

CAPITULO 3

suelos y geomorfología

RESERVA DE
VIDA SILVESTRE

SAN
PABLO
DE
VALDÉS
10 AÑOS

3



SUELOS Y GEOMORFOLOGÍA

Soils and geomorphology

César M. Rostagno*, Pablo J. Bouza, Lina S. Videla, Claudia L. Saín & Estela G. Cortés

Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC-CENPAT-CONICET). Boulevard Brown 2915, Puerto Madryn (U9120ACD), Chubut, Argentina.

* rostagno@cenpat-conicet.gob.ar

Palabras clave: Degradación de suelos, indicadores de erosión de suelos, pastizales naturales áridos, procesos geomórficos, suelos de zonas áridas.

Key words: soil degradation, soil erosion indicators, arid rangelands, geomorphic processes, arid land soils.

Resumen. Los suelos de la Reserva de Vida Silvestre San Pablo de Valdés (RSPV) presentan una serie de características propias de los suelos de los ambientes áridos. En estos ambientes el desarrollo de los suelos está limitado por la escasez de agua. La formación del suelo comienza cuando una superficie geomórfica alcanza una cierta estabilidad y la tasa de los procesos de erosión o acumulación de sedimentos son menores que los procesos pedogenéticos. El agua y la actividad de los organismos, principalmente las plantas, modifican los primeros centímetros de los materiales parentales por medio de una serie de procesos que favorecen la diferenciación de horizontes y el desarrollo de un perfil de suelo por medio de la incorporación y la translocación de materiales y las distintas transformaciones que ocurren en el suelo. La RSPV,

ubicada en el sector sudoeste de Península Valdés, exhibe una gran variedad de suelos, debido en parte a su heterogeneidad geomórfica y a la influencia de los continuos aportes de materiales de origen eólico provenientes de la costa del Golfo Nuevo. En este capítulo analizamos los principales factores y procesos de formación de los suelos de la RSPV, sus características dominantes y por último describimos los procesos de degradación y los indicadores de erosión de suelos más conspicuos.

Abstract. Soils from the Reserva de Vida Silvestre San Pablo de Valdés (RSPV) present characteristics typical of those from arid environments, where the development of soils is strongly controlled by water shortages. Water and the activity of organisms, mainly plants, modify the first few centimeters of the parent materials through a series of processes that favor the differentiation of horizons and the development of a soil profile through the incorporation and translocation of materials and some transformations that occur within the soil. Soil formation begins when a geomorphic surface reaches certain stability and the rate of erosion or sediment accumulation is smaller than the pedogenetic processes. The RSPV, located in the southwest of Península Valdés, exhibits a wide variety of soils, due in part to its geomorphic heterogeneity and to the influence of the constant contributions of windblown materials from the coasts of Golfo Nuevo. In this chapter, we examine the main factors and processes of soil formation in the RSPV, its key features, and finally we describe the most conspicuous degradation processes and indicators of soil erosion.

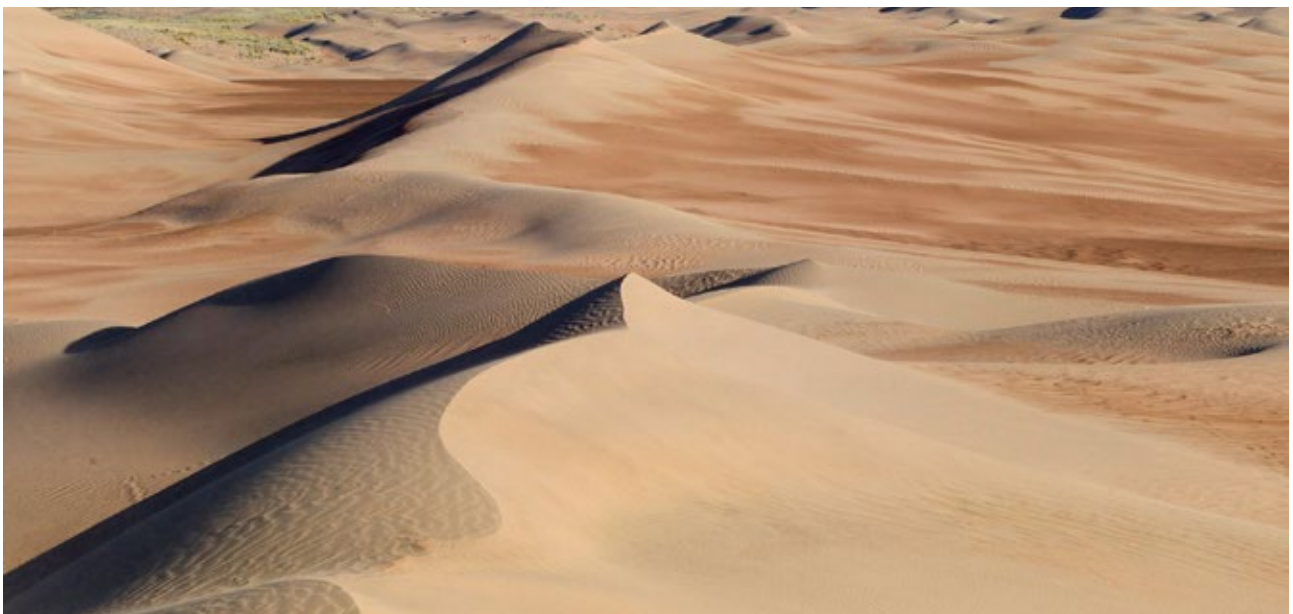
SUELOS Y GEOMORFOLOGÍA

FACTORES DE FORMACIÓN DE LOS SUELOS

La formación de suelos (*pedogénesis*) puede conceptualizarse como el producto de la acción conjunta de una serie de factores como el clima, los organismos – principalmente la vegetación– y el relieve sobre los materiales parentales a lo largo de un tiempo determinado. Dokuchaev (1879) fue uno de los primeros en identificar y discutir los factores de formación de los suelos e introducir la idea que el suelo no es un sistema inerte y estable, sino que se forma y desarrolla principalmente bajo la influencia del clima y la vegetación. Posteriormente, Jenny (1941) redefiniría el significado de los factores pedogenéticos considerando a los mismos como variables independientes, de-

terminantes de las propiedades de los suelos. La interacción de estos factores resulta en una serie de procesos de formación de los suelos cuya incidencia en el desarrollo del perfil dependerá de las características más relevantes de cada factor. Simonson (1959) sugirió que en la formación del suelo podían identificarse dos etapas: 1) la acumulación de los materiales parentales y 2) la diferenciación de horizontes en el perfil como resultado de procesos tales como la incorporación, la remoción y la translocación de materiales y las distintas transformaciones que ocurren en el suelo.

La formación del suelo comienza cuando una superficie geomórfica alcanza una cierta estabilidad y la tasa de los procesos de erosión o acumulación son menores que los procesos pedogenéticos. Erhart (1967) desarrolló el concepto de *biostasia* para referirse a situaciones en las que la tasa de formación del suelo es superior a los procesos de





erosión o *rexiestasia*. La influencia de la vegetación en el control de la erosión, en su doble rol de factor de formación del suelo -principalmente por el agregado de materia orgánica- y de protección, es central en el concepto de biostasia.

Clima

En la Reserva de Vida Silvestre San Pablo de Valdés (RSPV), como en toda la estepa patagónica de la que forma parte, el clima árido y ventoso ha dejado una fuerte impronta, tanto en el grado de desarrollo de los suelos, como en el proceso geomórfico dominante: la erosión y depositación eólica y en menor grado, la erosión hídrica. El clima también manifiesta de manera indirecta su influencia en la formación de suelos al afectar fuertemente el desarrollo de la vegetación. En la clasificación de suelos, el factor climático se toma en cuenta en la definición de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos (Soil Survey Staff 1999), que son utilizados como características diagnósticas a distintos niveles. El régimen de humedad del suelo (RHS) hace referencia a su estado de humedad por debajo de los 1,5 MegaPascales (límite del agua disponible para las plantas mesofíticas) durante ciertos períodos del año.

