áreas sin acceso a ella y en un paso más avanzado, aplicar usos y rotaciones distintos por ambiente. Por último, la búsqueda de sistemas de cultivo capaces de mantener altas productividades y tasas de evapotranspiración en condiciones de incipiente anegamiento (e.g. forrajera Phalaris arundinacea) ayudará a aprovechar zonas en las que las napas afectarían negativamente a los sistemas de cultivo tradicionales, pero positivamente a especies más tolerantes a la anoxia, contribuyendo a que el paisaje en conjunto evite ingresar en una situación más generalizada de anegamiento.

La modificación del ciclo hidrológico y la captación de estos flujos salinos mediante estrategias de bio-drenaje, cambian el valor relativo de las tierras (Isidoro, 2011) y son reconocidas como una buena alternativa de aplicación tanto en la provincia de Buenos Aires como en muchas partes del mundo (Alconada *et al.*, 2009). Esta técnica que utiliza la vegetación para manejar el flujo de agua subterránea en un paisaje, mediante la evapotranspiración, ha dado buen resultado en diversos países para el control de inundaciones, salinización del suelo y elevación de la superficie freática (Alconada *et al.*, 2009).

Otra medida consiste en manejar los escurrimientos provenientes de campos vecinos y los propios por la implementación de canales o pequeñas lomadas con líneas de forestación en sentido contrario al sentido de la pendiente, provocando su retardo e infiltración en el suelo.

Puede observarse que estas medidas plantean el uso de cortinas como el sistema agroforestal más promisorio, consideradas un método de ordenamiento predial de alto beneficio económico, ambiental y paisajístico, con o sin la integración de los negocios del cultivo protegido y el aprovechamiento maderero de la cortina (Alarcón y Matzner, 2002). La instalación de cortinas representa una medida recomendable, ya que reduce la evapotranspiración de los cultivos por frenado del viento y sombra, y aumentaría consecuentemente la humedad del suelo en el período estival de mayor demanda evapotranspirativa y reduciría los excesos de invierno al evitar el ascenso freático por consumo directo. Sin embargo, no es posible implementar estos sistemas en los casos de forestaciones en macizo, con destino netamente maderero. El alto poder evapotranspirante de las masas forestales condiciona balances mayormente negativos a nivel anual, donde los déficits son grandes. En años secos esto se vuelve perjudicial y podría provocar descensos locales pronunciados del nivel freático.

El uso de plantaciones de pino y eucaliptus como biodrenajes ha tenido buen resultado en diversos países para el control de inundaciones, salinización del suelo y elevación de la superficie freática. Se ha documentado como una alternativa válida y financieramente viable en la llanura pampeana en sistemas de silvopastoreo (Alconada et al., 2009). La instalación de plantaciones con bajas densidades, es considerada como una alternativa de menor impacto en estas regiones que podría reducir la intensidad de los procesos de salinización asociados a estas coberturas (Jobbágy et al., 2006a)

Este tipo de controles, sin embargo, no puede ejercerse a partir de iniciativas aisladas ya que la conectividad del sistema hidrológico llevará a equilibrar niveles rápidamente con áreas adyacentes (Jobbágy et al., 2007).

Kelliher et al. (1993) analizaron las características de la ET y canopea de los bosques de coníferas frente a las de pastizales. Estos autores señalaron que a pesar de las profundas diferencias que poseen ambos tipos vegetales, en cuanto a la arquitectura de sus canopeas, ellas comparten similares valores máximos de evaporación horaria y conductancia superficial (0,46mm/h y 22mm/s), y aun más, las forestaciones presentan menor valor de la evapotranspiración máxima media (4mm/d) en comparación a los pastizales (4,6mm/d). Sin embargo, las pérdidas de agua por intercepción en forestaciones alcanzaron aproximadamente el 30% de la precipitación, el doble que en pastizales (15%), valor que atribuyeron a las diferencias en la conductancia de las canopeas de ambos tipos de vegetales (200mm/s en forestaciones frente a 25mm/s en pastizales).

Por su parte, Huber et al. (1998) estudiaron el efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico y hallaron una relación directa entre la intercepción y la densidad del rodal. Estas plantaciones se desarrollaron en reemplazo de cubiertas herbáceas, en una zona de bajas pendientes (<5%), al norte de la IX Región de Chile y bajo tres densidades de plantación distintas (1560, 850 y 663pl/ha). Los resultados arrojaron valores de intercepción de 30, 26,8 y 23,9% de la precipitación total, correspondientes a las mayor, intermedia y menor densidad, respectivamente. Por otro lado, Calder et al. (2003, en: Nisbet, 2005), encontraron que bajo un amplio rango de lluvias, se mantenían porcentajes de intercepción del 25 al 45% en rodales de coníferas frente a valores del 10 al 25% en cubiertas de hierbas de hoja ancha.

En Uruguay, al comparar microcuencas con cobertura forestal (plantación adulta de *E. globulus* sp. Maidenii) de 895 árb/ha frente a pasturas naturales de uso ganadero (Silveira et al., 2011), se observó que la intercepción de las masas forestales decrecían con el aumento de la precipitación y formaban una asíntota algo superior al 10% en términos diarios. En términos medios, el valor de I adoptado para las forestaciones fue del 17%, por ello, los autores interpretaron que el incremento de ET, verificado entre las distintas cobertura, puede ser asignado en gran parte a la intercepción.

