

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RELEVAMIENTO DE SUELOS Y EVALUACIÓN DE TIERRAS CON EL FIN DE  
REALIZAR LA GESTIÓN SOSTENIBLE (ECOLÓGICA) DE LA UNIDAD  
LECHERA DE LA EEMAC

por

Noelia ARGUIMBAO BILLALBA

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2018

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. MSc. Álvaro Califra

-----  
Ing. Agr. PhD. Pablo Chilibroste

-----  
Ing. Agr. MSc. Jorge Hernández

Fecha:

20 de diciembre de 2018

Autora:

-----  
María Noelia Arguimbau Billalba

## AGRADECIMIENTOS

A mis tutores por haber depositado en mí la confianza en este proyecto: Pablo Chilbroste, quien pensó esta tesis, por su dedicación, disposición y seguimiento. Álvaro Califra, quien compartió conmigo su amplia experiencia, su ayuda y valiosos aportes a la hora de estudiar y exponer adecuadamente los resultados.

A todo el equipo docente de la cátedra de Edafología del Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía y Estación experimental Mario Cassinoni.

A quienes colaboraron en la realización de este trabajo: Gustavo Olivera, Andrés Bereta, Silvia Delgado y Ana Silbermann.

A mi familia por su constante apoyo durante toda mi formación, y muy especialmente a Dios, quien me permitió llegar hasta aquí.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
I. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
A. <u>EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS</u> .....	3
1. <u>Efecto de la erosión y de la degradación de los suelos</u> .....	3
2. <u>Erosión y degradación de los suelos a nivel nacional</u> .....	5
3. <u>Erosión hídrica</u> .....	9
B. <u>MODELO USLE/RUSLE</u> .....	11
1. <u>Estructura del modelo USLE/ RUSLE</u> .....	12
a. Factor erosividad de la lluvia - R .....	14
b. Factor erodabilidad del suelo - K.....	16
c. Factores topográficos L y S.....	18
d. Factor de uso y manejo - C .....	19
e. Factor práctica mecánica: P .....	22
2. <u>Validación del modelo USLE/RUSLE en Uruguay</u> .....	23
3. <u>Programa Erosión 6.0</u> .....	26
C. <u>PLANES DE USO EN SISTEMAS LECHEROS</u> .....	27
III. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	29
A. <u>ANTECEDENTES, CARACTERIZACIÓN DEL SITIO EEMAC</u> ...	29
1. <u>Ubicación</u> .....	29
2. <u>Datos climáticos de la zona de estudio</u> .....	31
3. <u>Geología del predio</u> .....	33
4. <u>Descripción de grupo CONEAT</u> .....	34
5. <u>Descripción del sitio experimental</u> .....	35
a. Potrero 5ab.....	36
b. Potrero 5c.....	37
c. Potrero 5d.....	38
d. Potrero 6 b.....	38
e. Potrero 6c.....	39
f. Potrero 6d.....	39
g. Potrero 7a.....	39
h. Potrero 7b.....	39
i. Potrero 8.....	40
j. Potrero 9.....	40
k. Potreros 11 a y b.....	40

I. Potreros 21, 22, 23 y 24 .....	41
B. MAPEO DETALLADO DE SUELOS DEL ÁREA EN ESTUDIO ..	42
1. <u>Selección de áreas de estudio y muestreo</u> .....	42
2. <u>Carta básica de suelos</u> .....	44
3. <u>Carta interpretativa por capacidad de uso y propiedades</u> <u>inferidas de los perfiles de suelos</u> .....	44
4. <u>Definición de secuencia</u> .....	45
5. <u>Ecuación universal de pérdida de suelo</u> .....	45
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	47
A. CARTA BÁSICA DE SUELOS.....	47
1. <u>Descripción de las unidades cartográficas</u> .....	49
a. Unidad Alto plano .....	49
b. Unidad Ladera fuerte.....	53
c. Unidad Ladera suave .....	55
d. Unidad Planicie baja.....	58
B. PROPIEDADES A INFERIR .....	60
1. <u>Propiedades físicas</u> .....	61
2. <u>Propiedades complejas</u> .....	62
a. Drenaje natural.....	63
b. Riesgo de sequía .....	64
c. Riesgo de erosión .....	65
d. Fertilidad natural.....	66
C. ASIGNACIÓN DE CLASE POR CAPACIDAD DE USO .....	68
1. <u>Alto plano (clase II- VI<sub>s</sub>)</u> .....	69
2. <u>Ladera fuerte (clase IV<sub>e</sub>)</u> .....	70
3. <u>Ladera suave (clase III<sub>e</sub>)</u> .....	70
4. <u>Planicie baja (clase III<sub>h</sub>)</u> .....	71
5. <u>Planicie baja asociada a las vías de drenaje</u> <u>principales (clase V<sub>h</sub>)</u> .....	71
6. <u>Concavidades asociadas a las vías de drenaje</u> <u>secundarias (clase IV<sub>e</sub>)</u> .....	71
D. REDEFINICIÓN DE POTREROS.....	73
E. EVALUACIÓN DE ROTACIONES PARA LA UNIDAD LECHERA.....	75
1. <u>Rotaciones evaluadas</u> .....	75
2. <u>Estimación de pérdidas de suelo por erosión a través</u> <u>del modelo USLE/RUSLE para las</u> <u>diferentes capacidades de uso</u> .....	78
a. Estimación de las pérdidas de suelo para las unidades definidas según la secuencia histórica del sistema .....	80
b. Estimación de las pérdidas de suelo	

para las unidades definidas según rotaciones alternativas propuestas .....	88
V. <u>CONCLUSIONES</u> .....	100
VI. <u>RESUMEN</u> .....	103
VII. <u>SUMMARY</u> .....	104
VIII. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	105
IX. <u>ANEXOS</u> .....	112

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Valores medios anuales de factor C, estimados para diferentes alternativas de uso .....	20
2.	Estimaciones de factor C (USLE/ RUSLE) para diferentes alternativas de uso y manejo del suelo .....	22
3.	Secuencia de pasturas del potrero 5c .....	37
4.	Secuencia de pasturas del potrero 5d .....	38
5.	Secuencia de pasturas del potrero 6b .....	39
6.	Secuencia de pasturas del potrero 7b .....	40
7.	Secuencia de pasturas del potrero 9 .....	40
8.	Secuencia de pasturas de los potreros 21, 22, 23 y 24 .....	41
9.	Unidades definidas según suelo dominante. (gran grupo), familia textural y fase de pendiente .....	48
10.	Descripción morfológica del perfil P1 .....	51
11.	Resultados químicos del perfil P1 .....	52
12.	Resultados de análisis textural del perfil P1 .....	52
13.	Descripción morfológica del perfil P2 .....	54
14.	Resultados de análisis químico del perfil P2 .....	54
15.	Resultados de análisis textural del perfil P2 .....	54
16.	Decripción morfológica del perfil P3 .....	57
17.	Resultados de análisis químico del perfil P3 .....	57
18.	Resultados de análisis textural del perfil P3 .....	57

19.	Descripción morfológica del perfil modal para la unidad .....	59
20.	Resultados de análisis químico del perfil P4 .....	59
22.	Propiedades inferidas a cada unidad .....	61
23.	Propiedades complejas inferidas a cada unidad .....	63
24.	Unidades cartográficas según capacidad de uso y superficie que ocupan en hectáreas (ha.) y porcentaje (%) .....	68
25.	Secuencia de cultivos forrajeros utilizados en la upl de la EEMAC, bajo actual sistema de empotrerramiento .....	76
26.	Secuencia de cultivos forrajeros alternativos para la upl de la EEMAC, bajo sistema de empotrerramiento rediseñado .....	77
27.	Factores R y K del modelo, y niveles de tolerancia definidos para la unidad San Manuel .....	78
28.	Estimación de factor erodabilidad del suelo (factor K) para cada unidad .....	79
29.	Obtención del valor de K, para la unidad Alto plano ....	80
30.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada en la unidad Alto plano .....	81
31.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada actualmente en la unidad Ladera fuerte .....	83
32.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada actualmente en la unidad Ladera suave .....	85
33.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas	

	en la unidad Alto plano .....	91
34.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas en la unidad Ladera fuerte .....	96
35.	Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas en la unidad Ladera suave .....	98
Figura No.		
1.	Mapa de riesgo de degradación de suelos del Uruguay .....	8
2.	Carta de erosión antrópica .....	9
3.	Representación del proceso de erosión .....	11
4.	Esquema del modelo USLE/RUSLE .....	13
5.	Mapa tentativo de isoerodentas de la zona Sur de la cuenca del plata .....	16
6.	Regresión lineal entre la tasa de erosión promedio anual medida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural y estimadas con el modelo USLE/RUSLE en 3 localidades del país .....	24
7.	Nomograma para determinar K .....	25
8.	Mapa político administrativo del Uruguay .....	29
9.	Ubicación del área en estudio y empotramiento de la EEMAC, sobre Google earth .....	30
10.	Registro de precipitaciones para el periodo de muestreo y serie histórica (1980-2009) de INIA, para el departamento de Paysandú .....	31
11.	Registro de temperaturas para el periodo de muestreo y serie histórica 1980/2009, de INIA, para el departamento de Paysandú .....	32

12.	Ubicación de la estación experimental en la carta geológica del Uruguay, 1:500.000 .....	33
13.	Ubicación de la estación experimental según mapa CONEAT .....	34
14.	Ubicación de la estación experimental en Google earth .....	36
15.	Aspecto del potrero 5ab .....	37
16.	Aspecto del Potrero 5d .....	38
17.	Carta de suelo de la unidad lechera de la EEMAC .....	47
18.	Suelos halomórficos asociados a la unidad .....	50
19.	Perfil modal y paisaje de la unidad alto plano .....	50
20.	Perfil modal y ubicación en el paisaje de la unidad Ladera fuerte .....	53
21.	Perfil modal y ubicación en el paisaje de la unidad Ladera suave .....	56
22.	Perfil modal, ubicación y paisaje de la unidad Planicies bajas .....	58
23.	Mapa por capacidad de uso del área .....	72
24.	Rediseño del área de tambo de acuerdo a la capacidad de uso .....	73
25.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad Alto plano .....	82
26.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad Ladera fuerte .....	84
27.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad Ladera suave .....	86

28.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad Alto plano .....	92
29.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad Ladera fuerte .....	97
30.	Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad Ladera suaves .....	100

## I. INTRODUCCIÓN

La gestión de las empresas agropecuarias se ve favorecida cuando se planifica la producción con criterios técnicos y científicos sólidos que aseguran la sostenibilidad. Los modelos de las empresas lecheras del Uruguay suponen una fuerte inversión y/o utilización de capital entre lo que se destaca la tierra, infraestructura, mano de obra, equipamiento, animales, sanidad, semillas, fertilizante, etc.

Tal como expresa Vasallo (2011), *“el aumento de la producción en los tambos fue esencialmente vertical mediante la adopción de nuevas tecnologías, tal como lo indica el incremento en la producción promedio, la cual pasó de 731 litros/hectárea en 1977, a 1685 litros/hectárea en el 1997.”*

Datos aportados por MGAP. DIEA (2016), denotan un crecimiento en el volumen de producción de leche total alcanzando 2.240 millones de litros producidos en predios comerciales, los cuales son acompañados de una mayor remisión a planta.

*“El camino, con base en el cambio técnico, conduce a crecientes niveles de productividad acompañados por mejora en los ingresos para los productores”. “La evolución hacia la mayor productividad demanda niveles crecientes de alimento por hectárea, pero ésta ha encontrado dos restricciones: i) superficie máxima de pasturas en predio, en relación al conjunto de actividades, debido a la rotación de pasturas con cultivos requeridas; y ii) la capacidad biológica de las pasturas”* Vasallo (2011). Esta última estimada para una pradera mezcla simple de trébol blanco, lotus y gramíneas perennes en 10 toneladas de materia seca/hectárea en el segundo año Leborgne (1995).

Es por esto que las necesidades alimenticias a lo largo del año deben satisfacerse con la producción de praderas, forrajes y concentrados obtenibles en diferentes períodos.

En síntesis, esta intensiva producción debe compatibilizar con la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental, reduciendo los impactos derivados de ella. Para ello, es necesaria la planificación del ambiente físico productivo. Debido a esto, es imprescindible hacer uso del suelo de forma diferencial en las diversas unidades de paisaje, ajustándose a las exigencias sobre uso y manejo de suelo.

Este trabajo tiene como objetivo general, estudiar el ambiente físico (suelo) de la unidad de producción lechera de la estación experimental Mario Cassinoni (EEMAC), a partir de la descripción, análisis y posterior evaluación

del potencial uso del mismo. A tales efectos también se evaluará cuantitativamente las pérdidas promedio anuales de diversas alternativas de uso utilizando el modelo USLE/ RUSLE.

Por este medio se aspira a obtener criterios de manejo correctivo para mantener la sostenibilidad del sistema y conservación del ambiente.

Los objetivos específicos son:

- Elaborar la carta básica de suelos, definir unidades cartográficas, describir perfiles modales y asigna capacidad de uso, para finalmente elaborar la carta según capacidad de uso para el área en estudio.
- Proponer un rediseño del uso del área de tambo.
- Comparar la situación actual con un escenario, a partir del rediseño de los potreros según la capacidad de uso dominante de la unidad.
- Planificar la producción en base a los resultados alcanzados en el punto previo, procurando realizar un uso y manejo sustentable (ecológico), que minimice las pérdidas de suelo por erosión.
- Incrementar el nivel de información edáfica para la estación experimental.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Rediseñar el área del tambo a partir del estudio y definición de unidades cartográficas, coloca al suelo en una posición de partida en este estudio, dado que es considerado la base de la producción agropecuaria del país, por lo que es importante mantener dicho medio (recurso natural), de forma estable y sostenible a lo largo del tiempo.

La Dra. Gro Harlem Brundtland (1987) en su informe “Nuestro futuro común” para la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD), difunde el concepto de desarrollo sustentable, como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (CMMAD, 1987).

*“La economía de Uruguay se basa principalmente en la explotación agrícola-ganadera de su suelo, por lo tanto, todo lo que influya en una disminución de su productividad se ve reflejado en un deterioro de los ingresos del país y, en consecuencia, en el nivel de vida de sus habitantes” (Petraglia, 1982).*

### A. EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

#### 1. Efecto de la erosión y de la degradación de los suelos

Tal como definen Durán y García Préchac (2007b), entienden por erosión, “*la pérdida del material de suelo en un lugar concreto del paisaje.*” Este proceso consiste en el desprendimiento y transporte de las partículas de suelo a través de aire o agua y su posterior acumulación en otra parte del paisaje. Al producirse la erosión en una parte ocurre deposición o sedimentación en otra.

Se puede separar de forma general dos posibles orígenes de dicho fenómeno: por acción natural o geológica, es un proceso gradual e imperceptible a escala humana, en la que no interviene la acción del hombre como agente erosivo. El otro es por acción antrópica, o acelerada, debido a que se constatan tasas de erosión mayores a los que se advierten por causas naturales. Este tipo de erosión se asocia al uso y manejo que se somete el suelo por parte del hombre, ya que la misma genera un desequilibrio en la aparente estabilidad que se encuentra el suelo cuando a la cobertura vegetal es natural. A esto agregan Durán y García Préchac (2007b) el efecto erosivo que causa el tráfico y pasaje de maquinaria y las altas cargas animales, las cuales pueden provocar degradación física sin que se traslade material de un lugar a otro, como por ejemplo la compactación.

A nivel nacional se destaca como principal agente erosivo la acción del agua (erosión hídrica) cuya impacto negativo no solo radica en el desprendimiento y desagregación de los materiales, sino también en el transporte de los mismos por dicho agente, los cuales se vuelcan y acumulan dentro de las cuencas hidrográficas de la región (Petraglia 1982, Durán y García Préchac 2007b), lo que hace reflexionar en cuanto al daño que provoca directamente sobre una parcela, así como consecuencias fuera de la misma (regionales y zonales).

El abordar este tema hace necesario definir aquí otro concepto muy vinculado a la erosión, como lo es la degradación, entendiéndose el mismo como, la pérdida o disminución de propiedades del suelo favorables para el crecimiento de las plantas. Dichas propiedades son las clasificadas como físicas, químicas y biológicas (Durán y García Préchac, 2007b). Esto lleva a la disminución de la productividad económica del sistema. La degradación de los suelos es, en su sentido más amplio, uno de los principales problemas con los que se enfrenta el mundo en este momento (Plá, 2006).

Este proceso, si bien puede darse por diversas causas, está correlacionado positivamente con la erosión. Dado que ésta última provoca una evidente disminución del contenido de materia orgánica de los suelos, cuyo contenido es el principal indicador de degradación, así como también de calidad del suelo. El contenido de carbono del suelo a su vez constituye un indicador de la calidad y puede obtenerse con relativa facilidad. Por lo común el tenor de carbono se correlaciona positivamente con el comportamiento agronómico del suelo (Christensen, 1992).

Cambios en los niveles de materia orgánica van desencadenando cambios en otras propiedades además de la fertilidad, como por ejemplo en las propiedades físicas: pérdida de estructura, compactación del suelo, menor aireación, disminución del agua dentro del perfil, entre otras.

También debe de reconocerse la importancia de la materia orgánica, en lo que refiere a la actividad biológica que se desarrolla a partir de ella. Cabe señalar aquí la función determinante en cuanto al desarrollo de la estructura y la porosidad (Durán y García Préchac, 2007b).

Por último, dentro de las propiedades químicas que se ven afectadas por cambios en los niveles de materia orgánica, se encuentra el aporte y dinámica de nutrientes, reconociéndose como única fuente de nitrógeno y principal de azufre en el suelo.

La materia orgánica puede afectar tres fenómenos principalmente: una de ellos puede ser la erosión, cuyas consecuencias afectan particularmente a la capa más superficial del suelo que es la que se ve más expuesta a sus efectos. Esa porción del suelo es la que registra mayor actividad biológica y coincidentemente la que reúne mejores propiedades para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales naturales y cultivadas.

Otra posible causa de pérdida o deterioro puede deberse a los efectos de la aplicación de sistemas agrícolas netamente extractivos, donde se registra el balance negativo entre la biomasa extraída en sus diversas formas y los aportes de la misma al sistema (residuos después de la cosecha, sistema radicular, etc.).

Gran parte de tales pérdidas son atribuidas al efecto del laboreo, el cual expone la materia orgánica al ambiente, acelerando el proceso de oxidación biológica (Durán y García Préchac, 2007b).

El rápido crecimiento de la población a nivel mundial y la intensificación agrícola asociada exige tomar medidas inmediatamente, procurando detener o aminorar el proceso de erosión y degradación que se registra año a año; más si se tiene presente que la recuperación de los suelos es un proceso lento y poco rentable. La prevención y la planificación conservacionista del uso de la tierra constituyen la mejor opción para disminuir esa tendencia.

Sin embargo, es importante destacar que como lo expresa De la Rosa (2008), no puede acusarse a la intensificación de la agricultura, la degradación de los suelos, dado que las pérdidas por erosión que se registran bajo la aplicación de un sistema intensivo en términos de frecuencia de utilización y utilizando prácticas de fertilización y reducción del laboreo pueden ser menores que las que experimenta el mismo suelo bajo un sistema extensivo que no incorpora tales prácticas.

*“La mayor producción y adecuado tratamiento de los residuos de los cultivos se presenta como el mejor procedimiento para frenar e incluso cambiar dicha tendencia y, como consecuencia, acercarse a una agricultura sostenible.”* (Loveland, citado por Aznar, 2002).

## 2. Erosión y degradación de los suelos a nivel nacional

Como se mencionó previamente, a nivel nacional, predomina la erosión hídrica, la cual provoca que las partículas de suelo removidas de un sitio por acción del agua, culminen depositándose en las cuencas hidrográficas. Este último probablemente constituye el peor o más dramático efecto sobre el

ambiente. Los problemas causados por el arrastre de sedimentos incluyen colmatación de ríos y puertos, inundaciones de zonas bajas y eutrofización de lagos y ríos (Durán y García Préchac, 2007b).

En Uruguay predominan suelos con horizonte diagnóstico sub superficial enriquecidos en arcilla: argilúvico, provocando una disminución de la permeabilidad; tal circunstancia, acentuada cuando ocurre a escasa profundidad, incrementa su vulnerabilidad a la erosión, así como el riesgo de sequía y concomitantemente las probabilidades de que se registren mayores probabilidades de encharcamiento por saturación e inundaciones.

La capacidad de ser más o menos resistente a la erosión, no depende exclusivamente de las propiedades intrínsecas del mismo, sino también de la posición que este ocupe en el paisaje. Los resultados difieren según se trate de laderas convexas, cóncavas, pie de laderas, posiciones niveladas que no reciben agua de otras partes del paisaje.

