

EROSIÓN HÍDRICA EN SUELOS DEL CALDENAL

E. O. Adema, F. J. Babinec, D. E. Buschiazzo, M. J. Martín y N. Peinemann

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica en relación a los factores ambientales

La erosión hídrica acelerada es un proceso degradativo provocado por el manejo inadecuado de los pastizales, que compromete la productividad futura del ambiente. El impacto del pastoreo y el grado de respuesta ambiental difieren en distintas regiones, dependiendo de la combinación de las características del suelo, la topografía y la vegetación.

De acuerdo a Wischmeier y Smith (1978), la magnitud de la erosión hídrica en un sitio está determinada por la combinación de variables físicas, ambientales y de manejo, tales como: 1) clima, principalmente la magnitud e intensidad de la lluvia; 2) suelo, en especial su resistencia al desprendimiento y su capacidad de infiltración, percolación y almacenamiento de agua; 3) topografía, longitud y gradiente de la pendiente; 4) cobertura de vegetación, de broza y su manejo.

La erosión hídrica tiene relación con la precipitación media anual. Cuando la misma supera los 1000 mm y existe una cobertura vegetal completa, ésta protege efectivamente al suelo del impacto de las gotas de lluvia. Sin embargo, cuando la cobertura vegetal es removida parcial o totalmente, la erosión hídrica aumenta en relación directa a la magnitud de la precipitación (Thurow, 1991). Debido a que el Caldenal se extiende aproximadamente entre las isohietas de 450 mm y 650 mm, este proceso de degradación se magnifica ante un manejo inadecuado.

Distintos estudios muestran la importancia de la vegetación como agente biológico protector del suelo. Las tasas de escorrentía y erosión aumentan en relación inversa a la cobertura vegetal. La vegetación y la broza disipan la energía cinética de las gotas de lluvia, aumentan la permeabilidad y retardan la velocidad del escurrimiento superficial. Además, la vegetación protege al suelo según su hábito de crecimiento y

estado fenológico (Thurow et al., 1988), y la intensidad de pastoreo de la misma. Por otra parte, las tasas de infiltración varían estacionalmente (McCalla et al., 1984), ya que con las variaciones en la dinámica de crecimiento de la vegetación, cambia el porcentaje cobertura, exponiendo el suelo diferencialmente a las lluvias.

Otro aspecto importante de la vegetación, está relacionado con la cantidad de broza. La acumulación del follaje caído, crea un microambiente de temperatura más estable y mayor humedad que favorece la actividad microbiana y acelera su descomposición. Esta situación provoca un incremento en la materia orgánica humificada del suelo, la que activa la formación de agregados estables y favorece la infiltración, con la consecuente reducción de la escorrentía y la erosión (Thurow, 1991).

Entre los factores que determinan la degradación de los suelos por erosión hídrica se pueden mencionar: las condiciones climáticas estacionales (Warren et al., 1986), la biomasa y el tipo de vegetación (Wood y Blackburn, 1984), y el contenido de agua del suelo (Truman y Bradford, 1990). La pérdida de sedimentos está directamente relacionada con el incremento de las fracciones texturales de limo y arena muy fina e inversamente relacionada con el contenido de materia orgánica del suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Las distintas texturas y contenidos de materia orgánica explican las diferencias de estabilidad estructural entre suelos (Buschiazzo et al., 1991), ofreciendo una resistencia diferencial al desmoronamiento por impacto de las gotas de lluvia.

La sustentabilidad de los ecosistemas productivos depende del equilibrio dinámico entre las ganancias y las pérdidas de nutrientes del suelo disponibles para el crecimiento de las plantas. La erosión, la cosecha, la lixiviación y la volatilización, son los principales caminos para la remoción de los mismos. La erosión cambia las propiedades del suelo como medio de crecimiento de las plantas, de distintas formas. Por un lado, reduce el espesor de la zona radicular, y por otro, cambia la composición del suelo por remoción selectiva de las partículas finas, reduciendo a su vez el contenido de nutrientes y la capacidad de retención de agua, con la consecuente disminución en la producción potencial de la vegetación.

La erosión hídrica tiende a remover mayor cantidad de fracciones texturales finas y de materia orgánica (MO) que de fracciones gruesas del suelo, en consecuencia hay selectividad en el proceso de extracción. Esta diferencia se puede expresar como una tasa de enriquecimiento (TE), que es definida como la concentración de un nutriente en los sedimentos, sobre la concentración del mismo en el suelo original. Este proceso degradativo incrementa la fracción de partículas primarias gruesas en el suelo remanente, mientras que remueve selectivamente a las fracciones finas, MO y nutrientes asociados a los coloides. La pérdida de nutrientes está directamente relacionada con su concentración inicial en el lugar de origen, las lluvias, el escurrimiento y con el contenido de materiales coloidales del suelo (Mathan y Kannan, 1993). Como la mayoría de los nutrientes están adsorbidos en los coloides orgánicos e inorgánicos, la remoción de los sedimentos más finos provoca una pérdida importante de nutrientes a lo largo del tiempo.

La pérdida de MO depende del tipo de suelo, topografía y manejo. Si bien la pérdida de MO está en función de la pérdida de suelo, ésta no es una función lineal, ya que a medida que se incrementa el volumen de sedimentos, su porcentaje es proporcionalmente menor. La pérdida de nitrógeno total es probablemente más importante que la pérdida de otros nutrientes, debido a que en esta región es el nutriente más deficitario. Las tasas de enriquecimiento de N son en general, paralelas a las de MO, como consecuencia de su origen. Las formas orgánicas del fósforo pueden constituir más de la mitad del P total en el horizonte A, dependiendo del contenido de MO del suelo. La mayor parte del mismo está adsorbida por los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo, por lo cual es muy susceptible de movilizarse cuando hay erosión de MO y arcilla. Debido a su baja solubilidad, la concentración de P disuelto en el agua de escurrimiento, normalmente es menor que la cantidad adsorbida por los sedimentos (Mathan y Kannan, 1993).

Características ambientales del Caldenal

Dentro de la provincia fitogeográfica del Espinal, el distrito del Caldén, se extiende desde el sur de San Luis, centro de La Pampa, hasta el sur de la provincia de Buenos Aires, entre las isohietas de 450 y 650 mm. Este distrito se caracteriza por el dominio del caldén que forma

bosques más o menos densos, sabanas con gramíneas, áreas medanosas con vegetación psammófila y matorrales o estepas halófilas sobre suelos salinizados (Cabrera, 1976).

El caldén forma bosques desde muy abiertos con aspecto de sabana, hasta bosques densos. En el estrato arbóreo domina *Prosopis caldenia* acompañado en distintas proporciones por *Prosopis flexuosa*, *Geoffroea decorticans*, *Schinus fasciculatus* y *Jodina rhombifolia*, como consecuencia de las variaciones en la topografía, la textura del suelo o el gradiente de precipitación. El estrato arbustivo de muy variable composición florística presenta como especies más relevantes a *Condalia microphylla*, *Lycium chilense*, *Lycium gilliesianum*, *Ephedra triandra*, *Chuquiraga erinacea*, *Larrea divaricata* y *Prosopidastrum globosum*. La composición y el porte de los arbustos varía de acuerdo a las condiciones del área. Las gramíneas más frecuentes son *Stipa tenuis*, *Stipa tenuissima*, *Piptochaetium napostaense*, *Stipa gynerioides*, *Stipa brachychaeta*, *Poa ligularis*, *Aristida subulata*, *Trichloris crinita*, *Digitaria californica* y *Setaria leucopila*, entre otras. Las variaciones locales que presenta el Caldenal son consecuencia de variables ambientales y de manejo.

En la actualidad, ha desaparecido prácticamente la comunidad climáxica del bosque de caldén. Entre las principales causas de la variación en la composición florística y estructura del Caldenal se pueden mencionar: 1) el disturbio provocado durante las primeras décadas de este siglo mediante el pastoreo con ganado ovino y la extracción de madera; 2) durante las últimas décadas, las causas fueron el pastoreo con ganado vacuno, los incendios y los desmontes para efectuar cultivos (Covas, 1989).

Los suelos de esta región pertenecen en su mayoría a los órdenes taxonómicos Molisoles y Entisoles, y con menor representatividad espacial, a los Aridisoles. Los Molisoles ocupan predominantemente el sector oriental, los Entisoles predominan en el sector occidental y los Aridisoles (Salortides) se encuentran en áreas reducidas, asociados a depresiones ocupadas por lagunas saladas temporarias. Los Molisoles presentan cierta evolución genética con escasa diferenciación de horizontes y leve estructuración. La textura varía entre franca y franco arenosa y el pH entre 6 y 8. Sus limitaciones más importantes son la semiaridez del clima, la costra calcárea (tosca), el drenaje algo excesivo y la susceptibilidad a

los procesos erosivos. Los Entisoles son suelos recientes, muy poco evolucionados y con escasa estructuración, tienen textura arenosa o arenosa franca, drenaje excesivo y escasa retención de humedad. Las limitaciones más importantes son de naturaleza climática (aridez), el drenaje excesivo y la gran susceptibilidad a la erosión eólica.