Por lo tanto, puede interpretarse que el aumento de ET resultante de las conversiones de coberturas herbáceas por plantaciones forestales, se explica mayormente por las variaciones del componente intercepción, que en ocasiones representa un valor dos veces más grande en forestaciones que en coberturas herbáceas (Kelliher et al., 1993; Calder et al., 2003, en: Nisbet, 2005)

Pastoreo controlado

El pastoreo con baja carga sobre campos naturales o pasturas implantadas mitiga la compactación por pisoteo de los animales que produce el sobrepastoreo o el pastoreo continuo. Paralelamente, al mejorar la calidad y cantidad de cobertura, igualmente se mitiga el impacto del tránsito de la hacienda.

Taboada y Micucci (2009) evaluaron el efecto del pastoreo continuo y rotativo en suelos de 3 posiciones topográfica del Pdo de Chascomús. El pastoreo continuo estuvo constituido por 0,8-1 UG/ha año en forma continua, mientras que el rotativo se realizó cada 2 meses por períodos de 2 semanas con 30-40 UG/ha en la loma (Argiudol acuico), la media loma (Natracuol típico) y el bajo (Natracualf típico). En la Figura 24 se ilustra la evolución del contenido hídrico del horizonte superficial en los distintos tratamientos y en la 25 de la densidad aparente.

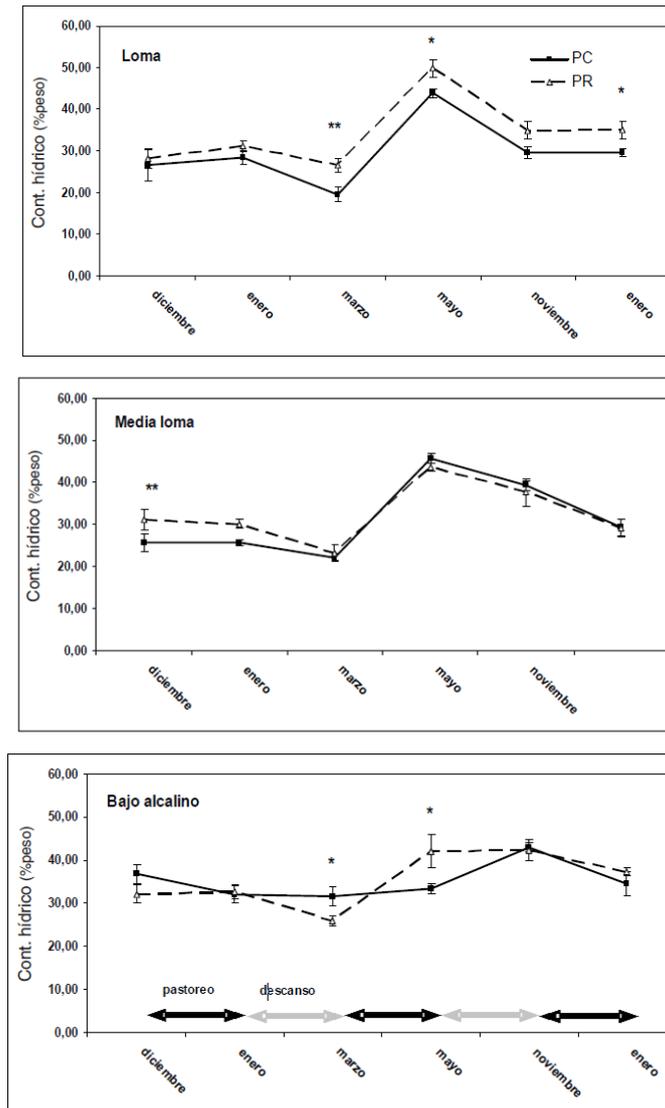


Figura 24. Contenido hídrico gravimétrico del horizonte superficial en 3 posiciones topográfica: loma (Argiudol acuico), media loma (Natracuol típico) y bajo (Natracualf típico), con pastoreo continuo (PC) y rotativo (PR) en el Pdo. de Chascomús (Taboada y Micucci, 2009).

