

5.

## **Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos**

---

Miguel A. Taboada<sup>1</sup>, Francisco Damiano<sup>2</sup> y Raúl S. Lavado<sup>3</sup>

### **Identificación de las áreas afectas por inundaciones.**

Extensas superficies de la región pampeana sufren periódicas inundaciones. Estas inundaciones afectan áreas rurales con sembrados, hacienda y viviendas y aún cascos urbanos de algunos pueblos y ciudades, con graves consecuencias para los pobladores y la economía regional. A partir del adverso y a veces grave impacto socio-económico que causan, existe una generalizada consideración negativa sobre el fenómeno de las inundaciones por parte de la sociedad. Esta visión negativa se hace extensiva a -lo que se cree son- las consecuencias posteriores sobre los suelos una vez que el agua inundante se retira. Entre algunos formadores de opinión existe la idea de un impacto negativo “residual” de las inundaciones sobre los suelos, los que – se supone- deberían aguardar un largo período de recuperación luego de la salida del agua. En el presente artículo se cuestiona esta generalización, a partir de resultados obtenidos durante varios años de investigaciones conducidas sobre suelos inundables.

---

<sup>1</sup>Instituto de Suelos, CIRN, INTA; Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA e IByF-CONICET;

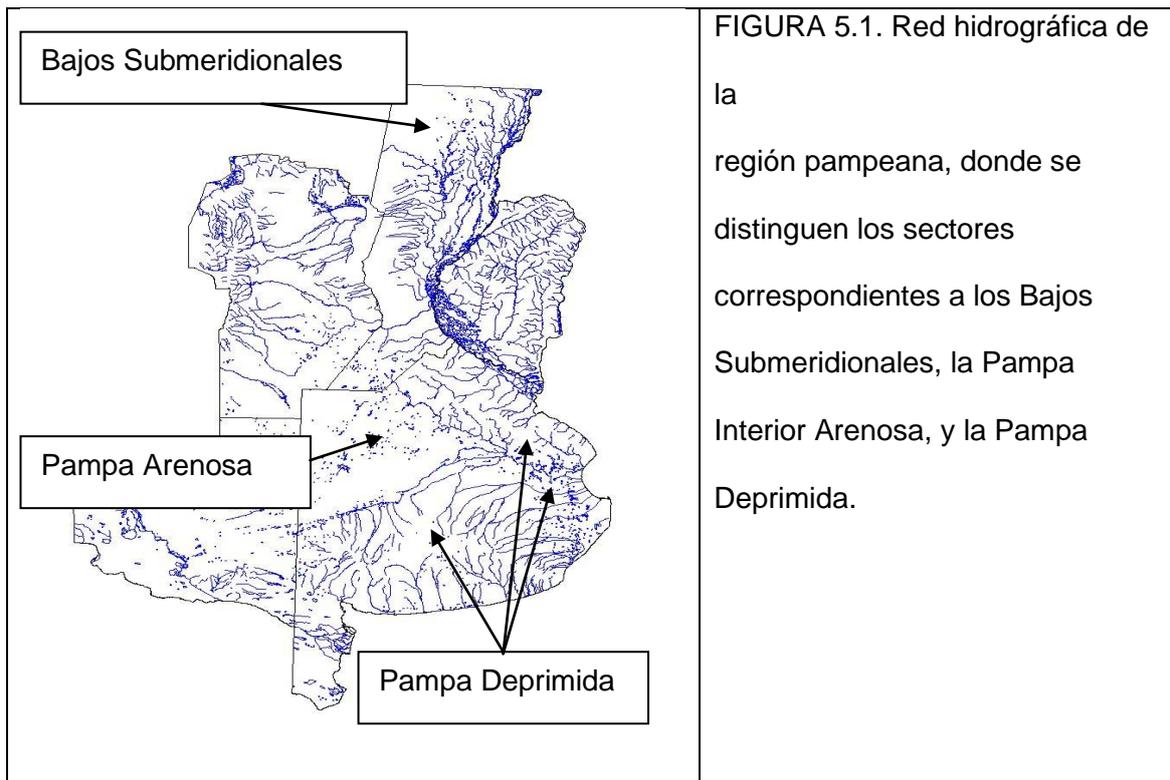
e-mail:mtaboada@cnia.inta.gov.ar; mtaboada@agro.uba.ar

<sup>2</sup>Instituto de Clima y Agua, CIRN, INTA; e-mail:fdamiano@cnia.inta.gov.ar

<sup>3</sup>Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA e IByF-CONICET; e-mail:lavado@agro.uba.ar

Los suelos de la Región Pampeana se han desarrollado sobre sedimentos (loess) depositados en el Pleistoceno Tardío-Holoceno. Existen subregiones con suelos con buen potencial agrícola, como por ejemplo la Pampa Ondulada o el Sudeste Bonaerense. Pero también existen subregiones que se caracterizan por ser inundables periódicamente, y muchos de estos suelos por estar afectados por excesos de sales y de sodio. Sin embargo, las inundaciones de la región pampeana no sólo afectan a los llamados “campos bajos”, sino también a otras áreas que la gente no recuerda haberlos visto anegarse previamente. Sin embargo, la corta memoria de una o dos generaciones no significa que los suelos jamás hayan sufrido inundaciones a lo largo de su historia evolutiva.

La Figura 5.1 identifica a las principales áreas inundables de las Pampas. Se trata, como puede verse, de áreas con muy escaso desarrollo de cursos de agua, lo cual dificulta la evacuación superficial de excedentes hídricos en épocas de lluvias elevadas. En nuestro análisis nos concentraremos en la problemática de las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Estas afectan principalmente a dos subregiones de las que componen la región pampeana: a) la Pampa Interior o Arenosa; y b) la Pampa Deprimida. La ubicación y extensión geográfica de estas subregiones puede observarse en la Figura 5.2.



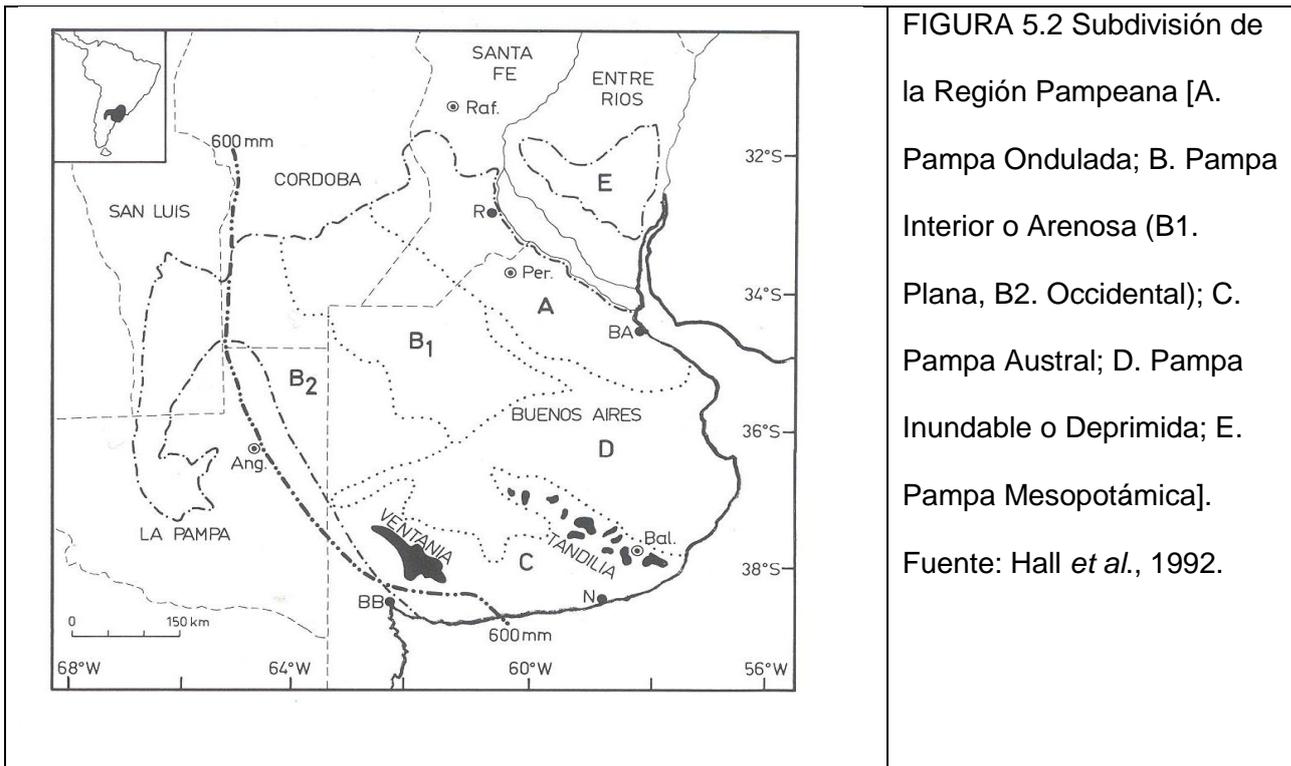


FIGURA 5.2 Subdivisión de la Región Pampeana [A. Pampa Ondulada; B. Pampa Interior o Arenosa (B1. Plana, B2. Occidental); C. Pampa Austral; D. Pampa Inundable o Deprimida; E. Pampa Mesopotámica].  
Fuente: Hall *et al.*, 1992.

**Factores climáticos determinantes de las inundaciones.**

La Región Pampeana se encuentra comprendida dentro de un área de clima templado húmedo sin cobertura de nieve en invierno. Este clima determina una buena provisión de agua de lluvia y un régimen térmico moderado, permitiendo la agricultura sin riego continuo y la ganadería totalmente a campo. Una forma de estudiar la lluvia y su incidencia es a través del análisis de series que muestren su variabilidad espacial y temporal. Para ello se eligieron seis estaciones meteorológicas estándar, con alrededor de un siglo de existencia, ubicadas en una transecta oeste – este de la pampa bonaerense (Cuadro 5.1). Cada estación representa a unidades fisiográficas conspicuas de la región.