Dentro del orden de los Molisoles, los Haplustoles son los suelos de mayor representatividad espacial, así como los Ustipsamientos dentro de los Entisoles. Los Haplustoles son suelos de textura franco arenosa y poseen mayor capacidad de retención de agua que los Ustipsamientos, que presentan una textura más gruesa (arenosa - arenosa franca). Esta característica les confiere a los Haplustoles, un mayor contenido de materia orgánica, mejor distribución de tamaño de agregados y mayor estabilidad estructural que los Ustipsamientos. Sin embargo, estos últimos debido al elevado porcentaje de arena, tienen mayor capacidad de infiltración y menor probabilidad de escurrimiento que los primeros, pero el excesivo drenaje y su marcada aridez climática, los hace más susceptibles a la erosión eólica.

La degradación de los suelos del Caldenal

El sobrepastoreo de los pastizales del Caldenal provoca importantes pérdidas de suelo por erosión (Covas y Glave, 1988) . Los factores que afectan la estabilidad de los suelos del Caldenal aún deben ser estudiados. Síntomas de degradación tales como: erosión laminar, perfiles descabezados, surcos, cárcavas, arbustos y gramíneas en pedestal, como también materiales redepositados (INTA et al., 1980) sugieren que la erosión hídrica es quizás, el proceso degradativo más importante de estos suelos.

Considerando la importancia de los recursos naturales disponibles en la región del Caldenal, dentro de la provincia de La Pampa, se plantean las siguientes hipótesis:

- a) En ausencia de vegetación, los Haplustoles-por su textura más fina y menor tasa de infiltración-son más susceptibles a la erosión hídrica que los Ustipsamientos;
- b) Bajo cobertura natural de pastizal, los Haplustoles, debido a sus mejores propiedades fisicoquímicas, generalmente

presentan mayor cobertura que los Ustipsamientos, razón por la cual son menos afectados por erosión hídrica;

- c) Las diferencias climáticas entre verano e invierno, provocan cambios en la vegetación que pueden afectar las pérdidas de agua y suelo en los pastizales del Caldenal.

Evaluación experimental de la erosión hídrica

La medición de pérdidas de suelo mediante simulación de lluvia, provee una buena estimación de la erosión actual de sitios específicos. Estos datos pueden usarse como índices de sitio y efectos de manejo, así como datos de ingreso en ecuaciones predictivas como la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) o el modelo de predicción de erosión hídrica (WEPP). En definitiva la simulación de lluvias puede aportar información de toda práctica de manejo que tenga relación con los procesos de degradación de suelo por erosión hídrica, permitiendo de esta forma tomar decisiones adecuadas, que permitan optimizar la conservación de este recurso.

Con esta finalidad, en la Estación Experimental Agropecuaria Anguil del INTA se desarrolló un simulador de lluvias y se llevaron a cabo una serie de experiencias para evaluar la susceptibilidad a la erosión hídrica de dos suelos representativos del Caldenal Pampeano (Haplustol éntico y Ustipsamente típico). Se estudiaron también, las pérdidas de sedimentos, nutrientes y agua bajo diferentes porcentajes de cobertura de vegetación y broza. Por último, se evaluó este proceso a fines del verano y a fines del invierno, en ambos sitios.

Sobre cada sitio de estudio se establecieron 3 tratamientos: vegetación natural sin disturbar, vegetación cortada a 5 cm de altura con reducción de broza y suelo desnudo, para simular situaciones de uso contrastantes. Las lluvias medias aplicadas fueron de 28,3 mm en forma continua, durante 30 minutos (intensidad media de 56,6 mm/h), bajo dos condiciones de humedad antecedente del suelo: suelo seco y a capacidad de campo. Detalles de estas experiencias se pueden consultar en el trabajo de tesis de Adema (2000).

Composición de los suelos

Las principales características fisicoquímicas de los suelos se

describen en la Tabla 1. Los perfiles presentaron un desarrollo de horizontes característico de los suelos de la región, sin limitaciones de profundidad, con una textura franco arenosa en el Haplustol éntico y arenoso franca en el Ustipsamente típico.

El Haplustol éntico presentó un alto contenido de CO, especialmente en el horizonte superficial. Sin embargo los valores de P disponible fueron excesivamente bajos, probablemente por estar el fosfato ligado al calcio presente en el perfil. El porcentaje de agua útil fue bajo, aunque en el horizonte superficial duplicó al Ustipsamente. Este último tuvo valores de CO y N menores que los del Haplustol y la capacidad de almacenamiento de agua fue muy baja. La estructura del suelo en los primeros 4 cm del horizonte superficial tuvo mayor estabilidad en el Haplustol, frente al tamizado en húmedo. El cambio de diámetro medio de los agregados (CDM) fue de 0,94 en el Haplustol y 2,01 en el Ustipsamente, de manera que los agregados del Haplustol tuvieron el doble de estabilidad que los del Ustipsamente, frente al proceso de erosión hídrica.

Tabla 1. Principales características de los perfiles de suelo en ambos sitios.

| HORIZONTE | Haplustol éntico | | | Ustipsamente típico | | | |
|--|------------------|-------|--------|---------------------|-------|--------|---------|
| | A | AC | Cca | A | AC | C1 | C2Ca |
| Profundidad (cm) | 0-32 | 32-55 | 55-160 | 0-30 | 30-54 | 54-104 | 104>160 |
| Carbono orgánico (g.Kg ⁻¹) | 13,8 | 8,4 | 4,8 | 8,8 | 4,9 | 3,2 | 3,2 |
| Nitrógeno total (g.Kg ⁻¹) | 1,2 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Fósforo disp. (mg.Kg ⁻¹) | 8,1 | 0,8 | 0,4 | 33,6 | 5,9 | 4,1 | 6,9 |
| pH en pasta | 7,1 | 7,7 | 7,9 | 6,5 | 6,9 | 7,6 | 7,8 |
| Capacidad de campo (%) | 17,8 | 16,3 | 17,3 | 9,0 | 9,0 | 9,2 | 9,1 |
| Punto de marchitez (%) | 10,2 | 12,3 | 11,8 | 5,8 | 5,6 | 5,5 | 5,6 |
| Agua útil (%) | 7,6 | 4,0 | 5,5 | 3,2 | 3,4 | 3,7 | 3,5 |
| Arcilla (%) | 15,0 | 18,8 | 17,0 | 8,1 | 7,8 | 6,5 | 6,3 |
| Limo (%) | 27,5 | 28,7 | 31,4 | 9,1 | 12,6 | 12,9 | 11,2 |
| Arena muy fina (%) | 14,8 | 13,5 | 12,0 | 12,6 | 12,9 | 14,3 | 15,5 |
| Arena fina (%) | 12,5 | 14,2 | 17,5 | 17,6 | 22,6 | 15,2 | 21,6 |
| Arena media (%) | 28,1 | 21,9 | 18,2 | 46,2 | 37,9 | 44,3 | 38,3 |
| Arena gruesa (%) | 2,1 | 2,9 | 3,9 | 6,4 | 6,2 | 6,8 | 7,1 |

Cobertura y fitomasa

A fines del verano, la cobertura total de la vegetación más la broza en el Haplustol éntico, fue de 135 % para el tratamiento natural y 66 % para el de corte, con un peso seco total de fitomasa de 15120 Kg/ha y 4860 Kg/ha respectivamente. En el Ustipsamente típico la cobertura total fue de 89 % en el tratamiento natural y 55 % en el de corte, con un peso seco total 5930 Kg/ha y 3480 Kg/ha, respectivamente. El tratamiento desnudo fue mantenido sin ningún tipo de cobertura durante las dos épocas de estudio.

A fines del invierno, la cobertura de vegetación más broza sobre el Haplustol éntico fue de 126 % y 79 % para los tratamientos natural y de corte, mientras que la materia seca fue 10860 Kg/ha y 4290 Kg/ha, respectivamente. La cobertura total del Ustipsamente típico fue de 95 % en el tratamiento natural y 78 % en el tratamiento de corte, y en el mismo orden, la materia seca total fue de 6760 Kg/ha y 3340 Kg/ha. Bajo condiciones naturales, el mayor porcentaje de cobertura y cantidad de materia seca sobre el Haplustol éntico se atribuyen a las mejores propiedades fisicoquímicas de este suelo, en lo que respecta a capacidad de retención de agua y disponibilidad de nutrientes para el pastizal.

La cobertura y la fitomasa del pastizal sobre el Haplustol presentó alta variabilidad debido a la cobertura arbórea (50 %), la cual genera diferentes condiciones para el desarrollo del pastizal y acumulación de broza. La vegetación gramínea bajo los árboles está constituida predominantemente por pajas que acumulan mayor cantidad de fitomasa y broza sobre el suelo. Mientras que en los lugares soleados predominan especies de buena palatabilidad que acumulan menor cantidad de fitomasa y de broza. La cobertura arbórea sobre el Ustipsamente (10 %) provocó menor variabilidad en la cobertura y fitomasa del pastizal, así como en la broza.