A su vez, como lo expresan Foster, Lane y Nearing, citados por Durán y García Préchac (2007b) en la erosión puede distinguirse dos categorías: encauzada y no encauzada. La primera corresponde a aquella que ocurre en forma de canalículos en el terreno, donde se concentra el agua de escurrimiento, generando en orden de magnitud, desagües naturales, canales y cárcavas.

Se habla de erosión en cárcavas cuando la magnitud de los “cortes” (zanjas o canales) es de importancia considerable, tanto en profundidad como en superficie; a su vez, la erosión en cárcavas agrega el derrumbe de los bordes por procesos no solo debidos a escurrimiento superficial, sino también sub- superficial. En dicha situación se potencia el efecto por causa de la masa y velocidad que logra el flujo del agua concentrado, alcanzando mayor poder de desprendimiento de agregados en general. La facilidad para desprender y arrastrar suelo es inversamente proporcional al tamaño de los agregados. Cabe recordar que en los micro-agregados se concentran componentes más importantes en cuanto a propiedades químicas del suelo.

La erosión no encauzada ocurre cuando el agua y los elementos que esta acarrea aún no se ha concentrado suficientemente para formar canalículos; es la condición en cual el suelo aparenta perder una capa de espesor aproximadamente uniforme en toda su superficie.

En Uruguay, la erosión es un problema ambiental grave serio que se ha acelerado por influencia antrópica. Prácticamente, la totalidad del área agrícola de Uruguay ha sufrido pérdidas de suelo en mayor o menor grado. La

intensificación de las zonas productivas tradicionales sin inclusión de ciclos de pasturas en el sistema de utilización y la expansión de la agricultura hacia áreas marginales o de mayor riesgo, que favorece su degradación en menor tiempo (Petraglia, 1982).

Las áreas marginales para el desarrollo de la agricultura presentan diferentes características en cuanto a los suelos, topografía y clima. Esas tierras exhiben un grado de vulnerabilidad distinto. A si mismo esto puede deberse a que los suelos presentan menor contenido de materia orgánica, textura más "liviana" (mayor proporción de arena) y estructura más débil en relación a los suelos más productivos. Esto no limita su uso potencial, sino que requiere tomar medidas de conservación más extrema (Petraglia, 1982).

El mapa de la figura No.1, representa el grado de vulnerabilidad natural de los suelos en función de los diferentes paisajes, composición, profundidad, grado de desarrollo entre otras propiedades bajo la aplicación de un sistema de utilización que incluya un solo tipo de cultivo que no cubra rápidamente el suelo ni devuelva un volumen considerable de rastrojos.

Las tierras han sido utilizadas con criterios poco conservadores durante periodos considerables, generando grado de intensidad de erosión y degradación actual moderado y alto en algunas partes del país. Esto resulta más alarmante si se lo relaciona con el total de tierras aptas para cultivo, más del 80% de las tierras cultivables están afectadas por erosión en grado diverso (Petraglia, 1982). Estimaciones realizadas a nivel nacional demuestran que desde hace décadas el 95 % de las pérdidas de carbono en sistemas de rotación que incluyen cultivos anuales y pasturas, son debidas a la erosión (Baethghen et al., 2004).

En Carta de erosión antrópica (MGAP. DSA. PRENADER, 1998) figura No. 2 se puede identificar que la región del litoral, que abarca la zona en estudio, presenta uno de los mayores grados de erosión y deterioro. Este mayor grado de deterioro de las tierras de esa región se vincula al inadecuado uso y manejo que el hombre ha hecho sobre ese territorio (erosión antrópica) de degradación y una de ellas es, donde se encuentra el área en estudio, sobre el litoral del país (Uruguay). Este mayor riesgo puede verse vinculado a la erosión provocada por el uso y manejo que el hombre ha hecho sobre el mismo (erosión antrópica). Cabe mencionarse que en la zona aledaña a Paysandú además de malas prácticas de manejo y conservación se plantó mucha remolacha azucarera: cultivo que exige una preparación de la cama de siembra muy afinada lo cual implica un laboreo excesivo.

Ya en 1982, como lo expresa Petraglia, se observa que los agricultores de esa época, en su mayoría no llevaban a la práctica sistemas de conservación de suelos y aguas o bien resultaban ineficaces. Ello provocó que los suelos con mayores vocaciones agrícolas o bien más próximas a los centros de consumo resultaran más afectados.

Tal situación queda bien expuesta en el mapa de intensidad del proceso erosivo a nivel nacional del año 1998 (figura No. 2).

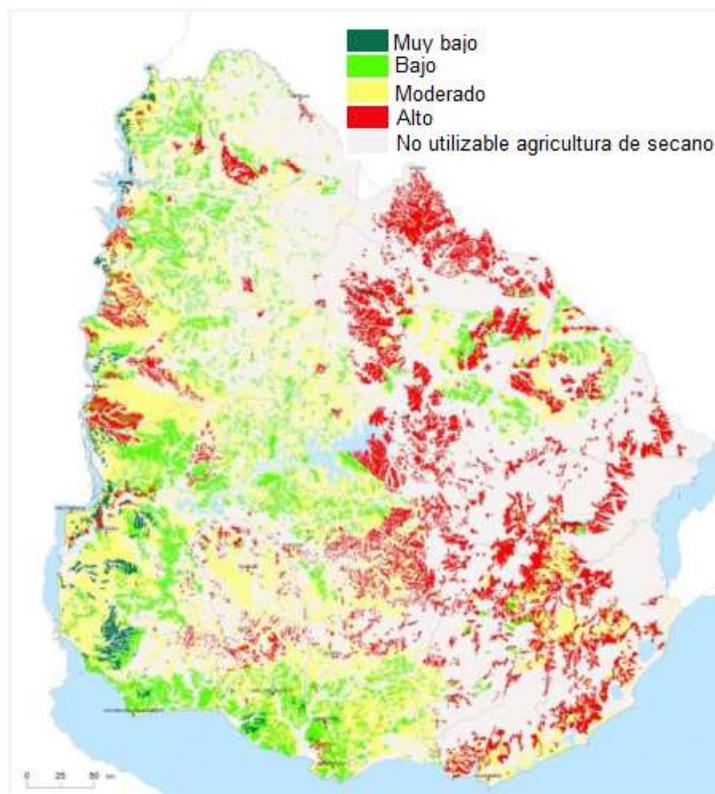


Figura No. 1. Mapa de riesgo de degradación de suelos del Uruguay  
Fuente: MGAP. SIG (2008).

Al eliminarse o alterarse la vegetación natural para realizar agricultura, se rompe el equilibrio natural aparente (Durán y García Préchac, 2007b). Se acelera el ritmo natural de erosión debido al efecto del manejo poco racional antes mencionado. Las manifestaciones del proceso de degradación y erosión de las tierras pueden verse agravado con una inadecuada intensificación del uso actual.



no son interceptados por el follaje y no logran infiltrar y ser retenidos por el suelo, escurren y provocan el proceso erosivo. El agua de lluvia actúa de forma erosiva favoreciendo tres procesos secuenciales, que pueden resumirse en: desagregación y desprendimiento, transporte y por último deposición (Foster et al., Rose, citados por Durán y García Préchac, 2007b).

El primero y más importante, comienza con el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie expuesta del suelo, carente de vegetación. Esto provoca la desagregación de las partículas en agregados de menor tamaño o bien en las partículas que los forman. La fuerza de impacto de la gota de lluvia es absorbida, debilitando las uniones que les otorga coherencia; pasando a ser más susceptibles al desprendimiento de su posición original iniciándose el fenómeno erosivo.

Cuando el caudal de agua escurre, también provoca desprendimiento y en tales condiciones de flujo turbulento el impacto entre partículas favorece aún más la disminución de su diámetro aparente.

Por otra parte, además, el agua provoca el sellado de los poros. Esto favorece el escurrimiento superficial y hace que cuanto más grande resulte la gota tanto mayor será su efecto. Resultados obtenidos a nivel nacional, utilizando simuladores de lluvia demuestran que al variar el tamaño de la gota de 1 a 5 mm la velocidad de infiltración disminuye 70%. Esto conlleva rápidamente a la concentración del agua en superficie, incrementando hasta 1200% su escurrimiento. Cuanto mayor es la intensidad de la lluvia, mayor será el tamaño de gota, siendo su límite máximo 7mm de diámetro, por encima del cual tiende a romper en gotas más pequeñas (Durán y García Préchac, 2007b).

La siguiente etapa del proceso es el transporte, comienza con el salpicado del material que es desagregado por el impacto de las gotas de lluvia. Si la intensidad de lluvia supera la velocidad de infiltración, se genera escurrimiento superficial del material desprendido.

Por último, en las partes bajas del paisaje o en algunos sitios de las laderas, en los cuales el escurrimiento superficial pierde velocidad, se produce la sedimentación del material transportado (Durán y García Préchac, 2007b)

Como fue expuesto, considerando la lluvia como agente erosivo puede distinguir entre sus componentes, a) el efecto directo de las gotas de lluvia, y b) indirecto, por el escurrimiento. El poder erosivo de ambos es desigual, siendo el efecto notoriamente superior a aquel causado por el escurrimiento. Este hecho resalta la importancia de una adecuada cobertura del suelo para evitar y/o minimizar su efecto.

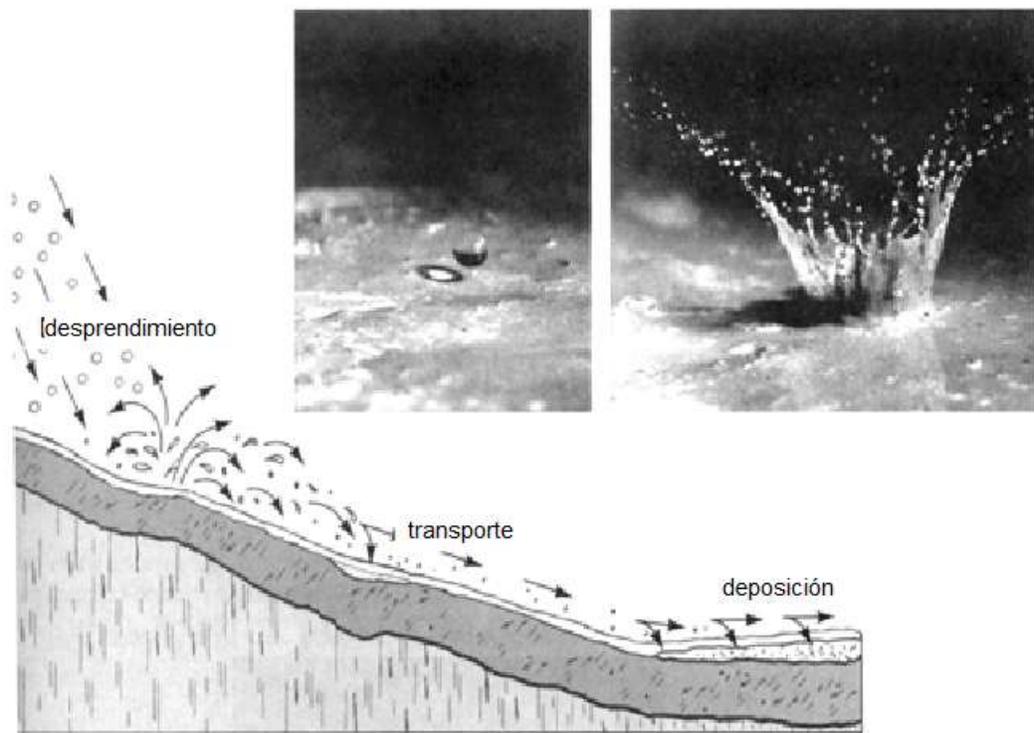


Figura No. 3. Representación del proceso de erosión

Fuente: adaptado de Brady y Weil, citados por Durán y García Préchac (2007b).

## B. MODELO USLE/ RUSLE

La principal ventaja que tienen los modelos radica en que antes de que se dé o genere una situación, puede predecirse el resultado de su aplicación con un grado de probabilidad.

Para el caso del recurso suelo, resulta de fundamental importancia la utilización dado que su estimación previa evita el deterioro del mismo.

La ecuación universal de pérdida de suelo o USLE, es un modelo empírico desarrollado en Estados Unidos, en la década del 50, a partir de las investigaciones de Walter Wischmeier y su equipo. No fue hasta 10 años después, que se publicó dicho modelo, por Wischmeier y Smith.

Según Troeh et al., citados por García Préchac (1992a) las principales cualidades a destacar de USLE es que permite estimar un índice de erosividad

de la lluvia aplicable a las condiciones geográficas en las que se obtuvo y evaluando así el efecto cuantitativo del uso y manejo.

El mismo tiene como base ensayos realizados bajo lluvia natural, en parcelas de escurrimiento en las que se midió la magnitud del escurrimiento y erosión generada después de cada lluvia. Tal aspecto sugiere que su aplicabilidad se reduzca a las estrictas condiciones en las que se obtuvo la información experimental como es el clima, relieve del suelo, uso y manejo del mismo. Sin embargo, utilizando datos obtenidos en investigaciones realizadas en Uruguay varios autores han contribuido a su validación en diferentes circunstancias, tales como García Préchac, Puentes, Cléríci, y Szogi.

Sin perjuicio de lo cual se entiende necesario, continuar realizando investigaciones que generen coeficientes obtenidos en las situaciones productivas propias de Uruguay ambiente y realidad.

Esta necesidad de ajuste llevó a la publicación de una nueva versión que daba fundamento a un modelo originalmente empírico y reducía ahora las limitantes de USLE, pasando a denominarla RUSLE (Renard et al., citados por Durán y García Préchac, 2007b).

A nivel nacional, estos avances, ahora de RUSLE, se ajustaron en algunos de los factores del modelo, por lo que se refiere a él como USLE/RUSLE (Cléríci y García Préchac, 2001).

Este modelo hace posible estimar pérdidas promedio de suelo en el largo plazo, cuyos componentes se definen por los factores considerados determinantes de la erosión hídrica, bajo una expresión teórica que muestra la tasa de erosión siendo función de dos categorías de variables, erosividad y erodabilidad (Durán y García Préchac, 2007b).

#### 1. Estructura del modelo USLE/ RUSLE

En la siguiente imagen se esquematiza el modelo USLE/RUSLE, a partir de los factores que intervienen en el proceso erosivo y a partir de los cuales se basa para la estimación: erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, los cuales incluye pendiente (% y longitud), prácticas mecánicas de apoyo, uso y manejo.

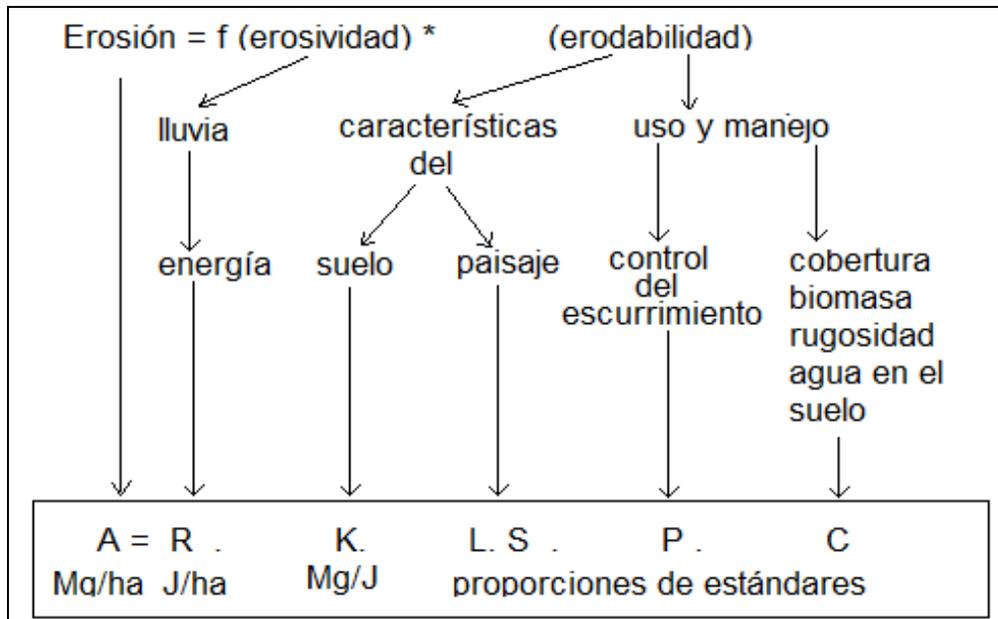


Figura No. 4. Esquema del modelo USLE/RUSLE

Fuente: Durán y García Préchac (2007b).

Donde,

A: es la pérdida de suelo por unidad de superficie. Sus dimensiones son  $Mg \cdot ha^{-1}$ .

R: es el factor erosividad de la lluvia. Es el producto acumulado para el período (en planificación agropecuaria generalmente un año), con cierta probabilidad de ocurrencia (normalmente 50% o promedio), de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 minutos de las lluvias. Sus dimensiones son  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot hr^{-1} \cdot año^{-1}$ , aunque por simplicidad conviene pensar en energía por unidad de superficie ( $J \cdot ha^{-1}$ , Troeh et al., citados por Durán y García Préchac, 2007b).

K: es el factor erodabilidad del suelo. Es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor R ( $Mg \cdot hr \cdot año / MJ \cdot mm$ ; con la simplificación propuesta por Troeh et al., citados por Durán y García Préchac, 2007b; de  $Mg \cdot J^{-1}$ ), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de la pendiente.

Los demás factores son relaciones a estándares y no tienen dimensiones.

L: es el factor longitud de la pendiente. Es la relación entre la erosión con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 22,1 m de longitud, a igualdad de los demás factores.

S: es el factor inclinación de la pendiente. Es la relación entre la erosión con una inclinación de pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 9% de inclinación, a igualdad de los demás factores.

C: es el factor uso y manejo. Es la relación entre la erosión de un suelo con un determinado sistema de uso y manejo y la que ocurre en el mismo suelo puesto en las condiciones estándar en que se definió el factor K, a igualdad de los demás factores.

P: es el factor práctico mecánica de apoyo. Es la relación entre la erosión que ocurre con una determinada práctica mecánica de apoyo y la que ocurre con la condición estándar de laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores.

#### a. Factor erosividad de la lluvia - R

En 1958 Wischmeier y Smith, publicaron un trabajo sobre el estudio a través de regresión múltiple de la relación entre erosión y una diversidad de características de la lluvia. Comprobando que la variable que mejor explica la variación observada en erosión fue el término de interacción energía cinética x máxima intensidad en 30 minutos (EI 30). Tal término, en un principio explicaría entre un 71 y 89% de la erosión anual. Más tarde, se ajustaron según datos acumulados de 10 años de parcelas de escurrimiento los valores entre un 72 y 85% de la variación.

En base a estos datos, se propuso el EI 30 promedio anual como el factor erosividad de la lluvia (factor R), para la predicción de la tasa de erosión promedio anual que realiza el modelo.

El EI30 expresa cuantitativamente la interacción entre los fenómenos que provocan la erosión hídrica: la magnitud del golpeteo (disgregación y transporte) por salpicadura del suelo (energía cinética) y la acción del transporte por escurrimiento superficial que está relacionada a la máxima intensidad en 30 minutos.

La energía cinética es el producto de la mitad de la masa de lluvia por el cuadrado de su velocidad terminal. Se la puede estimar usando una función logarítmica empírica a partir de la intensidad de la lluvia (Wischmeier y Smith, citados por Puentes y Szogi, 1983). Función que es utilizada en Uruguay país para el cálculo de EI30.

Para que el modelo de erosión pueda realizar estimaciones con total seguridad se deben tomar datos de EI30 de por lo menos 20 años (Wischmeier y Smith, citados por Puentes y Szogi, 1983).

Rovira et al., Pannone et al., citados por Puentes y Szogi (1983), fueron algunos que, con el fin de generar información nacional, analizaron datos pluviográficos disponibles de varios puntos del país: Estanzuela, Bella Unión, Paysandú, Treinta y Tres, Rivera, Paso de los toros, Montevideo. De esta manera se obtuvieron valores de EI30 promedios anuales y su distribución mensual para un mismo período. A través de las isoerodentas (representación gráfica a través de líneas de similar poder erosivo de la lluvia) pueden interpolarse valores de erodabilidad para todo el país.

Los experimentos de Wischmeier fueron llevados a cabo en sitios con un clima también templado como el reinante en Uruguay (García Préchac, 1992a).

En líneas generales, en Uruguay el factor R varía dentro del territorio de Sur a Norte entre 400 y 800 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Lo que permite deducir, valga la redundancia que el riesgo de erosión, explicado por este factor, es el doble para la zona Norte de Artigas y Rivera en relación a la zona Sur.