En las estaciones mencionadas se analizó un ciclo de unos 100 años, durante el cual alternaron fases muy húmedas y fases secas. En la Figura 5.3 se presentan los promedios históricos de precipitaciones anuales, y la evolución de las precipitaciones

anuales y de las medias móviles de cinco años en las localidades mostradas en el Cuadro 5.1. Puede allí observarse que a partir de la década del '70 se produjo un cambio en el régimen de precipitaciones. Este cambio estuvo especialmente marcado en la franja tradicionalmente subhúmeda (Pampa Interior arenosa), donde se elevaron los promedios anuales de lluvia en el orden de 100 mm cada 10 años. Este incremento progresivo se manifestó, en general, como un aumento de los promedios de 700 a 800 mm en una primera etapa, para ubicarse en 900 mm en la siguiente y en los últimos años superar los 1000 mm. Durante el desarrollo de la presente fase húmeda, se constataron episodios de lluvia sobre los valores normales, que se alternan con otras pulsaciones en que los volúmenes son menores. No obstante, los valores pluviométricos no descendieron al nivel de los de la fase seca (años 1925-1965).

Este análisis del historial de lluvias indica la existencia de ciclos plurianuales alternados de bajas y de altas precipitaciones anuales. Por otra parte, señala un aumento (ya indicado) en la cantidad de lluvia en las últimas décadas, lo cual fue particularmente más ostensible en el oeste de la región pampeana. Hasta los años '70 del siglo pasado, ésta era una subregión de vocación predominantemente ganadera, y sin registros de inundaciones. Sin embargo, datos históricos de lluvias y la presencia de ciertos componentes y rasgos de los suelos, indican que en el pasado estas subregiones también sufrieron inundaciones.

En las últimas décadas no sólo aumentaron las lluvias, sino que también cambió su distribución entre semestres. Ello puede ser observado en la Figura 5.4, que muestra las medias móviles por semestre de las localidades extremas de la transecta. En Rivadavia, al oeste, las lluvias han tendido a concentrarse en el semestre más cálido, mientras que al este de la transecta, en Dolores, no hubo cambios importantes. Es decir que existe, en principio, una razón de origen climático

para el incremento de las inundaciones de las últimas décadas en la Pampa Interior o Arenosa.

CUADRO 5.1. Ubicación fisiográfica y característica pluviométrica de seis estaciones meteorológicas terrenas de la provincia de Buenos Aires [Unidades Geomorfológicas ver Figura 5.2].

Partido	Latitud	Longitud	Altitud	Región	Lluvia annual media (mm)	Período (año)
	Sur	Oeste	(m)	Geomorfológica		
Rivadavia	35,50	63,00	105	Pampa Interior	827	1905-1999
Pehuajó	35,52	61,54	87	Pampa Interior	858	1897-2003
9 de Julio	35,27	60,53	76	Pampa Interior	938	1897-2003
Las Flores	36,02	59,06	33	Pampa Deprimida	883	1888-2003
Dolores	36,21	57,44	9	Pampa Deprimida	891	1889-2003
Gral. Lavalle	36,41	56,94	3	Pampa Deprimida	931	1887-2002

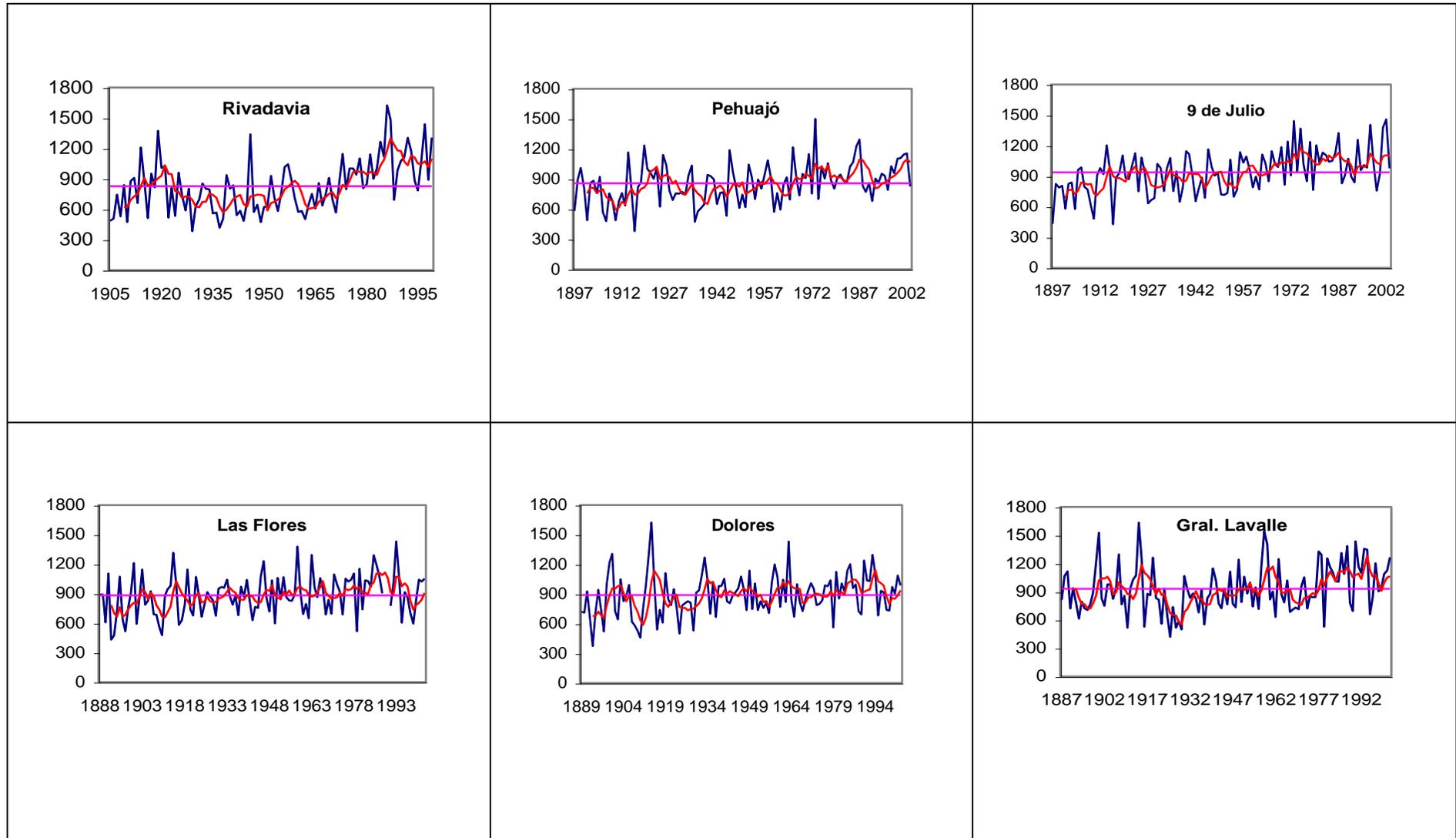


FIGURA 5.3. Promedio anual de precipitaciones (línea fucsia), y evolución de las precipitaciones anuales (curva azul) y de los promedios móviles de 5 años (curva roja) registrados en la última centuria en seis estaciones de la provincia de Buenos Aires (ver Cuadro 5.1). Fuente: Instituto de Clima y Agua -INTA.

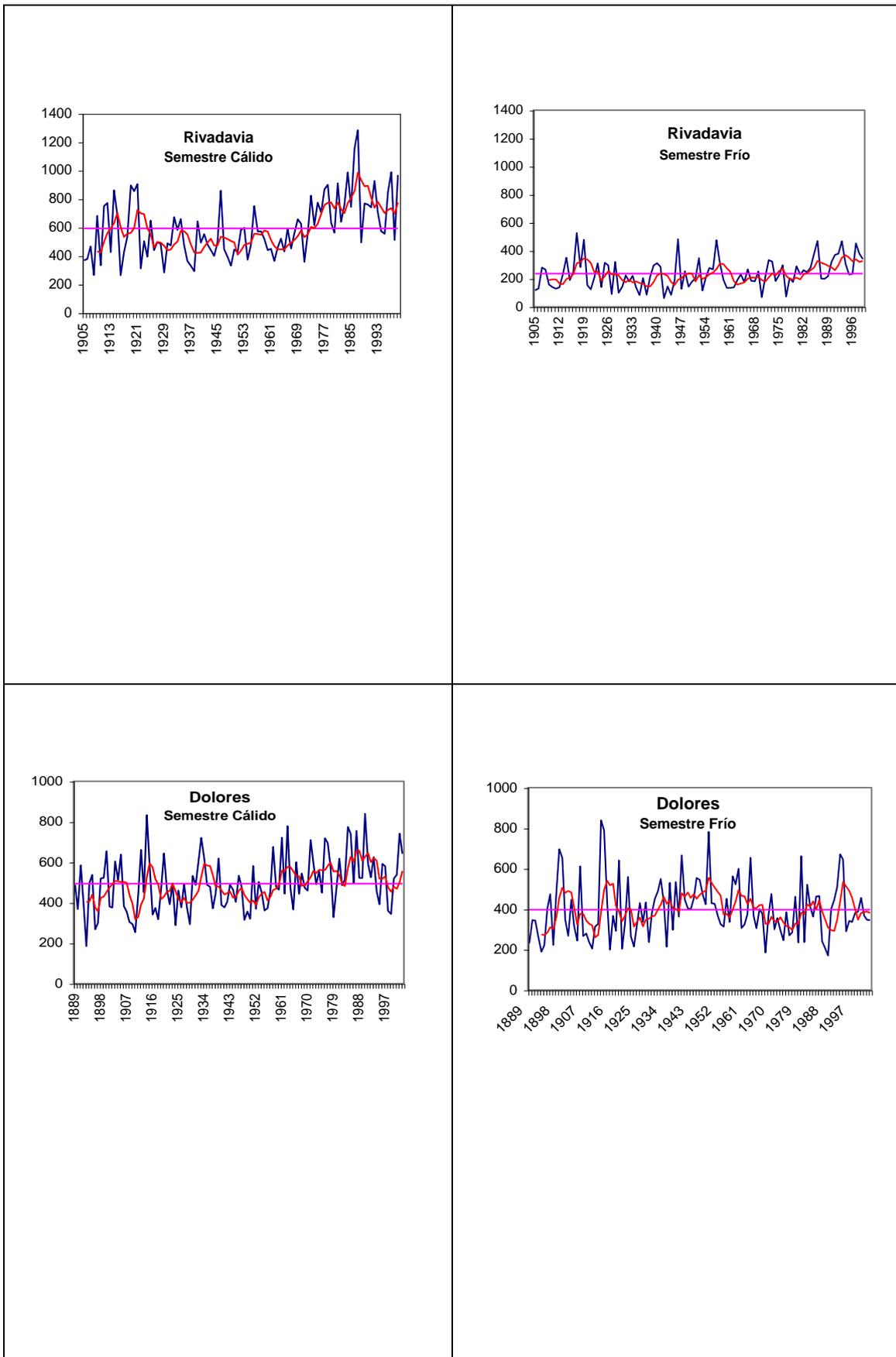


FIGURA 5.4. Promedios históricos de las precipitaciones semestrales de los períodos cálido y frío (línea fucsia), y evolución de las precipitaciones semestrales (curva azul) y promedio móvil de 5 años (curva roja) registradas en las estaciones Rivadavia y Dolores. Fuente: Instituto de Clima y Agua -INTA.