Además de las características fisonómicas de los dos ambientes, antes descritas, puede agregarse que el pastizal que se desarrolla sobre el Ustipsamente está compuesto de especies predominantemente estivales, mientras que sobre el Haplustol predominan especies invernales. Dicha situación, origina diferencias estacionales en cuanto a la cantidad de fitomasa y tipo de cobertura presentes en cada sitio en las

distintas épocas del año.

Puede apreciarse que en el Ustipsamente se produjo un incremento de la cobertura de vegetación viva y una reducción de la cobertura de residuos a fines del invierno, con respecto al verano. Esta mayor cobertura de vegetación viva fue consecuencia del nacimiento de individuos correspondientes a especies de verano, especialmente especies de hoja ancha como *Centaurea solstitialis* (abrepuño amarillo), cuya morfología arrosetada produce una importante cobertura de suelo. En el Haplustol hubo una importante cantidad de residuos en verano - otoño, como consecuencia de la acumulación de material muerto de las especies predominantemente invernales (*Stipa*, *Piptochaetium* y *Poa*). Por el contrario, durante el mes de septiembre, esta vegetación se encontraba en pleno desarrollo vegetativo, por cuanto el peso seco como la cobertura de esta vegetación, fueron mayores que el peso seco y cobertura de los residuos.

RESULTADOS

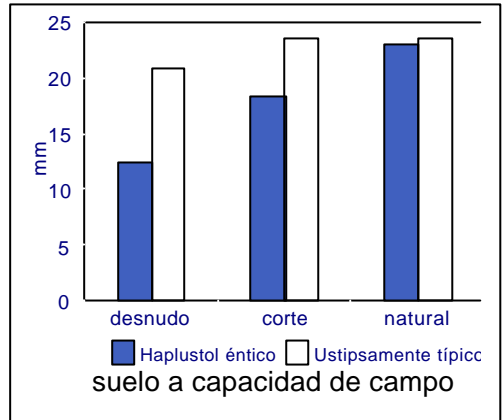
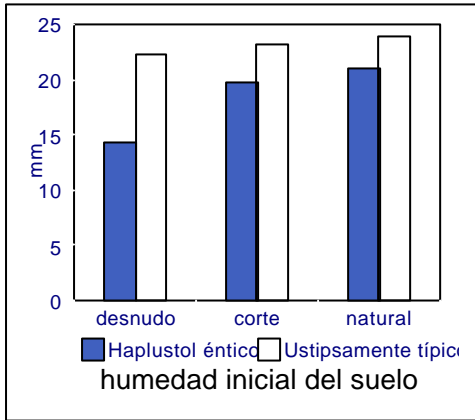
Infiltración

La infiltración total de ambos sitios se presenta en la Figura 1, bajo las dos condiciones de humedad del suelo, en verano e invierno. La infiltración total, promedio de las dos épocas del año, fue superior en el Ustipsamente (20,8 mm) que en el Haplustol (18,5 mm), equivalente al 74 % y al 65 % de la precipitación total, respectivamente. Dentro del Haplustol la infiltración total tuvo valores similares en diferentes estaciones (18,2 mm en verano y 18,7 mm en invierno), mientras que en el Ustipsamente existió una mayor variación entre épocas, con valores de 22,9 mm en verano y 18,7 mm en invierno.

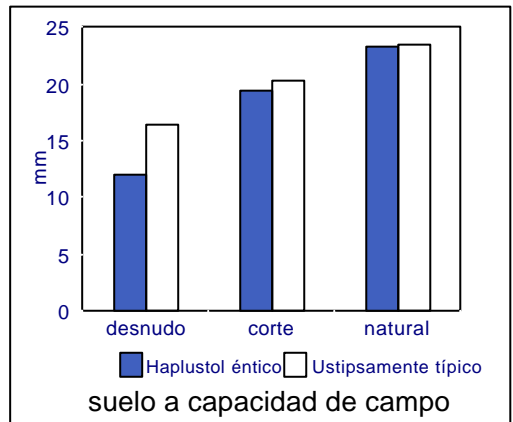
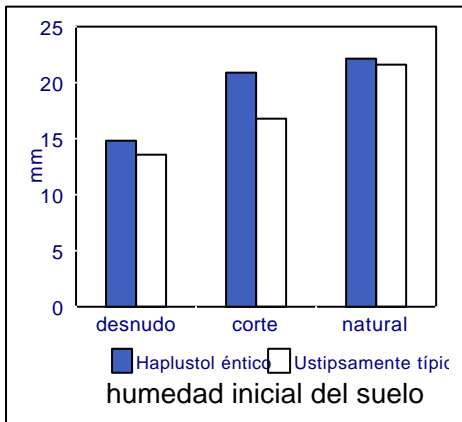
La textura más fina del Haplustol y en consecuencia el predominio de poros de menores dimensiones, provocó una menor capacidad de infiltración comparada con la del Ustipsamente, con valores equivalentes al 47 % y 64 % de la precipitación caída, cuando ambos estuvieron libres de cobertura. En el otro extremo, cuando se mantuvo la vegetación natural, los valores de infiltración fueron similares (79 % y 82 % de la precipitación), mientras que el tratamiento de corte presentó valores intermedios.

Debe resaltarse la importancia que tuvo la cobertura en el Haplustol, ya que la infiltración total fue aproximadamente el doble en el tratamiento natural con respecto al tratamiento desnudo. Mientras que en el Ustipsamente, la infiltración total pareció estar más condicionada por la textura del suelo que por la cobertura.

En el Haplustol, la infiltración total tuvo un comportamiento similar en las dos épocas del año respecto de los distintos tratamientos y condiciones de humedad del suelo. Bajo la condición de suelo seco, la infiltración fue significativamente menor ($p < 0,05$) en el tratamiento desnudo con respecto a los tratamientos de corte y natural, los que no mostraron diferencias entre sí al mismo nivel de probabilidad. Cuando el suelo estuvo a capacidad de campo, la infiltración fue significativamente menor en el tratamiento sin cobertura que en el tratamiento de corte y éste a su vez, fue significativamente menor que en el tratamiento natural. Por su parte, en el Ustipsamente, la infiltración total fue similar en los distintos tratamientos, bajo las dos condiciones de humedad de suelo a fines del verano. Sin embargo, a fines del invierno existieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, bajo ambas condiciones de humedad, con la menor infiltración en el suelo sin cobertura, seguida en orden creciente por el tratamiento de corte y el tratamiento natural.



verano



invierno

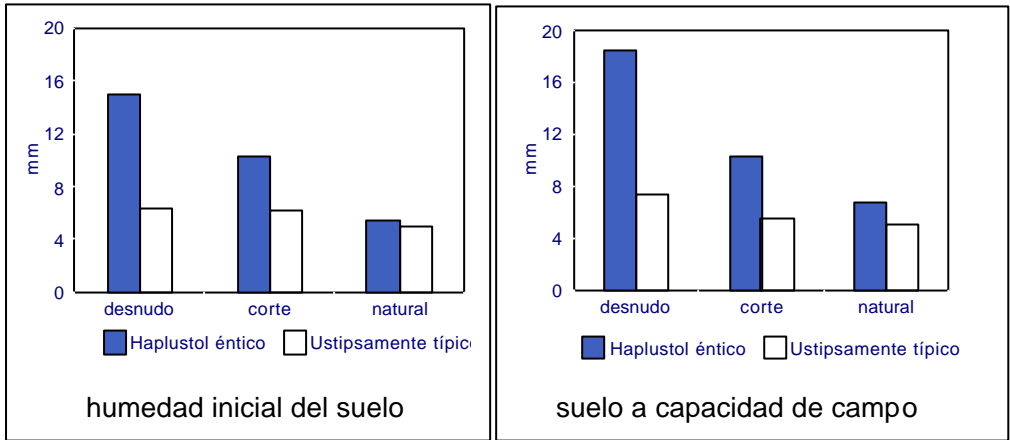
Figura 1: Infiltración total en ambos sitios, épocas y condiciones de humedad de suelo.

Escurrimiento

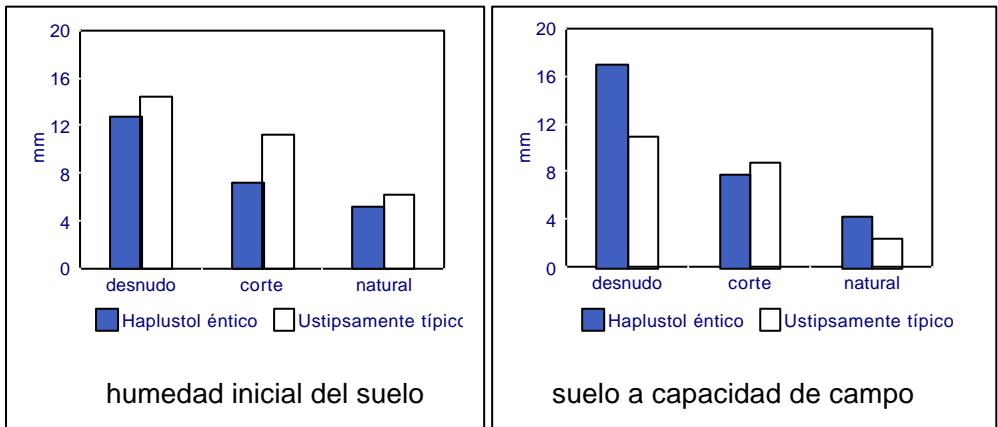
El escurrimiento total promedio en las dos épocas de estudio y bajo ambas condiciones de humedad del suelo (Figura 2) en el Haplustol fue de 15,8 mm (desnudo), 8,8 mm (corte) y 5,4 mm (natural). La diferencia fue significativamente mayor en el tratamiento desnudo con respecto al de corte ($p < 0,01$), y mayor en el tratamiento de corte respecto del natural ($p = 0,02$). En el Ustipsamente, los valores alcanzaron 9,7 mm (desnudo), 7,9 mm (corte) y 4,6 mm (natural), no existiendo diferencias entre los dos primeros tratamientos. Estos resultados demuestran que las pérdidas de agua ante la ausencia de cobertura de vegetación y residuos, son mayores en los suelos de textura más fina de la región.