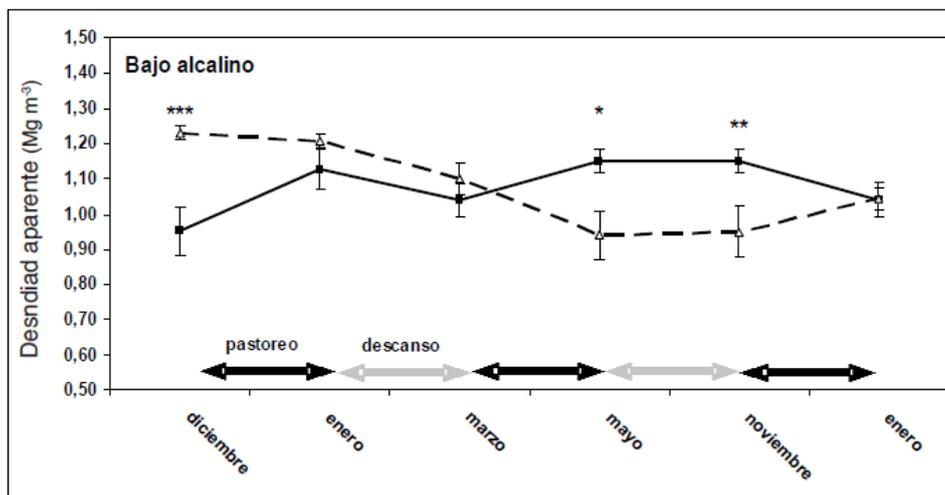
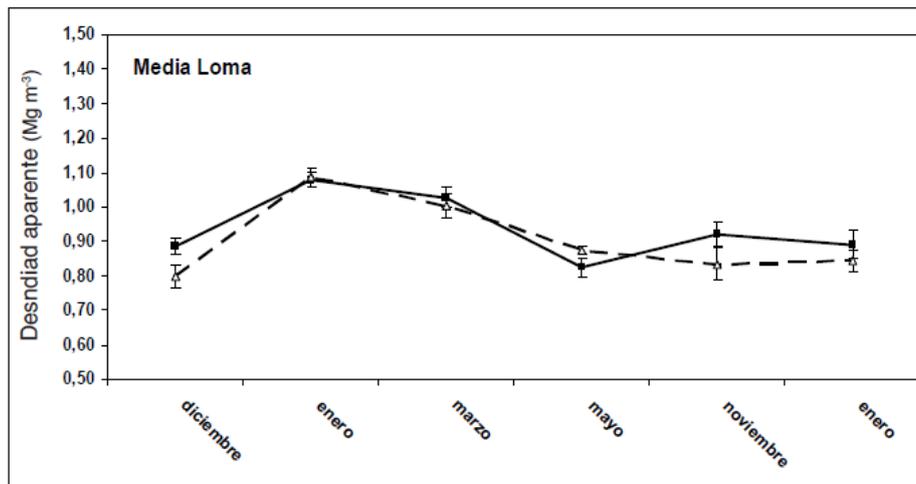
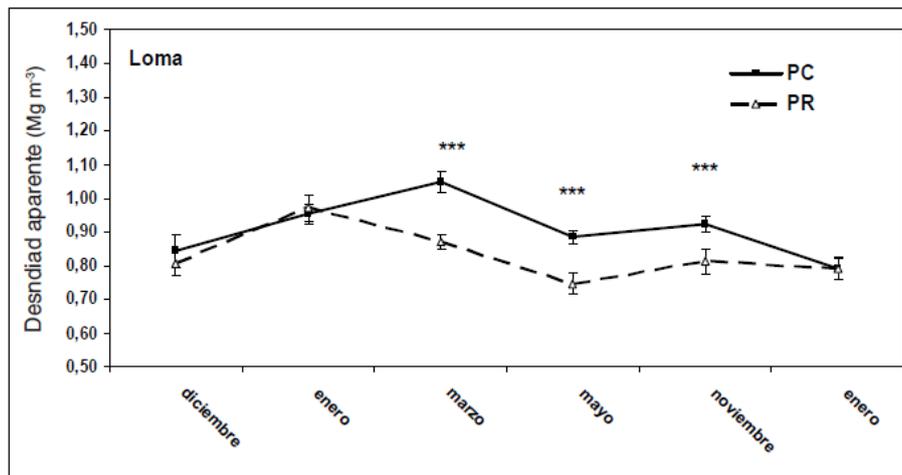


Figura 25. Variación temporal de la densidad aparente en del horizonte superficial en 3 posiciones topográfica: loma (Argiudol acuico), media loma (Natracuol típico) y bajo (Natracualf típico), con pastoreo continuo (PC) y rotativo (PR) en el Pdo. de Chascomús (Taboada y Micucci, 2009). (Barras: error standart de las medias)

En la Tabla 3 se ilustra la compactación relativa en estas situaciones.

Tabla 3. Valor medio y desviación standart de la compactación relativa (CR %) en el horizonte superficial en 3 posiciones topográfica: loma (Argiudol acuico), media loma (Natracuol típico) y bajo (Natracualf típico), con pastoreo continuo (PC) y rotativo (PR) en el Pdo. de Chascomús (Taboada y Micucci, 2009).

	CR %				Signif.
	PC		PR		
	media	SE	media	SE	
Loma	17,06	3,01	68,05	2,61	ns
Media loma	73,83	3,08	71,30	3,61	ns
Bajo alcalino	76,52	2,35	76,74	3,65	ns

ns: diferencias no significativas entre tratamientos

Según los autores los resultados confirman la existencia de una única respuesta al pastoreo rotativo por los tres suelos de la toposecuencia. Si bien el pastoreo rotativo tuvo una tendencia a poseer menor densidad aparente y compactación relativa en las 3 situaciones, los resultados estadísticos señalan que el suelo de mejor calidad fue el único que mostró claros efectos mejoradores del pastoreo rotativo. Estos efectos fueron permanentes y no asociados con los momentos de entrada y salida de animales.

Rejuvenecimiento de especies invernales

Se aplica en tendidos altos y bajos no sódicos. Para ello se promueve especialmente el raygrass anual. La técnica consiste en aplicar un herbicida total a fines del verano, hacer luego pastoreo controlado (agosto a oct-nov.), y posteriormente clausurar el lote para semillar en noviembre. Este procedimiento fomenta el desarrollo de especies nativas invernales valiosas anulando el de malezas. Reemplaza la siembra de un verdeo de invierno.

Cultivo del suelo con plantas mejoradoras

Se lleva a cabo con períodos de anegamiento anuales de menos de 60 días. Para elegir las especies debe considerarse el grado de sodicidad. Algunas especies adaptadas al anegamiento son: raygrass, trebol blanco, Lotus tenuis, festuca, agropiro, Phalarisssp.