## **Aspectos geomorfológicos de las áreas inundables bonaerenses**

### *Pampa Interior o Arenosa*

La Pampa Interior o Arenosa configura una gran llanura con pendiente regional suave de oeste a este, siendo el gradiente promedio de 25 cm por kilómetro (Figura 5.2; Cuadro 5.1). Al bajo gradiente de pendiente, otro factor que se suma es que toda la región está surcada por médanos que entorpecen el drenaje superficial. Estos médanos poseen una disposición transversal, generando así un tipo de drenaje arreico, es decir que los excedentes de agua no se organizan en cursos superficiales siguiendo la pendiente, por lo que el agua sólo puede ser eliminada o por drenaje profundo, o bien por evaporación. Como se aprecia en la Figura 5.5, toda la subregión está poblada de lagunas y carece de cauces fluviales. Existe alternancia de expansiones y contracciones de la superficie de los cuerpos de agua, en respuesta a los pulsos de excesos o déficit de precipitaciones. Estas fluctuaciones de superficie pueden ser apreciadas en imágenes de satélite Landsat (Figura 5.6).

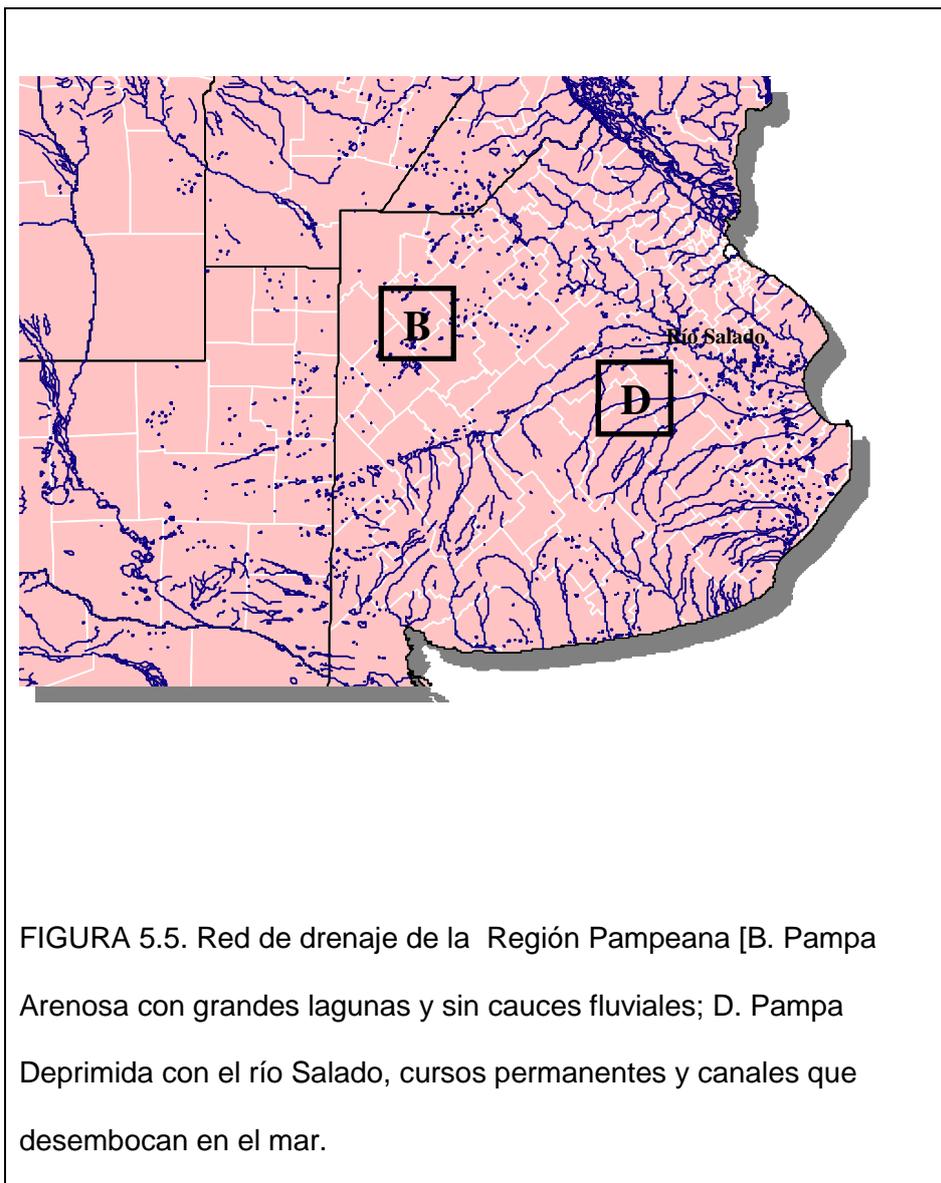


FIGURA 5.5. Red de drenaje de la Región Pampeana [B. Pampa Arenosa con grandes lagunas y sin cauces fluviales; D. Pampa Deprimida con el río Salado, cursos permanentes y canales que desembocan en el mar.

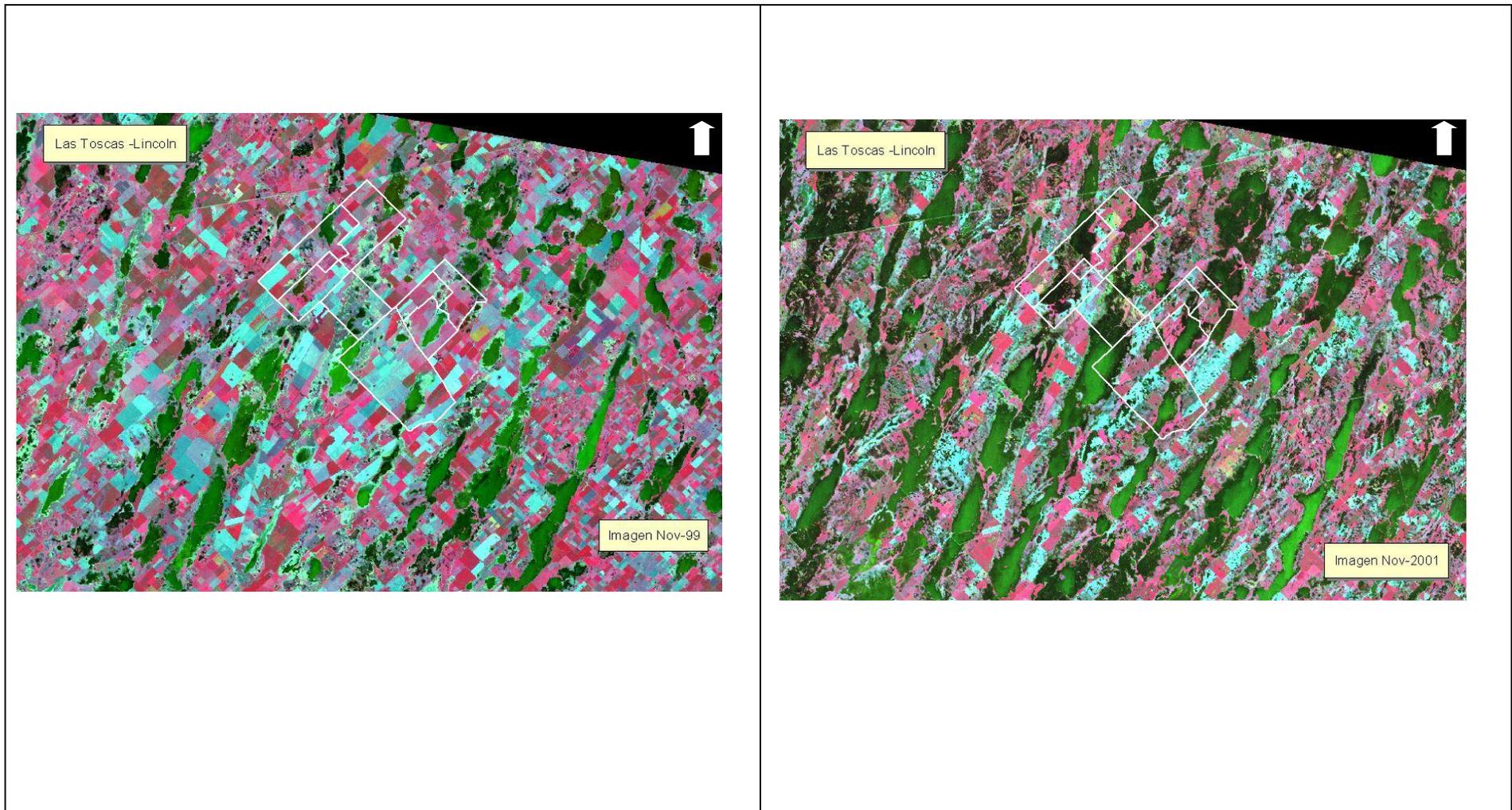


FIGURA 5.6. Imágenes de satélite Landsat mostrando los médanos longitudinales (colores celeste y rosado, según uso de la tierra) y áreas intermedanas (color verde-oscuro) en condiciones de déficit en noviembre de 1999 (izquierda) y de exceso hídrico en noviembre de 2001 (derecha) en el sur del partido de Lincoln -Pampa arenosa central. Fuente Instituto de Clima y Agua –INTA.

### *Pampa Deprimida*

En la Pampa Deprimida la hidrología y el sistema de drenaje se desarrollaron en un paisaje contenido por un relieve plano, suavemente deprimido y de muy bajo gradiente de pendiente (Figura 5.5). Según muestra un trabajo de Sala *et al.* (1983), la densidad de cursos de agua es muy baja ( $0,05 \text{ km km}^{-2}$ ), y existen áreas con drenaje arreico, es decir, con 0 km de cursos de agua por  $\text{km}^2$  de superficie. En estos sectores sin cursos se establecieron grandes obras de canalización al comienzo de siglo 20, cuyo trazado puede apreciarse también en la Figura 5.5.