Se encuentra un comportamiento similar al comparar las isoerodentas de la zona Sur de la cuenca del Plata (factor R) y las curvas de precipitación promedio o isoyetas para el territorio nacional. En cuanto a la distribución del poder erosivo de la lluvia a través del año, en el periodo invernal, cuando el suelo normalmente presenta mayor contenido de agua, la erosividad es máxima mientras que, en el periodo estival, cuando el suelo se encuentra en los niveles más bajos de contenido de agua la erosividad resulta mínima. Esta tendencia que se contrapone a la distribución de la erosividad de la lluvia promedio mensual, ya que las tormentas con mayor poder erosivo por lo común se registran en verano. Las precipitaciones en esa época generalmente son breves pero muy intensas y el tamaño de las gotas suele ser mayor. Las mayores pérdidas de suelo registradas en el invierno se atribuyen entonces a la condición húmeda del suelo y en consecuencia al mayor escurrimiento probable en tales condiciones más que a la energía cinética de las lluvias registradas mensualmente. En un período largo de años la lluvia tiende a distribuirse similarmente a lo largo de los meses. La evapotranspiración, sin embargo, suele ser desigual: en el período invernal resulta muy inferior a la correspondiente al verano, provocando excesos de agua en el suelo.

A efectos de estimar valores del factor R en cualquier parte del territorio nacional, por el momento se cuenta con información que reúne un mapa de

isoerodentas, de la región comprendida por Argentina (provincias de Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires), Brasil (Estado de Río Grande do Sul) y el total del territorio nacional (Clérici et al., 1999, 2001).

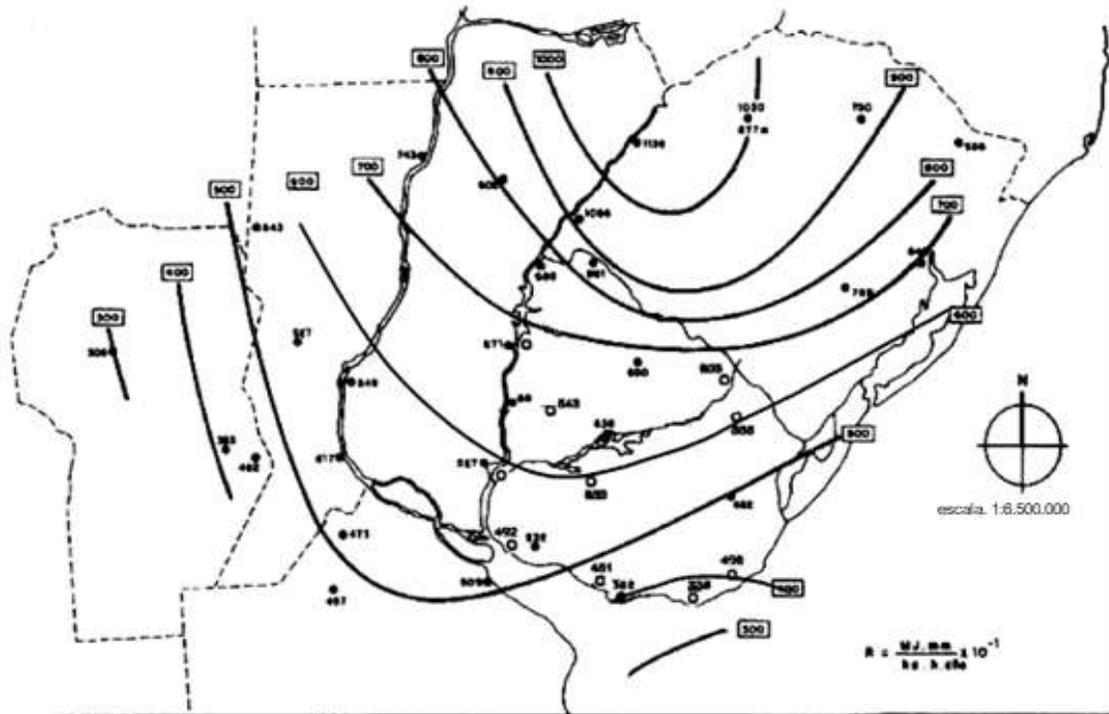


Figura No. 5. Mapa tentativo de isoerodentas de la zona Sur de la cuenca del Plata

Fuente: Puentes y Szogi (1983).

b. Factor erodabilidad del suelo - K

La capacidad en que el suelo resiste a la acción de la lluvia depende de sus propiedades intrínsecas, que lo expongan como más o menos vulnerable a la acción de la lluvia, definiendo así la erodabilidad como la susceptibilidad del suelo a erosionarse en función de su agregación.

Se define para condiciones topográficas estándar de 9% de pendiente y 22,1 metros de longitud de la misma, estimado para una situación de barbecho desnudo, basado en una siembra convencional a favor de la pendiente. De este modo los factores L, S, C y P del modelo toman el valor de 1,0 en estas condiciones estándar, quedando el modelo reducido a  $K=A/R$ .

Por lo tanto, bajo estas condiciones el factor K representa cuantitativamente la magnitud de erosión que sufre el suelo por unidad de factor R, en las condiciones estándar.

Tal como señalan Wischmeier et al., citados por Puentes y Szogi (1983), para estimar K, una alternativa para estimar K, es a partir de aquellas propiedades del suelo que se reconocen como determinantes de la erodabilidad. Teniendo en cuenta los valores de tales propiedades en una muestra de suelo se estima su erodabilidad utilizando un “nomograma”, ya que las variables intervinientes: % en peso de arena muy fina más limo, % en peso de arcilla, % en peso de materia orgánica y códigos cualitativos de estructura y permeabilidad explican más del 90% de la variabilidad de K.

Esta alternativa ajustada, en un principio, para una amplia gama de suelos de Estados Unidos, fue modificada y adaptada por Puentes y Szogi en 1983, con el fin de ser utilizada en Uruguay con la disponibilidad de información lograda hasta ese entonces.

Para estimar el factor K, Puentes y Szogi (1983) utilizaron el “nomograma” (ver figura No. 7, de la página 25) en los suelos dominantes de 99 unidades del mapa de suelos 1:1 millón de Uruguay. Introduciendo algunos cambios en el modelo original como la extrapolación del valor de materia orgánica a 6%, la caracterización de la estructura en base al índice de inestabilidad de Hénin realizada por Bak y Caysialls (1974), para precisar mejor la codificación en el modelo de estimación de K (Durán y García Préchac, 2007b).

El modelo:

$$K=2,8 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} (12-a) + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (b-2) + 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot (c-3)$$

Donde,

M: es el parámetro representativo de la granulometría (%limo+%arena muy fina).(100-%arcilla);

a: es % de materia orgánica.

b: es una codificación de la estructura (granular muy fina 1, granular fina 2, granular media a gruesa 3, en bloques o laminar o masiva 4).

c: es una codificación de la clase de permeabilidad (rápida 1, moderada a rápida 2, moderada 3, lenta a moderada 4, lenta 5, muy lenta 6).

El factor K calculado por Puentes y Szogi (1983) y el procedimiento seguido, ha sido publicado hasta ahora 3 aproximaciones para la difusión del uso del modelo (Puentes y Szogi 1983, García Préchac 1992a) por lo que aún sigue siendo vigente (Durán y García Préchac, 2007b).

### c. Factores topográficos L y S

El grado y la longitud de la pendiente como componentes a los que se reduce la topografía, afectan significativamente la tasa de pérdida de suelo por erosión (Puentes y Szogi, 1983).

Las condiciones en que fueron obtenidos los valores, bajo criterio original de Wischmeier y Smith (1978), permiten la extrapolación a Uruguay, tomando dichos resultados como válidos a nivel nacional.

De los diferentes factores intervinientes en el modelo USLE/RUSLE Roose, Renard et al., citados por Durán y García Préchac (2007b) reportan mayor grado de incertidumbre respecto a la validez de su aplicación ya que la estimación provino de una base de datos basada en un reducido número de parcelas de escurrimiento (532 parcelas, por año), en condiciones de pendientes uniformes y relativamente cortas, lo cual difícilmente refleje la amplia gama de situaciones a encontrar en los diversos paisajes del territorio uruguayo.

Ambos subfactores L y S, son producto de la relación entre la pérdida de suelo de una ladera con determinada longitud y pendiente, con respecto a las condiciones estándar (longitud 22 metros, gradiente de 9%), cuando los demás factores permanecen constantes. Situación que en la práctica no es fácil de encontrar, debido a que cambios en el gradiente se encuentran asociados a cambios en suelos y por ende de K (Cogo et al., citados por Durán y García Préchac, 2007b).

Resulta de mayor gravedad para la estimación, errores cometidos en la apreciación de la inclinación que, en la longitud, cuantificando esto, en que, si se comete un error de 10% en la apreciación de la primera, el error en los valores estimados por el modelo sería de 20%. Renard et al., citados por Durán y García Préchac (2007b), sostienen que no sería así para la longitud, ya que, si el error cometido en la apreciación de esta es 10%, resulta en un 5% de error en la estimación del modelo.

#### d. Factor de uso y manejo - C

Este factor a diferencia de los demás, permite ser manejado por el hombre con mayor facilidad en el control de la erosión, dado que este refleja el grado de protección brindado por la cobertura y arraigamiento al suelo por parte de los distintos cultivos y forrajes en sus diferentes estadios de crecimiento.

Expresa la relación de pérdida de suelo (rps) por erosión en una chacra, bajo un manejo y secuencia de cultivos determinados y el mismo sistema bajo condiciones estándar (barbecho desnudo, continuo, trabajado en sentido de la pendiente), condiciones que definen el máximo riesgo o C: 1,0.

Cada cultivo es diferente en la efectiva protección que brinda, no obstante, también, depende del estado vegetativo y el manejo que se haga de él: fertilización, método de siembra, pastoreo, entre otros. Estos afectarán la producción de biomasa total en el ciclo, haciendo que varíe gradualmente "C", con la cobertura y sea difícil de establecer (Durán y García Préchac, 2007b). Los mismos autores señalan que esto se torna más difícil aun cuando se piensa en un sistema de utilización de la tierra basado en rotación de cultivos y pastura a lo largo de varios años donde en forma paralela a esa variabilidad se suman las variaciones provenientes de la ocurrencia de lluvias erosivas (contempladas en R).

Wischmeier y Smith (1978), encontraron que valores de rps, podían considerarse aproximadamente uniformes varios periodos del ciclo del cultivo, lo que permitió definir en su primer manual 5 periodos o fases de cultivos, el cual se adopta también en Uruguay.

Período 0 ó F: barbecho rugoso. Comienza con el laboreo que invierte el suelo y termina con el comienzo del afinamiento de la sementera para preparar la siembra.

Período 1: siembra y emergencia. Comienza con el afinamiento para la siembra y termina un mes luego de la siembra.

Período 2: establecimiento. Comienza al finalizar el período anterior y va hasta el segundo mes luego de la siembra, por lo que dura un mes.

Período 3: crecimiento y maduración. Fin del período anterior hasta la cosecha.

Período 4: rastrojo. Desde la cosecha hasta la próxima arada con volteo o siembra (cuando se hace siembra directa o laboreo reducido, sin arada con volteo, o casos en que no existe el período F).

Es necesario generar información nacional y regional para estimar los periodos o estadios de vegetación intentando reflejar todas las situaciones que se presentan en las interacciones climática- productivo de los diferentes cultivos. Para tener esto en consideración, Wischmeier et al., citados por Durán y García Préchac (2007b), estudiaron en forma conjunta el efecto de la distribución de la erosividad promedio dentro del año y el manejo del suelo para cada periodo de cultivo. De esta manera el factor C, resultado de una rotación queda definido por la sumatoria de los rps de cada uno de los 5 periodo del ciclo de cada cultivo y pastura que la conforman; ponderados por la proporción de R que es de esperar suceda en cada uno de los periodos, dividido el número de años en que se cumple la rotación.

Los valores de C, se caracterizan por ser los más subjetivos frente a los demás factores que componen el modelo. Puesto que para su determinación se utilizan tabulaciones producto de investigaciones puntuales y no ecuaciones.

Se destaca mayor número de tabulaciones para la agricultura, dado que USLE fue establecida primordialmente para este tipo de suelos, lo que obliga a otras actividades, efectuar varios supuestos, resultando en valores menos precisos.

A continuación, se presentan valores de C para varios cultivos y manejos.

Cuadro No. 1. Valores medios anuales de factor C, estimados para diferentes alternativas de uso

cultivos y prácticas	media anual del factor C
suelo desnudo	1.0
bosque o matorral denso, cultivo con alto porcentaje de mulch	0.001
sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
sabana o pradera herbácea sobrepastada	0.1
maíz, sorgo o mijo; alto rendimiento con laboreo convencional	0.20- 0.55
maíz, sorgo o mijo; alto rendimiento sin laboreo convencional	0.50- 0.90
maíz, sorgo o mijo; bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0.02- 0.10
maíz, sorgo o mijo; alto rendimiento, laboreo con cincel entre residuos	0.12- 0.20
maíz, sorgo o mijo; bajo rendimiento, laboreo con cincel entre residuos	0.30- 0.45
algodón	0.40- 0.70
pradera herbácea	0.01- 0.025

soja	0.20- 0.50
trigo	0.10- 0.40
arroz	0.10- 0.20
cacahuete	0.30- 0.80
palma, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0.10- 0.30
piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0.10- 0.40
piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0.01
patata, surcos según la pendiente	0.20- 0.50
patata, surcos transversales a la pendiente	0.10- 0.40
caupí (judía de vaca)	0.30- 0.40
fresa con cobertura de malas hierbas	0.27
granado con cobertura de malas hierbas	0.08
granado limpio de malas hierbas	0.56
tef ( <i>Eragrostis tef</i> )	0.25
caña de azúcar	0.13- 0.40
ñame	0.40- 0.50
guisante de angola	0.60- 0.70
judía mungo	0.04
pimiento	0.33
cafeto; después de la primera recolección	0.05
plátano; después de su establecimiento	0.05- 0.10
papaya	0.21

Fuente: datos aportados por Wischmeier y Smith, Roose, Singh, Babu y Chandra, El-Swaify, Dangler y Armstrong, Hurni, Hashim y Wong, citados por Durán y García Préchac (2007b).

A nivel nacional las tabulaciones se reducen a unos pocos cultivos, cuya información fue incluida en el programa de computación basado en el modelo RUSLE, permitiendo que el programa realice los cálculos mencionados anteriormente para la estimación de C. Programa que posteriormente se expondrá con más detalle en el texto.

A continuación, se presenta una recopilación de estimaciones de factor C, del modelo USLE/ RUSLE, según uso y manejo.

Cuadro No. 2. Estimaciones de factor C (USLE/ RUSLE) para diferentes alternativas de uso y manejo del suelo

uso y manejo	factor C
campo natural	0.020*
sistemas agrícolas ganaderos (incluyen en todos los casos agricultura de granos)	
agricultura continua sin rotación con pasturas, con laboreo convencional, tecnología baja	0.300*
agricultura continua sin rotación con pasturas, con siembra directa	0.036*
agricultura continua sin rotación con pasturas, con laboreo reducido: soja continua	0.423
agricultura continua sin rotación con pasturas, con siembra directa: soja continua	0.240
rotación de 5 años (maíz- soja- trigo/ pastura- pastura- pastura), con laboreo reducido	0.098
rotación de 5 años (maíz- soja- trigo/ pastura- pastura- pastura), con siembra directa	0.054
rotación agrícola- ganadera, 2 años de cultivos, 2 años de pasturas, con laboreo convencional	0.110*
rotación agrícola- ganadera, 2 años de cultivos, 2 años de pasturas, con siembra directa	0.02*
sistemas lecheros (incluyen pasturas artificiales, verdeos y cultivos forrajeros)	
rotación de 3 años: verdeo- maíz para silo- pradera corta de 2 años, laboreo convencional tecnología media a alta	0.174
rotación de 3 años: verdeo- maíz para silo- pradera corta de 2 años, siembra directa del maíz	0.034

Fuente: Clérico y García Préchac (2001).

e. Factor práctica mecánica - P

Este factor representa todas aquellas prácticas que se implementan con el fin de controlar la erosión, reduciendo la masa y velocidad del escurrimiento superficial. Entre las que se destacan: laboreo en contorno, terrazas y fajas empastadas.

Al igual que los factores L, S, C es una relación y por ende es adimensional, entre la pérdida por erosión producto de implementar determinadas prácticas mecánicas comparada con la que ocurre con

operaciones convencionales realizadas a favor de la pendiente, manteniendo los demás factores constantes.

Es el factor menos fiable del modelo, a pesar de que se han logrado avances en el conocimiento y estimaciones del mismo. Considerando que las prácticas mecánicas de laboreo han sido reemplazadas o bien complementadas a través del tiempo por sistemas sin laboreo o laboreo reducido (Durán y García Préchac, 2007b).

## 2. Validación del modelo USLE/RUSLE en Uruguay

Para la validación del modelo fueron evaluados tres sitios distintos, que en total reúnen un total 17 casos con información experimental de erosión procesada. En estos casos se cubrieron, por lo menos un ciclo completo de rotación de cultivos y pasturas en cada parcela.

El primer sitio, ubicado en Aguas Blancas (departamento de Lavalleja), cuya rotación más larga tuvo una duración de 4 años. La información fue obtenida entre 1982 y 1987. El segundo sitio corresponde a la estación experimental “La Estanzuela” (en el departamento de Colonia), en la que se registraron datos en el periodo 1983 a 1989, aunque se mantuvo hasta 1996. El último corresponde a la unidad experimental de “Palo a Pique” de INIA en el departamento de Treinta y tres, del que se dispone información desde 1994 al 2000 (Durán y García Préchac, 2007b).

En cada sitio se estimó la erosión promedio anual directamente, a partir de parcelas de escurrimiento. Así mismo se simularon las pérdidas utilizando el modelo USLE/RUSLE. Con ambas series de datos se realizó una regresión lineal, con el propósito de validar el modelo.

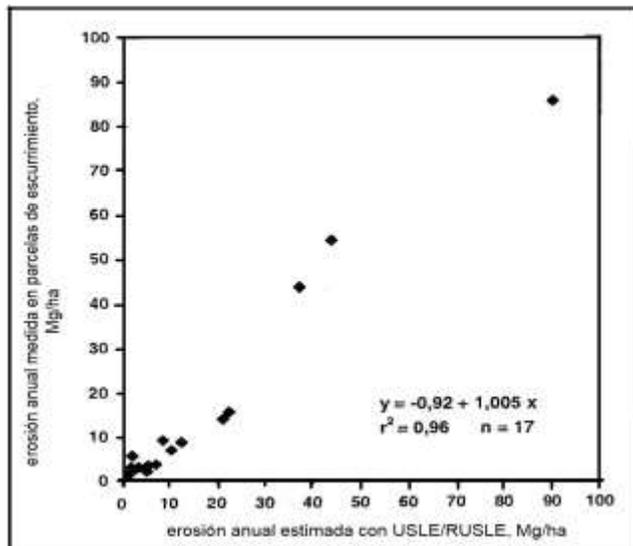


Figura No. 6. Regresión lineal entre la tasa de erosión promedio anual medida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural y estimadas con el modelo USLE/RUSLE en 3 localidades del país

Fuente: Durán y García Préchac (2007b).

Los resultados de la regresión muestran un coeficiente de determinación alto, de 0.96. Esto verifica las estimaciones hechas a través del modelo, incluyendo a todos los componentes del mismo (R, K, C, L y S) además de la información nacional obtenida y su metodología utilizada.

Como se observa en la figura No. 6, los valores generados para las situaciones de máxima erodabilidad (estándar) en las tres localidades, se desprenden del resto de los sistemas evaluados, encontrándose para los tres sitios una relación muy cercana a 1:1 entre lo estimado y lo efectivamente medido.

Entre todos los demás casos, que constituyen las situaciones que representan el comportamiento de los suelos bajo condiciones reales de uso y manejo agropecuario, ninguno de los valores fue mayor a 20 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En el rango de valores entre 0 y 20 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, que son los de interés real, el modelo genera una sobreestimación en relación a las medidas experimentales (García Préchac et al., 2008).

Por otra parte, los resultados arrojados por la regresión lineal discutidos anteriormente, validan los resultados del factor K estimado a partir del “nomograma” modificado por Puentes y Szogi (1983).