Intersiembr

En campos naturales o pasturas con buena cobertura (70 a 80 %) se puede realizar la intersiembr de especies para mejorar la calidad de la oferta forrajera (normalmente leguminosas). Se lleva a cabo mediante labranza mínima o intersembradoras.

MANEJO EN LA EMERGENCIA HÍDRICA

En períodos de inundación en establecimientos dedicados a la cría o recría de ganado se llevan a cabo algunas acciones mitigantes:

- Reducción del ganado en el siguiente orden: vacas secas, enfermas y vacías; toros viejos; vacas y vaquillonas sin entorar; terneros machos; vacas viejas con cría; vacas de menor calidad.
- Manejo de animales: control sanitario; rodeo por categorías; suspensión de entore precoz de vaquillonas; retrasar entore de vacas con mala condición corporal; destete en primavera de vacas con ternero al pie de parición en otoño.
- Manejo del forraje: racionar el pastoreo de las lomas; sacrificar lotes con campo natural degradado, pasturas viejas o rastrojos "áreas pulmón"; no sacrificar pasturas otoño-inverno-primaverales; evitar intoxicaciones; suplementación con rollos, silo, grano.
- Otros: programar caminos de fuga de la hacienda; concentrar durante la noche hacienda en partes altas para su posterior distribución; durante el día pastorear en función de grado de anegamiento, disponibilidad de forraje y carga

RIESGO DE ANEGAMIENTO-INUNDACIÓN DISEÑO DE OBRAS AGRO-HIDROLÓGICAS

Originalmente los estudios agrohidrológicos se efectuaban en base a información climática, cartográfica y relevamientos de suelo y vegetación existentes en la bibliografía. Por último, la planificación y diagramación del diseño de las obras a nivel predial se realizaba mediante técnicas de interpretación de fotografías aéreas.

Si bien la documentación básica es valiosa tanto en la planificación como en la evaluación de los recursos naturales, adolece de la evolución dinámica que caracteriza a los agrosistemas de una región.

La disponibilidad de satélites que brindan información de alta resolución espacial y sistemas de tratamiento digital de imágenes, han permitido generar aplicaciones en estudios agrohidrológicos en áreas de escasa pendiente.

Damiano et al. (1997) desarrollaron para áreas con drenaje restrictivo, una técnica que permite elaborar con relativa precisión y practicidad, mapas de riesgo de anegamiento-inundación y diseñar obras agrohidrológicas. Para ello se usan:

1. imágenes satelitales como Landsat en falso color compuesto, seleccionadas en épocas contrastantes a los fines de captar situaciones hídricas distintas, libres de nubes, y de máxima calidad, y luego georreferenciadas a las coordenadas Gauss-Kruger
2. cartografía (mapas de suelos y altimétricos)
3. relevamientos de campo

Toda esta información se integra en un sistema GIS, bajo la misma proyección Gauss-Kruger.

Para el mapeo posterior se relacionan 3 criterios:

- Topo-morfológico: permite definir áreas anegables mediante la relación entre la posición altimétrica relativa con distintos niveles y períodos de recurrencia de los anegamientos.
- Edafológico: facilita la diferenciación de áreas susceptibles a partir de las características morfológicas y físico químicas del perfil del suelo (color, textura, estructura, moteados, permeabilidad, nivel freático, salinidad, alcalinidad)
- Botánico: permite asociar la relación relieve-suelo con la ocurrencia de ciertas especies vegetales indicadoras de condiciones de hidro-halomorfismo, facilitando la delimitación cartográfica de las áreas afectadas.

En la Figura 26 se transcribe el diagrama de flujo utilizado para el análisis propuesto por Damiano et al (1997).