Para facilitar el cálculo del RHS a partir de datos climáticos (cantidad y distribución de las precipitaciones a lo largo del año) se determina la sección de control de humedad de cada suelo (SCH). Si bien son varios los factores que determinan la SCH, la textura es el de mayor influencia. La textura dominante de los suelos de la RSPV es arenosa a areno-franca, la cual determina una SCH entre los 25 y 75 cm. Tomando en cuenta los datos de precipitaciones disponibles para el área de la Península Valdés (PV; véase Frumento, este libro), el RHS correspondería a un régimen arídico (es decir, SCH por debajo del punto de marchitez permanente durante más de 90 días consecutivos cuando la temperatura a 50 cm de profundidad es mayor a 8 °C). Según la cantidad y distribución de las precipitaciones en años específicos, el RHS podría ser arídico-xérico (predominio de lluvias invernales) o arídico ústico, en años cuando ocurren abundantes lluvias durante el semestre cálido. Por otra parte, en la RSPV como en el resto de la PV, los suelos presentan un régimen de temperatura méxico (temperatura media anual a 50 cm de profundidad entre 8 y 15 °C). Estas características explicarían en parte la coexistencia de plantas típicas de la Provincia Fitogeográfica del Monte y de la Provincia Fitogeográfica Patagónica y el carácter ecotonal de la PV (León et al. 1998).



REFERENCIAS

- Nivel de terraza de los Rodados Patagónicos: Complejo Natrargids-Haplocalcids xéricos
- Piedemonte en cuenca cerrada: Natrargids, Calciargids y Haplocalcids xéricos (pedimentos), Torriorthents xéricos (bajadas aluviales)
- Piedemonte costero: Torriorthents xéricos
- Mantos eólicos estabilizados (*Sporobolus rigens*): Haplocalcids xéricos, Haplargids arénicos, Torripsamments xéricos
- Mantos eólicos estabilizados (*Chiquiraga hystrix*, *Ch. avellanae* y *Acantholippia seriphioides*): Haplocalcids xéricos, Haplargids arénicos, Torripsamments xéricos
- Mantos eólicos estabilizados (Estepa herbácea-arbustiva de *Sporobolus rigens*, *Nassella tenuis* y *Piptochaetium napostaense*): Torripsamments xéricos, Haplargids arénicos
- Médanos estabilizados (*Hyalis argentea*): Torripsamments xéricos
- Playas arenosas
- Plataforma de abrasión de ola (restinga) y acantilados activos (afloramientos de la Formación Puerto Madryn, Mioceno medio), Aquisalids cálcicos (*salinas*) y Torripsamments típicos (*lunnete*)

Figura 1. Mapa de suelos y geomorfología de la Reserva de Vida Silvestre San Pablo de Valdés. Los puntos indican los sitios de realización de las calicatas.

Relieve y materiales parentales

La RSPV, ubicada en el sector sudoeste de PV, exhibe una gran variedad de suelos, debido en parte a su heterogeneidad geomórfica y a la influencia de los aportes de materiales de origen eólico provenientes de la costa del Golfo Nuevo (Fig. 1). La RSPV ocupa parte de las unidades de meseta, cuencas cerradas y piedemonte costero (bajada aluvial de piedemonte). Cada una de estas unidades de paisaje está en parte cubierta por médanos fijos o mantos de arena de espesor variable.

Los principales materiales originarios de los suelos de la RSPV son los sedimentos marinos miocenos de la Formación Puerto Madryn (Dozo et al., este libro), los depósitos fluviales de gravas y arenas plio-pleistocenos de los Rodados Patagónicos y los depósitos holocenos de origen coluvial-aluvial y eólicos (Haller et al. 2001). Los sedimentos eólicos recientes cubren los suelos originales, no sólo modificando en parte sus características morfológicas, sino también dando lugar a nuevos suelos

cuyas características principales están relacionadas a la textura arenosa de estos sedimentos (Rostagno 1981).

Vegetación

La vegetación de la RSPV muestra un marcado xerofitismo en respuesta a las bajas precipitaciones y a su alta variabilidad (véase Frumento, este libro) y presenta importantes variaciones locales según las características de los materiales originarios que determinan el predominio de las distintas bioformas (grupos funcionales; véase Pazos et al., este libro). La vegetación cumple una función primordial en la pedogénesis al retener los materiales parentales y permitir el desarrollo del suelo. En la RSPV, donde la erosión eólica es muy activa, esta función de la vegetación cobra una especial importancia, no sólo por reducir la velocidad del viento o proteger al suelo del impacto de las gotas de lluvia, sino además por el aporte de mantillo que, junto a la vegetación, regula el régimen térmico de

Cuadro 1. Conductoras y pasajeras: el rol de los pastos perennes (flechilla) y de los arbustos (quilembay) en la conservación de los suelos

La hipótesis que sostiene que las especies de una comunidad pueden dividirse en *conductoras* y *pasajeras* propone que las conductoras estructurarían los ecosistemas y las pasajeras tendrían un rol ecológico menor (Walker 1992). Los roles del quilembay y de la flechilla en la conservación del suelo y del agua en dos estados estables de sitios ecológicos con suelos Haplargids xéricos contrastan marcadamente (Ocariz et al. 2004). En los parches más conservados, la flechilla es la especie dominante, con alta cobertura y densidad de individuos de escasa biomasa aérea y abundantes raíces en los primeros 5 cm. En estos parches, el horizonte A tiene una alta macroporosidad (>30%), agregados estables y una elevada tasa infiltración (>100 mm/h). Esta especie cumpliría el rol de conductora, manteniendo las propiedades hidrológicas del suelo y su conservación y, por extensión, la estructura y funcionamiento de estos parches. El quilembay y otras especies acompañantes actuarían como pasajeras.

En los parches erosionados, el horizonte A ha sido en gran parte removido y el suelo superficial presenta una baja macroporosidad (<20%), estructura muy poco estable y una baja tasa de infiltración (<20 mm/h). En estos parches, la estepa se estructura a partir del quilembay; su rol como especie conductora proviene de su capacidad para retener los sedimentos eólicos y generar *islas de fertilidad* (Cuadro 3) donde se conservan las herbáceas perennes pasajeras, en una matriz de suelo erosionado.

los suelos y favorece la conservación de la humedad (Cuadro 1). Las raíces de las plantas favorecen el desarrollo de agregados y la meteorización química de los minerales mediante la liberación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono. La fijación de carbono por las plantas constituye el paso inicial en la formación de la materia orgánica de los suelos. La incorporación de materia orgánica favorece el desarrollo y mantenimiento de la comunidad de organismos del suelo.

Entre los organismos que tienen una función destacada en la formación de los suelos de la RSPV, debemos mencionar los mamíferos excavadores, principalmente tuco-tucos (*Ctenomys* sp.), peludos (*ChaetophRACTUS villosus*) y piches (*Zaedyus pichiy*; véase D'Agostino et al., este libro). Estos excavadores llevan a la superficie material de los horizontes subsuperficiales produciendo la recarbonatación de los horizontes superficiales (Boqué 2006). De esta manera, producen el efecto inverso al de la percolación del agua a través del perfil del suelo en cuanto al lavado de sales solubles, principalmente carbonatos. Otro efecto destacable de la excavación es el aporte de fragmentos grue-

sos y el cambio textural de los horizontes superficiales del suelo. La formación de una cubierta de gravas continua, o *pavimentos de desierto*, en muchos suelos de la RSPV se explica en parte por la erosión, tanto hídrica como eólica, que produce una concentración de estos fragmentos en superficie, como por el proceso de excavación de la fauna (Rostagno et al. 2010).