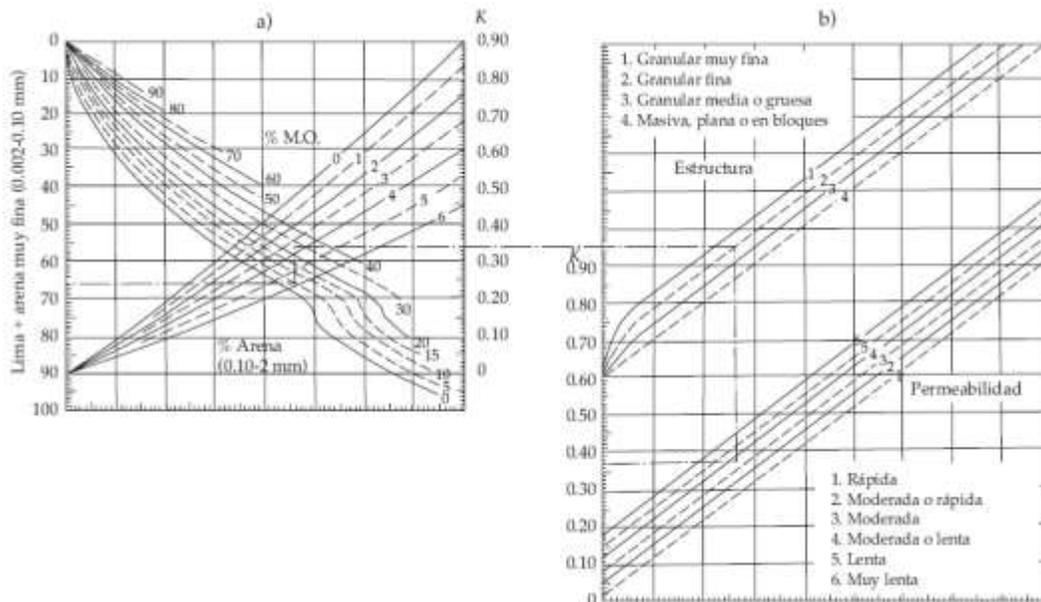


Figura No. 7. Nomograma para determinar K

Fuente: modificado de Wischmeier et al., por Puentes y Szogi (1983).

La correlación entre estas dos medidas del factor K, desprende una correlación muy alta (0.98), aunque la pendiente es menor a 1.0 y el origen es por encima de cero, debido a que las estimaciones realizadas por Puentes y Szogi (1983) son mayores que los valores medidos directamente (Durán y García Préchac, 2007b).

Para la validación del factor C, se procede de la misma manera que en los factores antes expuestos; se calcula rps a través del modelo y se compara con los valores de rps obtenidos experimentalmente en parcelas de escurrimiento bajo diferentes usos aparte del estándar. La correlación entre ambas medidas es buena (0.83), la pendiente es muy cercana a 1.0 y el origen es casi cero, lo que indica que las estimaciones tienen un buen ajuste con los valores experimentales.

Las estimaciones del factor C realizadas con RUSLE, han sido validadas tanto en microparcels con lluvia simulada, como bajo lluvia natural en las parcelas de escurrimiento de la unidad experimental Palo a Pique del INIA - Treinta y tres. En el primer caso, la correlación obtenida entre los valores medidos experimentalmente y los estimados con RUSLE fue 0.74, y en el segundo 0.91 (García Préchac et al., citados por García Préchac et al., 2008).

En síntesis, queda demostrado que el modelo USLE/RUSLE es una herramienta de uso confiable en la estimación que realiza cada uno de sus componentes para determinar tasas de erosión promedio anuales en el largo plazo. Aunque se trata de un modelo de estimación de carácter empírico que se limita a determinar las pérdidas en una parte del paisaje y no en cuencas, como tampoco en condiciones de flujo encauzado (Durán y García Préchac, 2007b).

### 3. Programa Erosión 6.0

Ante la necesidad inmediata de llevar a cabo medidas que tiendan a conservar los recursos naturales utilizados en la producción agropecuaria y forestal, es menester la utilización de herramientas de apoyo para planificar e idear sistemas de uso en diversas circunstancias de actividades económicas.

Erosión versión 6.0, es un programa informático, en el cual ha reunido información de muchos años de investigación, ajuste y validación para su aplicación a las condiciones de Uruguay. Se basa en la aplicación de la Ecuación universal de pérdida de suelo (Eups, USLE/RUSLE), que permite calcular las tasas de erosión promedio anual esperables ante un uso agrícola- pastoril extensivo- dado de un modo sencillo.

Al ingresar en el programa y proporcionar los datos necesarios para realizar las estimaciones a través de la USLE/RUSLE, el usuario puede optar por introducir directamente valores correspondientes a uno o más de los factores que disponga, o dejar que Erosión 6.0 los calcule con la información almacenada, a partir de algunos datos proporcionados.

La agilidad de este programa permite visualizar los resultados rápidamente y comparar objetivamente cada alternativa.

Este software se desarrolló bajo la supervisión del profesor (G5) de manejo y conservación del Dpto. Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la UdelaR, Dr. Fernando García Préchac, y los Ings. Agrs. MsCs Carlos Clérico y Mariana Hill.

Este programa de computación se encuentra disponible en la página Web de la Facultad de Agronomía- UdelaR (Durán y García Préchac, 2007b).

## C. PLANES DE USO EN SISTEMAS LECHEROS

Dando cumplimiento a la Ley No. 15.239 de conservación de suelos y aguas y su correspondiente reglamentación el Ministerio de ganadería, agricultura y pesca (MGAP), exige a los productores agropecuarios presentar ante dicha entidad un plan de uso y manejo responsable del suelo (pumrs).

Dicha medida tiene como objetivo principal evaluar el impacto ambiental que tiene la utilización del recurso suelo en lo referente al proceso de erosión, como fenómeno relevante en la contaminación y pérdida de productividad de los sistemas naturales.

Los pumrs hacen ver la necesidad de planificar el uso del suelo, teniendo en cuenta no solamente los suelos con los que se cuenta a nivel predial, sino también las prácticas de manejo, secuencia de cultivos, tecnología a implementar y predecir los valores de pérdidas de suelos.

Esto contempla la utilización del modelo USLE/RUSLE, así como el software Erosión 6.0 para facilitar la simulación de diferentes alternativas de utilización de la tierra de una manera ágil y rápida. Esto permite seleccionar aquellas alternativas que arrojen resultados de pérdidas de suelo inferiores a las pérdidas tolerables en diferentes condiciones climáticas asociadas a paisajes, suelos, prácticas y manejos.

Se inició la medida de prueba en el último trimestre del año 2010, en los sistemas agrícolas de tipo cerealeros y oleaginosos, adoptando un carácter obligatorio en el año 2013 en aquellos sistemas productivos de mayor superficie. Se planea extender gradualmente las exigencias, predios de menor extensión y rubro diverso.

En el mismo año y dada la relevante superficie en que se extiende la agricultura de tipo forrajera en el país, sumada la inquietud que despiertan los datos de contaminación en las cuencas cercanas, se comienza un plan para extender la medida a los sistemas lecheros.

Conjuntamente desde el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, se crea un plan de acción en la cuenca del río Santa Lucía, sobre la que se concentra la cuenca lechera más importante del país, a fin de garantizar la calidad del agua de la misma.

Dicho plan, pretende mediante una serie de medidas, evitar fertilizaciones sin ningún tipo de análisis previo que justifique tal aplicación, estableciendo como tope a las concentraciones de fósforo en el suelo 31 ppm según método de análisis Bray 1 (Decreto 405/2008 del MGAP).

Esto llevó al MGAP, la necesidad de definir planes de uso en sistemas lecheros, como una herramienta para la selección de alternativas sustentables, en primera instancia sobre la cuenca del río Santa Lucía pero que luego se extenderá al resto del país. Además, debe esto entenderse, no como un “castigo” a los productores sino como una medida que contribuye al cumplimiento y fiscalización de la ley de conservación de suelos.

Ante tal necesidad, rediseñar sistemas más sustentables requiere de herramientas que permitan predecir el impacto que estos sistemas alternativos tendrán en diversas áreas y de manera precisa.

La aplicación del modelo USLE/RUSLE, a través del programa Erosión 6.0, para la elaboración de los planes de uso, requiere una estimación independiente sobre el uso y manejo particular (factor C) que realizan los sistemas lecheros. La falta de información para desarrollar factores C en base a diferentes forrajes y mezclas de las más utilizadas a nivel nacional (Uruguay), muestran cierta debilidad en el modelo. Cabe destacar que la determinación experimental de factor C en sistemas lecheros insumiría muchos años e implicaría combinar una gran gama de alternativas de utilización diversas con y sin considerar el pastoreo directo. Tal situación ha servido de base para la formulación de proyectos de investigación que se están llevando a cabo actualmente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. ANTECEDENTES, CARACTERIZACIÓN DEL SITIO EEMAC

##### 1. Ubicación

El trabajo se realizó en el departamento de Paysandú, sección judicial No.1, en la estación experimental Dr. Mario Cassinoni, perteneciente a Universidad de la República, Facultad de Agronomía.

Dicha estación cuenta con un área total de 1247 hectáreas, ubicada sobre la ruta nacional No. 3 al Este, a la altura del km 363, padrón No. 124. Limita al Sur con el arroyo Cangüé.

Se presenta la ubicación de la misma en el territorio nacional.

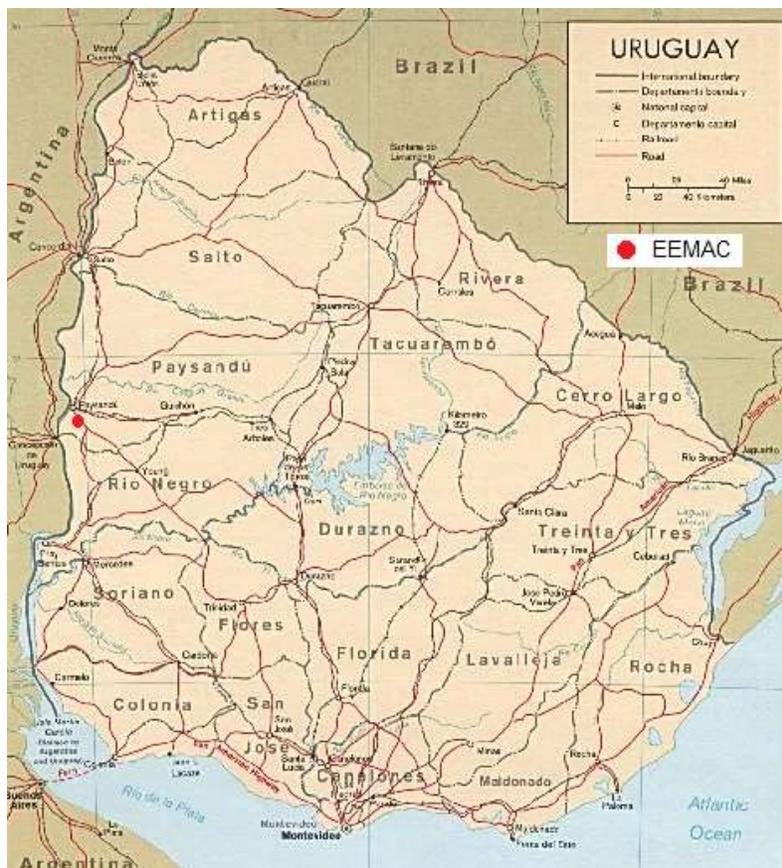


Figura No. 8. Mapa político administrativo del Uruguay

Fuente: MDN. SGM (1967d).

La ubicación más precisa del área de la EEMAC se puede observar en la figura siguiente.



Figura No. 9. Ubicación del área en estudio y empotraramiento de la EEMAC, sobre Google earth

El área en estudio conforma la unidad de producción lechera (upl) y abarca los siguientes potreros: No. 7a, 7b, 5ab, 6b, 6c, 6d, 8, 9, 2a, 11a, 11b, 21, 22, 23 y 24, totalizando una superficie de 256 hectáreas. Dicha superficie está comprendida en las fotografías aéreas: No. 32- 037, 32- 038, 32- 039, a escala 1: 20.000 del MDN. SGM (1967a, 1967b, 1967c).

## 2. Datos climáticos de la zona de estudio

Factores como el clima y los recursos naturales son predeterminantes a la hora de evaluar la producción agropecuaria. Por lo que no es menor su estudio en este análisis.

A continuación, se exponen registros de precipitaciones durante el período en el cual se llevó cabo la mayor parte del muestreo y la serie histórica para el departamento de Paysandú. Cabe mencionar que los datos que corresponden al periodo de muestreo son tomados en dicha estación experimental.

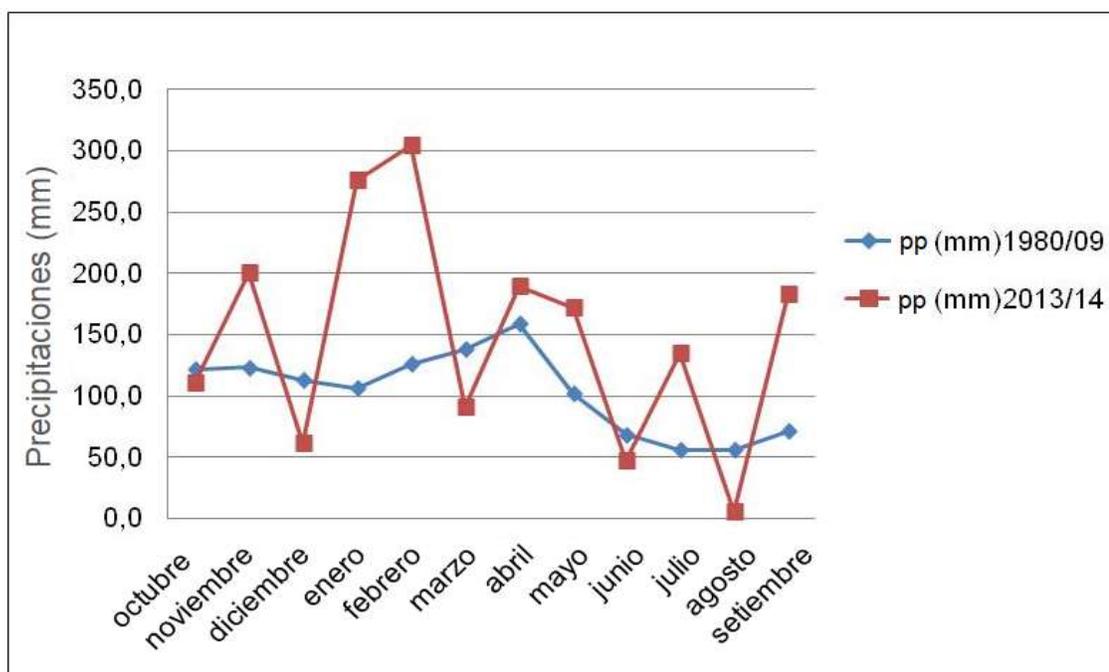


Figura No. 10. Registro de precipitaciones para el periodo de muestreo y serie histórica (1980-2009) de INIA, para el departamento de Paysandú

En la figura previa puede apreciarse que los datos registrados durante el periodo de estudio difieren sensiblemente de los promedios mensuales obtenidos de la serie histórica 1980- 2009.

Según los valores pluviométricos anuales, las precipitaciones que se produjeron durante el periodo de muestreo, superaron por 533,6 mm al promedio histórico.

Se destacan los registros de enero y febrero, cuyos valores pluviométricos ocurridos superan ampliamente los registros históricos. Mientras

que los valores más bajos registrados son de 5.3 mm en agosto; esto evidencia la extrema irregularidad y variabilidad que presenta dicho parámetro, reflejado en la ocurrencia de periodos alternados de excesos de lluvia, a veces concentrados en periodos breves. Este fenómeno descrito se diluye cuando se observan datos de una serie histórica, no así en el análisis de un año particular, lo que puede generar errores en el cálculo de la erosividad, tal como se realiza en el modelo USLE/RUSLE, en bases a promedios.

En la figura No. 11, se puede observar los registros de temperatura media para el periodo en estudio y la temperatura media de la serie histórica 1980/2009.

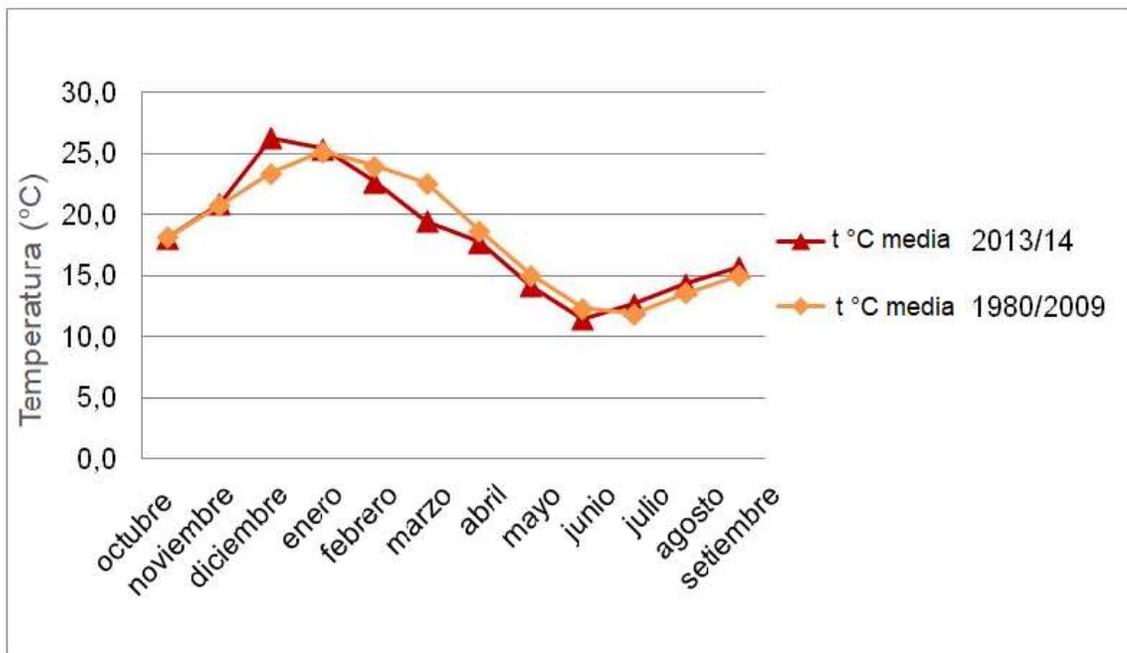


Figura No. 11. Registro de temperaturas para el periodo de muestreo y serie histórica 1980/2009, de INIA, para el departamento de Paysandú

Como se puede observar en el gráfico anterior, la temperatura media para el periodo de muestreo tiene una evolución similar al de la serie histórica; tal comportamiento solo se aparta en el mes de diciembre, donde se registró 2.9 °C superiores al registro histórico.

### 3. Geología del predio

A continuación, se expone la ubicación de la estación experimental en la Carta geológica del Uruguay (Bossi et al., 1998).

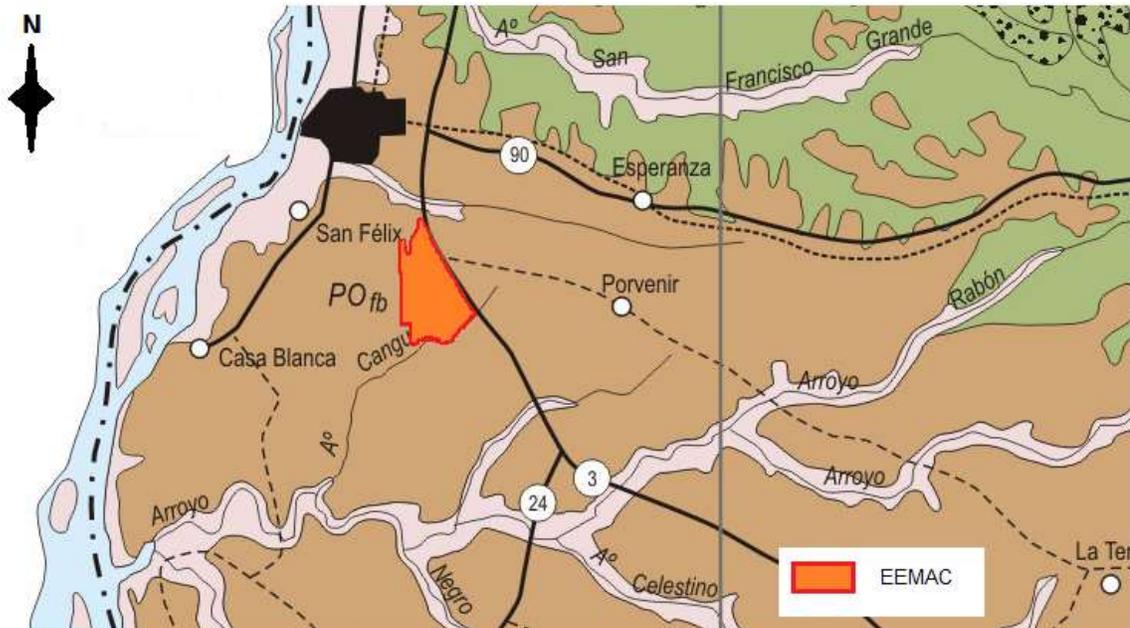


Figura No. 12. Ubicación de la estación experimental en la Carta geológica del Uruguay

Según Bossi et al. (1998) el área de muestreo se encuentra comprendida en territorio abarcado por la formación Fray Bentos. Ello pudo verificarse al realizar las observaciones in situ. En otras descripciones se observó la presencia de lodolitas (sedimentos arcillo limosos, cuaternarios) recubriendo las rocas loésicas de Fray Bentos. Esto resulta más aparente en las posiciones más elevadas del paisaje, principalmente en interfluvios, así como en laderas suaves ya sea en posiciones bajas como elevadas.