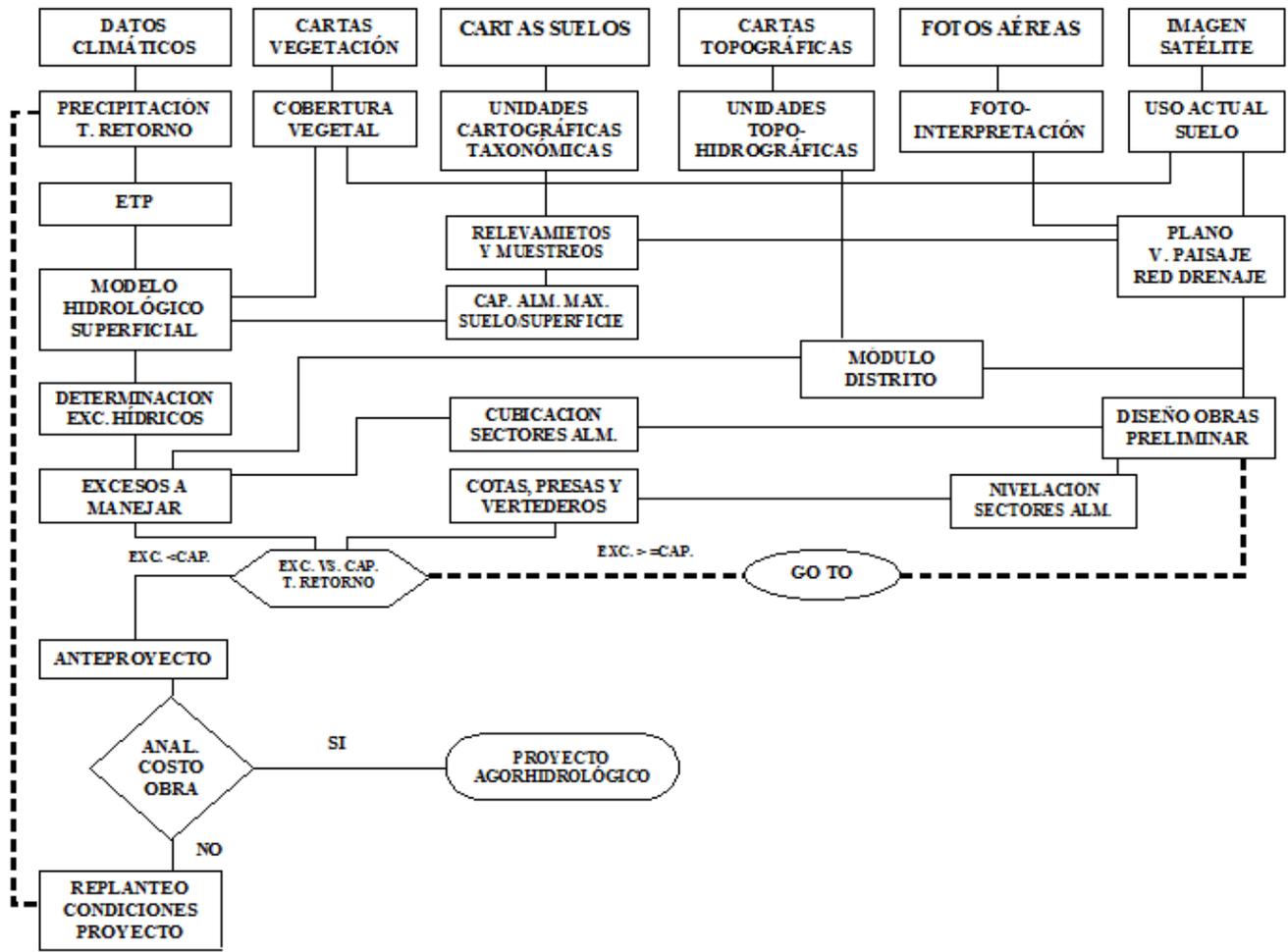


Figura 26. Diagrama de flujo para el diseño de obras de manejo agrohidrológico en áreas de llanura.

Damiano y Parodi (2010) llevaron a cabo un estudio en Canals (Córdoba) que usaremos para ejemplificar el procedimiento.

En la Figura 27 se presenta el plano de parcelas del establecimiento sobre una imagen del satélite Landsat de 30 m de píxel (24/mayo/2003) con la digitalización de las curvas de nivel de la Carta Topográfica del IGM 3363-33-2 "Gral. Viamonte" superpuesta. Como se aprecia, el paisaje se compone de lomas arenosas suavemente onduladas con depresiones anegables. La posición relativa del campo se encuentra entre las cotas 130 a 125 m snm, con una equidistancia entre líneas de igual cota de 1,25 m. El sentido de escurrimiento superficial es de dirección SO-NE. La figura muestra circunscripto con un círculo blanco, el lote 3, más comprometido hídricamente, donde se realizó el trabajo.

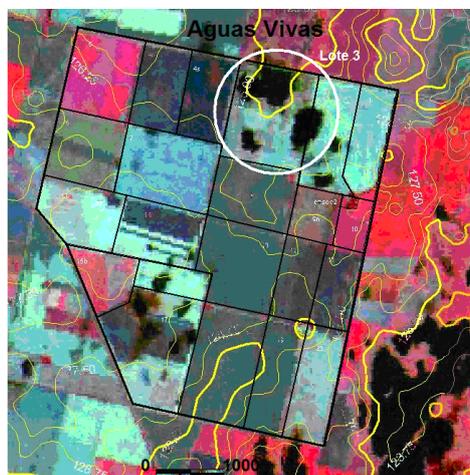


Figura 27. Composición de falso color (FCC) Landsat de un establecimiento, curvas de nivel y situación hídrica.

El análisis temporal de una serie de imágenes Landsat y la interpretación sinóptica en falso color compuesto (FCC) por las bandas del espectro del visible e infrarrojo cercano y medio, permitieron la realización del mapa de riesgo hídrico, como se muestra en la Figura 28, siguiendo el procedimiento propuesto por Damiano et al. (1997).

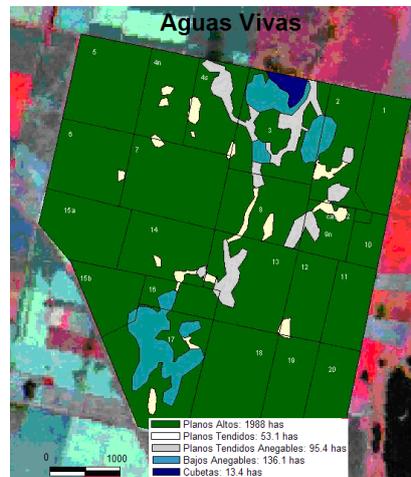


Figura 28. Mapa de riesgo hídrico.

En este trabajo se perseguía el objetivo de la sistematización agrohidrológica para habilitar e incorporar al sistema productivo los suelos de ambientes bajos y tendidos anegables manteniendo la capacidad de retención hídrica total.

El manejo que se decidió fue el drenaje superficial de los planos bajos temporales hacia la cubeta improductiva (Norte en la Figura 29 a), incrementando en esta última la capacidad de retención de escurrimientos locales. Se optó por una estructura de badén simple de funcionamiento semipermanente que permite el control del nivel freático dentro de la zona radical y la conducción de los excedentes hídricos superficiales (Figura 29 b).