El efecto de las estaciones del año sobre el escurrimiento total en el Haplustol, no mostró diferencias significativas y los tratamientos tuvieron un comportamiento similar en ambas épocas. Las pérdidas de agua fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en el suelo desnudo con respecto a los tratamientos bajo cobertura, para ambas condiciones de humedad, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí.

En el Ustipsamente, las pérdidas de agua se comportaron diferencialmente en las dos estaciones del año. Mientras que en el tratamiento natural no hubo diferencias significativas, en los demás tratamientos el escurrimiento fue mayor ($p < 0,05$) en la estación fría, probablemente por el encostramiento superficial ocurrido como consecuencia a la exposición de repetidas precipitaciones sobre el suelo en los tratamientos desnudo y de corte, durante el intervalo de las dos estaciones. En el tratamiento de corte, el escurrimiento fue de 5,9 mm a fines del verano y 10 mm a fines del invierno, por su parte en el suelo sin cobertura, los valores promediaron 6,8 mm y 12,6 mm, respectivamente.



verano



invierno

Figura 2. Ecurrimiento total en ambos sitios, épocas y condiciones de humedad del suelo.

Las pérdidas de sedimentos pueden observarse en la Figura 3. No existió un efecto significativo de la humedad antecedente del suelo en cuanto a la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía, dentro de cada tratamiento y época del año. Las pérdidas promedio de todas las observaciones, fueron mayores en el Haplustol (441 Kg/ha) que en el Ustipsamente (348 Kg/ha). Mientras que el promedio de sedimentos perdidos fue mayor en el tratamiento sin cobertura (958 Kg/ha) que en el tratamiento de corte (165 Kg/ha), y este a su vez mayor que en el natural (62 Kg/ha).

El promedio de ambas épocas de estudio muestra que los sedimentos erosionados del suelo sin cobertura fueron 1119 Kg/ha en el Haplustol y 797 Kg/ha en el Ustipsamente, en el tratamiento de corte los valores fueron de 154 Kg/ha para el Haplustol y 176 Kg/ha para el Ustipsamente. Sin embargo, cuando las condiciones naturales de vegetación y broza se mantuvieron intactas, las pérdidas medias de suelo fueron de 51 Kg/ha (Haplustol) y 73 Kg/ha (Ustipsamente).

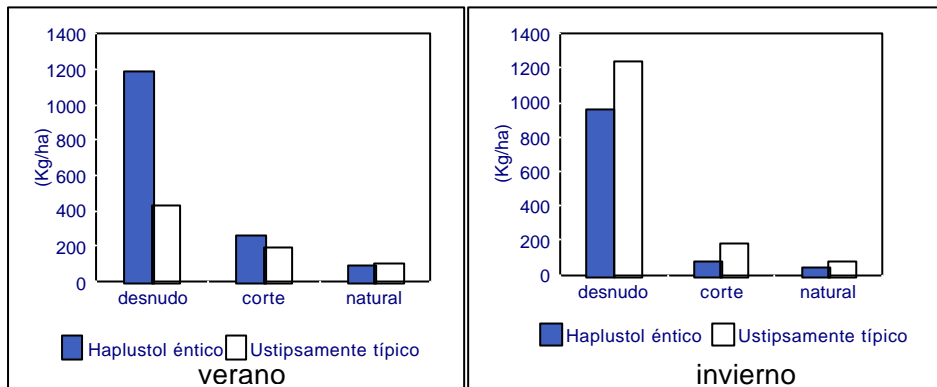
La pérdida de sedimentos no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos de corte y natural, para ambas condiciones de humedad. Sin embargo, en ausencia de cobertura, la pérdida de sedimentos fue significativamente mayor en todos los casos, a las pérdidas producidas desde el suelo con cobertura de vegetación y broza. Estos resultados evidencian que a diferencia de las pérdidas de agua, las pérdidas de sedimentos están más influenciadas por la presencia de cobertura que por el tipo de suelo. Puede apreciarse la importancia de la cobertura como agente protector del suelo, aún cuando se redujeron la fitomasa aérea de la vegetación y la broza, ya que los tratamientos bajo cobertura no evidenciaron diferencias significativas en sedimentos erosionados.

De la comparación de ambos sitios en cada estación del año, se observaron diferentes comportamientos en cuanto a la pérdida de sedimentos. En verano no existieron diferencias en las pérdidas de sedimentos para los tratamientos natural (68 Kg/ha y 85 Kg/ha) y corte (232 Kg/ha y 179 Kg/ha) en el Haplustol y el Ustipsamente respectivamente, mientras que los sedimentos perdidos del Haplustol en ausencia de cobertura (1159 Kg/ha) fueron mayores ($p < 0,01$) que los perdidos del Ustipsamente sin cobertura (374 Kg/ha).

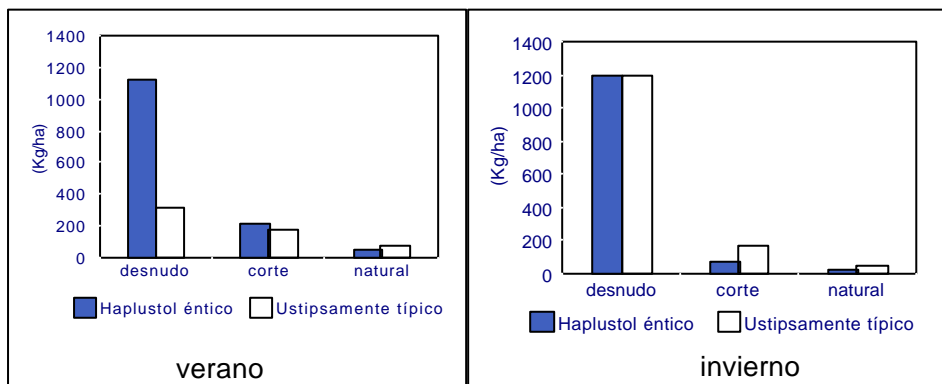
A fines de invierno, las pérdidas promedio en el Haplustol, fueron de 34 Kg/ha, 75 Kg/ha y 1078 Kg/ha, para los tratamientos: natural, corte y desnudo, respectivamente; en el mismo orden, las pérdidas del Ustipsamente fueron: 60 Kg/ha, 173 Kg/ha y 1220 Kg/ha.

En el Haplustol no existió efecto de la época del año sobre la pérdida de sedimentos. En cambio, en el Ustipsamente, los tratamientos natural y corte tuvieron una pérdida de sedimentos similar en ambas épocas, mientras que la pérdida del tratamiento desnudo fue 3,3 veces mayor en Septiembre que en Marzo.

Si se considera la masa de sedimentos proveniente del suelo libre de cobertura como un índice de susceptibilidad a la erosión (Meeuwig, 1970) o máximo potencial de pérdida de suelo para las condiciones de ese sitio, puede apreciarse la importancia de la cobertura, que en el Haplustol redujo la pérdida de sedimentos aproximadamente 9 veces en el tratamiento de corte y 22 veces en el estado de vegetación natural, tomando como referencia la pérdida producida en el tratamiento desnudo. Para el Ustipsamente, la reducción de la pérdida de suelo fue aproximadamente 2,5 veces en el tratamiento de corte y 11 veces bajo vegetación natural. La vegetación y los residuos actuaron como agentes protectores del suelo atenuando la movilización y el transporte de las partículas del suelo por impacto de las gotas de lluvia y además como diques naturales que filtraron el escurrimiento, con retención de las partículas desprendidas que fueron redepositadas en el lugar.



humedad inicial del suelo



suelo a capacidad de campo

Figura 3: Pérdida de sedimentos de ambos sitios, en dos épocas del año y bajo dos condiciones del suelo

Pérdida de nutrientes

En la Tabla 2 pueden observarse los valores promedios de carbono orgánico (CO), N y P en capas de 2 cm de espesor. Como es de esperarse en suelos bajo pastizal en donde no se efectúan labranzas que entierren residuos, la mayor cantidad de CO se encuentra en las capas superficiales del suelo por efecto de la acumulación y descomposición de residuos vegetales. Puede verse que los contenidos de CO disminuyen en profundidad, en particular en el Haplustol, mientras que en el Ustipsamente las cantidades fueron similares para ambas profundidades. La cantidad de CO fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en el Haplustol que en el Ustipsamente.