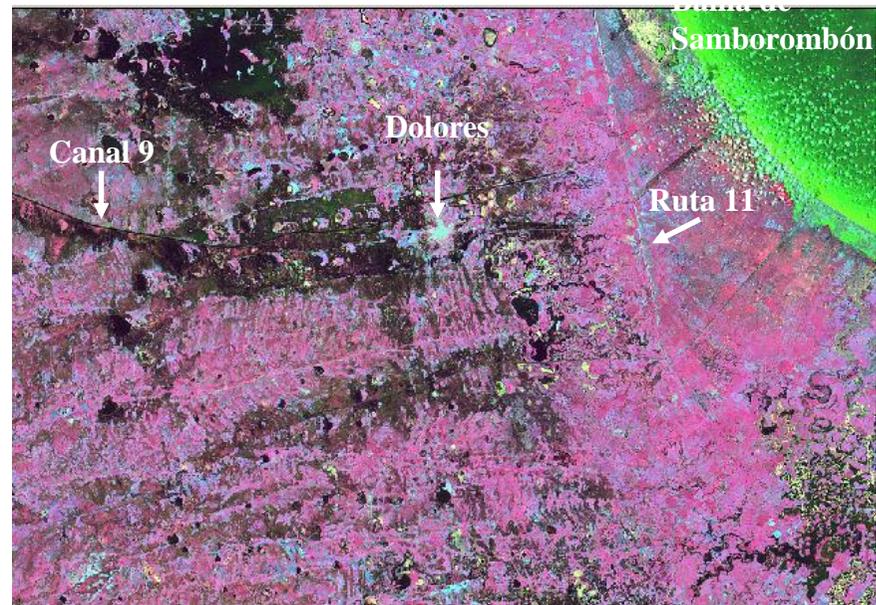
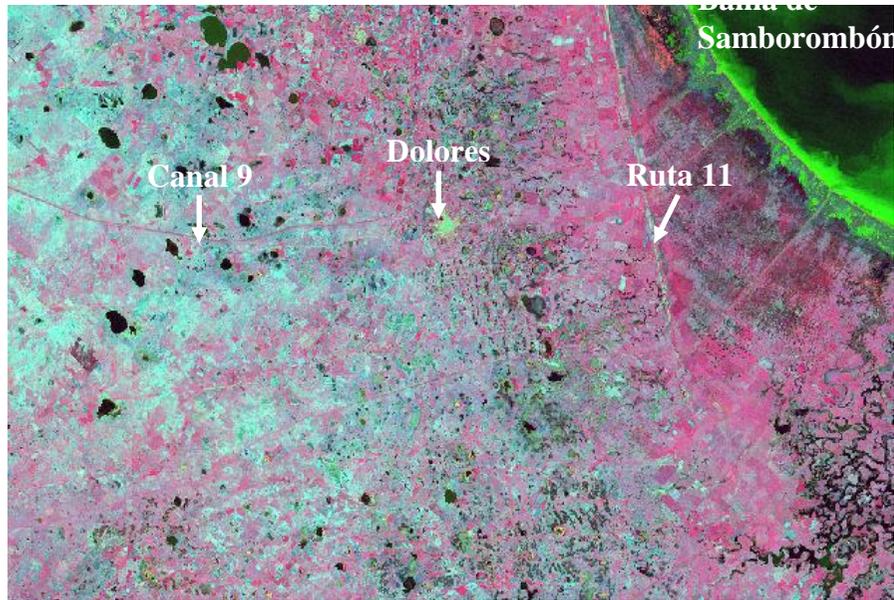
El principal colector natural de los excesos superficiales y subsuperficiales es el río Salado, típico río de llanura con régimen permanente y caudal sumamente variable. La Figura 5.7 muestra imágenes del satélite Landsat, en las cuales se aprecia la respuesta hidrológica del sector de cota más baja de la región, en torno al Canal nº 9 y a la ciudad de Dolores, en condiciones de déficit (1999) y exceso hídrico (2001).

### **Los suelos inundables**

#### *Pampa Interior o Arenosa*

Los suelos de la Pampa Interior o Arenosa se han desarrollado a partir de materiales arenosos recientes de espesor variable. Se encuentran asentados sobre sedimentos de textura fina, poco permeables que hacen de apoyo a la capa freática. La profundidad de esta capa depende del espesor del manto arenoso. El agua se mantiene lejos de la superficie en los suelos profundos, donde el relieve es ondulado, pero aflora donde la cobertura arenosa es escasa.

La Figura 5.8 muestra fotografías de perfiles de suelos representativos de la Pampa Arenosa. En sitios con relieve ondulado y manto arenoso profundo, se han desarrollado suelos de textura franco arenosa, reacción ácida a neutra, algo excesivamente drenados y con baja retención de humedad (5.8 a). En estos suelos la capa freática se encuentra generalmente a gran profundidad. La mayoría de los reservorios de agua dulce subterránea se ubican en estos ambientes.



FIGURAS 5.7. Imágenes de satélite Landsat mostrando un paisaje plano-cóncavo en condiciones secas durante octubre de 1999 (izquierda, tonalidad celeste) y de exceso hídrico registrado en noviembre de 2001 (derecha, tonalidad oscura) en un sector de la Bahía de Samborombón -Pampa Deprimida. Fuente: Instituto de Clima y Agua -INTA

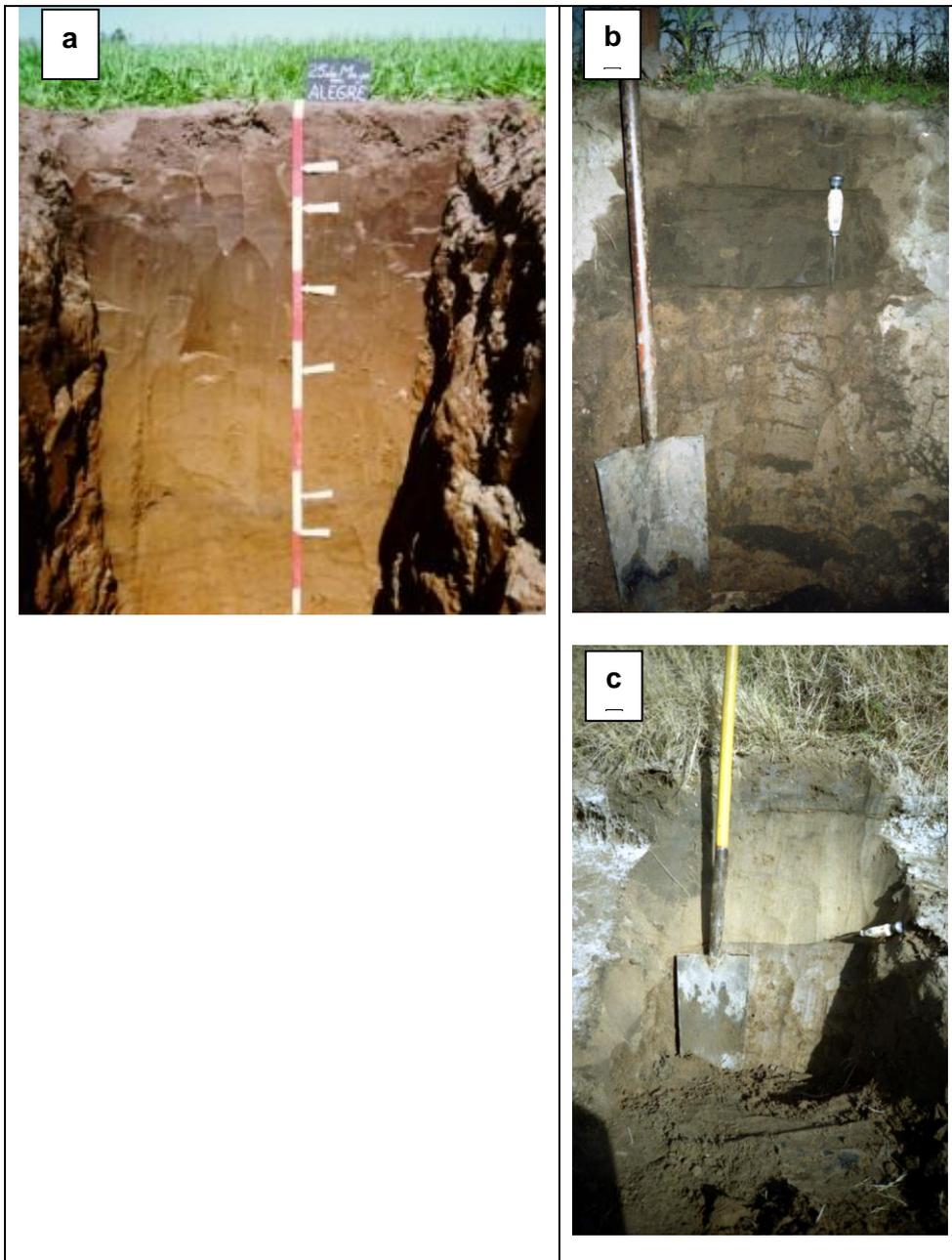
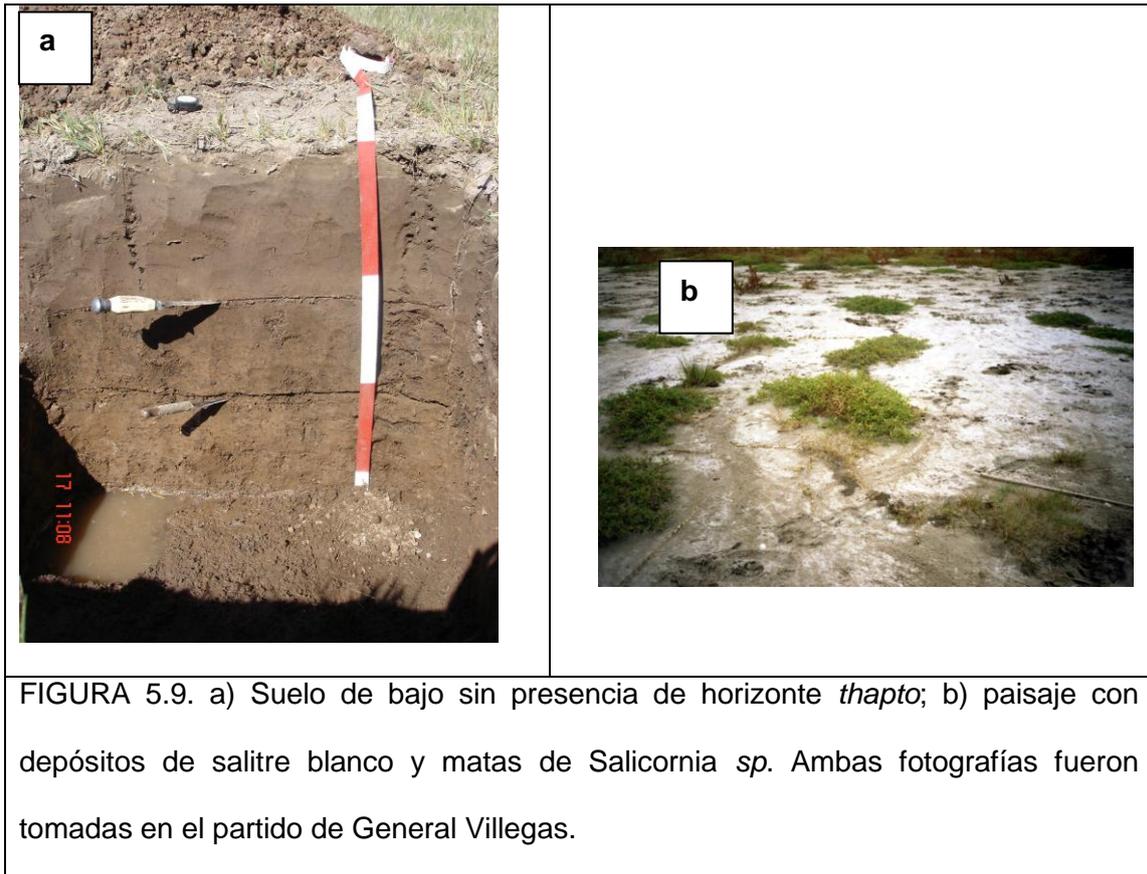