PROCESOS PEDOGENÉTICOS: GRADO DE DESARROLLO EDÁFICO

El suelo puede definirse como un cuerpo natural que se desarrolla en la superficie de la tierra, resultado de la acción de una serie de procesos que actúan sobre los materiales geológicos, condicionados por el resto de los factores. El desarrollo de un perfil determinado es el resultado de la incidencia de procesos bióticos y abióticos (acumulación de materia orgánica, desarrollo de biodiversidad edáfica, translocación de materiales en el perfil, transformaciones químicas y biológicas y estructuración del suelo). Si bien cada uno de estos procesos es activo en cierto grado en todos los suelos, es el balance entre ellos lo que determina la naturaleza de los distintos perfiles de suelo. Por último, la acción e interacción de los procesos de formación del suelo influidos por los diversos factores, da lugar a la formación de los distintos horizontes genéticos que caracterizan un suelo determinado.

En los suelos de la RSPV la continua incorporación de sedimentos eólicos a suelos preexistentes ha sido uno de los procesos más significativos en la diferenciación edáfica. La translocación, eluviación e iluviación de coloides, el lavado de sales como carbonatos y sulfatos, una ligera meteorización de minerales primarios, la liberación de óxidos y la acumulación de materia orgánica, son los principales procesos que han favorecido la génesis de los horizontes más conspicuos de estos suelos.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS

El suelo es un sistema en el que se pueden identificar las tres fases en las que se encuentra normalmente la materia en la naturaleza: fases sólida, líquida y gaseosa. Estas fases varían espacialmente y temporalmente según la cantidad y distribución de las precipitaciones y la activi-

Cuadro 2. Plantas con raíces expuestas

Las plantas con raíces expuestas son un indicador de erosión reciente (Fig. 2). Las pérdidas de suelo dejan al descubierto las raíces de las plantas. Aquellas plantas que pueden sobrevivir con sus raíces superiores expuestas, entre las que se encuentran distintas especies de arbustos, y que son pasibles de un análisis dendrocronológico (forman anillos de crecimiento), pueden emplearse como indicadores de la severidad e intensidad (tasa) de erosión de suelos. La dendrogeomorfología es un área de la geomorfología que emplea el análisis dendrocronológico como método para determinar desde la tasa reciente de erosión de los suelos (períodos menores a 25 años) hasta la tasa de erosión a lo largo de siglos.

Específicamente, la distancia vertical entre la parte superior de la raíz expuesta y la superficie del suelo representa la lámina de suelo erosionada desde el establecimiento del individuo bajo análisis; la determinación de la edad del individuo permite evaluar el tiempo transcurrido desde que comenzó el proceso de erosión (erosión acelerada) así como la determinación de una cronología de eventos geomorfológicos específicos (grandes lluvias y fuertes eventos de erosión o la incidencia de años secos en la tasa de erosión; Chartier et al. 2009). En varios sitios dentro de la RSPV pueden encontrarse plantas con raíces expuestas, principalmente individuos de quilembay (*Chuquiraga avellanadae*), un arbusto longevo presente en gran parte de la reserva (Pazos et al., este libro). En la Figura 2 se muestran tres posibles modelos de la dinámica de la erosión de suelos que podrían determinarse a partir del análisis dendrocronológico de las raíces expuestas de esta especie.

dad biológica, dando lugar a los distintos suelos y dentro de cada suelo, a los distintos horizontes (Chapin III et al. 2002). La fase sólida, que representa la matriz del suelo, está compuesta por las fracciones minerales y orgánicas y ocupa aproximadamente la mitad del volumen; las fases líquidas y gaseosas pueden variar de cerca del 0 al 50% del volumen (Hillel 1982), según el suelo esté totalmente seco o totalmente saturado. La matriz sólida del suelo incluye partículas que varían en su composición química y mineralógica, al igual que en tamaño y forma. Si bien predominan partículas con estructuras cristalinas, también se encuentran sustancias amorfas de tamaño coloidal, principalmente formando parte de la materia orgánica (humus). El humus constituye una de las principales sustancias aglutinantes de las partículas minerales; junto a otras sustancias liberadas por las raíces, promueve la formación de los agregados del suelo y favorece su estabilidad.

El suelo provee de agua y nutrientes a las plantas y microorganismos y constituye el soporte físico en el que se anclan las plantas terrestres y el medio donde habitan gran parte de los organismos descomponedores. Las características físicas y químicas del suelo determinan en gran medida el tipo de vegetación, que a su vez influye en los procesos edáficos y geomórficos. En estos ambientes, los suelos de textura gruesa, arenosa, predominantes en gran parte de la RSPV, han sido considerados suelos relativamente más productivos dado su balance hídrico favorable (Noy-Meir 1973). La disponibilidad de agua, estre-

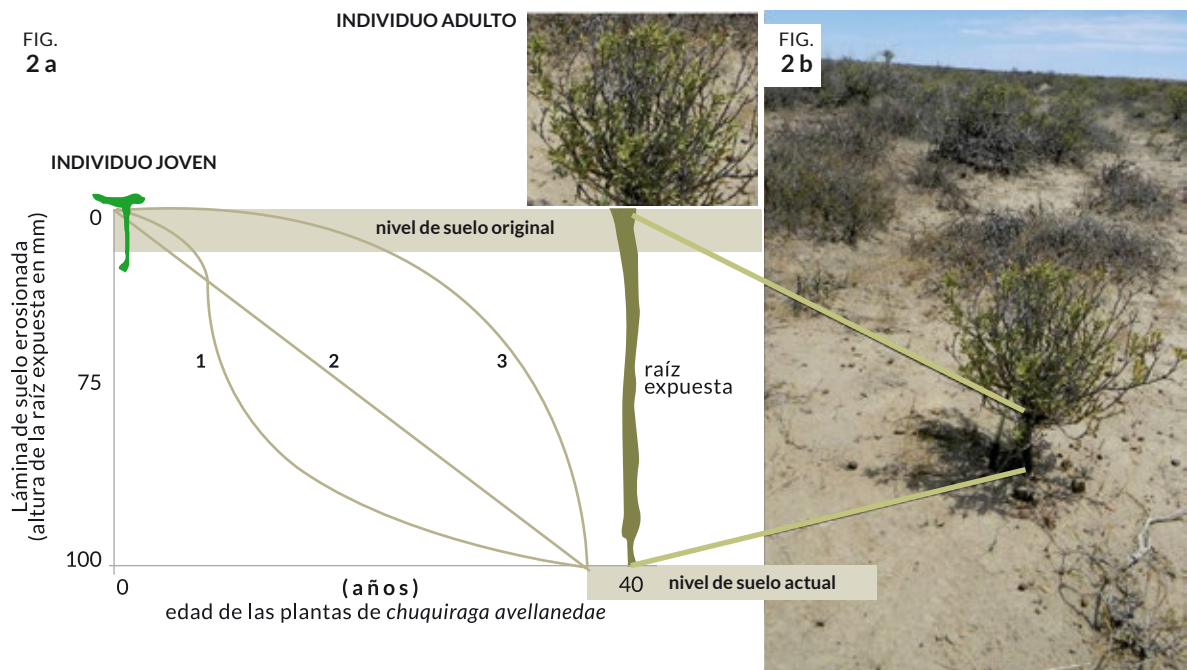


Figura 2. Plantas con raíces expuestas. a) Modelos alternativos de la dinámica de la erosión en parches erosionados donde se encuentran individuos de quilembay con raíces expuestas (1: logístico; 2: lineal y 3: logarítmico). b) Parche erosionado donde puede apreciarse un individuo de quilembay con su raíz expuesta. La lapicera, al costado de la planta, da una idea de la escala vertical.

chamente relacionada a la textura del suelo, determina en parte la productividad de la vegetación. Si bien estos suelos tienen una menor capacidad de retención y almacenamiento de agua y generalmente menores contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo que los suelos de textura más fina, su alta capacidad de infiltración favorece la incorporación y distribución profunda del agua en el perfil.