Como la mayor cantidad de N del suelo está contenida dentro de la MO, existió un paralelismo en cuanto a la presencia de N y CO en las capas superficiales del suelo. El Haplustol tuvo contenidos significativamente mayores ($p < 0,05$) de CO y N que el Ustipsamente, en las dos capas analizadas. Los contenidos de fósforo disponible fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en el Ustipsamente que en el Haplustol, en ambas capas de suelo.

Tabla 2. Valores medios y error estándar de nutrientes presentes en las capas superficiales del suelo.

| | Prof.(cm) | CO (g.Kg ⁻¹) | N (g.Kg ⁻¹) | P (mg.Kg ⁻¹) |
|---------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Haplustol éntico | 0-2 | 26,7± 3,9 | 2,6 ± 0,2 | 32,5 ± 8,0 |
| | 2-4 | 20,7± 2,7 | 2,0 ± 0,2 | 18,9 ± 3,8 |
| Ustipsamente típico | 0-2 | 13,6 ± 2,1 | 1,0 ± 0,1 | 43,1 ± 4,1 |
| | 2-4 | 12,9 ± 3,1 | 0,9 ± 0,2 | 40,7 ± 2,3 |

Las pérdidas de nutrientes por Kg de sedimentos tuvo una tendencia similar en ambos sitios, alcanzando los mayores valores en ausencia de cobertura y los menores bajo la condición natural. Las mayores pérdidas de CO y de N correspondieron al Haplustol, mientras que las mayores pérdidas de P se originaron en el Ustipsamente (Tabla 3). Estos resultados son consistentes con los contenidos iniciales de estos elementos en los respectivos sitios de estudio (Tabla 2).

En las dos estaciones del año, la concentración de CO en los

sedimentos fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en el Haplustol que en el Ustipsamente, con valores promedios de $59,5 \text{ g.Kg}^{-1}$ y $37,6 \text{ g.Kg}^{-1}$ respectivamente. La humedad antecedente del suelo en ambas estaciones del año, no tuvo un efecto significativo en la concentración de CO en los sedimentos provenientes de los dos sitios.

Dentro del Haplustol, la concentración de CO fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento de suelo desnudo (82 g.Kg^{-1}) que bajo pastizal natural ($37,7 \text{ g.Kg}^{-1}$), mientras el tratamiento de corte tuvo una concentración intermedia pero sin llegar a diferir del tratamiento natural. El Ustipsamente presentó un comportamiento diferente en las dos épocas del año, respecto de esta variable. A fines de verano, la concentración de CO en los sedimentos fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento desnudo ($54,5 \text{ g.Kg}^{-1}$) que en el tratamiento natural ($23,7 \text{ g.Kg}^{-1}$), con una concentración intermedia en el tratamiento de corte. Sin embargo, a fines del invierno no hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos

Tabla 3. Valores medios y error estándar de los principales nutrientes presentes en los sedimentos.

| | CO (g.Kg^{-1}) | N (g.Kg^{-1}) | P (mg.Kg^{-1}) |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Haplustol éntico | | | |
| verano | | | |
| desnudo | $88,5 \pm 12,6$ | $7,8 \pm 1,0$ | $48,7 \pm 2,0$ |
| corte | $64,5 \pm 8,7$ | $3,7 \pm 0,4$ | $32,5 \pm 3,4$ |
| natural | $47,0 \pm 2,9$ | $3,1 \pm 0,3$ | $21,3 \pm 4,8$ |
| invierno | | | |
| desnudo | $75,4 \pm 13,7$ | $5,5 \pm 0,7$ | $39,7 \pm 4,0$ |
| corte | $53,1 \pm 6,8$ | $3,3 \pm 0,4$ | $17,9 \pm 3,6$ |
| natural | $28,4 \pm 2,9$ | $2,6 \pm 0,3$ | $19,1 \pm 7,2$ |

Ustipsamente típico

verano

| | | | |
|---------|------------|-----------|------------|
| desnudo | 54,5 ± 5,3 | 3,0 ± 0,2 | 56,1 ± 2,4 |
| corte | 43,4 ± 7,8 | 2,4 ± 0,4 | 49,2 ± 3,9 |
| natural | 23,7 ± 2,4 | 1,7 ± 0,2 | 31,1 ± 5,8 |

invierno

| | | | |
|---------|------------|-----------|------------|
| desnudo | 37,8 ± 8,4 | 1,7 ± 0,2 | 44,7 ± 4,4 |
| corte | 32,5 ± 4,8 | 2,4 ± 0,5 | 34,8 ± 6,3 |
| natural | 33,5 ± 5,7 | 2,0 ± 0,3 | 25,6 ± 6,6 |

La concentración de N en los sedimentos fue mayor ($p < 0,05$) en el Haplustol que en el Ustipsamente, con valores de $4,3 \text{ g.Kg}^{-1}$ y $2,2 \text{ g.Kg}^{-1}$ respectivamente. La concentración de este elemento fue significativamente mayor en verano que en invierno, donde los valores promediaron $3,6 \text{ g.Kg}^{-1}$ y $2,9 \text{ g.Kg}^{-1}$. Por otra parte, la diferencia entre las dos estaciones del año fue más manifiesta en el tratamiento de suelo desnudo que en los demás, probablemente por haber sufrido la mayor pérdida de N en verano, sin el aporte de residuos orgánicos al suelo, que la compensaran.

Dentro del Haplustol, el tratamiento desnudo tuvo mayor concentración de N en los sedimentos ($6,7 \text{ g.Kg}^{-1}$), respecto de los tratamientos de corte ($3,5 \text{ g.Kg}^{-1}$) y natural ($2,9 \text{ g.Kg}^{-1}$), los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí. En el Ustipsamente no existieron diferencias significativas en cuanto a la concentración de N en los sedimentos, bajo las dos condiciones de humedad y épocas del año.

La concentración de P en los sedimentos promedió $29,8 \text{ mg.Kg}^{-1}$ en el Haplustol y $40,2 \text{ mg.Kg}^{-1}$ en el Ustipsamente. La estación del año tuvo un efecto significativo, siendo mayor en verano que en invierno. Dentro del Haplustol, esta concentración fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento de suelo desnudo, con un valor promedio de $44,2 \text{ mg.Kg}^{-1}$, que en los tratamientos de corte y natural, los que presentaron un comportamiento similar, con valores de $25,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$ y $19,8 \text{ mg.Kg}^{-1}$ respectivamente. Con respecto al Ustipsamente se puede generalizar que la concentración de P en los sedimentos, fue mayor en el tratamiento desnudo con $50,4 \text{ mg.Kg}^{-1}$, seguida por el tratamiento de corte con 42 mg.Kg^{-1} y el pastizal natural con $28,3 \text{ mg.Kg}^{-1}$.

Tasa de enriquecimiento

El CO tuvo una tasa de enriquecimiento (TE) promedio de 2,2 en el Haplustol y 2,8 en el Ustipsamente, es decir que la concentración de este nutriente en los sedimentos fue mayor que en la capa de 0 a 2 cm de profundidad de los dos suelos de origen. En cuanto al N, los resultados fueron similares al CO, con una TE de 1,7 en el Haplustol y 2,3 en el Ustipsamente (Tabla 4). El paralelismo que existió en la erosión de estos elementos, es consecuencia de que el CO como la mayoría del N están asociados con la MO del suelo. Sin embargo el P mostró un comportamiento diferente, en donde la TE promedio de los dos sitios fue de 0,9 para el Haplustol y 0,95 para el Ustipsamente, es decir que la cantidad de P erosionada fue aproximadamente igual a la cantidad presente en el suelo.

Cuando se compararon las TE, pudo observarse que las mismas fueron mayores en el Ustipsamente que en el Haplustol para CO y N mientras que el P se comportó de manera similar en ambos suelos. Esta situación podría ser explicada por distintas vías. Si bien los contenidos de MO en los primeros 2 cm del perfil del suelo fueron menores en el Ustipsamente que en el Haplustol, la pobre estructura que naturalmente posee el primero podría ser la causa de la mayor movilización de la MO del suelo, por impacto de las gotas de lluvia, provocando de esta manera un mayor enriquecimiento de CO y N en estos sedimentos (Avnimelech y McHenry, 1984). Por otra parte, la mayor cantidad de sedimentos provenientes del Haplustol puede explicar, en parte, la menor TE de CO y N debido a la relación inversa que existe entre el contenido de materia orgánica dentro de los sedimentos y el volumen de sedimentos perdidos.