Diseño agrohidrológico lote 3 sobre imagen Google.



Badén simple drenando excedentes hídricos (sep. 2007).

Figura 29. Imágenes utilizadas para el diseño agrohidrológico y vista de badén.

Tres situaciones casuales, permitieron evaluar la efectividad de la metodología: 1) la existencia de un año húmedo seguido por uno de déficit separados por la construcción del proyecto agrohidrológico, 2) la existencia de suelos taxonómicamente similares en distinta situación de hidromorfismo y 3) la evaluación de la producción de ambos años por técnicas de cosecha de precisión.

Las fotos de la Figura 30 muestra a campo la clara diferenciación de los ambientes cartografiados en el mapa de la Figura 29, cuya interpretación fue realizada a partir de imágenes satelitales con comprobación en terreno.



Figura 30. Fotos de planos altos con soja (arr. izq.), tendido bajo anegable (arr. der.) bajo anegable (ab. izq.) y Cubetas (ab. der.)

La Tabla 4 detalla la información de las lluvias y de los cultivos del lote 3 donde se hizo la obra.

Tabla 4. Precipitación y necesidad media de agua (mm) (Nec) para soja y girasol en Córdoba. Evapotranspiración potencial (Kc) en valores aproximados, FAO (2006).

	2006-07	2007-08		
	<i>Prec.</i>	<i>Prec</i>	<i>Nec</i>	<i>Kc</i>
nov	171	22	52	0.5
dec	39	0	143	↓
ene	116	97	192	1.00
feb	158	118	157	1.15
mar	238	157	135	1.15
abr	51	66	13	0.5
Total	773	460	692	531

El promedio histórico de precipitaciones de octubre a marzo para Canals (Córdoba) es de 656 mm (Resch, 2006), suficiente para cubrir la necesidad de ambos cultivos (692 y 531mm). Sin embargo, la tabla 4 muestra que durante el periodo estival previo a las obras (2006-07) hubo, en general, un exceso hídrico y la soja vio satisfecha su demanda hídrica, mientras que el periodo estival (2007-08) fue deficitario para ambos cultivos.

La Figura 31 muestra la disposición del cultivo y las áreas cultivadas. Se puede observar la recuperación de los bajos anegables en el 2007-08 y el aumento de la superficie de cultivo sobre una grilla de 500 m.

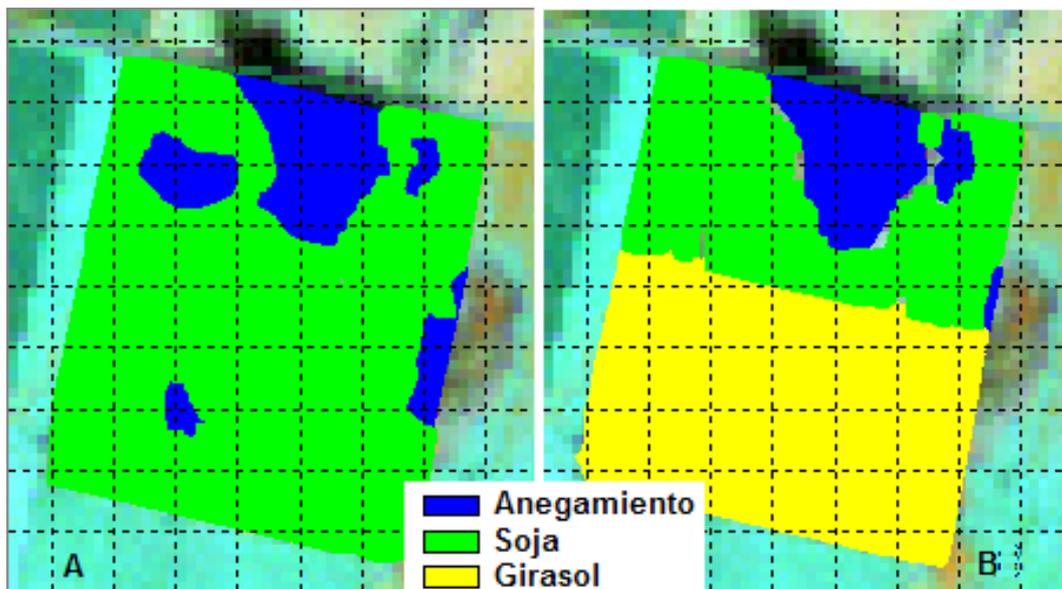


Figura 31. Área de cultivos en 2006-07 (A) y en 2007-08 (B) para el lote 3

Las Figuras 32 y 33 muestran los resultados de la producción.

Figura 32 evidencia que los sectores de bajos anegables no fueron cultivados por la presencia de agua en superficie en el 2006-2007 y aquellos con abundancia de agua y sin drenaje redujeron su producción a pesar de contar con agua suficiente. El resto del área produjo a nivel potencial siendo que la demanda de agua de la soja fue satisfecha totalmente.

Figura 33 muestra la producción del año seco luego de la ejecución de las obras. La producción general tanto de la soja y el girasol fue relativamente menor asociada en general a la deficiencia de agua. Sin embargo en los bajos tendidos recuperados la producción fue similar a la más alta del año húmedo anterior.

El control del drenaje recuperó esas tierras al sistema productivo, manteniendo la humedad necesaria desde la cubeta cercana, cumpliendo un principio de la sistematización agrohidrológica. El drenaje superficial de los excedentes hídricos aumentó el área cosechada en un 10 % (139 vs. 153 ha), que corresponden a los ambientes bajos anegables, ahora recuperados y produciendo a potencial aún en periodos de déficit.