A nivel muy general, la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (MAP. DSA, 1976), muestra que el área en estudio queda comprendida por la unidad San Manuel. En esa unidad dominan los brunosoles éutricos típicos, háplicos y asociados brunosoles éutricos lúvicos y Solonetz Solodizados melánicos. El material generador son sedimentos limosos con niveles calcáreo, característico de la formación Fray Bentos, relieve de lomadas suaves, aplanadas.

#### 4. Descripción de grupo CONEAT

En un nivel más preciso y detallado, la información MAP. CONEAT (1979), dice que, en el predio de la EEMAC, se desarrollan los siguientes grupos: 11.4, 10.9, 03.40 y 11.3, siendo este último el que comprende la mayor proporción del área y casi el total de la superficie de la upl. La conformación del grupo CONEAT 11.3 confirma la pertenencia de los suelos descritos anteriormente en la unidad San Manuel.

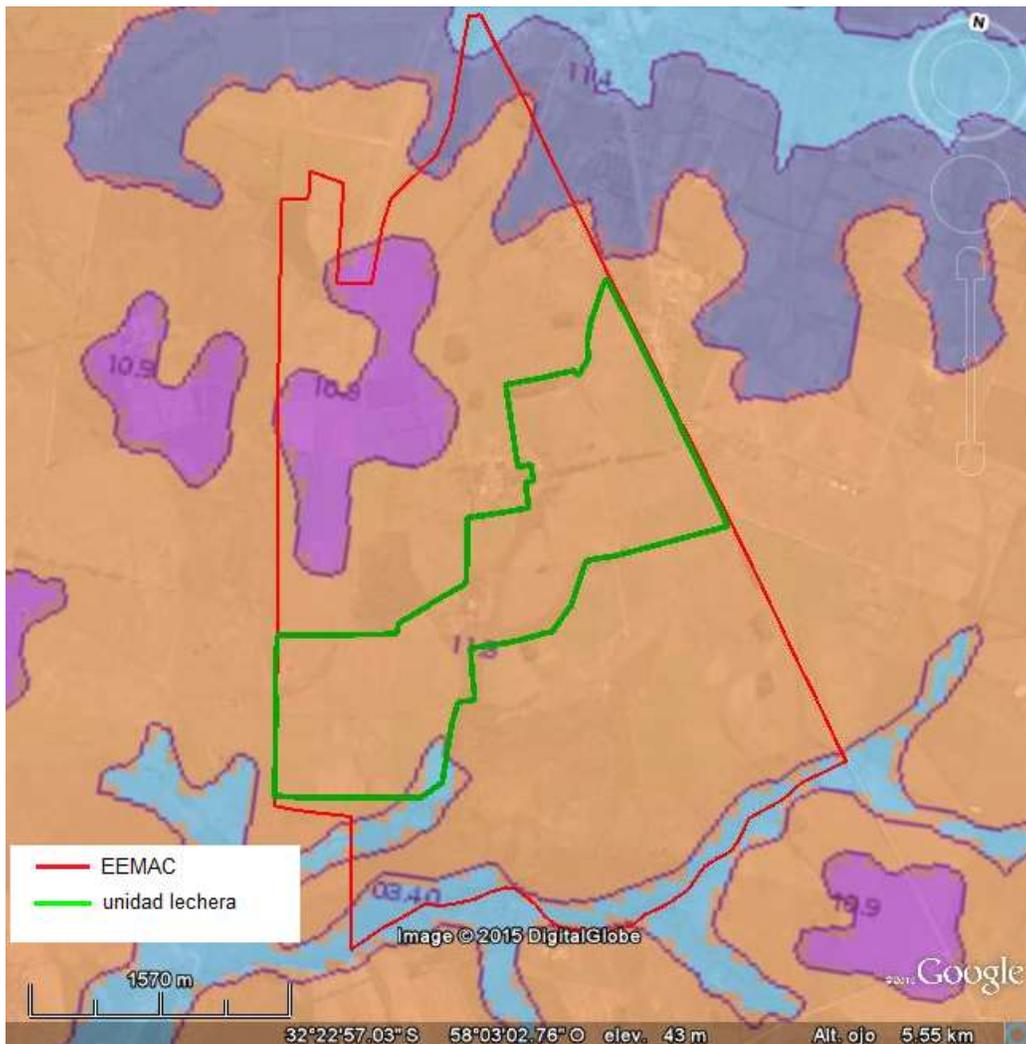


Figura No. 13. Ubicación de la estación experimental según mapa CONEAT

Fuente: MAP. CONEAT (1979).

La información publicada por MAP. CONEAT (1979), dice que el grupo 11.3, se localiza prácticamente en el departamento de Paysandú, extendiéndose en la región litoral comprendida entre los arroyos Sacra y Negro.

El material geológico corresponde a sedimentos limosos consolidados (carapachos calcáreos), a veces silicificados, recubiertos por delgados espesores de sedimentos limosos friables, muchas veces completamente edafizados. Como es común en todos estos grupos, dichos sedimentos tienen una clara herencia litológica del material de Fray Bentos (MAP. CONEAT, 1979).

El relieve es de forma general mesetiforme, con zonas altas aplanadas de pendiente prácticamente nula y laderas convexas de pendientes variables entre 5 y 8%. Los suelos de las zonas altas son una asociación de brunosoles éutricos lúvicos (praderas pardas máximas), de color pardo muy oscuro, textura franca arcillo limosa, fertilidad alta y moderada a imperfectamente bien drenados, y Solonetz. Pueden existir fases alcalinas que constituyen la transición entre ambos suelos mencionados. En las laderas existen brunosoles éutricos típicos, profundos, moderadamente profundos y superficiales, de características similares a los mencionados en el grupo anterior. Asociados y ocupando las convexidades más marcadas, existen Litosoles éutricos melánicos, y en las concavidades, planosoles éutricos melánicos.

El uso es agrícola pastoril, con cultivos invernales, estivales rastrojos y campo natural con predominio de especies invernales y propensión a la invasión de espartillo que, en las áreas de suelos superficiales, alcanza alta densidad (MAP. CONEAT, 1979).

Existe tendencia a la vegetación de parque, con algarrobos en los blanqueales y espinillos altamente invasores. Este grupo corresponde a la unidad San Manuel de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.). Índice de productividad 149 (MAP. CONEAT, 1979).

##### 5. Descripción del sitio experimental

Los potreros que comprende el área de muestreo ocupan un total de 226 hectáreas (ha), los cuales han sido utilizados dentro de la unidad lechera desde hace más de 10 años. Los mismos se encuentran ubicados contiguamente, conectados por caminería de balasto en las cercanías al casco principal.

A continuación, se indica su ubicación y disposición dentro de la estación experimental.

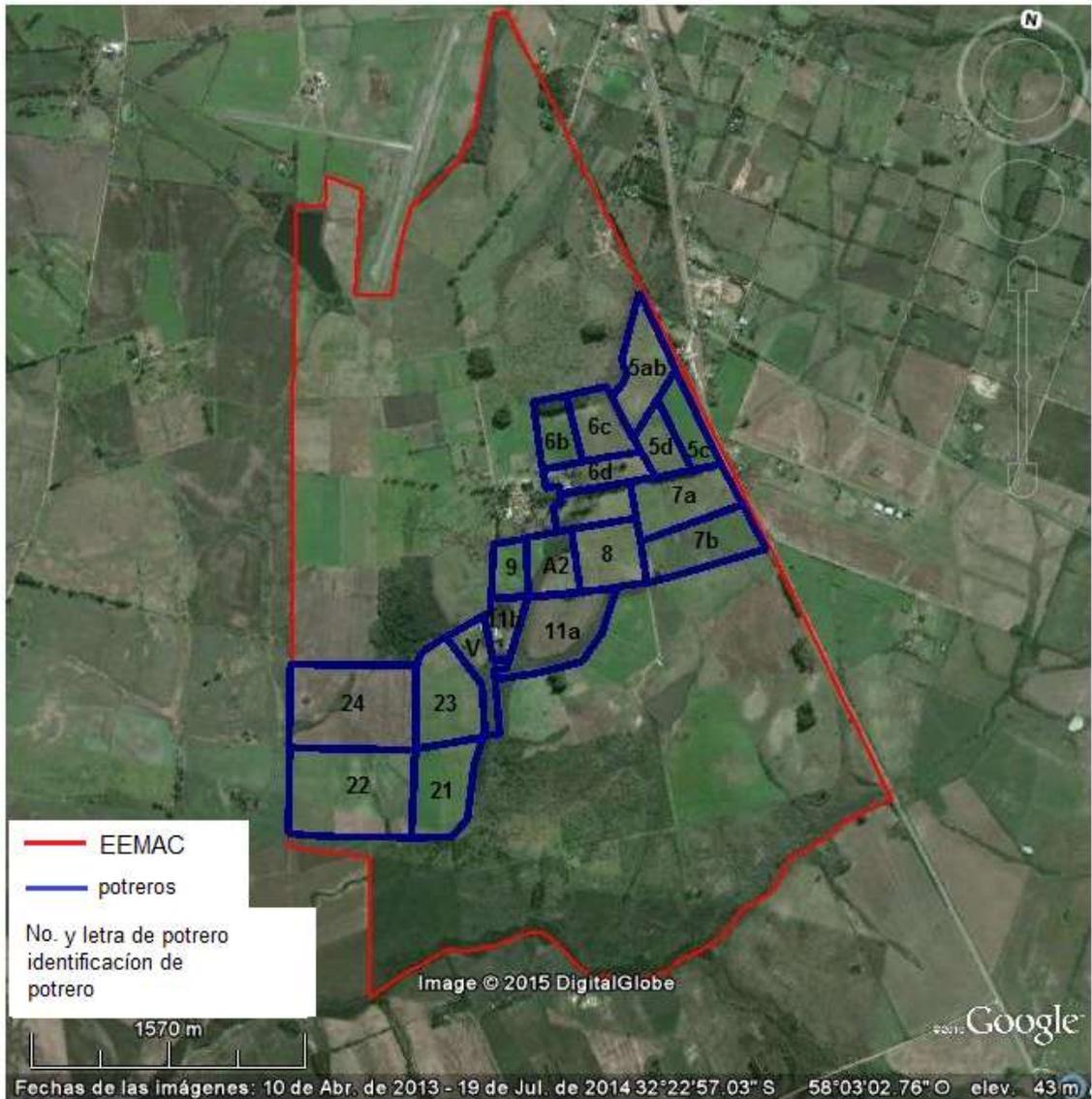


Figura No. 14. Ubicación de la estación experimental en Google earth

Si bien no se cuenta con una rotación precisa en todos los potreros, si se maneja para algunos de ellos, las cuales se detallan a continuación.

a. Potrero 5ab

Ubicado según coordenadas planas  $32^{\circ}22'21.94''S$ ;  $58^{\circ}02'47.37''O$ , ocupa una superficie total de 14 hectáreas. Se lo destina a pastoreo con parte del rodeo de vacas “secas” o recria y está constituido por “campo regenerado”, proceso al que tiende un campo luego de sufrir una alteración de su tapiz

natural. Aún es posible observar vestigios de terrazas de más de 30 años para disminuir la erosión.



Figura No. 15. Aspecto del potrero 5ab

b. Potrero 5c

Ubicado según las coordenadas 32°22'30.89"S; 58°02'47.37"O, ocupa una superficie total de 10 hectáreas, siendo la superficie útil 9 hectáreas. Potrero que no cuenta con una rotación estable, cuyo uso actual es pradera de alfalfa de segundo año, destinado al rodeo de vacas de ordeño. Desde el 2010 a la actualidad ha sido utilizado con la siguiente secuencia de pasturas:

Cuadro No. 3. Secuencia de pasturas del potrero 5c

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
rg.+al.	rg.+al.	fca.	fca.	ceb	moha	alf. 1	alf. 1	alf. 2	alf. 2

o-i= otoño- invierno. P-v= primavera- verano. rg= raigrás. al= *trifolium alexandrinum*. 1 y 2= años de producción. fca= festuca. ceb= cebadilla. alf.= alfalfa

c. Potrero 5d

Se ubica 32°22'35.93"S; 58°02'41.03"O, lindero a los antes mencionados, cuenta con un total de 6 hectáreas útiles. Si bien este potrero no cuenta con una rotación estable, el uso actual es pradera de festuca 4 año, destinado al rodeo de vacas de ordeño. Utilizando la siguiente secuencia:

Cuadro No. 4. Secuencia de pasturas del potrero 5d

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
bq.	soja	fca.1	fca.1	fca.2	fca.2	fca.3	fca.3	fca.4	fca.4

o-i= otoño- invierno. P-v= primavera- verano. bq= barbecho químico. 1, 2, 3 y 4= años de producción. fca= festuca



Figura No. 16. Aspecto del Potrero 5d

d. Potrero 6 b

Se localiza según coordenadas 32°22'35.29"S; 58°03'04.50"O, cuya superficie útil es 6 hectáreas, presenta la siguiente secuencia de pasturas destinado al rodeo de vacas secas y recria.

Cuadro No. 5. Secuencia de pasturas del potrero 6b

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
bq.	soja	av.+ rg.	sgo. f.	silo	mz. silo	alf. 1	alf. 1	alf. 2	alf. 2

o-i= otoño- invierno. P-v= primavera- verano. bq= barbecho químico, av+rg= avena+raigrás. sgo f.= sorgo forrajero. mz silo= maíz silo. 1y 2= años de producción. alf.= alfalfa

Cabe mencionar que, al momento de realizar la etapa de campo, se observa la presencia de setaria como un componente más de la pastura, además de la alfalfa.

e. Potrero 6c

Ubicado 32°22'33.03"S; 58°02'56.44"O, con similar superficie útil que el anterior, presenta un manejo similar al potrero 5 d, anteriormente descrito, el cual se encuentra actualmente en el cuarto año de producción de pradera de festuca, destinado al rodeo de vacas en ordeño.

f. Potrero 6d

Ubicado 32°22'41.34"S; 58°02'53.05"O, cuenta con 7 hectáreas de superficie total, ocupando un área de ladera baja, y el bajo propiamente, el que limita con una pequeña cañada. Campo "reestablecido" o regenerado destinado a cría, principalmente.

g. Potrero 7a

Lindero a la ruta, ubicado 32°22'44.27"S; 58°02'34.33"O, presenta un total de 15.7 hectáreas de las cuales se utiliza su totalidad. Es un potrero en el que se ha mantenido una pastura de larga duración, estando actualmente en su séptimo año de producción. Cabe destacar que en el año 2013 se resembró sobre ésta, festuca. La composición de la pradera larga es la mezcla de festuca, trébol blanco y achicoria. Destinado al rodeo de vacas en ordeño.

h. Potrero 7b

Se localiza según coordenadas 32°22'51.32"S; 58°02'25.43"O, con una superficie útil de 14 hectáreas, asignado al rodeo en ordeño presenta la siguiente secuencia de pasturas, el cual muestra cierta estabilidad con respecto a la secuencia que se maneja.

Cuadro No. 6. Secuencia de pasturas del potrero 7b

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
alf. 2	alf.2	alf. 3	alf. 3	dac. 1	dac. 1	dac. 2	soja	alf. 1	alf. 1

o-i= otoño- invierno. p-v= primavera- verano. 1, 2= corresponden a número de años en producción. alf.= alfalfa. dac.= dactylis

i. Potrero 8

Ubicado 32°22'55.81"S; 58°02'49.19"O, campo reestablecido que ocupa un total de 8 hectáreas, de las cuales se utiliza su totalidad y que es asignado al rodeo de vacas secas o recría.

j. Potrero 9

Lindero al tambo, 32°23'01.09"S; 58°03'10.07"O, cuenta con 7 hectáreas de superficie útil, actualmente se encuentra pradera de alfalfa en su tercer año de producción para el rodeo de vacas secas o recría. A continuación, se detalla la secuencia de pasturas realizadas en dicho potrero desde el año 2010.

Cuadro No. 7. Secuencia de pasturas del potrero 9

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
Av.+rg.	moha	av.+rg. +al.	rast.	alf. 1	alf. 1	alf. 2	alf. 2	alf. 3	alf. 3

o-i= otoño- invierno. p-v= primavera- verano. av.+rg.= avena+ raigrás. av.+rg.+al.= avena, raigrás, *Trifolium alexandinum*. rast.= rastrojo. 1, 2 y 3= años de producción. alf.= alfalfa

k. Potreros 11 a y b

Ubicados 32°23'11.86"S; 58°02'58.09"O, y 32°23'11.58"S; 58°03'09.28"O respectivamente, cuenta con una superficie total de 18 hectáreas (11a), siendo una continuación de éste, el potrero 11b, el cual es destinado al "encierro" y suplementación del ganado lechero, cuya superficie es 5 hectáreas. En el potrero 11a se observan antiguas terrazas, debido a la pendiente fuerte que da forma al potrero, se verifica actualmente un uso reducido a la recría y su producción de forraje a una pradera vieja o campo reestablecido.

I. Potreros 21, 22, 23 y 24

En el potrero 21 (32°23'43.66"S; 58°03'17.91"O), 22 (32°23'44.81"S; 58°03'40.05"O), 23 (32°23'26.70"S; 58°03'19.54"O) y 24 (32°23'31.40"S; 58°03'38.38"O), se maneja una rotación definida. A continuación, se presenta la secuencia de pasturas de la rotación.

Cuadro No. 8. Secuencia de pasturas de los potreros 21, 22, 23 y 24

2010		2011		2012		2013		2014	
o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
av.+rg.	sgo. g.	sgo./bq.	mz. silo	fca. 1	fca. 1	fca. 2	fca. 2	fca. 3	fca. 3

o-i= otoño- invierno. p-v= primavera- verano. av.+rg.= avena+ raigrás. fca.= festuca. mz.= maíz. sgo. g.= sorgo grano. sgo.= sorgo. 1, 2 y 3= años de producción

Si bien esos potreros son destinados para el rodeo en ordeño, igualmente existen algunas diferencias en el manejo registrado respectivo. El potrero 21 con 16.5 hectáreas de superficie, actualmente se planifica la siembra de maíz para grano; su antecesor es un "verdeo" de avena y raigrás.

El potrero 22, ocupa 30 hectáreas, de las cuales actualmente, 20 ha fueron sembradas con festuca, mientras que las restantes 10 ha ya están en su segundo año de producción, también de festuca. En el potrero 23, de 22 hectáreas, se extendió la rotación un año más con festuca, resultando su uso actual festuca de cuarto año. Por último, el potrero 24, de 30 hectáreas de superficie, registra una utilización de maíz para silo, sembrado sobre barbecho de cultivo de sorgo del año anterior.

Todos los potreros se encuentran inter-conectados, extendiéndose igualmente sobre diferentes formas, que modelan el paisaje. En su mayoría, los potreros cuentan con acceso a la caminería principal, siendo esta última de balasto.

Los potreros más distantes al tambo son el 5ab, 5c, 5d, 21, 22, 23 y 24.

## B. MAPEO DETALLADO DE SUELOS DEL ÁREA EN ESTUDIO

### 1. Selección de áreas de estudio y muestreo

En el levantamiento de suelos se siguió la metodología clásica sugeridas por el Soil Survey Staff (1991).

La fotointerpretación preliminar se realizó sobre fotografías escala 1:20.000 tomadas en el año 1966-1967, por el Servicio Geográfico Militar (SGM), además se utilizaron imágenes digitales provistas por Google earth utilizando el programa del mismo nombre. Estos documentos fueron utilizados para su visualización, dibujo, apreciación de relieve, edición, etc. La observación directa y la utilización de la información sobre topografía de Google earth, sirvió a la definición de las unidades y a la estimación del factor LS a manejar en las respectivas simulaciones del modelo USLE/ RUSLE.

Se separaron las áreas homogéneas (unidades de fotointerpretación-ufis), en base a diferentes tonalidades, pendientes topográficas y tipo de drenaje asociado, posición en el paisaje, tipo y cantidad de vegetación, etc.

Posteriormente se llevó a cabo una planificación del recorrido y reconocimiento del terreno, con el fin de verificar, modificar y corregir límites trazados en la fotointerpretación. A la escala de trabajo (1:20.000), la fotointerpretación es solo una débil auxiliar del verdadero fundamento del estudio, que es el levantamiento de campo. Se definió el padrón de distribución de suelos ayudándose y facilitado por las ufis ya separadas; así mismo se ajustaron los límites de cada unidad, y se realizaron descripciones morfológicas en cada una de las unidades de paisaje procurando definir el perfil modal respectivo.

En esta tarea se realizaron perforaciones extrayéndose muestras con la ayuda de un barreno Edelman. En esta etapa también se hicieron observaciones sobre el relieve del paisaje local, drenaje externo, erosión actual, geología, vegetación y uso actual de las distintas unidades.

En cada descripción a taladro se anotó la secuencia de horizontes, su respectivo espesor, color, textura, consistencia, presencia de concreciones y otros hechos morfológicos destacables.