Los suelos de la RSPV se caracterizan por el desarrollo de horizontes superficiales de colores claros debido a los bajos contenidos de materia orgánica. Esto, sumado al bajo contenido de coloides inorgánicos, explican el escaso desarrollo de estructura de estos horizontes, su baja capacidad de retención de agua y su alta erosionabilidad. En el caso de los suelos con texturas contrastantes, horizontes A de textura gruesa, con altas tasas de infiltración, sobre horizontes Bt o Bw de textura media a fina, con una elevada capacidad de almacenamiento de humedad, se favorece la retención del agua en la zona de mayor densidad de raíces. Por el contrario, la pérdida de los horizontes superficiales por erosión deja en superficie los horizontes arcillosos (Cuadro 2), de muy baja capacidad de infiltración, sobre los que se desarrolla una costra superficial. En estos casos, las pérdidas de agua por escurrimiento son elevadas y constituyen sitios poco aptos para la instalación de los pastos perennes (Cuadro 3).

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA RSPV

Los suelos de la RSPV fueron clasificados siguiendo la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de EEUU (Soil Survey Staff 1999). Este sistema de clasificación de suelos consiste en 6 categorías, siendo el Orden la de nivel superior. La clasificación está basada en las propiedades o características del suelo tal como se observan en el campo (o pueden inferirse a partir de esas observaciones) y a partir de determinaciones de laboratorio. Los horizontes con características específicas indicadoras de ciertas clases de suelo se denominan *horizontes diagnósticos*. Los horizontes diagnósticos que ocurren en la superficie se denominan *epipedones* y los que ocurren debajo de la superficie, horizontes diagnóstico subsuperficiales o *endopedones*.

De los 12 Órdenes de suelo definidos en la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff 1999), los *Entisoles* y *Aridisoles* son los que dominan en las regiones áridas. Las diferencias entre órdenes reflejan el proceso de formación dominante y el grado de desarrollo del suelo. Los Subórdenes representan la categoría en la que se dividen los Órdenes en base a aquellas propiedades que tienen influencia en la

génesis del suelo y son importantes en la determinación del crecimiento de las plantas o reflejan la variable más importante dentro del Orden. Cada Suborden se divide en Grandes Grupos según el tipo y grado de desarrollo de horizontes pedogenéticos y régimen de humedad y temperatura, entre otros.

Cuadro 3. Erosión de suelos, formación de montículos asociados a arbustos y desarrollo de pavimentos de desierto

Los montículos asociados a arbustos son rasgos sobresalientes del relieve de muchas estepas arbustivas y arbustivo-herbáceas de la Patagonia (Rostagno & del Valle 1988). Generalmente alcanzan de unos pocos centímetros hasta cerca de 1 m de altura y diámetros que pueden variar de menos de medio metro a más de 8 m. En la literatura internacional se les da el nombre de *nebkha* o *rebdou* (Tricart & Cailleux 1969). El término *coppice dune* hace referencia al área de acumulación de sedimentos y mantillo debajo de los arbustos. En el largo plazo, junto al desarrollo de los montículos se generan dos ambientes contrastantes: en el sistema arbusto-montículo prevalecen los factores de formación de suelos mientras que en los espacios entre montículos dominan los procesos de erosión. En los montículos prevalece la infiltración del agua de lluvia dada la elevada macroporosidad de los suelos arenosos y con abundante mantillo, mientras que en los espacios entre montículos el escurrimiento es el principal destino del agua de lluvia. Con el tiempo, los montículos asociados a arbustos devienen en *islas de fertilidad* (Rostagno et al. 1991; Fig. 3). Estas islas de fertilidad pueden transformarse en islas de diversidad en la medida que los arbustos favorecen la instalación de herbáceas. Este proceso de iniciación y establecimiento del sistema arbusto-montículo sería un ejemplo de lo que Noy-Meir (1980) describe como *sucesión autogénica* en ambientes áridos. En contraste con los montículos que conforman parches donde predominan los factores y procesos bióticos, en los espacios entre arbustos predominan los factores y procesos abióticos. La deflación y erosión hídrica laminar, por salpicado y escurrimiento, dan lugar a la formación de pavimentos de desierto (Rostagno & Degorgue 2011), generalmente asociados al desarrollo de costras superficiales (Bouza et al. 1993; Bouza & del Valle 1998). Estas costras, formadas en muchos casos sobre horizontes subsuperficiales exhumados por erosión, presentan una muy baja tasa de infiltración y explican la mayor aridez de los suelos de esos parches que se traduce en una baja cobertura vegetal. Un análisis de la relación entre el desarrollo de la vegetación y la erosión realizado por Thornes (1985) hace referencia a la competencia entre ambos procesos. A medida que se empobrece el régimen de humedad de los suelos de los espacios entre arbustos, la erosión tiende a aumentar y viceversa. Los montículos / islas de fertilidad desarrollados bajo los arbustos y los espacios de suelo desnudo entre los arbustos, donde prevalece la erosión, ilustrarían las dos posibilidades descritas por el modelo de Thornes (Fig. 3).

FIG.
3 a

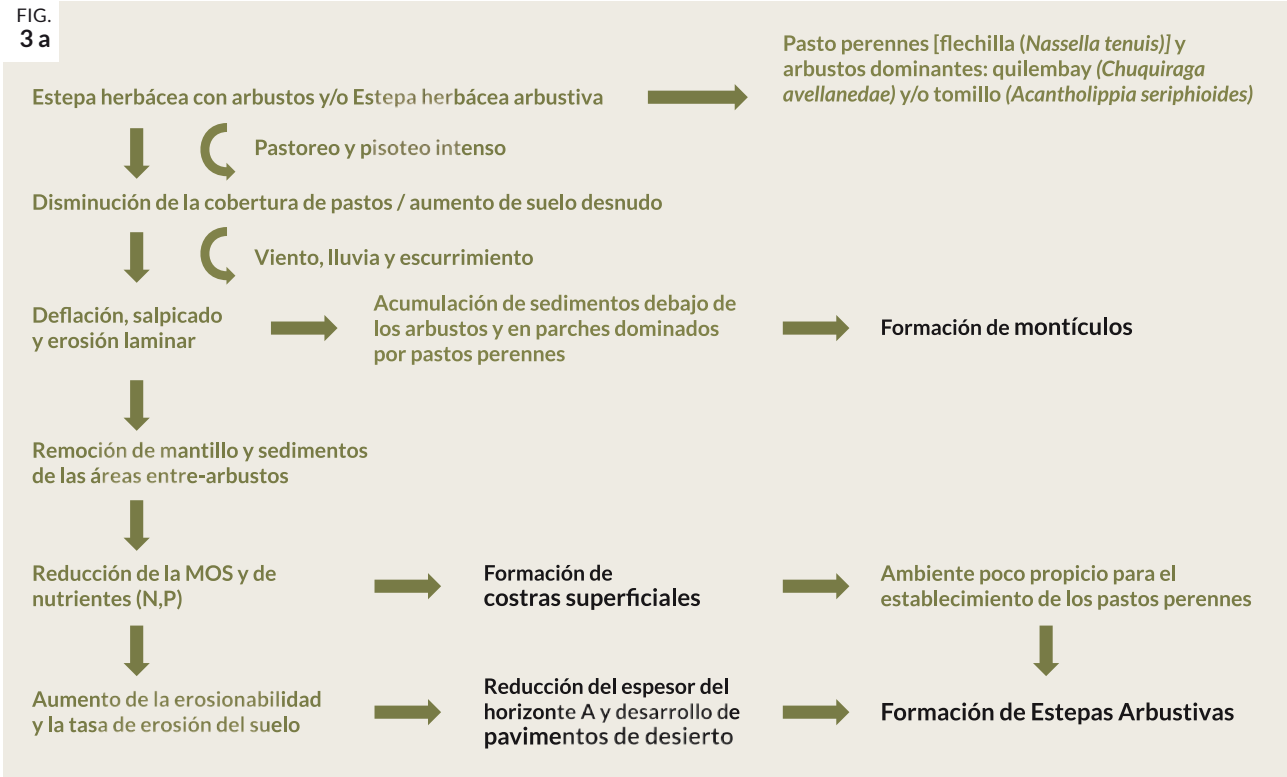


FIG.
3 b



FIG.
3 c



FIG.
3 d



Figura 3. Erosión de suelos, formación de montículos asociados a arbustos y desarrollo de pavimentos de desierto: a) esquema idealizado de la degradación de la superficie edáfica; b) pavimento de desierto (derecha) y montículo de suelo con arbusto asociado (línea blanca); c) acumulación de sedimentos al resguardo de arbustos; d) estepa herbácea-arbustiva.