Tabla 4. Tasas de enriquecimiento de CO, N y P en los sedimentos.

| | CO | N | P |
|----------------------------|-----|-----|-----|
| Haplustol éntico | | | |
| verano | | | |
| desnudo | 2,8 | 2,9 | 1,4 |
| corte | 2,5 | 1,5 | 1,0 |
| natural | 2,0 | 1,2 | 0,7 |
| invierno | | | |
| desnudo | 2,4 | 2,0 | 1,2 |
| corte | 2,1 | 1,3 | 0,5 |
| natural | 1,2 | 1,0 | 0,6 |
| Ustipsamente típico | | | |
| verano | | | |
| desnudo | 3,2 | 2,7 | 1,1 |
| corte | 3,6 | 2,7 | 1,2 |
| natural | 2,1 | 1,9 | 0,8 |
| invierno | | | |
| desnudo | 2,2 | 1,5 | 0,9 |
| corte | 2,7 | 2,7 | 0,9 |
| natural | 3,0 | 2,2 | 0,7 |

Granulometría de los sedimentos

Las pérdidas de arena total (0,05 mm a 2 mm) fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en el Ustipsamente con el 76,1 % del peso de los sedimentos, que en el Haplustol, donde esta fracción estuvo representada por el 54,4 % del peso total de los sedimentos. Pudo observarse además, que estos porcentajes fueron similares a los de los respectivos horizontes superficiales de ambos suelos de origen (Tabla 1). Las diferentes fracciones de arena en los sedimentos, fueron mayores ($p < 0,05$) en el Ustipsamente que en el Haplustol, a excepción de las arenas muy finas (0,05 mm a 0,10 mm) que no mostraron diferencias entre sitios y tuvieron una proporción semejante a la de los respectivos suelos originales. Finalmente, no hubo efecto significativo de tratamientos y épocas del año para las diferentes fracciones de arena.

Respecto de la fracción limo (0,002 mm a 0,05 mm), las pérdidas

fueron mayores ($p < 0,01$) en el Haplustol, con el 31,4 % del peso de los sedimentos, que en el Ustipsamente, donde los limos representaron el 12,8 % del peso. De manera similar a las arenas, los limos no mostraron diferencias entre tratamientos ($p > 0,45$) dentro de los respectivos sitios de estudio, si bien las pérdidas fueron mayores que el porcentaje presente en los suelos originales, de manera que la TE de los mismos en el Ustipsamente fue de 1,4 y en el Haplustol fue de 1,1.

Por último, la fracción arcilla (<0.002 mm) dentro de los sedimentos presentó diferencias significativas entre ambos sitios ($p < 0,04$), épocas del año ($p < 0,04$) y tratamientos ($p < 0,07$). Globalmente, los sedimentos del Haplustol tuvieron mayor proporción de arcillas (14,2 % del peso total) que el Ustipsamente (11,1%), sin embargo esta diferencia estuvo dada en la estación cálida, donde los sedimentos del Haplustol presentaron 17,5 % de arcilla. En ambas épocas del año el Ustipsamente perdió 11,1 % de arcilla, lo cual equivale a una TE de 1,4, mientras que en los sedimentos del Haplustol no hubo enriquecimiento de arcilla.

En ambos sitios, las mayores pérdidas de arcilla se produjeron cuando el suelo estuvo libre de cobertura de vegetación y broza. En el Haplustol, la pérdida de esta fracción granulométrica fue similar en los tres tratamientos en la estación cálida, sin embargo las diferencias se manifestaron en la estación fría. En el Ustipsamente, el comportamiento de esta variable fue inverso, las mayores pérdidas desde el suelo desnudo ($p < 0,05$) ocurrieron en la estación cálida, sin manifestarse diferencias a fines del invierno.

DISCUSIÓN

Vegetación y broza

La presencia de vegetación y de broza sumados al manejo y a la época del año, interactúan con las propiedades de los suelos frente al proceso de erosión por lluvia, modificando su capacidad de infiltración, el escurrimiento superficial y en consecuencia las pérdidas de sedimentos arrastrados por el agua. Esto significa que no se puede hacer una simple interpretación de este proceso de degradación de suelos (Pearce et al., 1998).

La cobertura y la biomasa de la vegetación tuvieron una relación inversa con la erosión laminar. Johnson y Blackburn (1989) trabajando sobre un pastizal semiárido con tratamientos similares a los propuestos en este estudio, registraron mayores pérdidas de agua y sedimentos desde el suelo desnudo, mientras que ambas pérdidas fueron similares en los tratamientos de corte y natural.

Los procesos de erosión en pastizales semiáridos se caracterizan por el efecto significativo de la variación en el espacio y en el tiempo de la vegetación nativa, cuya forma de crecimiento y el tipo de comunidad condicionan las propiedades superficiales del suelo que controlan el proceso de erosión hídrica (Blackburn y Pierson, 1994). Los suelos poco evolucionados de la región del Caldenal, bajo pastizal, se encuentran expuestos al pastoreo que provoca una disminución de la cobertura de vegetación. La biomasa de vegetación varía en función de la cantidad y distribución de la precipitación, características del suelo, presión del pastoreo y época del año. La cantidad de residuos presentes en el suelo también varía a través del año ya que los mismos pueden ser pisoteados por el ganado, comidos, arrastrados por el agua o el viento.

En las regiones semiáridas, donde la cubierta de vegetación y broza a menudo es reducida, el escurrimiento y la erosión están relacionados con la cantidad de suelo desnudo. En general, los resultados fueron coincidentes con los de otros estudios: donde la cobertura y fitomasa de vegetación y broza disminuyen, se incrementa el escurrimiento y pérdida de sedimentos (Castillo et al., 1997).

La diferencia de textura entre ambos sitios origina diferentes tipos de ambientes, donde bajo condiciones naturales, la cobertura y la fitomasa fueron mayores en el Haplustol éntico que en el Ustipsamente típico. Estos resultados se repitieron en ambas épocas del año y su explicación está dada por la mayor capacidad de retención de agua del primer suelo, así como sus mejores propiedades fisicoquímicas. Además, sobre el Haplustol se produjo una mayor variabilidad en la cobertura y la fitomasa total, así como en las proporciones de vegetación viva y broza entre estaciones.

Humedad del suelo y estación del año

La humedad del suelo al momento de la precipitación no tuvo un

efecto significativo sobre la erosión, en los dos suelos estudiados. Sin embargo, existió una disminución generalizada de pérdida de sedimentos cuando ambos suelos estuvieron a capacidad de campo. Una explicación de esta disminución en la pérdida de sedimentos con el suelo húmedo, es que después de la primera lluvia se reduce el material fácilmente disponible para la erosión. Sin embargo, Truman et al. (1990) encontraron que un incremento de la humedad del suelo, aumenta la resistencia de los agregados frente al impacto de las gotas y el flujo superficial del agua. En nuestro estudio no se apreciaron pérdidas significativamente diferentes por efecto de la humedad antecedente.

Las diferencias en las pérdidas de sedimentos pueden ser grandes tanto de una estación a otra, como de un año a otro. El notable incremento de sedimentos perdidos desde el Ustipsamente sin cobertura, a fines del invierno, podría deberse a la rápida degradación fisicoquímica sufrida en la estación cálida anterior, donde la pérdida de carbono orgánico fue tres veces mayor que la cantidad presente en la capa superficial del suelo. El desmoronamiento de los débiles agregados del suelo y el acomodamiento de las partículas frente al impacto de las gotas de lluvia, habrían provocado un encostramiento y una disminución en la capacidad de infiltración de este suelo; como consecuencia de ello se duplicó el escurrimiento, pasando de 6,8 mm en marzo a 12,6 mm en septiembre, y se incrementó tres veces la pérdida de sedimentos superficiales.

Escurrecimiento e infiltración

La conservación del agua y del suelo en ecosistemas áridos y semiáridos debe analizarse conjuntamente, debido a que del estado del suelo y de la vegetación que sustenta, dependen la dinámica del agua y el balance entre el almacenamiento temporario para su posterior uso por los organismos, así como los flujos por drenaje, escurrimiento y evaporación. En general, el promedio anual de escurrimiento desde microcuencas sin cobertura es del orden del 30 % de la precipitación anual media, mientras que en microcuencas con cobertura vegetal alcanza el 10 % (Tadmor y Shanán, 1969).

La literatura coincide en que el escurrimiento (en ausencia de cobertura) desde los suelos de textura más fina es mayor que en aquellos

de textura arenosa, en particular cuando hay formación de costra superficial (Evenari et al., 1971). En promedio, el Haplustol sufrió mayores pérdidas de agua (54 %) que el Ustipsamente (35 %), hecho que puede ser atribuible a las diferencias texturales entre ambos.

La cobertura de broza y de vegetación incrementan las tasas de infiltración (Fullen, 1991) y favorecen el almacenamiento de agua en el suelo. Al respecto, se encontró que con su cobertura natural, ambos suelos alcanzaron la mayor infiltración con valores medios del 81 % de la lluvia caída en el Haplustol y 83 % en el Ustipsamente. La cantidad de agua infiltrada en ambos sitios corroboró el fuerte efecto que ejerce la cubierta vegetal y la broza en favor de la infiltración, independientemente de las diferencias granulométricas de ambos suelos. Estos resultados sugieren que el mayor tamaño de poros texturales del Ustipsamente fue compensado por la porosidad estructural del Haplustol, de manera que la presencia de cobertura fue el principal factor determinante de la infiltración, independientemente del tipo de suelo. Tadmor y Shanan (1969) concluyeron que la mayor infiltración se produce como consecuencia de que la vegetación y los residuos retardan la velocidad de escurrimiento y protegen la superficie del suelo evitando el encostramiento.