Más tarde se procedió a la descripción y verificación en varios sitios diferentes de cada unidad. Luego, se obtuvieron muestras de los horizontes mayores de cada sitio (por lo general A y B); luego de estudiarlos y compararlos se seleccionó el perfil modal de cada unidad.

Se describieron,

1. Propiedades asociadas al sitio: relieve general y local (forma del paisaje, material parental, posición en el paisaje, pendiente: porcentaje y largo, drenaje, afectación por inundaciones, erosión actual, halomorfismo, cobertura vegetal y uso actual).

2. Propiedades morfológicas del perfil, espesor, color, clase textural, abundancia y tipo de moteados, revestimientos y de raíces en cada horizonte y reacción a HCl. Las descripciones fueron hechas a partir de muestras obtenidas a barreno por lo que las transiciones, estructuras y revestimiento de los diferentes horizontes no se obtuvieron.

3. En cada uno de los perfiles modales que contribuyen a definir las respectivas unidades cartográficas, se obtuvieron muestras. En ellas se demandó el análisis de diferentes propiedades físicas y químicas con el objetivo de obtener información analítica complementaria a efectos de poseer datos suficientes para clasificar los distintos suelos o bien realizar su evaluación por capacidad de uso.

4. Los estudios analíticos químicos de las muestras de horizontes mayores arrojaron datos de: bases totales (Ca, Mg, Na, K), acidez titulable a pH del suelo, pH, capacidad de intercambio catiónico efectiva y carbono orgánico; mientras que los físicos consistieron en el porcentaje en peso de las fracciones granulométricas: arena, limo y arcilla. Con estos últimos se clasificó la clase textural de los diferentes horizontes de los distintos suelos. Se espera que estos datos enriquezcan aún más el conocimiento de los suelos del área de influencia de la EEMAC.

Los estudios analíticos se efectuaron en el laboratorio de INIA "La Estanzuela". Las técnicas y procedimientos empleados fueron:

5. El pH en agua, se determinó por potenciometría en una relación suelo: agua 1:2,5.

6. Las bases totales se extrajeron con acetato de amonio, se midieron por espectrofotometría de absorción y emisión atómica.

7. La acidez titulable se determinó en acetato de calcio bufferado a pH = 7.

8. La cic (capacidad de intercambio catiónico) a pH=7 se estimó como la suma de bases totales y acidez titulable.

9. El carbono orgánico se determinó por combustión seca a 900°C y detección con infrarrojo utilizando un equipo Leco Truspec nc.

Análisis físicos realizados a las muestras extraídas:

10. La textura se determinó a través de una modificación de la técnica del hidrómetro.

## 2. Carta básica de suelos

Cuando una porción de suelo está constituida por un único individuo de suelo o edafón, se dice que pertenece al mismo "suelo" o "serie". La unidad cartográfica de suelo (ucs) es el conjunto de individuos suelos (series) que se dan en un espacio común. Por lo común éstas tienen la misma secuencia de horizontes, cuyas propiedades varían dentro de límites relativamente estrechos.

Se supone que las unidades cartográficas se comportarían en forma relativamente uniforme frente a una misma tecnología aplicada y sus rendimientos variarían dentro de límites estrechos, de no cambiar significativamente las condiciones ambientales a través de los años. Las unidades no solamente se definen en base a las series de suelo sino también por la posición y forma del paisaje asociado a cada una de ellas.

A cada una de las unidades cartográficas de suelo se le asigna un nombre pudiendo coincidir con la categoría taxonómica de la serie más abundante, por ejemplo: brunosoles éutricos típicos, franco arcillo limoso (fac) asociados a lomadas convexas, sedimentarias, suaves, con interfluvios aplanados y con grado de erosión ligero, o bien denominándola con un nombre de un paraje cercano, por ejemplo "San Manuel". Cabe mencionar que los suelos aquí definidos siguen el criterio de clasificación de suelos de Altamirano et al. (1976) que se encuentra vigente actualmente.

## 3. Carta interpretativa por capacidad de uso y propiedades inferidas de los perfiles de suelos

A partir de la carta básica de suelos, se realiza la clasificación por capacidad de uso del departamento de agricultura de los Estados Unidos, desarrollada por Montgomery y Klingebiel (1961). De acuerdo a ésta se definen las clases de tierras, efectuando la valoración de propiedades inferidas y complejas de acuerdo al Manual para la descripción e interpretación del perfil de suelo (Durán et al., 1990).

#### 4. Definición de secuencia

En base a la carta básica de suelos, propiedades morfológicas, y análisis químicos, se define un empotramiento alternativo. Paralelamente a cada uno de los potreros se le adjudica, sistemas de pastoreo y utilización de pasturas. Más tarde, se seleccionan las alternativas de utilización modeladas que exhiben pérdidas de suelo por debajo de los niveles tolerables en cada unidad de mapeo.

#### 5. Ecuación universal de pérdida de suelo

El modelo matemático Erosión 6.0 es en estas circunstancias, de gran utilidad para la definición del sistema de utilización de la tierra, ya que permite predecir las pérdidas anuales promedios de suelos, cuantificadas en toneladas por unidad de superficie (Puentes y Szogi, 1983).

En la unidad San Manuel de la Carta de reconocimiento de suelos (MAP. DSA, 1976), representada por el suelo dominante Brunosol éutrico típico, franco, el valor máximo de pérdida de suelo anual (T) permitido a efectos de mantener el nivel de productividad es de 5 toneladas por hectárea anuales (Puentes y Szogi, 1983).

A través del estudio de los suelos de la upl, se utilizó información del mapa detallado para simular el comportamiento que tendrían cada una de las unidades cartográficas frente a la erosión hídrica bajo diferentes alternativas de utilización de la tierra. A tales efectos, además, se introdujeron en el modelo los diferentes factores C construidos a partir de la rapidez relativa de diferentes cultivos forrajeros para cubrir el suelo, su dosel, rendimiento, cantidad de rastrojo, etc. Utilizando los resultados de las diferentes simulaciones se recomendarían aquellas que arrojaran valores de pérdidas promedio anual (A) menores a las tolerables (T).

Con el propósito de ajustar el modelo y tener resultados más certeros, se estiman algunos parámetros de la ecuación en base al lugar en estudio.

El factor K o erodabilidad del suelo, es un factor que tiene en cuenta las propiedades intrínsecas del suelo, para ello, se estima "en base a propiedades del suelo que se reconocen como determinantes de la erodabilidad, mediante una ecuación, ecuación de Wischmeier y Smith, adaptada luego por Puentes y Szogi (1983) para las condiciones de suelo de Uruguay.

Dada la gran variabilidad de los suelos, se hace imprescindible determinar el factor k específicamente para los suelos a la escala predial de

trabajo. De esta manera se pretende mejorar los resultados que se obtendrían de utilizar los suelos propuestos a una escala muy general (1: 1.000.000).

Para el factor L y S (longitud y gradiente de la pendiente respectivamente), análogamente se tomaron valores de la realidad después de haber hecho el mapa predial. A fin de tener datos comparables se analizaron tres rangos de valores según gradiente de pendiente y largos de 50, 100 y 200 metros en todas ellas.

El factor C que representa el uso y manejo de los suelos, tal y como citan Durán y García Préchac (2007b) *“es el factor más importante del modelo, porque representa el efecto combinado de condiciones o variables que pueden ser manejadas por el hombre con mayor facilidad para controlar la erosión”*.

Así puede medirse el efecto que determinada rotación puede tener, en evitar las pérdidas de suelos.

Las diferentes secuencias propuestas, fueron probadas en cada unidad, así como las secuencias que se utilizan y describen anteriormente en cada potrero.

El factor R y P, que componen la ecuación son valores estándar, es decir se toman como válidos para la situación los datos ingresados para la unidad en el programa, los que se aclaran en el cuadro No. 27. El factor prácticas mecánicas para la conservación de suelo, dejando el mismo constante, igual a 1.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### A. CARTA BÁSICA DE SUELOS

En la siguiente figura se delimitan los distintos tipos de suelos en el área de estudio.

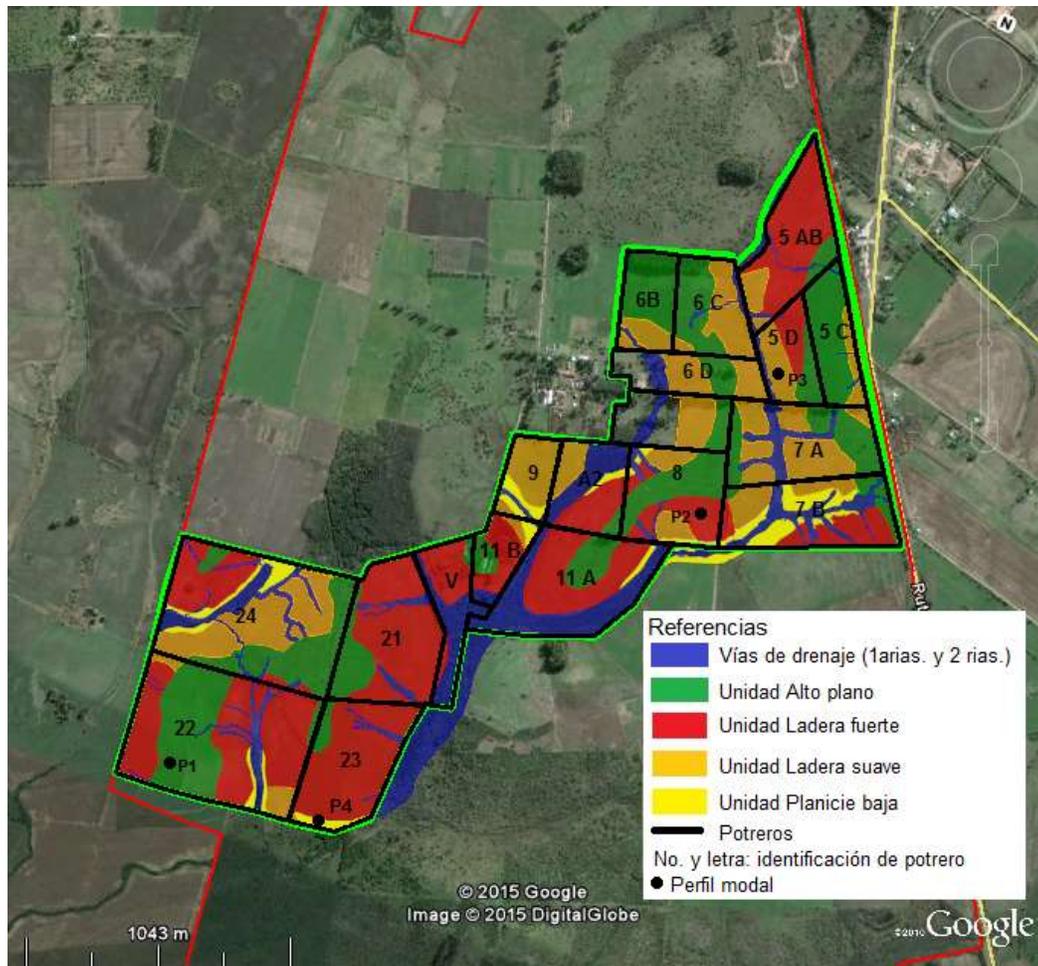


Figura No. 17. Carta de suelo de la unidad lechera de la EEMAC

Para poder definir las diferentes unidades cartográficas, resulta de suma importancia conocer y comprender la forma del paisaje sobre las que se extienden las mismas. Las diferentes propiedades y características del paisaje afectan en gran medida el comportamiento de los distintos tipos de suelos.

Para toda el área de estudio se verificó la presencia como material generador la formación Fray Bentos, como se describe en los antecedentes.

Como fuera mencionado, las distintas unidades fueron definidas, según el tipo de suelo y la forma del paisaje asociado a este. En base a esa última propiedad se las denominó: 1) Alto plano, el cual, corresponde a la zona más alta del paisaje con pendiente menor a 1%; a los que sigue la ladera, la que se divide según el grado de pendiente en 2) Ladera fuerte (ladera de pendiente moderada a fuerte), cuya pendiente oscila entre 3 y 8 %, y, por otro lado, 3) Ladera suave, cuyas pendientes pueden alcanzar desniveles de hasta 3% de pendiente. Concavidades: son las tierras por donde se encauza y escurre el agua cuando no puede infiltrar, luego de lluvias copiosas; por lo común poseen suelos similares a las tierras que los rodean, pero pueden tener rasgos redoximórficos más notorios y/o un perfil con mayor grado de desarrollo. Por último, y siguiendo el orden decreciente de altimetría, se define 4) Planicie baja: constituida por planicies que acompañan las vías de drenaje más importantes, por lo común de caudal permanente y pendiente menor a 1%.

En el siguiente cuadro se presenta el nombre asignado a cada unidad, el suelo dominante, la clase de pendiente y la respectiva superficie expresada en hectáreas, así como en porcentaje del total del área dedicada a la producción lechera.

Cuadro No. 9. Unidades definidas según suelo dominante (gran grupo), familia textural y fase de pendiente

unidad	suelo- paisaje	ha.	%
Alto plano	Brunosol éutrico lúvico, limo arcilloso, clase de pendiente "A" (0-1%); y Solonetz solodizado, limoso, clase de pendiente "a" (0 - 1%)	68,4	27
Ladera fuerte	Brunosol éutrico háplico, franco, clase de pendiente "C" (3 a 8%)	94,1	37
Ladera suave	Brunosol subéutrico típico, franco, clase de pendiente "B" (1 a 3%)	52,9	21
Planicie baja	Fluvisol, clase de pendiente "A" (0 - 1%)	13,3	5
concavidades		27,3	10
total		256,0	100

Se advierte una apreciable coincidencia entre el conjunto de las unidades cartográficas de suelos separadas a nivel semi-detallado y la descripción del grupo de suelo (MAP. CONEAT, 1979) 11.3, en cuanto a los suelos que integran dicha área. Debe señalarse que no se desarrollaron estudios complementarios en las áreas de las unidades: Planicie baja ni concavidades en virtud que a priori se les adjudicó una capacidad de uso tal que no pueden utilizarse para la producción de forraje ni cultivos. La unidad cartográfica Planicie baja puede presentar áreas de monte nativo y la unidad concavidades, tiene un riesgo de erosión muy elevado.

## 1. Descripción de las unidades cartográficas

### a. Unidad “Alto plano”

Dicha unidad corresponde a partes altas aplanadas sobre lomadas de Fray Bentos, con recubrimiento de lodolitas. La pendiente no supera el 1 % en toda la unidad que se extienden por el área ocupando 68.4 hectáreas, lo que equivale a 24% del total del área en estudio. Se verifica la descripción del paisaje realizada por MAP. CONEAT (1979) para el grupo 11.3, “*zonas altas aplanas de pendiente prácticamente nula*”, designando en forma general al relieve como “mesetiforme”. “*Los suelos de las zonas altas son una asociación de Brunosoles Éútricos lúvicos, de color pardo muy oscuro, textura franca arcillo limosa, fertilidad alta y moderada a imperfectamente bien drenados, y Solonetz*” (MAP. CONEAT, 1979).

Tal como se menciona anteriormente, predominan Brunosoles éútricos, con suelos de tipo halomórficos asociados, los que no pueden ser manejados como una sub unidad ya que se encuentran en una combinación tal que hace impracticable su separación. Entendiéndose como suelos asociados aquellos cuya superficie no supera el 50% y a su vez resulta mayor al 10% de la unidad. En la siguiente imagen, se puede observar lo antes mencionado.



Figura No. 18. Suelos halomórficos asociados a la unidad

Los recubrimientos arcillo limosos que presenta dicha unidad, no solo suavizan el paisaje, sino también favorece que resulten suelos más profundos, ya que como indica MAP. CONEAT (1979), dichos sedimentos se encuentran edafizados. A continuación, se describe un perfil modal, extraído de dicha unidad.



Figura No. 19. Perfil modal y paisaje de la unidad Alto plano

Propiedades asociadas al perfil de suelo de la unidad alto plano.

El perfil anterior se identifica en el mapa como "P1" y coincide con el que se detalla más información en los anexos como perfil 1; se localiza en las coordenadas 32°23'48.37"S; 58° 3'44.41"O. Forma parte de un relieve general de lomadas de Fray Bentos con recubrimientos de lodolitas, y un relieve local de "Alto plano", pendiente menor a 1%, casi plano.

Presenta un drenaje externo grado 2, debido a el lento escurrimiento por su posición, según Durán et al. (1990), las inundaciones (clase 1) son raras o de corta duración, se observa erosión ligera, no pedregosidad y corresponde grado 0 de rocosidad.

En el siguiente cuadro se resume la información de la descripción morfológica del perfil.

Cuadro No. 10. Descripción morfológica del perfil P1

perfil P1	espesor	color	transición	clase textural	raíces	reacción al HCl
Ap	0- 18	10YR 3/1,5	gradual	franco arcilloso	si	no
Bt	18- 53	10YR 3/1	clara	arcilloso	si	no
BC	53- 80	10YR 3/3	abrupta	-	si	no
Ck	80- +	7,5YR 4/6	-	-	no	si

A continuación, se presentan los resultados de análisis físico- químicos realizados en los dos primeros horizontes del perfil anterior.

Cuadro No. 11. Resultados químicos del perfil P1

	pH	c.o.	Ca	Mg	K	Na	a.tit.	cicpH	bt	sb	
		%	Cmol.k(+). <sup>-1</sup>								
horizonte											
Ap	5,6	2,82	17,8	1,7	0,5	0,09	2,9	23,0	20,1	87,3	
Bt	6,2	1,93	24,0	1,5	0,7	0,09	3,3	29,5	26,2	88,8	

c.o.= carbono orgánico. Ca= calcio. Mg= magnesio. K= potasio. Na= sodio. a. tit.: acidez titulable. cicpH<sub>7</sub>= capacidad de intercambio catiónico a pH7. bt= bases totales, %sb= porcentaje de saturación en bases.

Las muestras de los horizontes del perfil arrojaron los valores de arena, limo y arcilla que figuran en el cuadro siguiente. A partir de los datos respectivos y utilizando los criterios USDA. NRCS (1976), se clasificaron las clases texturales correspondientes.

Cuadro No. 12. Resultados de análisis textural del perfil P1

	% en peso			
horizonte	arena	limo	arcilla	clase textural
Ap	32	33	35	franco arcilloso
Bt	26	26	48	arcilloso

De acuerdo a los resultados morfológicos y analíticos, se puede apreciar claramente que se trata de un suelo perteneciente al orden melánico, gran grupo Brunosol. Dentro de este último se distingue como éutrico, debido a que la capacidad de intercambio catiónico es superior de 20 Cmol.k(+).<sup>-1</sup> y la saturación en base, mayor a 60%. Presenta un contenido de materia orgánica alto, de 4.86% en el horizonte A.

De acuerdo a la clasificación de suelos, de Altamirano et al. (1976) cumple con las características de clase Brunosol éutrico típico, debido a la presencia de un horizonte subsuperficial argilúvico, la relación de arcilla es mayor a 1,2% entre el horizonte B y el A, pero menor a 2, transición gradual.

b. Unidad “Ladera fuerte”

Las formas dominantes de esta unidad es laderas altas convexas, pendiente moderada a fuerte, relieve asociado a sedimentos loésicos de la formación Fray Bentos, ocupando un 34% del área de mapeo, equivalente a 94.1 hectáreas. Esta unidad es la que prevalece en el área de mapeo.

Predominan Brunosoles éutricos háplicos, con muy poco frecuentes recubrimientos de lodolitas, lo cual influye en su escasa profundidad.

A continuación, se describe un perfil modal que ejemplifica de dicha unidad.



Figura No. 20. Perfil modal y ubicación en el paisaje de la unidad Ladera fuerte

Propiedades asociadas al perfil de suelo.

El perfil anterior se identifica en el mapa como “P2”, del que se detalla más información en los anexos como perfil 2, se localiza según coordenadas planas 32°22'57.24”S; 58°02'44.20”O, describe un relieve general de lomadas de Fray Bentos, pendiente moderada, el relieve local describe ladera alta, pendiente local de 8%.

Presenta un drenaje externo grado 4, escurrimiento rápido, de acuerdo a Durán et al. (1990), por lo tanto, las inundaciones son raras en esta unidad. Se observa erosión moderada y en algunos lugares puntuales se verifica erosión severa (ver perfil 2 en anexos), y al igual que el perfil anterior, no muestra grado de pedregosidad y tampoco rocosidad.

A simple vista, en esta unidad puede apreciarse vestigios de terrazas, construidas tiempo atrás con el objetivo de conservación de suelos; en algunas zonas pasan inadvertidas. En esta unidad se abarca áreas que presentan fuerte erosión de tipo laminar.

En el siguiente cuadro se resume la información de la descripción morfológica del perfil modal para la unidad.