FIGURA 5.8. Suelos representativos de la Pampa Arenosa. Izquierda (a): suelo de médano (partido de 25 de Mayo). Centro (b) y derecha (c): suelos de la depresión intermedanosa, mostrando horizontes enterrados (señalados por cuchillos). El suelo de la derecha presenta colores grisáceos, que evidencian la existencia de hidromorfismo (partido de Lincoln).

En sitios con relieve plano o tendido, tal como el que se presenta en la depresión intermediana, aparecen suelos con escaso espesor del manto arenoso sobre el sedimento impermeable. Perfiles representativos de este tipo de suelos pueden ser observados en las Figuras 5.8 b y c. Al sedimento impermeable mencionado se lo conoce con el nombre de horizonte enterrado o *thapto*, ya que fue desarrollado en un clima distinto (*paleoclima*) que el actual. A menudo, este horizonte determina el desarrollo de capas de agua temporaria que generan rasgos de hidromorfismo, evidenciados por tonos grisáceos sobre la capa impermeable arcillosa (Figura 5.8 c).

En otras áreas de la Pampa Interior, las posiciones bajas del relieve están ocupadas por suelos inundables sin horizontes *thapto*. Un ejemplo de dicho suelo es mostrado por la Figura 5.9 a. En este tipo de suelos la capa freática suele estar cerca de la superficie y se mueve libremente en el perfil. Ello genera a menudo problemas de salinización y exceso de sodio intercambiable en los suelos. Es bien conocido en la zona los altos contenidos de sales de las aguas subterráneas, y las secuelas que deja el ascenso capilar de sales y su posterior precipitación en la superficie de los suelos por efecto evaporativo del agua, tal como se muestra en la Figura 5.9 b.



### *Pampa Deprimida*

Según el relevamiento de suelos realizado por INTA (1990), más del 60 % de los suelos de la región están afectados por excesos de agua, junto con exceso de sales y de sodio intercambiable. La mayor parte de los suelos presenta un horizonte arcilloso sódico poco permeable en profundidad, conocido como horizonte Bt nátrico. La Figura 5.10 muestra fotografías de perfiles de este tipo de suelos, clasificados con los nombres de Natracuol y Natracualf, que representan respectivamente a los de mejor y de peor calidad pecuaria. Los Natracuoles son suelos ácidos en superficie (pH < 7), con alto contenido de materia orgánica, mientras que los Natracualfes poseen niveles altos de sodio intercambiable y pH elevados (> 8,5) desde la superficie.

El carácter nocivo del sodio que retienen estos suelos se debe a que le confiere una baja estabilidad a su sistema de poros, y de este modo, pobre condición de drenaje. Por debajo del horizonte nátrico estos suelos presentan una capa de espesor variable de carbonato de calcio, el cual evidencia la altura a la cual asciende la capa freática. Estos suelos prevalecen ampliamente en el centro de la Pampa Deprimida, un sector conocido como la Depresión del Río Salado, en el cual el relieve es de tipo plano-cóncavo.

En otros sectores de la Pampa Deprimida pueden desarrollarse suelos de aptitud agrícola-ganadera, que son similares a los existentes en otras subregiones pampeanas (Figura 5.11). Sin embargo, los perfiles de estos suelos poseen menor desarrollo que los que pueden observarse, por ejemplo, en los buenos suelos agrícolas de la Pampa Ondulada. Este tipo de suelos se relaciona con áreas planas extendidas, tal como puede observarse en los bordes septentrional y austral de la Pampa Deprimida. Estos bordes son transiciones a la Pampa Ondulada y a la Pampa Austral, respectivamente (Figura 5.2). Hacia el oeste (partidos de Roque Pérez, Saladillo y Bolívar) existe un área de transición a la Pampa Arenosa, con paisajes suavemente ondulados y con suelos *thapto* de menor desarrollo del manto arenoso.

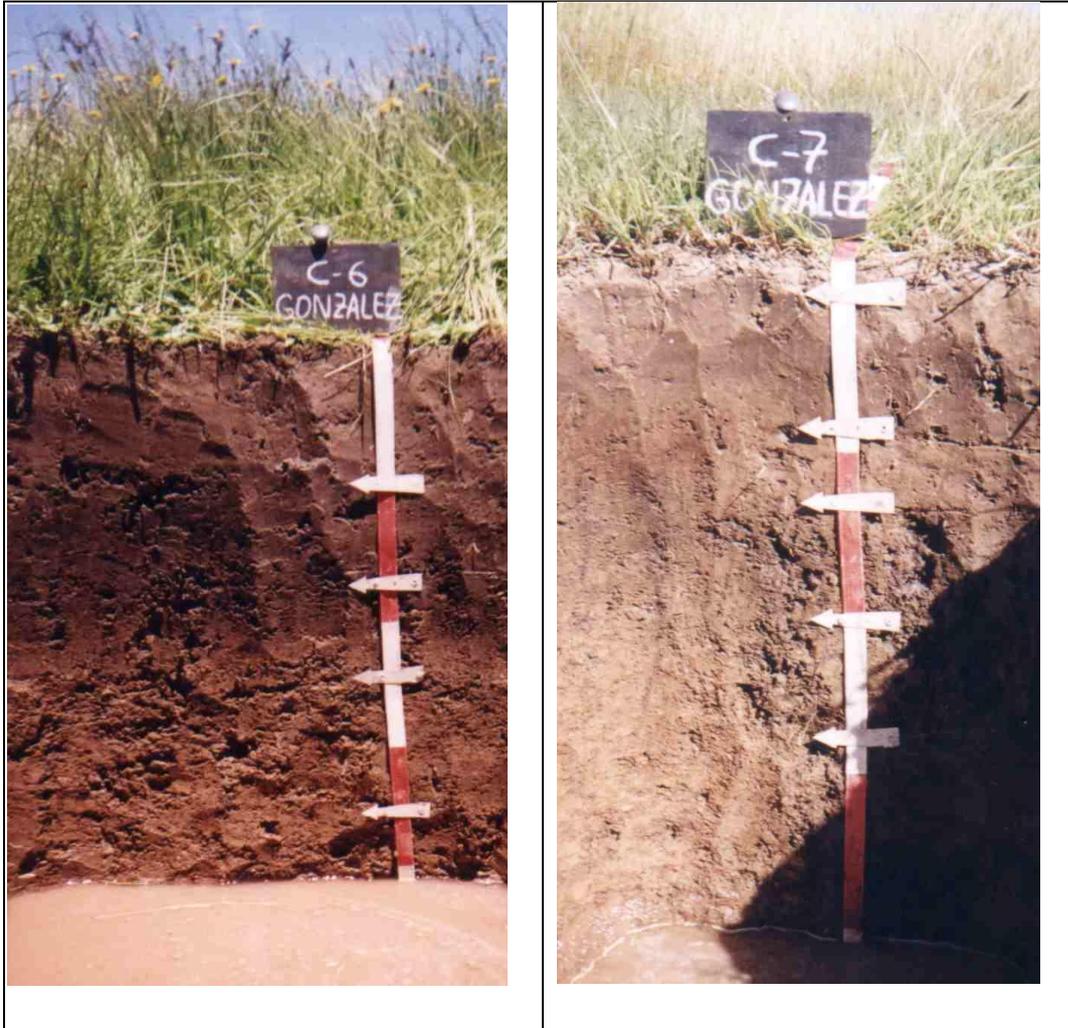


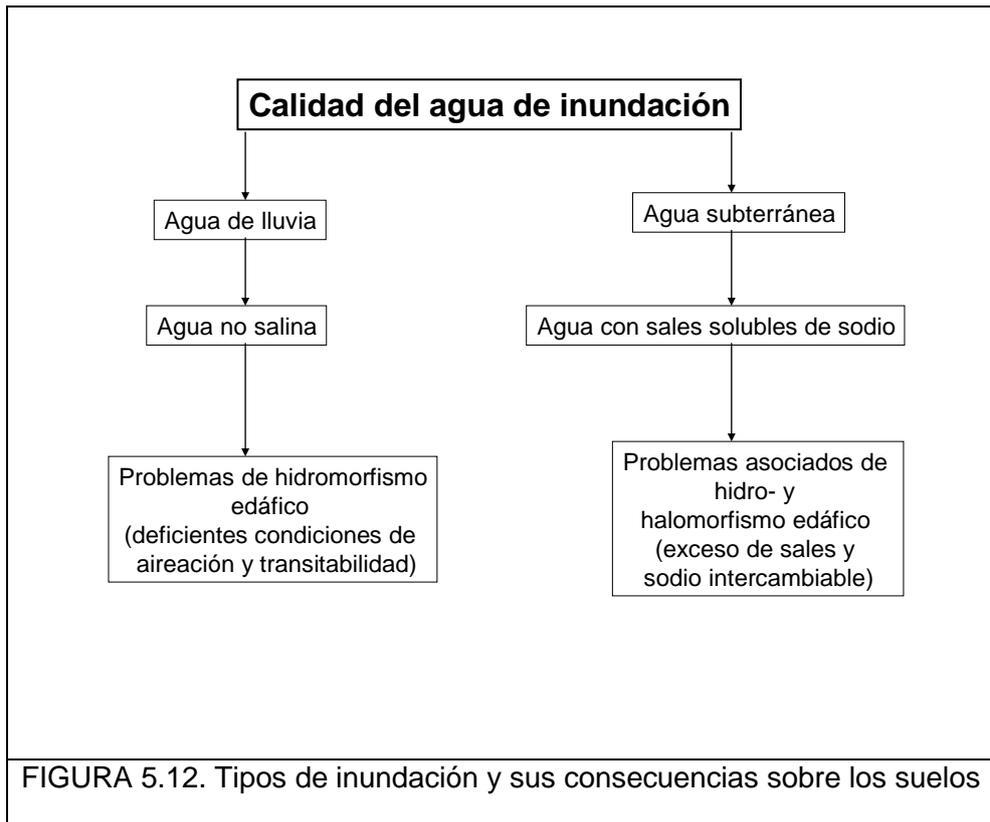
FIGURA 5.10. Fotografías de dos suelos representativos de la Pampa Deprimida (partido de Cañuelas). Izquierda: suelo sódico en profundidad (Natracuol). Derecha: suelo sódico desde superficie (Natracualf).