Warren et al. (1986) reportaron variabilidad estacional en la infiltración, la misma fue significativamente mayor en la estación de crecimiento que en la estación de dormancia. Nuestros resultados no mostraron diferencias significativas en la infiltración del Haplustol, entre ambas estaciones del año, para los distintos tratamientos. Tampoco existieron diferencias estacionales en el tratamiento natural del Ustipsamente. Sin embargo, en este último sitio existió un comportamiento diferencial en las dos estaciones, en los tratamientos de corte y sin cobertura. Estos tratamientos tuvieron menor infiltración a fines del invierno. La causa probable de la infiltración diferencial entre ambas épocas de estudio, estaría dada por una mayor degradación del suelo con cobertura reducida y sin ella.

Wischmeier y Smith (1978) reportaron que la erosión de un sitio depende de su historia reciente, existiendo un efecto residual cuando cambian las condiciones de uso de la tierra. Dissmeyer y Foster (1981) demostraron que el suelo al principio tiene una estructura determinada por

la materia orgánica y por las finas raíces que unen las partículas del suelo en agregados estables. Al reducir o eliminar la cobertura, este efecto desaparece y el suelo se hace más erosionable.

La eliminación de la cubierta vegetal provoca un incremento en el escurrimiento conforme transcurre el tiempo, debido al progresivo deterioro de las propiedades físicas del suelo (Castillo et al., 1997). La magnitud de este efecto y su duración están en función de la cantidad de raíces y materia orgánica en el suelo al tiempo de provocado el disturbio. En consecuencia, dadas las mejores propiedades fisicoquímicas del Haplustol, en particular su mayor contenido de materia orgánica y su mayor estabilidad estructural probablemente ofrezca mayor resistencia a degradarse en el tiempo, que el Ustipsamente.

Pérdida de sedimentos

La pérdida de sedimentos por lluvia es consecuencia de los procesos del impacto de las gotas de lluvia sobre las partículas del suelo (salpicadura) y de la abrasión que ejerce el escurrimiento sobre la superficie. Si bien la mayor parte de los sedimentos desprendidos corresponden a la erosión por salpicadura, se observó una incipiente formación de surcos en ambos suelos ante la ausencia total de cobertura, lo cual se atribuye a la erosión por flujo superficial.

La erosión de diferentes suelos puede estar más influenciada por las características de las lluvias, la topografía, la cobertura y el manejo que por las propiedades intrínsecas del mismo; sin embargo, cuando todos estos factores son iguales, algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros. Estas diferencias causadas por las propiedades fisicoquímicas se refieren a la susceptibilidad natural del suelo frente a la erosión (Wischmeier y Smith, 1978). Los resultados fueron consistentes con las predicciones planteadas respecto de las pérdidas de sedimentos en los dos sitios de estudio. Cuando ambos suelos estuvieron libres de vegetación y broza, el peso de los sedimentos provenientes del Haplustol fue mayor que el proveniente del Ustipsamente, en virtud del mayor escurrimiento del primero. Sin embargo cuando en ambos sitios se mantuvo la cobertura natural, las pérdidas de sedimentos fueron muy reducidas y no pudieron detectarse diferencias significativas entre sitios, aunque los valores absolutos mostraron una pérdida ligeramente mayor

por parte del Ustipsamente.

Estos resultados demuestran la existencia de una interacción entre las características del suelo y de la vegetación, de manera que llegan a modificarse las proporciones de erosión desde ambos suelos cuando el manejo favorece el óptimo desarrollo del pastizal. Por otro lado, se reafirma que una extracción de forraje del orden del 40 al 55 %, no solo constituiría un uso racional desde el punto de vista del recurso forrajero, sino también desde el punto de vista del recurso suelo.

Pérdida de carbono orgánico, nutrientes y arcilla

La pérdida de nutrientes por erosión puede tener un doble efecto detrimental ya que puede contaminar aguas superficiales con elementos que debieron haber sido utilizados por las plantas para la producción de biomasa forrajera. Muchos de los nutrientes arrastrados por el agua como resultado de la erosión, son aportados principalmente por las tierras altas de las cuencas. A medida que las partículas desprendidas se mueven corriente abajo, sufren una segregación selectiva y los nutrientes están sujetos a adsorción y desorción entre los sedimentos y el agua. Durante el transporte puede producirse un enriquecimiento de arcillas y nutrientes. Entre otros autores, Sharpley (1985) reporta enriquecimiento de CO, N y P en sedimentos producidos por erosión hídrica.

La rápida pérdida de materia orgánica que se produce en suelos sin vegetación y sus consecuencias en las propiedades físicas, fue considerada por Albaladejo et al. (1998) como el principal factor de degradación del suelo, quienes además, no encontraron síntomas de recuperación natural luego de dos años de haber disturbado un ambiente. Este hecho afirma que la actividad del hombre o los cambios climáticos que implican una reducción de la cobertura, puede provocar un importante proceso de desertificación en estos ambientes, que según Dregne (1978) conducirían a una reducción en la capacidad de carga animal, un deterioro ambiental por erosión y en consecuencia, una reducción en el estándar de vida en las poblaciones humanas.

La declinación de los contenidos de materia orgánica en un suelo sin cobertura puede atribuirse a varios factores, entre los que pueden citarse: la falta de residuos que retornan al suelo debido a la ausencia de

vegetación (Parton, 1987), el incremento de la temperatura del suelo que provoca una mayor mineralización (Scott et al., 1994), y la pérdida ocurrida por escurrimiento (Adema et al., 2001). En nuestro estudio, la concentración promedio de CO presente en los sedimentos, se duplicó en el Haplustol (2,2) hasta casi triplicarse en el Ustipsamente (2,8), respecto de la cantidad presente en la capa superficial de los respectivos suelos. En ambos sitios existió una relación inversa entre la pérdida de este elemento y la cobertura del suelo, manifestándose una vez más, la importancia que tiene el manejo del pastizal para la sustentabilidad productiva de estos sistemas ganaderos.

Albaladejo et al. (1998) concluye que los procesos de degradación del suelo luego de eliminar la vegetación en zonas semiáridas, pueden ser cuantificados en cortos periodos de tiempo, de manera que la disminución de propiedades vitales del suelo tales como contenido de CO y estabilidad estructural, podrían terminar en un proceso de degradación irreversible. Respecto de esta afirmación, nos encontramos que los suelos del Caldenal presentan una alta susceptibilidad a erosionarse y que la pérdida de CO es muy importante. El enriquecimiento de CO en los sedimentos fue el triple para el Ustipsamente y el doble para el Haplustol, respecto del contenido inicial de ambos sitios, por lo tanto si persistiera la falta de cobertura, la erosión provocaría una degradación más rápida del Ustipsamente que en el Haplustol debido a esta mayor movilización de la materia orgánica.

La erosión por lluvia provoca importantes pérdidas de MO acompañadas por N y P (Barrows y Kilmer, 1963). Nuestro estudio mostró concentraciones importantes de CO y N en los sedimentos, con TE de N igual a 2,3 y 1,7 para el Ustipsamente y el Haplustol respectivamente, mientras que las pérdidas de P fueron similares a los contenidos iniciales de los respectivos suelos. Al respecto, Avnimelech y McHenry (1984) reportaron TE de CO y N en sedimentos provenientes de 41 suelos, como una función inversa al contenido inicial en los suelos de origen, ajustándose a un modelo exponencial negativo, lo cual significa que los suelos más pobres en CO y N tienen mayor enriquecimiento en sus sedimentos y viceversa.

Las pérdidas de N y P se producen en los sedimentos y parte en el agua de escurrimiento superficial. Las concentraciones de N y P solubles

en el agua de escurrimiento son mucho menores que las concentraciones de estos nutrientes en los sedimentos (Burwell et al., 1975). Al respecto, Harter (1968) encontró que la mayoría del P perdido por erosión hídrica se encontraba adsorbida en los sedimentos. De esto puede deducirse que todas las prácticas que controlan o reducen las pérdidas de sedimentos, también son efectivas para reducir las pérdidas de P.

La composición y distribución del tamaño de las partículas de los sedimentos muchas veces difiere de aquella de los suelos de origen. Estos cambios se producen a lo largo del camino desde el punto de desprendimiento hasta el sitio de sedimentación (Foster et al., 1985). Los agregados son separados en pequeños agregados o en sus diferentes fracciones texturales. Existen varios reportes de enriquecimiento de arcilla en los sedimentos, donde la distribución del tamaño de las partículas dentro del flujo superficial está influenciada por la presencia de vegetación, la cual funciona como un filtro selectivo de las fracciones texturales (Pearce et al., 1998). Nuestros resultados mostraron un enriquecimiento de la fracción arcilla en los sedimentos, principalmente bajo la condición de suelo desnudo; así mismo fue más importante el enriquecimiento en el Ustipsamente que en el Haplustol coherentemente con lo hallado por Avnimelech y McHenry (1984). Con respecto a las arenas y limos, las pérdidas no fueron significativamente diferentes de los contenidos iniciales de los suelos de origen.