Cuadro No. 13. Descripción morfológica del perfil P2

perfil P2	espesor	color	transición	clase textural	raíces	reacción al HCl
Ap	0- 11	10YR 2/2	gradual	franco arcilloso	si	no
A	11- 29	10YR 2/2	abrupta	franco arcilloso	si	no
Ck	29- +	90% 5YR5/6, 10% 5YR7/1	-	franco arcillo limoso	si	si

A continuación, se presentan los resultados de análisis químicos y textura realizados en los dos primeros horizontes del perfil.

Cuadro No. 14. Resultados de análisis químico del perfil P2

	pH	c.o.	Ca	Mg	K	Na	a.tit.	cicpH <sub>7</sub>	bt	sb
	H <sub>2</sub> O	%	Cmol.k(+). <sup>-1</sup>						%	
horizonte										
Ap	7,9	3,87	29,0	1,0	1,11	0,07	0	31,1	31,1	100
A	8,0	4,05	26,5	0,5	0,81	0,06	0	27,8	27,8	100

c.o.= carbono orgánico. Ca= calcio. Mg= magnesio. K= potasio. Na= sodio. a. tit.: acidez titulable. cicpH<sub>7</sub>= capacidad de intercambio catiónico a pH7. bt= bases totales, %sb= porcentaje de saturación en bases.

Cuadro No. 15. Resultados de análisis textural del perfil P2

horizonte	% en peso			clase textural
	arena	limo	arcilla	
Ap	41	24	35	franco arcilloso
A	42	25	33	franco arcilloso

A partir de los resultados analíticos se puede apreciar claramente que se trata al igual que el caso anterior de un suelo perteneciente al orden melánico, debido a que cumple satisfactoriamente con las características de este (color, saturación en base, materia orgánica, espesor y textura), gran grupo Brunosol, éutrico, debido a que la capacidad de intercambio catiónico superior de 20 Cmol.k<sub>(+)</sub>.<sup>-1</sup> en ambos horizontes, saturación en base, mayor a 60%.

Presenta un contenido de materia orgánica de 7% en el horizonte A y carecen de horizonte diagnóstico subsuperficial, ya que inmediatamente después de los 29 cm de profundidad aparece el horizonte C que no constituye un contacto lítico; característica descrita satisface los requerimientos para ser clasificado como Brunosol Éutrico háplico.

c. Unidad “Ladera suave”

Como su nombre lo indica, en esta unidad dominan las formas suaves, con pendiente de hasta 3%, el material parental de los suelos corresponde a sedimentos arcillo-limosos de Libertad apoyados y/o influenciados con Fray Bentos; los interfluvios de las lomadas aún no disectados resultan ligeramente aplanados. La superficie de esta ucs equivale al 21% del área de la upl y son casi 53 hectárea (ver cuadro No. 9). Los suelos predominantes son Brunosoles éutricos típicos, profundos.

A continuación, se describe un perfil modal de dicha unidad.



Figura No. 21. Perfil modal y ubicación en el paisaje de la unidad Ladera suave

Propiedades asociadas al perfil de suelo.

El perfil anterior se identifica en el mapa como "P3" y en el que se detalla más información en los anexos como perfil 3, se localiza según coordenadas 32°22'38.21"S; 58°02'40.88"O, modela un relieve general de lomadas, pendiente suave, de 3%, el relieve local describe ladera baja.

Exhibe un drenaje externo grado 3, el escurrimiento es medio, de acuerdo a Durán et al. (1990). En el área se observan escasos síntomas de arrastre por lo que la erosión es ligera, no manifiesta pedregosidad y tampoco rocosidad, corresponde clase 1 para riesgo de inundación.

En el cuadro siguiente se resume la información de la descripción morfológica del perfil modal.

Cuadro No. 16. Descripción morfológica del perfil P3

perfil P3	espesor	color	transición	clase textural	raíces	reacción al HCl
Ap	0- 19	10YR2/2	clara	franco arcilloso	si	no
Bt	19- 45	10YR3/1	gradual	franco arcilloso	si	no
BC	45- 62	7,5YR 2,5/2	abrupta	limosa	si	no
Ck	62- +	70% 5YR 7/2, 30% 5YR5/3	-	-	-	si

A continuación, se presentan los resultados de análisis químicos y textura realizados en los dos primeros horizontes del perfil.

Cuadro No. 17. Resultados de análisis químico del perfil P3

	pH	C.O.	Ca	Mg	K	Na	a.tit.	cicpH <sub>7</sub>	bt	sb
	H <sub>2</sub> O	%	Cmol.k(+). <sup>-1</sup>							%
horizonte										
Ap	6,7	1,35	10,0	1,6	0,41	0,22	2,7	15,0	12,3	82,0
Bt	7,6 *	1,13	15,9	2,4	0,51	0,63	0	19,5	19,5	100
BC	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Ck	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.		s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.

Cuadro No. 18. Resultados de análisis textural del perfil P3

	% en peso			
horizonte	arena	limo	arcilla	clase textural
Ap	41	29	30	franco arcilloso
Bt	40	25	35	franco arcilloso

Analizando los datos morfológicos y analíticos en forma integrada se concluye que se trata de un suelo perteneciente al orden melánico, gran grupo Brunosol, similar al perfil que describe la unidad “Alto plano”. Se distingue como subéutrico, debido a que la capacidad de intercambio catiónico es menor de  $20 \text{ Cmol.k}_{(+) }^{-1}$  pero mayor de  $10 \text{ Cmol.k}_{(+) }^{-1}$  de suelo, la relación en porcentaje de arcilla del horizonte B y el A es mayor a 1,2%.

Cumple con las características de Brunosol subéutrico típico, debido a la presencia de un horizonte subsuperficial argilúvico y el índice de diferenciación dado por la relación entre el contenido de arcilla entre los horizontes de acumulación y de pérdida es mayor a 1,2% pero menor a 2, la transición entre ellos es “clara”.

d. Unidad “Planicie baja”

Dicha unidad corresponde a áreas deprimidas del paisaje. Se extiende a lo largo de las vías de drenaje de mayor importancia relativa; siendo escasa significación la superficie que ocupa dentro del área relevada.

A continuación, se describe un perfil extraído de dicha unidad.



Figura No. 22. Perfil modal, ubicación y paisaje de la unidad Planicie baja

Propiedades asociadas al perfil de suelo.

El perfil anterior se identifica en el mapa como "P4" y en el que se detalla más información en los anexos como perfil 4, se localiza según coordenadas 32°23'52.24"S; 58°03'17.89"O, describe un relieve general de planicie aluvial, pendiente menor a 1%, el relieve local planicie baja, pendiente 0.5%.

Por las características del paisaje asociado y el uso histórico esta unidad no presenta evidencias de erosión marcada, sin escurrimiento superficial, se considera clase 2 en cuanto al riesgo de inundación. No muestra grado de pedregosidad y tampoco rocosidad.

Esta unidad está compuesta por suelo de textura muy pesada, posiblemente por el aporte de material que recibe de zonas vecinas más elevadas.

Cuadro No. 19. Descripción morfológica del perfil modal para la unidad

perfil P4	espesor	color	transición	clase textural	raíces	reacción al HCl
A <sub>1</sub>	0- 33	7,5YR 2,5/1	gradual	arcillo limoso	si	no
A <sub>2</sub>	3- 52	7,5YR 2,5/1	clara	arcillo limoso	si	no
C <sub>k</sub>	2- +	7,5YR 5/4	-	-	no	si

Cuadro No. 20. Resultados de análisis químico del perfil P4

	pH	C.O.	Ca	Mg	K	Na	a.tit.	cicpH <sub>7</sub>	bt	sb
	H <sub>2</sub> O	%	Cmol.k(+). <sup>-1</sup>							%
horizonte										
1A	7,9	7,91	36,0	1,0	0,40	0,08	0	37,6	37,6	100
2A	8,1	5,55	26,3	1,1	0,41	0,11	0	27,9	27,9	100
2C <sub>k</sub>	7,9	0,67	29,2	2,2	0,90	0,09	0	32,3	32,3	100

Cuadro No. 21. Resultados de análisis textural del perfil P4

horizonte	% en peso			clase textural
	arena	limo	arcilla	
1A	8	47	44	arcillo limoso
2A	8	48	44	arcillo limoso
2Ck	10	39	50	arcillo limoso - arcilloso

Teniendo en cuenta la posición de esta unidad en el paisaje, así como la descripción morfológica del perfil y los resultados analíticos obtenidos, se concluye que este suelo corresponde a un Fluvisol isotextural cumúlico. El alto contenido de arcilla y niveles elevados de materia orgánica, hacen pensar que los mismos, no tienen origen in situ, sino que deben tratarse de aportes de zonas más elevadas en el paisaje arrastrados a través de los años por la corriente de agua asociada.

El perfil estudiado se corresponde a la descripción que hace MAP. CONEAT (1979) respecto a la constitución del grupo 03.40: "*sedimentos limo arcillosos y sedimentos aluviales estratificados que se encuentran asociados a cursos de agua, Fluvisoles con vegetación arbórea*". Las características del paisaje asociado de esta ucs: planicie aluvial que acompaña las vías de drenaje natural de mayor porte advierten y señalan algunos riesgos en cuanto a la oportunidad de aprovechamiento de la misma.

Atendiendo a la descripción de la ucs, es esperable ante un estudio y revisión más profunda de la misma, confirmar la presencia de suelos de tipo gleysoles y planosoles, como los que se evidencian en datos recogidos en otras instancias particulares de mapeo, dentro de la EEMAC. Dicha información (ver anexo 3) fue aportada por la cátedra de Edafología, extraída de la carta básica de dicha estación.

## B. PROPIEDADES A INFERIR

A partir del análisis de los datos, registrados en la etapa de campo, así como los del laboratorio obtenidos de las distintas muestras, necesarios para clasificar los suelos y así poder denominarlos, también pueden inferirse propiedades que son de gran importancia a la hora de asignar una clase de

capacidad de uso a las ucs. Este análisis se ve facilitado cuando se descompone a cada ucs en las respectivas propiedades de los perfiles de suelo que las componen y que son de importancia para prever un comportamiento satisfactorio ante un uso de la tierra determinado. Luego de examinar todas las propiedades consideradas se realiza un análisis integrado juzgando cuál sería el comportamiento comparativo de las ucs ante el uso o servicio planeado sin que se afecte sensiblemente esa porción de tierra.

### 1. Propiedades físicas

Dentro de las propiedades físicas a inferir, la capacidad de retener agua en forma disponible (caad) es un parámetro que permite tener una guía aproximada de la humedad disponible por horizonte que puede llegar a ser utilizada por las plantas y de esta manera deducir cuan dependiente es la producción de las precipitaciones, ya que son las reservas de agua en el suelo las que permitirán el crecimiento entre dos periodos consecutivos de lluvia. Dicha propiedad, se estima a partir de la composición textural de los diferentes horizontes y el espesor de los mismos. Ver en anexos tabla de cálculo caad para cada unidad.

Otra propiedad no menos importante es la profundidad efectiva, propiedad que nos permite conocer si el suelo presenta alguna limitante para el desarrollo radicular, permitiendo saber hasta que profundidad pueden llegar las raíces.

A continuación, se presentan los resultados para cada unidad.

Cuadro No. 22. Propiedades inferidas a cada unidad

propiedades	Alto plano	Ladera fuerte	Ladera suave	Planicie baja
caad*	134 a 174 mm	53 a 67 mm	124 a 155 mm	95 a 121 mm
prof. efectiva	mod. profundo (82 cm)	superficial (46 cm)	mod. profundo (62 cm)	mod. profundo (52 cm)

\*caad: capacidad de almacenar agua en forma disponible.

En términos generales el área presenta en promedio caad de 96 a 122 mm en el perfil.

Dependiendo del espesor del horizonte y la textura, poseen una cantidad que va de un mínimo de 53 mm a un máximo de 174 mm en el perfil.

La principal diferencia está dada por el espesor de los diferentes horizontes que conforman el perfil de suelo ya que la textura varía escasamente entre perfiles. Si se tiene presente que en la unidad “Alto plano” existe un porcentaje de suelos halomórficos que puede llegar a abarcar un 10% aproximadamente, la capacidad para retener agua podría disminuir a un rango de 120,6- 156.6 mm. De esta manera se concluye que la unidad “Ladera suave” y “Alto plano”, presentarían un valor similar en caad, mientras que la unidad de menor caad, sería “Ladera fuerte”. El resultado de la aplicación de estos cálculos es coherente con la estimación cualitativa basada en la observación del perfil, ya que este resulta poco espeso y se desarrolla en una forma de paisaje (Ladera fuerte) que favorece el escurrimiento del agua de lluvia, disminuyendo las oportunidades de ser almacenada en el suelo.

En cuanto a la propiedad “profundidad efectiva” definida por el espesor de suelo donde se verifica la mayor proporción de raíces (Durán et al., 1990), las unidades “Alto plano” y “Ladera suave” no difieren significativamente ya que están comprendidas en la clase “moderadamente profunda” cuyo arraigamiento se encuentra entre 50 a 100 cm. Se considera que la unidad de “Ladera fuerte” estaría comprendida en una clase de profundidad de arraigamiento menor al citado precedentemente, sus raíces prosperan a una menor profundidad, lo cual como se discutiera en la ocasión de su clasificación taxonómica dio lugar a un Brunosol éutrico háplico.

## 2. Propiedades complejas

Para la determinación de las mismas se empleó como guía las pautas disponibles en el Manual para la descripción e interpretación del perfil de suelos (Durán et al., 1990), así como también los resultados de análisis químicos y físicos.

En la estimación de la clase de drenaje natural se utilizaron características del paisaje asociado: forma, la pendiente (grado y largo); así como algunas intrínsecas del suelo dominante en la ucs (colores, profundidad, secuencia de horizontes, presencia de moteados y concreciones de hierro-manganeso).

En la determinación de la fertilidad natural se utilizó el color, la textura, así como de datos cuantitativos provenientes de los resultados de análisis químicos practicados a las diferentes muestras: materia orgánica, bases totales, pH.

El riesgo de sequía se infirió en base a la profundidad efectiva de arraigamiento de cada ucs, así como la presencia o no de problemas de infiltración y escurrimiento superficial. A su vez, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos para cada ucs en cuanto a la caad, expuesta anteriormente en el texto (ver cuadro No. 22).

El riesgo de erosión, en forma cualitativa, se estimó a partir de características propias del suelo como la infiltración, profundidad del horizonte A, así como características asociadas como la pendiente y topografía. Recuérdese que se realizaron descripciones a taladro por lo cual no se dispuso de datos de la estructura como forma, tamaño y grado; con estos se podría haber juzgado cualitativamente la resistencia a la erosión hídrica.

En el siguiente cuadro se detalla las propiedades complejas inferidas para cada unidad cartográfica, así como la clase por capacidad de uso respectiva.

Cuadro No. 23. Propiedades complejas inferidas a cada unidad

unidades	drenaje natural	riesgo de sequia	riesgo de erosión	fertilidad natural	clase de capacidad de uso
Alto plano	mbd* a i*	bajo	medio	alta	II- VI <sub>s</sub> *
Ladera fuerte	bd*	alto	alto	alta	IV <sub>e</sub>
Ladera suave	mbd* a i*	bajo	bajo	media	II <sub>e</sub>
Planicie baja	mbd* a i*	bajo	bajo	alta	II <sub>h</sub>

\*mbd= moderadamente bien drenado. I= drenaje imperfecto. bd= bien drenado

En las unidades “Alto plano” y “Planicie baja” se incluyó información de suelos halomórficos y saturados lixiviados respectivamente; ya que se disponía de algunos datos de mapeos previos. En el caso de la primera existe información de un Solonetz solodizado y el de la segunda de un Planosol éutrico melánico (ver anexo No. 3).

#### a. Drenaje natural

Para definir el drenaje natural es necesario analizar dos aspectos específicos: el escurrimiento superficial y el drenaje interno del suelo.

El escurrimiento superficial o drenaje externo, tal como ya fue mencionado en la descripción de cada ucs, es diferente en cada una, siendo fuertemente afectada dicha propiedad por la posición que ocupa la unidad en el paisaje; mientras en la unidad “Alto plano” se infiere un lento escurrimiento superficial (grado 2), dado que dominan las formas planas, la unidad “Ladera fuerte” presenta un drenaje externo rápido (grado 4), dada la pendiente moderada a fuerte que caracteriza la unidad. En la unidad “Ladera suave” se estima un escurrimiento medio (grado 3), debido a que se extiende sobre lomada suave, 3% de grado de pendiente, y por último la unidad de “Planicie baja”, que ocupa las zonas bajas en las cuales el escurrimiento es nulo.

En cuanto al drenaje interno, a pesar de que la clase textural del horizonte A de todos los perfiles son medias, en algunos casos medias a pesadas. Sin embargo, prácticamente todos los suelos dominantes de las diferentes unidades cartográficas poseen un horizonte Bt (argilúvico) que constituye la principal impedancia para determinar la velocidad a la cual se moverá el agua dentro del suelo. A pesar de ello no se observaron síntomas de muy mal drenaje interno, como colores gleycos. En algunos perfiles sí, se observaron rasgos redoximórficos como: moteados y concreciones de hierro-manganeso.

La mayoría de las unidades, en general presentan un drenaje natural moderado a imperfecto. Cabe destacar que la unidad que comprende mayor área: “Ladera fuerte” (ver cuadro No. 24), presenta un drenaje natural clase 4, bien drenado, esto puede explicarse principalmente por presentar textura media, suelo dominante de tipo Brunosol éútrico háplico y la pendiente fuerte lo cual favorece el escurrimiento.

Las restantes unidades no presentan pendientes fuertes por lo que el agua escurre en forma lenta y solo se satura por periodos cortos, pero no lo suficiente como para generar condiciones de anegamiento a pesar de la presencia de un horizonte subsuperficial argilúvico. Las unidades “Planicie baja” y “Concavidades asociadas a vías de drenaje secundarias”, no fueron estudiadas con esmero en virtud que desde antemano se previa que presentarían condiciones desfavorables para el desarrollo de cultivos, debido fundamentalmente a su drenaje desfavorable.

#### b. Riesgo de sequía

Esta propiedad se infiere al considerar la humedad disponible que por unidad de volumen el suelo puede retener y de la profundidad hasta donde llegan las raíces efectivamente.

Dada la escasa profundidad de los suelos de la unidad “Ladera fuerte” y la elevada velocidad de escurrimiento previsible debido a la pendiente, es de esperar un alto riesgo de sequía en el área ocupada por ésta. Las propiedades del paisaje mencionadas previamente, a su vez, favorecen la ocurrencia de un alto riesgo de erosión. El suelo dominante es de escasa profundidad, encontrándose el horizonte C a tan solo 29 cm, aun así, la profundidad efectiva es 46 cm y la caad estimada es 58 a 73 mm.

En el caso de la unidad “Alto plano”, la misma describe una posición en el paisaje alto y plano, de tipo “mesetiforme”, cuyo suelo dominante es profundo, estimándose la caad entre 134 y 174 mm. La cantidad de agua estimada, así como la presencia de raíces hasta una profundidad de 82 cm hace suponer que esta unidad presente un riesgo de sequía relativamente bajo.

La unidad “Ladera suave”, al igual que el caso anterior, presenta suelos moderadamente profundos, aunque ocupa posición en el paisaje diferente: ladera baja, estimándose, en base a su composición textural, la caad hasta de 155 mm.

Por último, la unidad de “Planicie baja”, por la posición que ocupa en el paisaje: planicies de tipo aluvial, sin escurrimiento, suelo perteneciente a la clase de profundidad efectiva: moderadamente profundo, hace pensar que el riesgo de sequía es bajo.

#### c. Riesgo de erosión

Como se menciona anteriormente, la pendiente tiene un efecto directo sobre el riesgo de erosión, ya que cuanto mayor es ésta, mayor resulta el riesgo a la acción del agua. Sumado a esto, la unidad “Ladera fuerte” presenta suelos de escasa profundidad. Por si el panorama resultara demasiado propicio para facilitar el desencadenamiento del proceso erosivo, sus tierras ya presentan un grado de erosión actual preocupante: el horizonte A de sus suelos han perdido un veinticinco por ciento de su espesor y en forma localizada pueden observarse algunos surcos en varios de sus desagües naturales. Por lo expuesto a esta unidad se le asigna un riesgo de erosión alto.

Si se analiza la unidad “Alto plano”, ubicada en las zonas altas, pero casi planas, con suelos dominantes profundos, moderadamente bien drenados, el riesgo de erosión resultaría bajo. Sin embargo, en este caso debe tenerse presente la presencia de suelos halomórficos, que exhiben menor cobertura vegetal debido a limitantes de naturaleza química: exceso de sodio y pH por lo común muy elevado. Por si fuese poco el efecto de escasa protección vegetal se suma una mayor probabilidad de encharcamiento debido al drenaje

impedido de algunos suelos con escaso espesor del horizonte superficial y un horizonte nátrico a poca profundidad. Como consecuencia se presume que esta unidad tendría un riesgo de erosión y degradación medio.