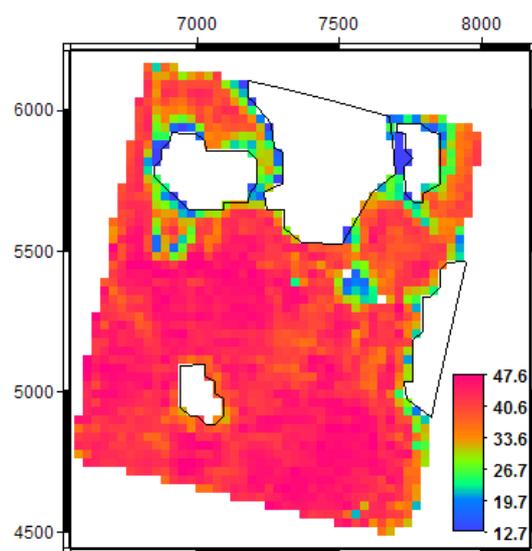


Figura 32. Producción de soja 2006-07 (qq/ha).

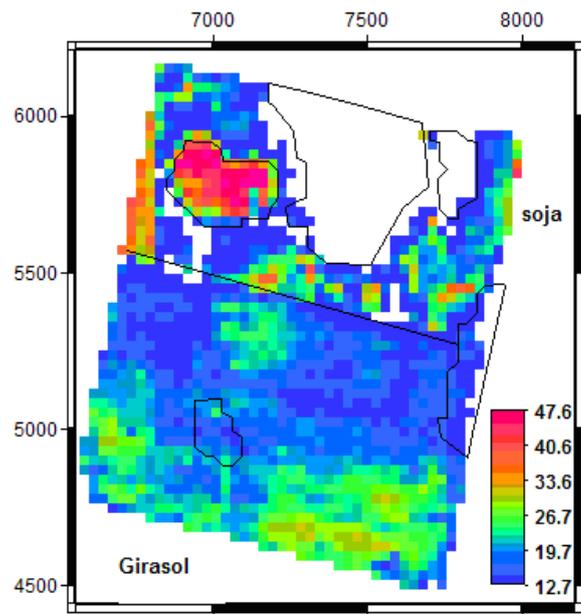


Figura 33. Producción de soja y girasol 2007-08 (qq/ha).

CUESTIONARIO

1. ¿Qué se entiende por suelo saturado e hidromórfico?
2. ¿Cuál puede ser el origen de los excesos hídricos?
3. ¿La problemática del hidromorfismo tiene importancia áreal en el país?
4. ¿Cuáles son las áreas con hidromorfismo en la Región Pampeana?
5. ¿Qué características geomorfológicas, edáficas y de drenaje tienen la Pampa Interior Arenosa y la Deprimida?
6. ¿Qué es un sistema hidrológico típico y no típico? Cuáles son los sistemas no típicos de la Pcia. de Bs.As.?
7. ¿Qué se entiende por anegamiento y qué por inundación?
8. ¿Cuál es la importancia de la calidad del agua de inundación en sus consecuencias sobre los suelos?
9. Plantee ejemplos de perfiles hidromórficos usando información de series de suelos de algún área de su interés, destacando los elementos diagnósticos de esta problemática.
10. ¿Cuáles son los estadios hidromórficos?
11. ¿Cuáles son las reacciones químicas características del hidromorfismo edáfico y sus consecuencias agronómicas?
12. ¿Cuáles son las consecuencias físicas del hidromorfismo en los suelos y su implicancia agronómica?
13. ¿Cuáles son los efectos sobre las plantas de esta problemática?
14. ¿Cuáles pueden ser las escalas para la implementación del manejo agrohidrológico?
15. ¿Qué es el Plan Maestro de la Pcia. de Bs. As.?
16. Liste las posibles acciones a nivel predial para el manejo agrohidrológico.
17. ¿Qué es un baden bordeado y cuál es su objetivo, dónde se ubica según la topografía?
18. Explique esquemáticamente cómo se hacen los cálculos para dimensionar un baden bordeado.
19. ¿Qué son los drenes artificiales y en qué tipo de producción podrían emplearse?
20. ¿Qué es un arado topo y cuáles son las condiciones para su empleo? ¿Cuál será su efectividad y de qué depende esta?
21. ¿Cómo se pueden paliar esta problemática a través de la vegetación?
22. ¿Cuál puede ser el objetivo de labranzas verticales en estas situaciones?
23. ¿Qué acciones podrían implementarse en un campo de cría vacuna en la situación de emergencia hídrica?
24. Explique cómo se puede establecer el riesgo de anegamiento en un área de llanura.
25. ¿Considera que tener cartografiado este riesgo ayuda a establecer el diagrama de badenes bordeados? Explique las razones de su respuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Alconada M., M.M.; A. Bussoni; R. Rosa y J.J. Carrillo R. 2009. El bio-drenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, NAM ISSN 0188-4611, No68, 50-72*
- Alarcón, C. y K. Matzner. 2002. Manual de cortinas forestales. INFOR, Instituto forestal. Santiago de Chile. 59 p.
- Alves, D.E. y L.E. Remón. 2009. Vinculación de rasgos hidromórficos con suelos contaminados con hidrocarburos en la llanura costera del Río de La Plata. Cátedra de Micromorfología de Suelos (FCNyM). <http://www2.fcnyu.unlp.edu.ar/pdf>
- Auge, M.P. 2009. Hidrogeología de llanuras. Universidad de Buenos Aires. 85 p. [Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/HidrogeoLlanuras.pdf>]
- Barbagallo J.F. 1983. La áreas anegables de a Pamp Deprimida. Un planteo hidrológico para su solución. En: Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. CONAPHI-UNESCO. Olavarría. VII: 793-864.
- CADIA (Centro Argentino de Ingenieros Agrónomos). 1987. Inundaciones y Manejo de Cuencas. Mesa redonda realizada el 16 de diciembre de 1985, en la sede del CADIA. Editorial CADIA. Buenos Aires. 125 p.
- Calder, I.R., Reid, I., Nisbet, T. and J.C. Green. 2003. Impact of lowland forests in England on water resources-application of the HYLUC model. *Water Resources Research* 39: 1319-1328
- Chow, V.T.; D.R. Maidment y L.W. Mays. 1994. Hidrología aplicada. Ed. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia. 584 p.
- Damiano F., Mércuri P.A. y Carballo S.M. 1997. Sensores remotos en el análisis y propuesta agrohidrológica. *RIA* 28 (2): 1-15.
- Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada (UGR). España. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Página: <http://edafologia.ugr.es/index.htm>. Consultada el 24/04/2014.
- Foth, Henry D. 1997. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 433 p.
- Fuschini Mejía, M.C. 1993. El manejo del agua en las llanuras. UNESCO, Paris. En: Actas del Seminario Internacional de Hidrología de Grandes Llanuras. 1989. Bs.As. 228-237.
- Fuschini Mejía, M.C. 1994. "El agua en las llanuras". UNESCO/ORCYT. Montevideo, Uruguay. 54 p. En Badano, D.N. 2010. Modelación Integrada de Grandes Cuencas de Llanura con Énfasis en la Evaluación de Inundaciones. Tesis de grado en Ingeniería Civil. FIUBA, Bs.As. 172 p.
- Gaspari, F.J.; G.E. Senisterra; M.I. Delgado; A.M. Rodríguez Vagaría y S.I. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 1ª ed., La Plata. 321 p.
- Giraut, M. 2006. Dinámica geomorfológica del humedal fluvial del Río Paraná en la Provincia del Chaco. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP.
- Huber, A.; P. Barrigay R. Trecaman. 1998. Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región (Chile). *BOSQUE* 19(1): 61-69
- Isidoro, D. 2011. Minimización de impactos en la agricultura de regadío. Riegos del Alto Aragón. Monográfico Riego por aspersión. 24-32 p.
- Jobbágy, E.G. and R.B. Jackson. 2007. Groundwater and soil chemistry hanges under phreatophytic tree plantations. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 112-10.1029/2006JG000246. 15 p.