CONCLUSIONES

Conforme disminuye el porcentaje de cobertura del pastizal, se incrementa el escurrimiento superficial y en consecuencia, las pérdidas de sedimentos y nutrientes, en ambos suelos del Caldenal. Inversamente, una buena cobertura retarda el movimiento del agua sobre la superficie y favorece la infiltración, conserva el suelo y optimiza el recurso "agua", principal limitante de la región.

En ausencia de cobertura, las precipitaciones de alta intensidad provocan mayor erosión en los Haplustoles que en los Ustipsamientos, como consecuencia de la menor infiltración del primero, lo cual genera un mayor escurrimiento y arrastre de partículas desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia. Sin embargo, este proceso se iguala y hasta llega a invertirse cuando se mantiene intacta la cobertura natural, puesto que el Haplustol por sus mejores propiedades fisicoquímicas, genera mayor biomasa y cobertura de pastizal.

La eliminación total de vegetación y broza provocó una degradación más rápida del horizonte superficial en el Ustipsamiento típico, como consecuencia de la débil estructuración y el escaso contenido de coloides orgánicos.

En presencia de vegetación natural y reducida, las diferencias estacionales provocaron cambios en la cobertura y en la biomasa total así como en la composición porcentual de vegetación y residuos sobre ambos suelos, sin embargo, no se produjeron cambios significativos en las pérdidas de agua y sedimentos.

La pérdida de nutrientes está inversamente relacionada al porcentaje de cobertura del suelo, en ambos sitios, con un fuerte incremento ante la ausencia total de cobertura. El CO fue el principal constituyente afectado por la erosión hídrica en ambos suelos, hecho de fundamental importancia por su difícil recuperación. La pérdida total fue mayor en el Haplustol, aunque con relación al contenido inicial de ambos suelos, los mayores porcentajes de pérdida los sufrió el Ustipsamiento.

El manejo de la cobertura en los pastizales del Caldenal debe alcanzar un equilibrio entre la optimización de la producción ganadera y la

conservación de los recursos agua y suelo, ya que un sobreuso del forraje puede desencadenar procesos erosivos irreparables. En virtud de que las tierras de pastizal son la base de la ganadería de cría bovina, ovina y caprina; conservación y reserva de especies nativas de la flora y la fauna y en general de la biodiversidad, constituyendo el sustento de muchas economías locales y regionales, sumado a la fragilidad de estos ecosistemas y su uso frecuentemente inadecuado, hacen necesaria una investigación y gestión tendientes a lograr la productividad sustentable.

BIBLIOGRAFIA

Adema, E. O. 2000. Erosión hídrica en dos suelos de pastizal bajo diferentes porcentajes de cobertura vegetal y mantillo en la región del caldenal pampeano. Tesis Magister Cs. Agrarias. UNS. Bahía Blanca. 100 pp.

Adema, E. O., F. J. Babinec y N. Peinemann. 2001. Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal pampeano. *Ciencia del Suelo*. 19: 144-154.

Albaladejo J., M. Martínez Mena, A. Roldan, and V. Castillo. 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use and Manage.* 14: 1-6.

Avnimelech Y, and J. R. McHenry. 1984. Enrichment of transported sediments with organic carbon, nutrients, and clay. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 359-266.

Barrows H. L., and V. J. Kilmer. 1963. Plant nutrient losses from soils by water erosion. *Adv. Agronomy.* 16: 303-316.

Blackburn, W. H., and F. B. Pierson, Jr. 1994. Sources of variation in interrill erosion on rangelands. *In: Variability in rangeland water erosion processes.* Ed. W. H. Blackburn, F. B. Pierson, Jr., G. E. Schuman, and R. Zartman. *Soil. Sci. Soc. Am, Inc. Wisconsin, USA.* pp. 1-8.

Buschiazzo, D. E., S. B. Aimar, A. R. Quiroga. 1991. Influencia de cementantes inorgánicos sobre la estabilidad estructural de suelos de la región semiárida pampeana central. *Actas XIII CACS.*

Bwruell, R. E., D. R. Timmons, and R. F. Holt. 1975. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 523-528.

Cabrera, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería.* Tomo II fasc. 1. 85 p.

Castillo, V. M., M. Martínez Mena, and J. Albaladejo. 1997. Runoff and soil

loss response to vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1116-1121.

Covas, G. 1989. Evolución del manejo de suelos en la Región Pampeana Semiárida. Actas de las primeras jornadas de suelos de zonas áridas y semiáridas. INTA Anguil, Fac. Agr. UNLPam., Asoc. Arg. Cs. Suelo, Gob. Prov. La Pampa y CONICET. p. 1-11.

Covas, G. y A. E. Glave. 1988. Erosión. Provincia de La Pampa. *En: El deterioro del ambiente en la Argentina.* Fundación para la educación, la ciencia y la cultura.FECIC. p.109-114.

Dissmeyer, G. E., and G. R. Foster. 1981. Estimating the cover - management factor c in the universal soil loss equation for forest conditions. *J. Soil and Water Conserv.* 36: 235-240.

Dregne, H. E. 1978. Desertification: Man's abuse of the land. *J. Soil and Water Conserv.* 34: 11-14.

Eyenari, M., L. Shanan, and N. H. Tadmor. 1971. The Negev: The challenge of a desert. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press. 345 pp.

Foster, G. R., R. A. Young, M. J. Römkens, and C. A. Onstad.1985. Processes of soil erosion by water. p. 137-162. *In: Soil erosion and crop productivity.* Ed. by R. F. Follett, and B. A. Stewart.

Fullen, M. A. 1991. A comparison of runoff and erosion rates on bare and grassed loamy sand soils. *Soil use and management.* 7: 136-139.

Harter, R. D. 1968. Adsorption of phosphorus by lake sediment. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 514-518.

INTA, Prov. de La Pampa, UNLPam. 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Prov. de La Pampa. 493 pp.

Johnson, C. W. And W. H. Blackburn. 1989. Factor contributing to sagebrush rangeland soil loss. *Trans. ASAE.* 32: 155-160.

Mathan, K. K., and N. Kannan. 1993. Influence of rainfall on nutrient loss in sediment and runoff water in two watersheds under contrasting landscape systems. *Jour. Indian Soc. Soil Sci.* 41: 606-608.

McCalla, G. R., W. H. Blackburn, and L. B. Merrill. 1984. Effects of livestock grazing on infiltration rates, Edwards Plateau of Texas. *J. Range Manage.* 37: 265-269.

Meeuwig, R. O. 1970. Infiltration and soil erosion as influenced by vegetation and soil in Northern Utah. *J. Range Manage.* 23: 185-188.

Pearce, R. A., G. W. Frasier, M. J. Trlica, W. C. Leininger, J. D. Stednick, and J. L. Smith. 1998. Sediment filtration in a montane riparian zone under simulated rainfall. *J. Range Manage.* 51: 309-314.

Parton W. J., D. S. Schimel, C. V. Cole, and D. S. Ojima. 1987. Analysis of

factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1173-1179.

Scott H. D., A. Mauromoustakos, L. P. Handayani, and D. M. Miller. 1994. Temporal variability of selected properties of loessial soil as affected by cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1531-1538.

Sharpley A. N. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. Soil Sci. Soc. Am J. 49:1527-1534.

Tadmor, N. H., and L. Shanan. 1969. Runoff inducement in an arid region by removal of vegetation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 790-794.

Thurrow, T. L. 1991. Hydrology and erosion. *In*: Grazing management an ecological perspective. Ed. by Radney K. Heitschmidt, and Jerry W. Stuth. p. 141-159.

Thurrow, T. L., W. H. Blackburn, and C. A. Taylor, Jr. 1988. Infiltration and interrill erosion responses to selected livestock grazing strategies, Edwards Plateau, Texas. J. Range Manage. 41: 296-302.

Truman, C. C., and J. M. Bradford. 1990. Effect of antecedent soil moisture on splash detachment under simulated rainfall. Soil Science. 150: 787-798.

Truman, C. C., J. M. Bradford, and J. E. Ferris. 1990. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1385-1392.

Warren, S. D., W. H. Blackburn, and C. A. Taylor, Jr. 1986. Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. J. Range Manage. 39: 486-491.

Wilcox, B. P. 1994. Runoff and erosion in intercanopy zones of pinyon-juniper woodlands. J. Range Manage. 47: 285-295.

Wood, M. K., and W. H. Blackburn. 1984. Vegetation and soil responses to cattle grazing systems in the Rolling Plains. J. Range Manage. 37: 303-308.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA Handb. N° 537.

DIAGRAMACION, COMPOSICIÓN E IMPRESIÓN

Beatriz E. García
Omar A. Bortolussi
Luisa Blatner de Mayoral

***Impreso en los talleres gráficos de la
EEA Anguil "Ing.Agr. Guillermo Covas- INTA
Tirada 1000 ejemplares***

Diciembre de 2003