FIGURA 5.11. Suelos con aptitud agrícola-ganadera del borde septentrional de la Pampa Deprimida (partido de Navarro). Obsérvese el horizonte eluvial marcado por cuchillos.

### **Tipos de inundaciones. Calidad del agua inundante. Factores determinantes**

Las consecuencias de las inundaciones sobre los suelos se relacionan estrechamente con la calidad del agua inundante, medida por su contenido de sales y por el tipo de sal prevaleciente. Una primer diferencia es causada por el origen del agua inundante, según sea ésta de lluvia (no salina) o subterránea. En este último caso, el agua posee concentraciones variables de sales solubles, según puede verse en el diagrama de la Figura 5.12.



En el caso que la inundación sea causada por agua de lluvia, ésta generará un efecto de dilución sobre las sales presentes en la solución del suelo, o sea un descenso en la salinidad edáfica. Por consiguiente, los problemas que genera este tipo de inundación se relacionan principalmente con las condiciones deficientes de aireación para la mayor parte de las plantas cultivadas, y de transitabilidad para vehículos, maquinarias y hacienda.

Las consecuencias de las inundaciones por ascensos de la capa freática difieren según el nivel de mineralización que posee el agua subterránea (concentración salina) por un lado, y el tipo de sal prevaeciente por el otro. La cantidad de sales presente determina el potencial de salinización en los suelos, ya que se trata esencialmente de un proceso “fuente–destino” regulado por el flujo ascendente de agua conteniendo las sales disueltas por los poros capilares (diámetro menor que 30 micrones) del suelo. El tipo de sal está determinado por la combinación

de aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) y cationes (sodio, potasio, magnesio y calcio).

A diferencia de los suelos bien drenados, en los cuales el sodio es el primer catión en ser lavado por los procesos de lixiviación, por lo cual en ellos predominan cationes divalentes como el calcio y el magnesio, en los suelos inundables, con drenaje deficiente, el sodio permanece en el sistema suelo-agua. En consecuencia, los procesos de salinización van generalmente acompañados de procesos de alcalinización o sodificación. Si bien ambos procesos, salinización y alcalinización, son conocidos en conjunto como los causantes del halomorfismo edáfico, difieren en los efectos que causan. El exceso de sales restringe la disponibilidad de agua para las plantas (menor potencial agua). Esta restricción perdura mientras exista exceso de sales, pero desaparece una vez estas se lavan del suelo. El sodio, en cambio, queda retenido en el complejo de cambio de los suelos (arcillas y humus), y su acción es persistente. El exceso de sodio intercambiable en los suelos desestabiliza y colapsa su sistema de poros, afectando ello fuertemente la movilidad del agua a través del suelo. Las plantas pueden sufrir estrés hídrico, no porque el suelo tenga poca agua, sino porque ésta se mueve muy poco hacia las raíces.

La probabilidad de que una inundación se origine en agua de lluvia o en agua subterránea depende de las características del perfil del suelo, particularmente la presencia (o no) de horizontes Bt nátricos poco permeable que separen los movimientos de las aguas subterránea y superficial. Estos horizontes están presentes tanto en la Pampa Interior (Figura 5.8 b y c), como en la Pampa Deprimida (Figura 5.10), si bien en esta última región su presencia es masiva y continua. En la Pampa Interior, sólo aparece en los horizontes *thapto* de las depresiones intermedanasas. En la Figura 5.13 se esquematizan las dos situaciones, una con el ascenso freático libre, y

la otra con el ascenso confinado por el fondo del horizonte Bt poco permeable, formándose capas de “agua colgante” sobre la parte superior de este horizonte.

En épocas de balance hídrico positivo, en suelos sin horizontes o capas impermeables la capa freática asciende y se aproxima a la superficie. Las sales presentes en el agua se mueven por flujo masal, a veces por difusión, y eventualmente alcanzan la superficie del suelo. El potencial de salinización de este proceso está relacionado por la concentración de sales del agua freática que asciende. Los contenidos de sales son muy variables, no sólo de un lugar a otro, sino entre estaciones del año. La posibilidad de salinización de la superficie del suelo después de estos anegamientos depende entonces de la combinación de dos variables: salinidad y profundidad de la capa freática. El suelo en la Figura 5.9 muestra la típica consecuencia de este proceso de ascenso capilar de sales, en un suelo de la Pampa Interior.

En suelos con horizonte Bt nátrico también es posible el proceso de salinización superficial, pero este no es generado por la llegada directa del agua subterránea, sino por el ascenso capilar de sales depositadas en dicho horizonte, el cual sí tiene contacto directo con el agua subterránea salinizada (Lavado y Taboada, 1987). Este proceso es mostrado por la Figura 5.13, en la cual se muestran las evoluciones de la profundidad y de la salinidad del agua freática durante un período de tiempo. Puede apreciarse allí que durante los meses en que el suelo estuvo inundado (julio a octubre), la profundidad freática no alcanzó la superficie del suelo, sino que llegó sólo hasta 0,5 m. A dicha profundidad, el ascenso freático es controlado por el fondo del horizonte Bt nátrico, hecho que es evidenciado por la presencia de carbonato de calcio precipitado o “tosquilla” (Figura 5.14).

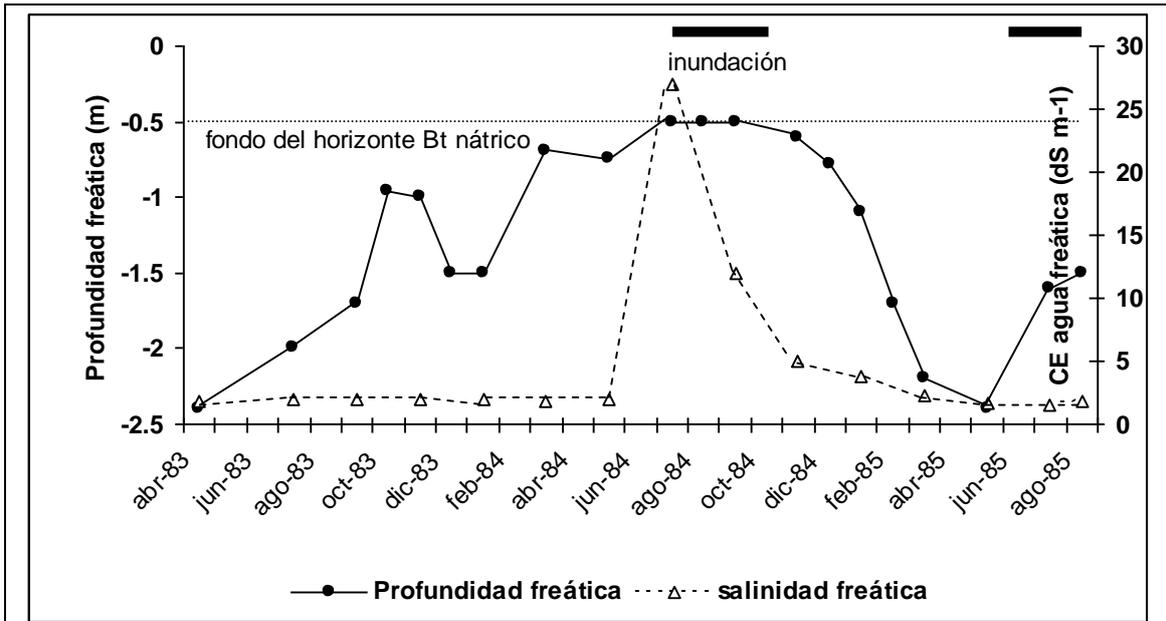


FIGURA 5.13. Variación de la profundidad y salinidad de la freática, y períodos con el suelo inundado. El fondo del horizonte Bt nátrico confina los ascensos de la capa freática, la cual no llega a alcanzar la superficie del suelo (adaptado de Lavado y Taboada 1987)



FIGURA 5.14. Perfil de un suelo del centro de la Pampa Deprimida, mostrando la profundidad a la cual se encuentra el horizonte Bt nátrico (ver cuchillo). Los carbonatos precipitados (“tosquilla”), aparecen en el fondo de dicho horizonte, evidenciando la profundidad a la cual llega el ascenso del agua freática.

La Figura 4.15 muestra la variación de la salinidad del horizonte superficial del suelo (horizonte A), en situaciones no pastoreadas (clausura) y pastoreadas en forma continua. Se diferencian allí los períodos I (previo a los picos salinos); II (durante los picos salinos); y III (luego de los picos salinos).