- Jobbágy, E.G.; M.D. Nosetto; J.M. Paruelo y G. Piñeiro. 2006a. Las forestaciones rioplatenses y el agua. *Ciencia Hoy*, Vol. 16 Nro 95. 12-21.
- Kelliher, F.M.; R. Leuning and E.D. Schulze. 1993. Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. *Oecologia*, 95: 153-163.
- Mueller L, Behrendt A, Schalitz G, Schindler U. 2005. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agr. Wat. Management*. 75:117-136.
- Paruelo J.M., Sala O.E. 1990. Caracterización de las inundaciones en La Depresión del Salado (Buenos Aires, Argentina): dinámica de la capa freática. *Turrialba* 40: 5-
- Prego A.J. 1989. El agua pluvial y su real aprovechamiento en las llanuras. En: Seminario Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. TRA-CONAPHI, Buenos Aires. HGLL, II: 56.
- Sala J.M., González N., Kruse E. 1983. Generalización hidrológica de la Pcia. De Buenos Aires. En: Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. CONAPHI-UNESCO. Olavarría. VII: 973-1018.
- Sallies, A.R. 1999. Clima e inundaciones en la Pampa Deprimida. *Floodplain Management Association-17 th Semiannual Conference*, del 27 de Set. al 01 de Oct. Sacramento, California-USA. 8 p
- Scoppa C., Di Giacomo R.M. 1985. Distribución y características de los suelos salinos y/o alcalinos en la Argentina. *DIA* N° 437-440: 49-67.
- Silveira, L.; C. Chreties; J. Alonso; C. Amorín; P. De Izaguirre; M. Crisci; S. Symonds; L. Martínez; M. García; F. García; S. Delgado; C. Clérici; L. Betancor; M. Hill; F. Alliaume; P. Cabral; P. Audicio; A. Roumé; A. Hubery; A. Schipilov. 2011. Efecto de la actividad forestal sobre los recursos suelos y aguas, en microcuencas similares sometidas a distinto anejo. Proyecto FPTA 210. Sitio Argentino de Producción Animal. Serie: FPTA N° 32. 34 p
- Taboada M., R. Lavado. 1993. Influence of trampling of soil porosity under alternated dry and ponded conditions. *Soil Use and Management* 9: 139-143.
- Taboada M., R. Lavado; H. Svartz; A.M.L. Segat. 1999. Structural stability changes in a grazed grassland Natraquol of the Flooding Pampa (Argentina). *Wetlands* 19: 50-55.
- Taboada M., S.N. Micucci. 2009. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa Deprimida al pastoreo rotativo. *Ci. Suelo* 27(2): 147-157.
- Taboada M., R. Lavado. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 163 p.