Los Entisoles son los suelos con menor desarrollo del perfil, tanto por el escaso tiempo de exposición de los materiales originales a los factores de formación activos (suelos jóvenes), clima y organismos, como por la elevada resistencia de los materiales originarios a los procesos de meteorización y formación de partículas finas. Los Entisoles dominan amplias extensiones de las zonas áridas. El horizonte diagnóstico que los caracteriza, excepto en sedimentos depositados recientemente, sin cobertura vegetal (por ej., médanos activos), es el *epipedón ócrico*, horizonte superior de colores claros y con escaso desarrollo de estructura. En la RSPV, dominan los Torriorthents y los Torripsamments; en los primeros, los materiales originarios han sido muy poco alterados y los signos de edafización son algunos cambios en la estructura sedimentaria y en su color. Los afloramientos de los sedimentos terciarios (Formación Puerto Madryn), escasamente afectados por los procesos de formación de los suelos, son ejemplos de este gran grupo. En los Torripsamments, la principal característica es su textura gruesa, areno-franca o arenosa, con contenidos de fragmentos gruesos (por ej., gravas) inferior al 35% (volumen). Los médanos de PV son ejemplos típicos de este gran grupo.

Los Aridisoles son suelos que se caracterizan por presentar un régimen de humedad arídico (o tórrico), un epipedón ócrico o antrópico, características que comparten con los Torriorthents y Torripsamments, y alguno de los siguientes horizontes diagnósticos subsuperficiales: cámbico (de meteorización), argílico (de iluviación de arcillas), nátrico (argílico con enriquecimiento en sodio intercambiable), cálcico (de acumulación de carbonatos pedogenéticos), gypico (de acumulación de yeso pedogenético), petrocálcico (cálcico cementado de consistencia extremadamente dura), petrogypico (gypico cementado de consistencia extremadamente dura), sálico (enriquecido en sales solubles) o un duripán (enriquecido en sílice) dentro de los 100 cm de profundidad del suelo. Cada uno de estos horizontes define los distintos subórdenes de los Aridisoles.

El Suborden de los *Argids* representa a los suelos con un horizonte argílico y son los suelos de mayor desarrollo pedogenético de la RSPV. Son suelos de textura contrastante que se pueden formar a partir de la combinación de una serie de procesos, principalmente por la eluviación de partículas finas por el agua de percolación y su acumulación en profundidad (iluviación), dando lugar al desarrollo de horizontes argílicos. Según Phillips (2004), estos suelos también se pueden formar por otros procesos, tales como la remoción diferencial de partículas finas del horizonte superior, proceso que puede ser acelerado por efectos de la *bioturbación*. Este proceso describe esencialmente la acción de los animales excavadores y cómo la estruc-

tura y la textura del suelo son modificadas mediante el desprendimiento, transporte, clasificación y deposición de los materiales del suelo, tanto dentro del suelo como en superficie (Paton et al. 1995). Los grandes grupos dominantes dentro de los *Argids* son los Haplargids (Aridisoles que presentan solamente horizonte argílico), los Natrargids (Aridisoles con un horizonte nátrico dentro de los 100 cm de profundidad) y los Calciargids (Argids con horizonte cálcico). La presencia de horizontes argílicos, con o sin horizontes cálcicos, representa la mayor manifestación de los procesos de génesis de los suelos del área.

Los *Calcids* (Aridisoles con horizonte cálcico o petrocálcico dentro de los 100 cm de profundidad) y los *Cambids* (Aridisoles que presentan un horizonte cámbico a una profundidad menor de 100 cm) son los otros dos Subórdenes presentes en la RSPV.

DESCRIPCIÓN DE PERFILES TÍPICOS DE SUELOS DE LA RSPV

Los perfiles que se describen a continuación representan una muestra de los suelos dominantes en la RSPV.

Haplocalcids xéricos (Fig. 4)

Dominan en los pedimentos de flanco de las cuencas cerradas y se han formado a partir de sedimento eólicos depositados sobre los horizontes cálcicos de suelos preexistentes, que fueron truncados por procesos de erosión. Coexisten con estos suelos los Calciargids y Haplargids, los que además del horizonte cálcico del suelo original, conservan el horizonte argílico. El epipedón ócrico de estos suelos, que incluye un horizonte A muy somero de menos de 10 cm, es de menor espesor que el del Haplocalcid, que generalmente supera los 40 cm. A partir de estos suelos, Calciargids y Haplargids, se forman los parches de pavimento de desierto en los espacios entre arbustos por remoción del horizonte A (Cuadro 3). La presencia de gravas y gravilla en el horizonte A de estos suelos, así como en los horizontes A y C de los Haplocalcids, se puede deber a: 1) un proceso de acumulación por transporte hídrico sobre el pedimento en concordancia con el retroceso por erosión de la parte alta del pedimento. Los fragmentos gruesos provendrían de la incorporación de gravas de la capa de rodados que corona los niveles de terrazas más elevados o de los sedimentos terciarios sobre el que se labraron los pedimentos; 2) la actividad de mamíferos excavadores durante el proceso de construcción de sus madrigueras, al extraer fragmentos

FIG. 4



A. 0-5 cm. Areno franco, Pardo (s) 10YR 5/4 a Pardo oscuro (h) 10YR 3/3; laminar gruesa débil; ligeramente dura; gravas medianas 5% vol.; raíces finas y muy finas frecuentes; ligeramente ácido (Ph 6,4); 0,75% MO; abrupto y ondulado

C1. 5-27 cm. Arenos franco, Pardo (s) 10YR 4/3 a Pardo oscuro (h) 10YR 3/3; sin estructura; masivo; rompe en bloque subangulares medianos y gruesos, débil; ligeramente dura; gravas medianas 5 % vol.; raíces finas y muy finas frecuentes en krotovinas; neutro (pH 6,9); 0,74 % MO; gradual y ondulado

C2. 27-40 cm. Areno franco. Pardo amarillento claro (s) 10YR 6/4 a Pardo amarillento oscuro (h) 10YR 4/4 sin estructura, granos simple, consistencia blanda (grano suelto), gravas < 5 % vol.; raíces finas y muy finas comunes, neutro (pH 6,9); 0,69 % MO; límite abrupto y ondulado

2Bkb. > 40 cm. Franco arenoso. Blanco (s) 10YR 8/2 a Pardo muy pálido (h) 10YR 8/4; bloques subangulares medianos moderados; revestimientos de arcillas?; nódulos calcíticos; fuertemente alcalino (pH 8,9); 0,67 % MO.

Figura 4. Perfil de un Haplocalcid de la RSPV y vista general del sitio donde se realizó la calicata. La vegetación corresponde a una estepa arbustiva-herbácea dominada por quilembay en el estrato arbustivo y flechilla en el estrato herbáceo (CV1 según Pazos et al., este libro).

gruesos de los horizontes subsuperficiales. Este mecanismo de incorporación de fragmentos gruesos a sedimentos de origen eólico como ocurre en los montículos, explicaría la incidencia de los excavadores (principalmente tuco-tucos) en la formación de los mismos.

Calciargids (Fig. 5)

Representados por el perfil descrito a continuación, son suelos poco profundos con una secuencia de horizontes argílico y cálcico en los primeros 50 cm. La presencia de un horizonte superficial de textura gruesa favorece el desarrollo de una vegetación dominada por pastos perennes. La presencia de unquillo (*Sporobolus rigens*) en los ambientes dominados por estos suelos se debería a la depositación reciente de sedimentos eólicos. Esta especie, junto al olivillo (*Hyalis argentea*), es una de las primeras en colonizar áreas con depósitos eólicos recientes, favoreciendo su estabilización. En suelos estables, con horizontes subsuperficiales de textura fina como es el caso de los Calciargids, el unquillo comparte la dominancia con otros pastos perennes como la flechilla (*Nassella tenuis*).