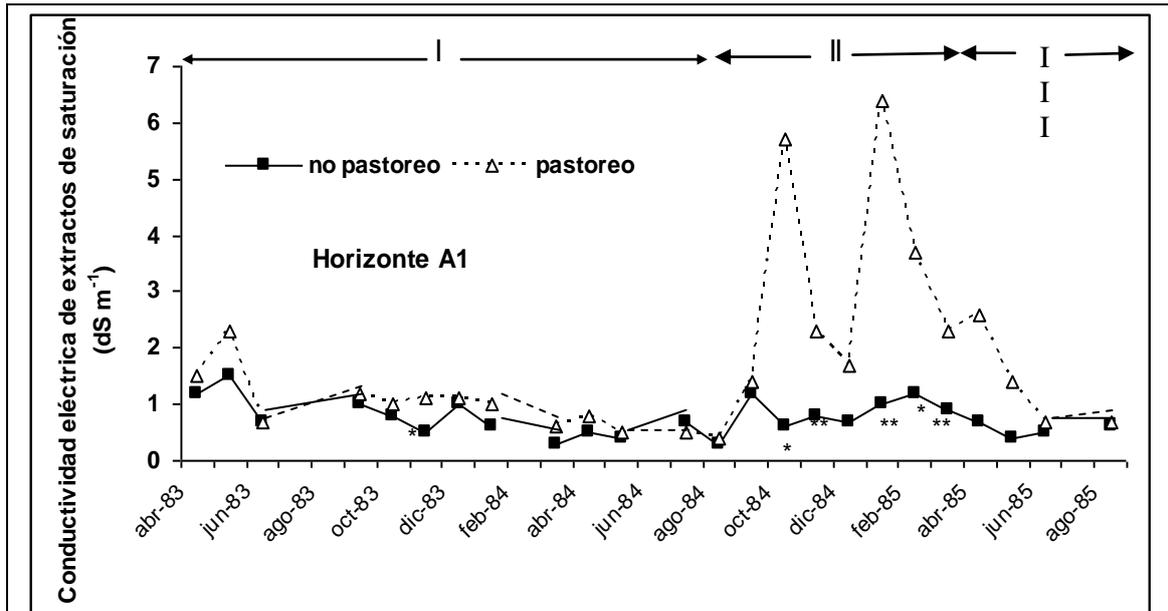


FIGURA 5.15. Salinidad del suelo medida por la conductividad eléctrica de extractos de saturación, en el horizonte A en situaciones no pastoreadas y pastoreadas en forma continua (adaptado de Lavado y Taboada 1987).

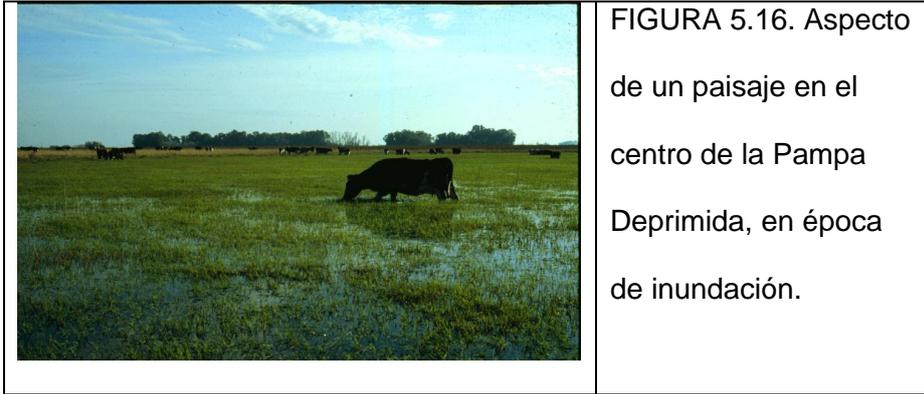
Durante el período I la salinidad fue en general más elevada en la situación pastoreada que en la clausura, si bien los valores de conductividad eléctrica no superaron el límite indicado para clasificar a un suelo como salino (4 dS m<sup>-1</sup>). El período II comienza ni bien finaliza la inundación invierno-primaveral descrita en la Figura 5.13, durante la cual tuvieron lugar picos de salinidad en el agua subterránea confinada al fondo del horizonte Bt nátrico. Durante ese período, que coincidió con los meses estivales con alta demanda atmosférica por vapor de agua, las sales alcanzaron la superficie del suelo causando picos salinos en el horizonte superficial del

suelo pastoreado. Interesante de notar; estos picos no se observaron en el suelo clausurado, el cual está totalmente cubierto de vegetación viva y muerta. En el período III se observa que las lluvias posteriores lavaron rápidamente las sales en profundidad.

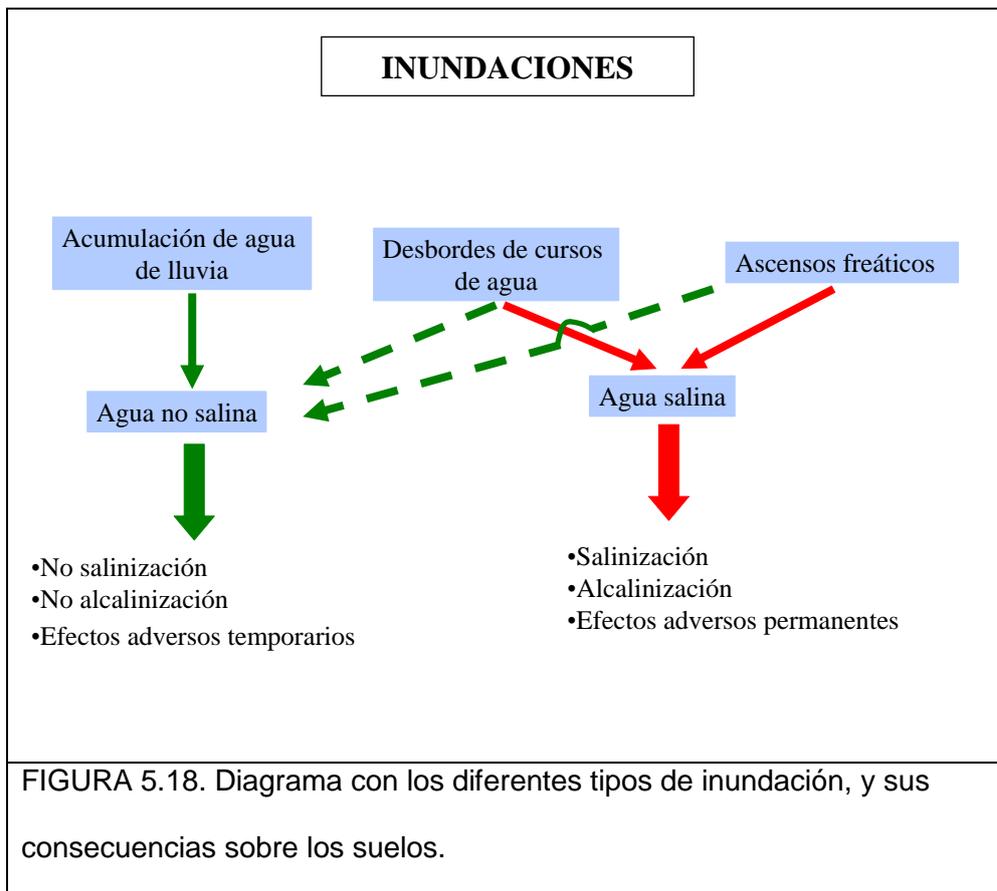
Estos procesos de salinización superficial son favorecidos por las superficies de suelo desnudo generadas por el sobrepastoreo vacuno. Bajo clausura existe una cobertura total del suelo por vegetación herbácea viva y muerta (caída y en pie). Esta capa actúa como un “*mulch*”, que controla las pérdidas de agua desde el suelo por evaporación. Ante la baja demanda atmosférica por evaporación, las sales no son transportadas hacia la superficie y permanecen así en el fondo del perfil.

Durante los meses con inundación (julio a octubre), la capa freática permaneció confinada por el horizonte Bt nátrico, y a su vez con muy elevado contenido de sales (Figura 5.13). No obstante, el horizonte superficial del suelo no mostró altos contenidos de sales en esos momentos (Figura 5.15). La presencia de horizontes Bt poco permeables determina que el ascenso freático no pueda alcanzar la superficie de los suelos, por lo que es confinado por el fondo de estas capas. El agua de lluvia que infiltra y percola unos pocos centímetros de los perfiles del suelo, normalmente no alcanza a disolver grandes cantidades de sales. Se trata generalmente de agua dulce, incapaz de causar salinización de la superficie de los suelos.

En la Figura 5.16 puede apreciarse el aspecto del pastizal de la región en épocas de inundación, sin ninguna evidencia de halormorfismo en superficie. Esta situación de anegamiento por agua de lluvia es la que prevalece en la Pampa Deprimida, y parte de la Pampa Interior Arenosa. En realidad, podría afirmarse que la presencia de horizontes Bt contribuye a evitar que el agua subterránea más cargada en sales alcance la superficie de los suelos, deteriorándolos.



El origen de las aguas que causan las inundaciones se presenta en la Figura 5.18, la cual muestra un diagrama que explica cuándo las inundaciones son causadas por agua no salina, y cuándo por agua salina. Las consecuencias sobre los suelos difieren según qué tipo de inundación suceda.



*Inundaciones con agua no salina.*

La Figura 5.19 muestra la secuencia de efectos probables de un anegamiento con agua no salina, típicamente de origen pluvial. Los efectos son básicamente dos: desarrollo de anaerobiosis y baja capacidad portante del suelo o "falta de piso". Las consecuencias de la anaerobiosis dependen en gran medida de la duración del anegamiento y serán tratados más adelante. La capacidad portante del suelo indica su capacidad para soportar un determinado peso o estrés mecánico, como el generado

por el tránsito de hacienda o maquinaria. Básicamente, los suelos maximizan su capacidad portante cuando están secos (máxima resistencia mecánica) y la minimizan cuando están húmedos (capacidad de campo). Cuando están saturados con agua, o más aún, anegados, los suelos recuperan algo de su capacidad portante. Esta recuperación de la capacidad portante se relaciona con el carácter poco compresible del agua que ocupa la casi totalidad de los poros del suelo. Sin embargo, cabe destacar que esta recuperación de la capacidad portante con el suelo inundado sólo se manifiesta en suelos que no sufrieron remoción mecánica por labranzas en forma reciente, tal como es el caso de los suelos de pastizal o las pasturas antiguas.

En ambos tipos de suelos, no removidos y removidos, los períodos subsiguientes a una inundación, en que los suelos comienzan a secarse, son los más críticos en cuanto a capacidad portante. Es en estos períodos críticos cuando deben regularse las cargas sobre el suelo, para limitar los daños sobre la estructura de los suelos. La Figura 5.20 presenta una fotografía de un lote pastoreado con excesiva humedad edáfica, en el cual se produjo severo daño estructural sobre el suelo. Este daño es conocido como “*poaching*”, y se lo considera el más severo disturbio en pastizales de clima húmedo. En nuestras regiones inundables es frecuente hallar este tipo de daños en explotaciones tamberas, en las cuales es frecuente la implantación de verdeos invernales (avena) los cuales son luego de difícil transitabilidad y bajo aprovechamiento por la hacienda.