Haplargids arénicos (Fig. 6)

Son suelos con una clase de tamaño de partícula arenosa en la capa superior, que se extiende desde la superficie hasta el contacto con el horizonte argílico (2Bt), a unos 60 cm de profundidad. Estos suelos se han desarrollado a partir de la acumulación de arenas eólicas sobre los Haplargids preexistentes. El límite neto entre la capa arenosa de depositación reciente y el horizonte argílico del suelo enterrado evidencia el plano de contacto entre dos materiales de textura contrastante.

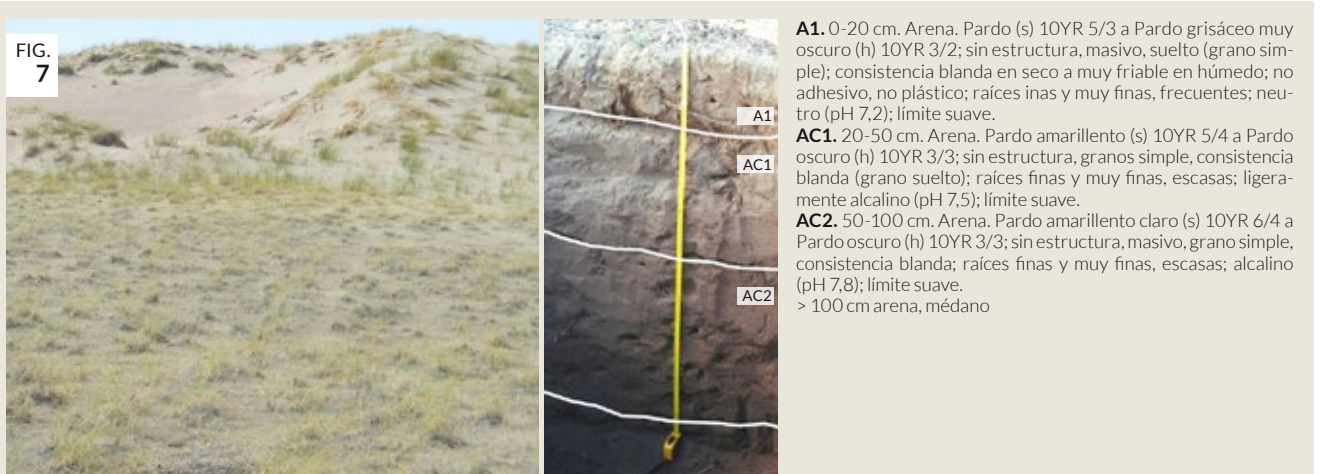
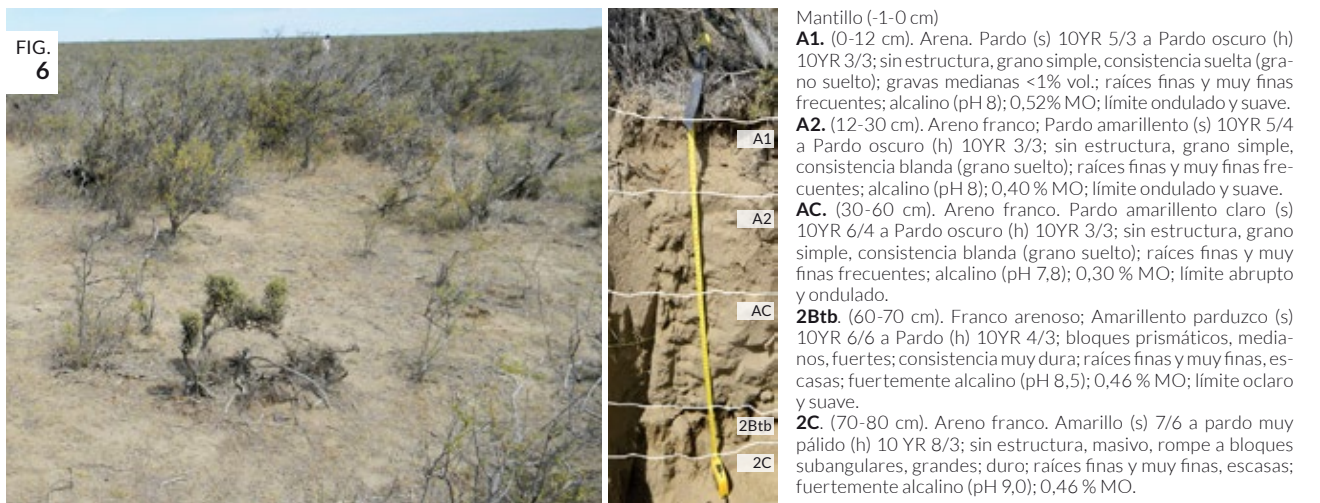
Sobre estos suelos se han desarrollado distintas comunidades vegetales caracterizadas por una matriz de pastos perennes en los que dominan la flechilla y la flechilla negra (*Piptochaetium napostaense*). En la Figura 6 se muestra la estepa arbustiva-herbácea alta de uña de gato (*Chiquiraga erinacea* subesp. *histris*) y otros arbustos desarrollados en el Haplargid arénico (CV3 según Pazos et al., este libro). Este perfil representa los suelos que se han desarrollado a partir de arenas eólicas estabilizadas por un tapiz herbáceo denso.

Torripsamments (Fig. 7)

Son suelos de textura gruesa, arenosa, uniforme hasta más de un metro de profundidad. Dada su consistencia blanda y la elevada macroporosidad, típica de los suelos arenosos, no presenta impedimentos para el desarrollo de las raíces ni para el movimiento vertical del agua. El principal signo de edafización es el desarrollo de colores pardos por los aportes de materia orgánica, sobre todo en el horizonte superficial.

Torriorthents

Representan suelos muy poco desarrollados, formados en los ambientes de piedemonte costero y de cuencas cerradas. Los materiales parentales corresponden a las sedimentitas terciarias que afloran parcialmente en los niveles de pedimentos y escarpas de erosión y a los depósitos aluviales-coluviales de gravas y arenas de las bajadas de piedemonte.



PRINCIPALES UNIDADES GEOMÓRFICAS Y PROCESOS GEOMÓRFICOS DOMINANTES

Las principales unidades geomórficas de la RSPV (Fig. 1) son los antiguos niveles de terrazas fluviales y los ambientes de piedemonte de las cuencas cerradas y de la zona costera. Sobreimpuestos a estas unidades se han depositado sedimentos eólicos recientes conformando frentes de médanos activos, médanos estabilizados y mantos de arenas fijas. Los niveles de terrazas (mesetas) están incluidos en la unidad lito-estratigráfica Rodados Patagónicos, de carácter regional y de edad Plio-Pleistocena (Fidalgo & Riggi 1970). Es la unidad geomorfológica más antigua de la RSPV, en la que se han formado el resto de las unidades.

En el ambiente de piedemonte se pueden identificar *asociaciones de pedimentos* (Cooke 1970), las que incluyen un pedimento en la parte intermedia de la asociación, una escarpa de erosión en la parte alta –la que provee de sedimentos al pedimento– y una planicie en la parte baja, denominada bajada (abanicos aluviales coalescentes), donde domina el proceso de acumulación. En las cuencas cerradas, a esta se-

cuencia de geoformas debemos agregar las lagunas temporarias que conforman su nivel de base. Estas lagunas junto a la red de drenaje de los piedemontes, donde se han desarrollado algunas cárcavas (Cuadro 4), constituyen las geoformas menores que representan la manifestación más dinámica del proceso de erosión y depositación hídrica. Parte de la red de drenaje está obliterada en gran medida por la cobertura de arenas eólicas. Los pavimentos de desierto desarrollados principalmente en los pedimentos, representan la principal expresión de la erosión hídrica laminar (y eólica); los montículos asociados a los arbustos (*nebkhas*) representan los sedimentos retenidos en la unidad (Cuadro 3).