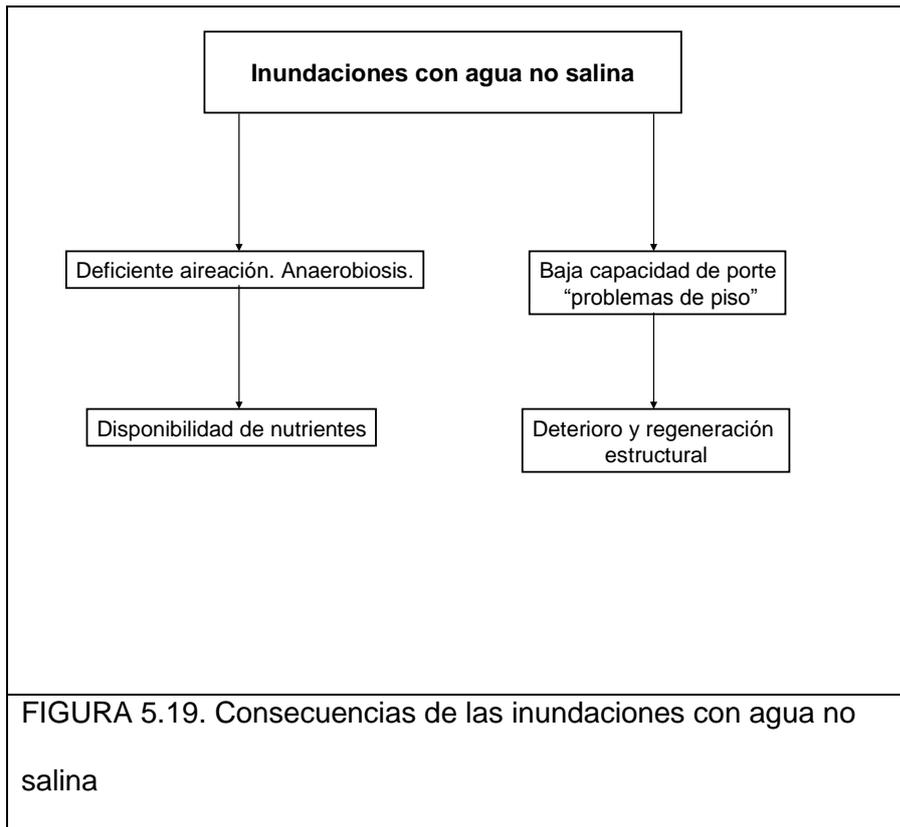
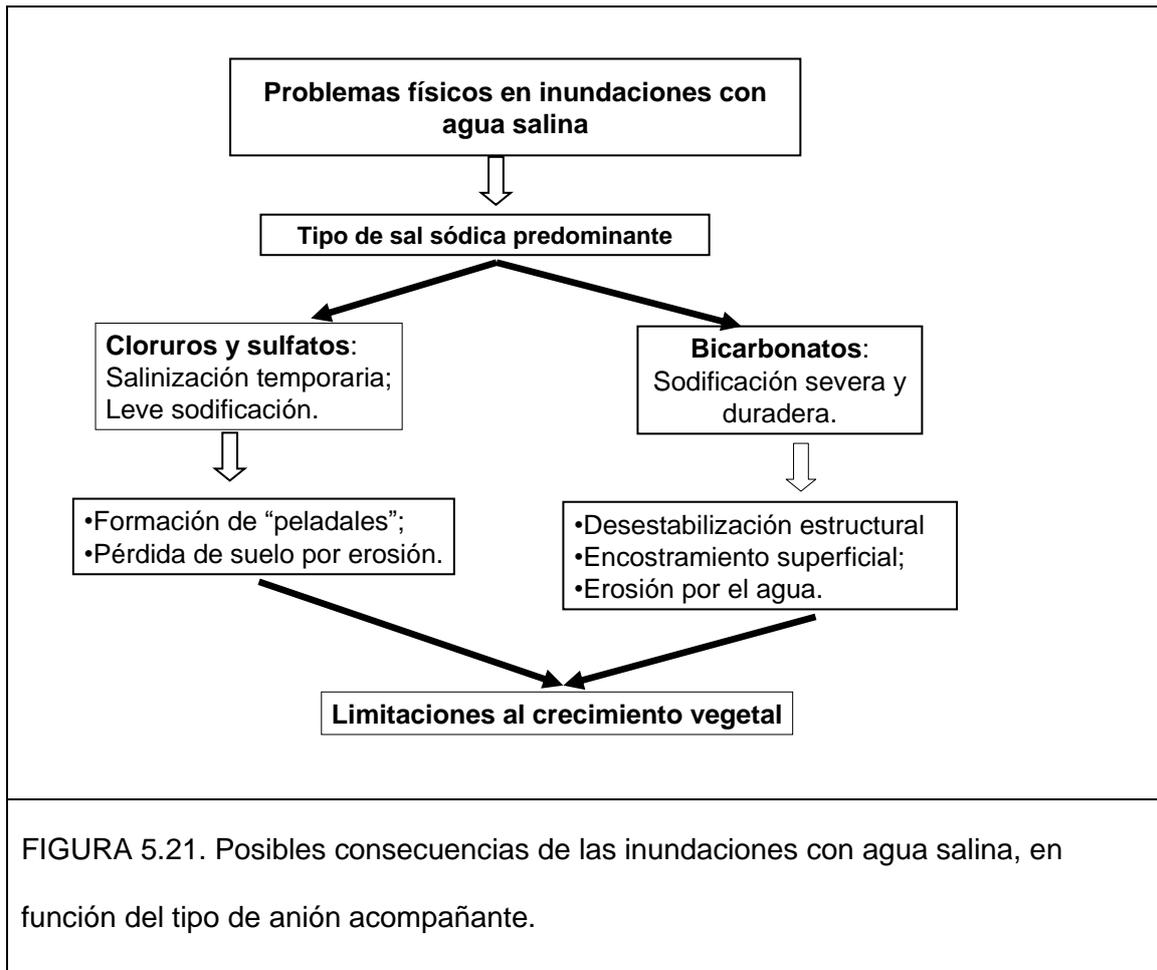




FIGURA 5.20. Aspecto de un suelo afecto por daño estructural por amasado “*poaching*”

*Efecto de las inundaciones con agua salina*

Cuando el agua de inundación es salina (Figura 5.21), sea de origen superficial o profundo, las sales son principalmente sódicas. El impacto sobre el suelo dependerá del anión acompañante del sodio. Cuando el sodio se presenta en forma de cloruros o sulfatos, tienden a mantener estables (floculadas) los coloides del suelo, por lo que no suelen existir problemas de estabilidad en la organización espacial de la fase sólida y el espacio poroso en forma de agregados y terrones. En cambio, los cultivos desarrollados en estos suelos presentan problemas de toxicidad y de falta de agua, derivados de la presencia de sales en solución. El grado de severidad de los daños ocasionados depende, entre otras cosas, de la concentración de sales, por un lado, y de la duración del fenómeno, por el otro.



Cuando los aniones acompañantes del sodio son el carbonato y el bicarbonato, la solución posee reacción alcalina (pH superior a 7). Por ello, a diferencia de la situación presentada precedentemente, la presencia de estas sales en los suelos determina valores de pH elevado. Esas condiciones alcalinas y las características del sodio (ión altamente hidratado) conducen a la inestabilidad o dispersión del complejo coloidal. Esto causa serias consecuencias sobre los suelos: la desestabilización de los agregados, la movilización de partículas y la materia orgánica, y la obturación de los poros. Estos procesos reducen la infiltración y la porosidad y se altera la retención del agua. También disminuye el flujo del agua dentro del suelo que en casos de sodicidad muy elevada llega al extremo de cesar completamente (conductividad hidráulica  $\approx 0$ ). La recuperación de este daño sólo es posible con prácticas muy onerosas y con éxito relativo como la aplicación de yeso (sulfato de calcio).

## Conclusiones e implicancias

- a) Existen razones de índole climática, geomorfológica y de tipo de suelos que contribuyen a la ocurrencia de inundaciones. Se verifica un corrimiento de las isohietas hacia el oeste, y además un cambio en la distribución estacional de las lluvias, particularmente en el sector más occidental de la región pampeana.
- b) Estos cambios en el patrón de precipitaciones han tenido lugar en toda la región pampeana, pero sólo la Pampa Interior Arenosa y la Pampa Deprimida sufren inundaciones recurrentes. Ello se origina en la existencia, en ambas, de un paisaje que impide que el agua sea evacuada naturalmente hacia el mar. La geomorfología favorece el desarrollo de inundaciones estacionales en estas subregiones.
- c) Los diferentes tipos de suelo, y en particular la existencia en ellos de horizontes poco permeables que limitan los movimientos del agua en el perfil, determinan también diferentes tipos de inundación. La presencia de horizontes nátricos es un elemento que lejos de perjudicar a los suelos, finalmente los favorece. Ello es así porque evita que las aguas subterráneas cargadas en sales alcancen la superficie, salinizándola. Donde existen suelos con horizonte nátrico profundo, las inundaciones son causadas por agua de lluvia.
- d) Cuando la inundación es causada por agua salina, existen diferentes consecuencias en función del tipo de sal. Es importante entonces caracterizar la composición del agua inundante, particularmente en cuanto a sus contenidos relativos de cloruros y sulfatos, por un lado, y de bicarbonatos por el otro.
- e) Se concluye, entonces, que en regiones como la Pampa Deprimida, las inundaciones con agua no salina, o de lluvia no generan efectos perjudiciales a

los suelos. Estas inundaciones son un disturbio periódico que opera sobre los suelos y comunidades de pastizal de la región. En cambio, en regiones como la Pampa Interior Arenosa, las inundaciones pueden en algunos suelos ser causadas directamente por agua subterránea, la cual puede tener importantes concentraciones de sales solubles. Dado que en esta subregión hay más cultivos y pasturas implantadas, el impacto de estas inundaciones puede ser perjudicial para la actividad productiva.

## Referencias

- HALL, A. J., REBELLA, C. M., GHERSA, C. M., CULOT, J. PH., 1992. Field-crop systems of the Pampas. p. 413-450. In: C.J. Pearson (Ed.). Ecosystems of the Worlds. Field Crop Ecosystems., Elsevier, Amsterdam.
- INTA, 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Tomo I y II. G.N. Moscatelli (ed.). SAGyP-INTA. Proyecto PNUD Argentina 85/019, Buenos Aires.
- LAVADO R.S., TABOADA M. A., 1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil. Soil Use and Management 3, 143 - 148.
- SALA J. M., GONZÁLEZ N., KRUSE E., 1983. Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. p. 973 – 1009. En: M. C. Fuschini Mejía. Hidrología de las Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavaria. UNESCO, Argentina.