A partir de la delimitación de las principales unidades geomórficas se puede confeccionar un mapa de suelos de la RSPV a pequeña escala, lo que permite obtener una representación geográfica de las asociaciones dominantes identificando unidades de paisaje más o menos homogéneas, con diferentes potencialidades y limitaciones. La delimitación de estas unidades geo-edáficas (Fig. 1), conjuntamente con el mapa de vegetación (Pazos et al., este libro), provee información espacial para la confección de planes de manejo con fines de conservación de los suelos y de la diversidad biológica de la RSPV.

FIG.
8



Figura 8. Formación de cárcavas, la manifestación más visible y más grave del proceso de erosión hídrica acelerada.

Cuadro 4. Formación de cárcavas

Las cárcavas o zanjas, formadas por sucesivos eventos de escurrimiento superficial concentrado, representan el estado de erosión hídrica más avanzado en una cuenca determinada (Fig. 8). Su formación denota un importante aumento del escurrimiento superficial y de la erosión laminar en las partes altas y medias de las cuencas que contienen las cárcavas. En la estepa patagónica generalmente se forman en cuencas de fuertes pendientes, donde la cobertura vegetal se ha visto reducida drásticamente por el pastoreo. En PV es frecuente la formación de cárcavas a partir de caminos trazados a favor de las pendientes. En pendientes largas o con fuerte gradiente, el escurrimiento generado en los caminos alcanza volúmenes y velocidades superiores al umbral de remoción de sedimentos y comienzan a formarse surcos y luego cárcavas en el camino o en las banquetas. En la RSPV se han formado cárcavas de grandes dimensiones en la bajada costera hacia el Golfo Nuevo (Fig. 8).

Cada unidad cartográfica delimitada en el mapa de suelos de la RSPV representa un sistema fisiográfico (SF) dominado por uno o más suelos. En cada uno de los SF domina una unidad fisiográfica o geoforma que tiene asociado un relieve, un tipo de vegetación y un suelo dominante. A diferencia de las distintas clases taxonómicas de suelos que integran una unidad cartográfica que pueden separarse por propiedades definidas con cierta precisión, las unidades de mapeo o las porciones de paisaje que las conforman muestran una cierta variabilidad interna. Así, una unidad de mapeo determinada estará representada por un suelo dominante y por suelos de otras clases taxonómicas conformando asociaciones o complejo de suelos. Dada la escasa extensión de la RSPV, los principales factores que determinan la heterogeneidad espacial de los suelos de las distintas unidades cartográficas son los materiales originarios y el relieve. El clima puede considerarse homogéneo para toda el área (véase Frumento, este libro), en tanto la vegetación muestra su mayor influencia a nivel de parche y puede considerarse más como una variable respuesta que un factor determinante del tipo de suelo.

Las características de un suelo determinado varían espacialmente asociadas a la vegetación dominante (predominio de pastos perennes, estepas herbáceas, o predominio de arbustos, estepas arbustivas) y a su posición en el paisaje, donde la pendiente puede ser un factor de variación importante dando lugar al desarrollo de toposecuencias de suelos. La variabilidad espacial generada por las plantas se debe principalmente a la incorporación de materia orgánica, tanto en superficie (mantillo) como en profundidad, y a su capacidad para la captación de sedimentos

eólicos o por salpicado en los arbustos. En los Haplargids y Haplocalcids, es común la formación de montículos asociados a arbustos de quilembay (*Chuquiraga avellanadae*), los que representan un importante engrosamiento del horizonte A, enriquecimiento de nutrientes (N, P, S, etc.) y un aumento en la profundidad del suelo, generando lo que se denominan *islas de fertilidad* (véase Cuadro 3). El material acumulado proviene, en parte, de la erosión del horizonte superficial de los espacios entre arbustos (Fig. 3).

EROSIÓN DE SUELOS: FACTORES, PROCESOS E INDICADORES

La erosión de los suelos es un problema ambiental y productivo que afecta gran parte de las tierras áridas. En estos ambientes resulta difícil separar la erosión natural como proceso geomorfológico de modelado del paisaje, de la erosión acelerada por las actividades humanas. En las tierras áridas y semiáridas (<100 mm a unos 500 mm de lluvias anuales) es donde más incidencia tienen los procesos de erosión, tanto eólica como hídrica. La baja cobertura vegetal y la ocurrencia de lluvias torrenciales explican en gran medida las altas tasas de erosión hídrica; la prevalencia de fuertes vientos y de largos períodos en que el suelo permanece seco, sobre todo donde existe un predominio de suelos de texturas gruesas (clases texturales arenosa a arena franca), explican la alta incidencia de la erosión eólica en el modelado del paisaje y como proceso de degradación de suelos (Cuadros 4 y 5).

El efecto de la cobertura vegetal en la disminución de la erosión de los suelos de la RSPV puede apreciarse en el proceso de fijación de los médanos que avanzan en los costados de los grandes frentes de médanos del sur de PV (del Valle et al. 2008). Estos médanos laterales, cuya velocidad de avance es menor a la del resto del frente, son fijados por la vegetación, principalmente olivillo y unquillo, y quedan estabilizados formando una serie de fajas que marcan la trayectoria de los distintos frentes (Cuadro 5). Este fenómeno puede apreciarse en el límite sur de la RSPV cubierta por médanos fijados principalmente por olivillo (CV4 según Pazos et al., este libro). En las estepas herbáceo-arbustivas o arbustivas el efecto protector de la vegetación en la erosión de los suelos se manifiesta en la formación de montículos asociados principalmente a arbustos de quilembay (Cuadro 3). Por el contrario, el efecto de la pérdida de cobertura vegetal en la aceleración de la tasa de erosión se puede apreciar en los espacios entre arbustos donde se ha perdido gran parte del horizonte superior del suelo y se ha desarrollado un pavimento de desierto sobre una costra superficial, que a veces toma la

Cuadro 5. La erosión eólica en médanos estabilizados: la formación de voladeros u hoyos de deflación (*blowouts*) y dunas asociadas

Los hoyos de deflación han sido identificados como formas de erosión eólica común en los campos de dunas de las zonas áridas (Goudie & Wells 1995). Estos hoyos son depresiones o huecos formados por el viento en depósitos de arena y son muy comunes en dunas estabilizadas por la vegetación (Livingstone & Warren 1996; Fig. 9). Las dunas parabólicas, vegetadas en muchos casos, son la extensión, en la dirección de los vientos dominantes, de los hoyos de deflación. La cobertura vegetal protege las dunas y favorece la acumulación de sedimentos (arena) al reducir la velocidad del viento; el pastoreo puede contribuir a la desestabilización de estas dunas (de Stoppelaire et al. 2004).

Los hoyos de deflación han sido utilizados como indicadores de procesos de erosión eólica, al igual que las crestas de dunas, las cuales son altamente susceptibles a erosión. Blanco et al. (2008) concluyeron que el pastoreo ovino ha afectado de manera significativa el patrón espacial de hoyos alrededor de las aguadas en campos de mantos de arena y dunas estabilizadas del sudoeste de PV. Este efecto fue más evidente en potreros con cargas animales elevadas. En aquellos sitios con alta densidad de crestas alrededor de las aguadas, el impacto del pastoreo sobre el pastizal fue más intenso. No sólo el pastoreo y pisoteo del ganado doméstico puede desestabilizar la cobertura vegetal, el disturbio producido por los dormideros del ganado doméstico también constituyen sitios de iniciación de los hoyos de deflación (Blanco et al. 2008; Fig. 9).

forma de horizontes vesiculares (Av), formada a partir de un horizonte subsuperficial expuesto (Fig. 3). Tanto los montículos, que representan procesos de erosión como de acumulación, como los pavimentos de desierto, son el resultado de la erosión eólica e hídrica. Cabe aclarar de todas maneras que en la RSPV ha predominado la deposición de sedimentos eólicos sobre el proceso de erosión. Este fenómeno está asociado a la redistribución de arena desde los frentes de médanos que avanzan desde la costa oeste, que si bien lo hacen en sentido oeste-este, el efecto de los vientos provenientes del sector sur y suroeste provoca el transporte de material hacia el costado norte del frente de avance donde se ha depositado una capa de pocos cm hasta más de 1 m en una franja de ancho variable.

CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo de los suelos de la RSPV, al igual que los de toda la estepa patagónica, está fuertemente condiciona-



Figura 9. Voladero u hoyo de deflación (*blowout*) y dunas asociadas.

do por la aridez del clima y la incidencia de fuertes vientos. Los continuos aportes de sedimentos arenosos desde la zona costera, favorecieron el desarrollo de nuevos suelos, lo que permite explicar la gran diversidad de suelos presentes en el área.

El pastoreo ovino, practicado a lo largo de más de 100 años, modificó en parte la estructura de la vegetación y la cubierta edáfica. La reducción de la cobertura de pastos perennes en algunas comunidades y el incremento de arbustos poco consumidos por el ganado, modificó la calidad de los suelos. Estos cambios en la cobertura de la vegetación favorecieron la aceleración de los procesos de erosión hídrica y eólica, lo que produjo pérdidas del potencial productivo en los suelos, principalmente los de textura contrastantes, poco profundos.

El manejo de los pastizales de la RSPV, de los cuales el suelo y la vegetación son componentes esenciales del ecosistema, debería estar orientado principalmente a la recuperación de la cobertura vegetal en aquellas áreas que han sido fuertemente afectadas por el pastoreo (unidades ambientales donde dominan Haplargids con estepas arbustivas y arbustivas herbáceas). La recuperación de la cubierta de pastos perennes favorecería un mejor aprovechamiento de las lluvias, con tasas de infiltración más elevadas, mayor producción de forraje y reducción en las tasas de erosión de los suelos. Recuperar y mantener la calidad de los suelos es la base para producir, a partir de los pastizales naturales, un variedad de bienes y servicios ambientales tales como un mayor secuestro y persistencia de carbono en el suelo, mayor producción de forraje de buena calidad y diversidad de hábitat para los herbívoros nativos e introducidos, además de aumentar el valor paisajístico de la estepa.

AGRADECIMIENTOS

Las salidas de campo fueron subvencionadas con fondos del PICT 2013. No. 1876: "Los impactos de la erosión y la arbustización en la calidad de los suelos en tres áreas del norte de Chubut: implicancias para su rehabilitación".

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO, PD; CM ROSTAGNO; HF DEL VALLE; AM BEESKOW & T WIEGAND. 2008. Grazing impacts in vegetated dune fields: predictions from spatial pattern analysis. *Rangeland Ecol Manage* 61:194–203.
- BOQUÉ, G. 2006. *Bioperturbación del suelo por pequeños roedores excavadores del género *Ctenomys*, Tuco-tucos, en una estepa arbustiva del noreste Patagónico*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Puerto Madryn, Chubut.
- BOUZA, PJ & HF DEL VALLE. 1998. Propiedades micromorfológicas del suelo superficial y subsuperficial en un ambiente pedemontano árido de Patagonia, Argentina. *Rev Asoc Arg Ciencia del Suelo* 16:30–38.
- BOUZA, PJ; HF DEL VALLE & P IMBELLONE. 1993. Micromorphological and physico-chemical characteristics of soil crust types of the central Patagonia region, Argentina". *Arid Soil Res Rehab* 7:355–368.
- CHAPIN III, FS; PA MATSON & HA MOONEY. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer, NY, USA.
- CHARTIER, MP; CM ROSTAGNO & FA ROIG. 2009. Soil erosion rates in rangelands of northeastern Patagonia: A dendrogeomorphological analysis using exposed shrub roots. *Geomorphology* 106:344–351.
- COOKE, RU. 1970. Morphometric Analysis of Pediments and Associated Landforms in Western Mojave Desert, California. *Am J Sci* 269:26–38.
- DEL VALLE, HF; CM ROSTAGNO; FR CORONATO; PJ BOUZA & PD BLANCO. 2008. Sand dune activity in north-eastern Patagonia. *J Arid Environ* 72:411–422.
- DE STOPPELAIRE, GH; TW GILLESPIE; JC BROCK & GA TOBIN. 2004. Use of remote sensing techniques to determine the effects of grazing on vegetation cover and dune elevation at Assateague Island National seashore: impact of horses. *Environ Manage* 34:642–649.
- DOKUCHAEV, VV. 1879. Abridged historical account and critical examination of the principal soil classifications existing. *Transactions of the St. Petersburg Society of Naturalists* 1:64–67.
- ERHART, H. 1967. *La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhéxistasie*. 2nd Ed. Paris: Masson, 177 pp.
- FIDALGO, F & JC RIGGI. 1970. Consideraciones geomórficas y sedimentológicas sobre los Rodados Patagónicos. *Rev Asoc Geol Arg* 25:430–443.
- GOUDIE, AS & GL WELLS. 1995. The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews* 38:1–69.
- HALLER, M; A ARDOLINO; A MONTI & C MEISTER. 2001. *Hoja geológica 4363-I: Península Valdés, Provincia del Chubut*. Boletín 266, Servicio Geológico Minero Argentino.
- HILLEL, D. 1982. *Introduction to soil physics*. Academic Press. New York.
- JENNY, H. 1941. *Factors of soil formation*. New York, McGraw-Hill.
- LEÓN, RJC; D BRAN; M COLLANTES; JM PARUELO & A SORIANO. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8:125–144.
- LIVINGSTONE, I & A WARREN. 1996. *Aeolian geomorphology: an introduction*. Essex, United Kingdom: Longman.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Ann Rev Ecol and Syst* 4:25–52.
- NOY-MEIR, I. 1980. Structure and function of desert ecosystems. *Israel J of Botany* 28:1–19.
- OCARIZ, P; CM ROSTAGNO & G DEGORGUE. 2004. Conductoras y pasajeras: El rol del quilembay (*Chuiraga avellanadae*) y la flechilla (*Stipa tenuis*) en la conservación del suelo de un sitio ecológico del noreste de Chubut. *Libro de resúmenes II Reunión Binacional de Ecología*: 1 pp., Mendoza.
- PATON, TR; GS HUMPHREYS & PB MITCHELL. 1995. *Soils: A new global view*. New Haven, CT, Yale University Press.
- PHILLIPS, JD. 2004. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. *Catena* 58:275–295.
- ROSTAGNO, CM. 1981. *Reconocimiento de los suelos de Península Valdés e Itsmo Ameghino*. Centro Nacional Patagónico. Contribución No. 44. OEA-INTA-CONICET.
- ROSTAGNO, CM ; G BOQUÉ; N VELÁSQUEZ; L VIDELA & A TOYOS. 2010. El rol de los tuco-tucos en la formación de los montículos asociados a arbustos en el NE de Patagonia. *Libro de resúmenes XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*: 4 pp., Rosario.
- ROSTAGNO, CM & HF DEL VALLE. 1988. Mounds associated with shrubs in aridic soils of northeastern Patagonia: characteristics and probable genesis. *Catena* 15:347–359.
- ROSTAGNO, C; H DEL VALLE & L VIDELA. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia. *J Arid Environ* 20:179–188.
- ROSTAGNO, CM & G DEGORGUE. 2011. Desert pavements as indicators of soil erosion on aridic soils in north-east Patagonia (Argentina). *Geomorphology* 134:224–231.
- SIMONSON, RW. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Sci Soc Am J* 23:152–156.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd Ed. Agricultural Handbook 436. Natural Resources Conservation Service, USDA. Washington.
- THORNES, JB. 1985. The ecology of erosion. *Geography* 70:222–235.
- TRICART, J & A CAILLEUX. 1969. *Le modelé des régions sèches. Traité de géomorphologie*. Tome IV, SEDES, Paris.
- WALKER, B. 1992. Biological diversity and ecological redundancy. *Conserv Biol* 6:18–23.