Como su nombre lo expresa la unidad “Ladera suave” permite una evacuación de los excesos comunes de agua en forma efectiva asegurando que parte ingrese al perfil. Así mismo, posee suelos profundos, moderadamente bien drenados (poseen un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla) de modo se infiere un escurrimiento superficial que no generaría mayores problemas.

En forma cualitativa, que se basa en la relación entre la clase textural, los contenidos de arcilla y materia orgánica a través de la sensación táctil y el color, se presume que la resistencia de los agregados del horizonte A, al impacto de las gotas de lluvia sería considerablemente importante, en caso de encontrarse descubierto de vegetación protectora. Teniendo en cuenta tal propiedad junto a la relativamente escasa pendiente, se estima que el riesgo de erosión de esta unidad sería relativamente bajo.

Análogamente, se estima que la unidad “Planicie baja” cualitativamente tendría un riesgo de erosión hídrica baja. Las razones para abordar esta conclusión residen en:

1. Resistencia de los agregados del horizonte A moderada a alta (predominio de texturas medias y pesadas y elevado contenido de materia orgánica).
2. Pendiente muy escasa a nula. Esta propiedad evita las posibilidades de arrastre de partículas de suelo para condiciones de lluvia promedio.
3. Las dificultades para deshacerse de los excesos de agua, asociado a la falta de pendiente y al desarrollo de un horizonte de acumulación de arcilla constituyen una propiedad que favorece la erosión. De todas formas, esto ocurriría solamente en aquellas oportunidades en que las lluvias y/o los excesos de precipitaciones más los escurrimientos desde tierras circundantes resulten de importancia significativa.

#### d. Fertilidad natural

A excepción de la unidad “Ladera suave”, todas las unidades presentan fertilidad natural alta, considerando que presentan color oscuro, alto contenido de materia orgánica, además se ha de tener en cuenta que la diferenciación

textural no es tan marcada como para pensar que ocurriera un lavado de bases y arcilla a través del perfil que afecte la saturación en bases. La unidad "Ladera suave" posee fertilidad media, debido a un menor nivel de materia orgánica, que se aprecia a partir de un color más claro, así como los resultados de carbono orgánico (1.23%), y capacidad de intercambio catiónico menor de  $20 \text{ Cmol.k(+) }^{-1}$ .

El efecto del contenido de arcilla, evaluado a través de la clase textural, ni la tonalidad oscura como indicadores del contenido en coloides inorgánicos y orgánicos son perfectos estimadores de la fertilidad natural. Constituyen criterios aproximados y subjetivos utilizados a nivel de campo. Para obtener datos confiables de la fertilidad de los suelos deben efectuarse análisis cuantitativos, utilizando técnicas apropiadas desarrolladas sobre muestras obtenidas en el campo. El esmero y cuidado en la etapa de obtención de muestras que representarán los suelos y chacras a evaluar deben ser significativamente importantes. Toda la información que representará a las unidades de suelo y sus respectivas condiciones se basará en esas muestras.

Al analizar el color del horizonte A de la unidad "Ladera fuerte" y "Ladera suave", se observa que ambas presentan el mismo color (10 YR 2/2), pero al comparar los resultados de laboratorio, se observan diferencias en cuanto al contenido de carbono orgánico y capacidad de intercambio catiónico, así como en la suma de bases totales.

### C. ASIGNACIÓN DE CLASE POR CAPACIDAD DE USO

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de la clasificación por capacidad para cada unidad, según USDA. NRCS (1976).

Cuadro No. 24. Unidades cartográficas según capacidad de uso y superficie que ocupan en hectárea (ha) y porcentaje (%)

unidad cartográfica	clase por capacidad	ha	%
Alto plano	II- VI <sup>s</sup> *	68.4	27
Ladera fuerte	IV <sup>e</sup>	94.1	37
Ladera suave	III <sup>e</sup>	52.9	21
Planicie baja	III <sup>h</sup>	13.3	5
planicies bajas asociadas a las vías de drenaje principal	V <sup>h</sup>	17.2	6.7
concavidades asociadas a vías de drenaje secundarias	IV <sup>e</sup>	10.1	3.9
total		256	100

\* Suelos que corresponden a clase II, asociados a suelos halomórficos.

Los suelos se agrupan atendiendo a las potencialidades y limitaciones que presentan, a los cuales USDA. NRCS (1976) clasifica en ocho clases distintas.

Todas las unidades cartográficas definidas, excepto la unidad asociada a las vías de drenaje principales, se encuentran dentro de tierras cultivables arables, perteneciendo a las clases de capacidad: II, III y IV. Las tierras de esas clases pueden aceptar una utilización en una amplia variedad de cultivos. Sin embargo, la diversidad potencial de utilización se va reduciendo conforme se incrementa el número o valor de las clases. Así mismo, en ese orden también crecen los cuidados que se le deben prodigar a las tierras.

## 1. Alto plano (clase II- VIs)

En esta unidad puede citarse dos clases por capacidad, clase II que comprende suelos Brunosoles éútricos típicas, bien desarrollados con buena aptitud agrícola, y clase VIs, en los suelos halomórficos (Solonetz, Solonetz solodizados y Solods) que acompañan a los primeros en forma asociada (pudiendo representar hasta un 20% del área localmente). Estos tipos de suelo afortunadamente no tienen una significativa expresión superficial. Sin embargo, su separación de los Brunosoles resulta difícil. Por lo general se asocian a zonas aplanadas, ligeramente deprimidas, pero también se los puede encontrar en quiebres de pendiente (de formas convexas a planas o bien de convexas a cóncavas). Por lo común forman halos en cuyo centro se encuentran los Solonetz; gradualmente. Lateralmente califican como Solonetz solodizados y finalmente más lejos del centro se encuentran los Solods. Como criterio de probabilidad de hallazgo de los primeros de los tres tipos mencionados, durante el invierno son: áreas encharcadas, generalmente con predominio de pastos ordinarios, especialmente adaptados a ambientes con excesos de sales o agua; mientras que en la época estival el criterio cambia a áreas carentes de vegetación (“peladeras”) de tonalidades blanquecinas.

Los suelos halomórficos se caracterizan por poseer elevados contenidos de sodio a diferente profundidad. Esa propiedad química afecta propiedades morfológicas y físicas en forma tal que afecta sensiblemente el crecimiento de pasturas naturales, así como las posibilidades de realizar un uso diversificado y sostenible. Como se expone anteriormente resulta muy difícil separarlos de los Brunosoles, dado, que carecen de un patrón de distribución claro, su disposición en el paisaje resulta azarosa e intrincada. Se considera que la unidad cartográfica “Alto plano” está compuesta por series muy contrastantes en sus propiedades y por lo tanto en sus aptitudes. Toda vez que sea posible deberían procurarse aislar las tierras dominadas por suelos pertenecientes al orden melánico de aquellas donde predominan las pertenecientes al orden de suelos halomórficos. Lamentablemente, muchas veces las circunstancias productivas, por razones prácticas y lógicas, exigen utilizar unidades de manejo. Las unidades de manejo suelen agrupar tierras pertenecientes a series de suelo diferentes, pero con similar capacidad de uso. En casos como el que se ocupa, la capacidad de uso de la unidad de manejo resulta un promedio de las respectivas aptitudes de las series que la componen. Por tal motivo a las tierras de esta unidad se les ha otorgado una clase intermedia entre la que ostentan naturalmente las series de suelos que la componen.

Esto lleva a definir una clase y subclase de capacidad de uso para la unidad de “Alto plano” que resulta en una unidad de manejo: III e,s. La

presencia de los suelos halomórficos acentuaría las probabilidades de encostramiento, encharcamiento, deterioro de la estructura, riesgo de sequía y erosión de los suelos melánicos coexistentes. Sin perjuicio de lo expuesto la presencia de los halomórficos disminuiría el potencial agrícola de la unidad debido al conjunto de propiedades desfavorables para el normal crecimiento y desarrollo de distintos cultivos. La asignación de clase de uso constituye un desafío. Se opta por disminuir la capacidad de uso en proporción a la presencia de suelos no deseados. Se estima que la proporción de suelos halomórficos no superaría el veinte por ciento. Por tal motivo la disminución del potencial haría disminuir en una unidad el valor de la clase de capacidad de uso que tendrían los Brunosoles si estuviesen solos.

Se estima que el riesgo de erosión y las dificultades para el enraizamiento serían las limitantes que se incrementarían en mayor grado debido a la presencia de suelos halomórficos. Por tal motivo se le adjudica las subclases correspondientes representadas por las letras “e” y “s” respectivamente.

## 2. Ladera fuerte (clase IVe)

Tierras con pendientes fuertes (de 3– 6%), suelos con perfil poco profundo (horizonte A poco espeso que rápidamente alcanza el horizonte C). fertilidad elevada (éutrico) consecuencia de niveles de materia orgánica y arcilla aceptables. Limitantes asociadas a su escaso espesor y pendiente elevada, además de observarse erosión de tipo laminar (ver cuadro No. 23). La mayor limitante a tener en cuenta para una sostenida utilización es el riesgo de erosión. De todas formas, en todas las unidades se realizará una evaluación de las pérdidas de suelo utilizando el modelo USLE/RUSLE.

## 3. Ladera suave (clase IIIe)

En esta clase se agrupan suelos que no presentan grandes limitantes en su uso además de presentar un buen desarrollo del perfil, aunque menor fertilidad natural. Se destaca el riesgo de erosión como limitante de mayor importancia en esta unidad, pero que a diferencia de la unidad anterior es menor, ya que se halla ocupando una posición topográfica de menor fase de pendiente y la erosión actual resulta ser ligera.

#### 4. Planicie baja (clase IIIh)

Las tierras pertenecientes a esta unidad presentan algunas limitantes a saber:

tanto el drenaje exterior (escurrimiento superficial), como el que ocurre dentro del perfil cuando el agua consigue infiltrar, son desfavorables; particularmente en aquellas circunstancias en que las precipitaciones son copiosas y/o cuando se acumulan durante varios días. Sin embargo, se presume que el encharcamiento y las eventuales inundaciones no perduran lo suficiente como para generar suelos notoriamente afectados por excesos de humedad. Si pueden verificarse casos como el mapeado en otra oportunidad, en que se identificó un suelo de tipo Planosol que evidencia estas condiciones (datos en anexo No. 3).

Esta unidad presenta suelo fértil, textura algo pesada, de tipo Fluvisol, que recibe materiales de áreas más elevadas, en la que el escurrimiento es mínimo o prácticamente nulo, que le asigna subclase “h”.

#### 5. Planicie baja asociada a las vías de drenaje principales (clase Vh)

En esta unidad no se realizaron estudios de suelo. Las inferencias se realizan en base a la revisión de antecedentes y a observaciones en las recorridas in situ. En base a éstos se prevé que las tierras en torno a las vías de drenaje de mayor jerarquía estarían constituidas por gleysoles, planosoles. La composición de esas tierras y la proximidad a las vías de drenaje determinarían limitantes difícilmente corregibles y asociadas a un drenaje insuficiente particularmente agravado por inundaciones frecuentes en cualquier época del año, aunque probablemente de mayor duración en el período invernal.

#### 6. Concavidades asociadas a las vías de drenaje secundarias (clase IVe)

Las tierras de esta unidad se asocian a las concavidades de las unidades que las contienen. Se presume que la constitución en términos de series de suelos de las mismas, probablemente coincida con la de aquellos suelos que las contienen, que las envuelven o donde se desarrollan o integran. Así, por ejemplo, en la unidad “Alto plano” debe ser un Brunosol éútrico típico LAc, pero quizás con un espesor de horizonte A más delgado, probablemente con mayores síntomas de hidromorfismo producto del paisaje al cual se asocia. En otros casos puede que los suelos hayan evolucionado a Argisoles y eventualmente a Planosoles. De todas formas, por razones de tiempo y costos se privilegió estudiar únicamente los suelos de las tierras que

ocupaban mayor superficie o bien aquellos donde a priori se prevé que tuviesen un mayor potencial agrícola o bien aceptarían realizar un uso más diversificado.

A continuación, se presenta la capacidad de uso y situación actual de empotrerramiento para el área en estudio.

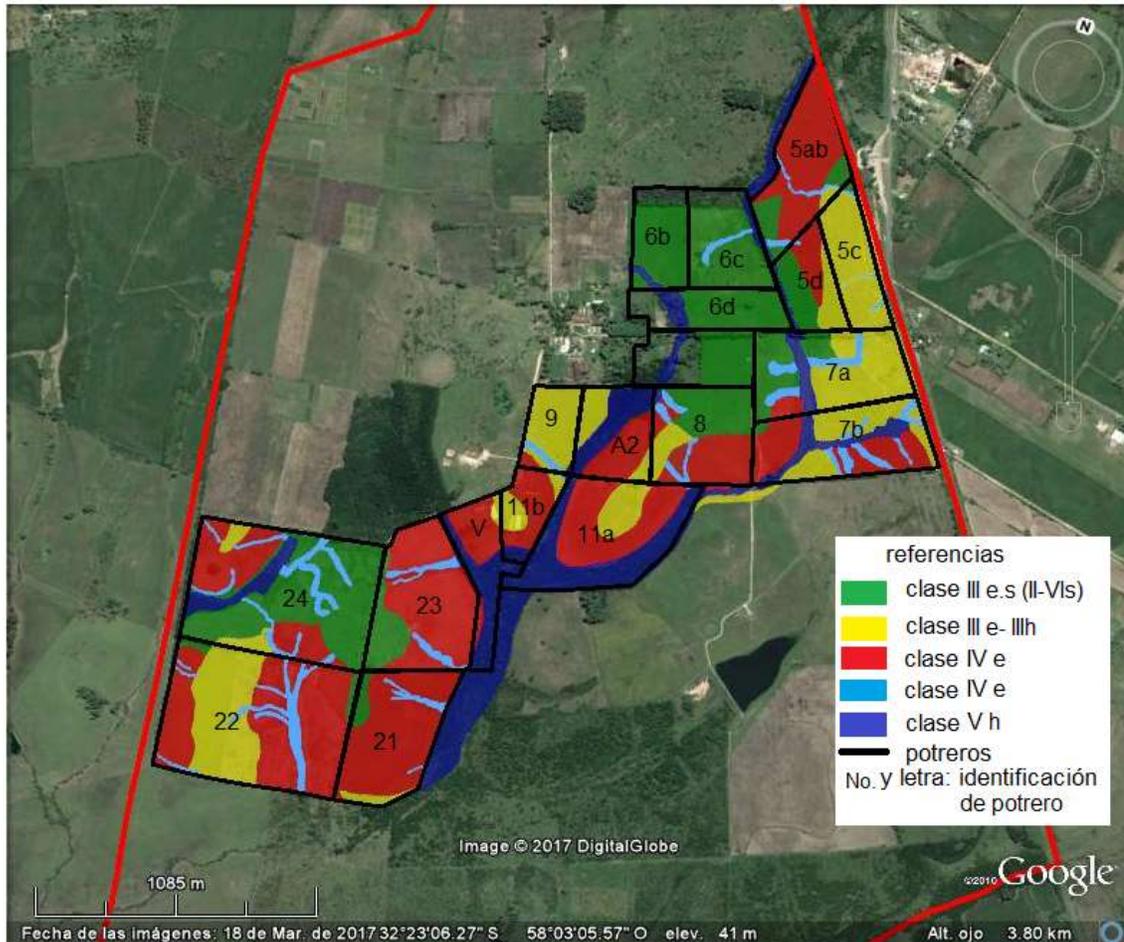


Figura No. 23. Mapa por capacidad de uso del área

A partir de la figura anterior se puede distinguir una proporción significativa del área con limitaciones muy severas para la producción agrícola, identificadas como clase IV.

#### D. REDEFINICIÓN DE POTREROS

Para hacer un mayor aprovechamiento del recurso y ser más eficiente, es necesario redefinir los potreros en función de la capacidad de uso. De esta manera, se podrá realizar un uso sostenible y aplicar prácticas acordes al potencial de las tierras de manera uniforme y a la vez específica a todo el potrero. Teniendo en cuenta además la caminería principal de predio se realizó el siguiente rediseño del empotreroamiento según ambientes de producción.

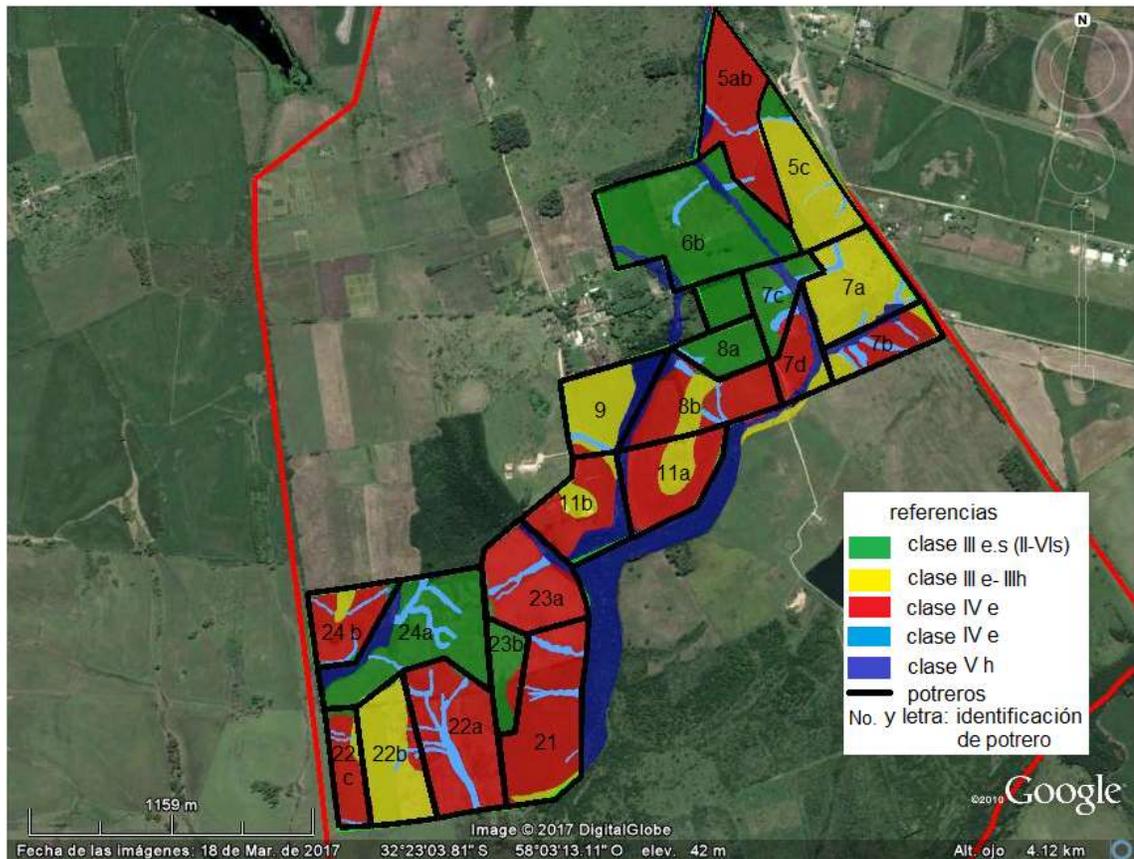


Figura No. 24. Rediseño del área de tambo de acuerdo a la capacidad de uso

Como se menciona anteriormente, se intenta mantener la caminería principal, aunque esto origine, en algunos casos, potreros más pequeños. Como se puede observar, la distribución de las unidades, hacen posible el rediseño de potreros.

Por lo común, las tareas y el manejo del ganado se realizan siguiendo una nomenclatura de los potreros arraigada desde hace mucho tiempo; para

evitar el aprendizaje de una nueva se mantuvo esa nomenclatura. Lo que se propone es cambiar es la forma y el tamaño de algunos de ellos.

El rediseño consiste en separar el área de estudio en distintas regiones para la obtención forraje, "piso "(soporte del ganado) y abrevadero del tambo.

A partir del trabajo realizado pudieron separarse diferentes unidades cartográficas del paisaje suelo. Su evolución con fines productivos al servicio de la obtención de leche permitió separar diferentes ambientes o regiones:

Unidad de suelo con aptitud agrícola y agrícola- ganadera, en zonas altas y aplanadas del paisaje con suelos profundos, con elevado contenido de materia orgánica y pequeñas áreas de suelos poco profundos, con elevado contenido de sodio, con problemas de arraigamiento y drenaje deficiente. A estas tierras se les adjudicó una clase de aptitud de uso promedio III (II- VI es).

Otro grupo que corresponde a tierras de menor aptitud o limitado potencial de diversificación por su relieve, suelos de menor profundidad y grado de erosión actual. Esas propiedades sugieren un menor potencial de estas tierras para la producción de cultivos y forrajes respecto al grupo discutido previamente. Las restricciones señaladas dictan una utilización con mayor énfasis en la ganadería respecto a la agricultura o bien una menor carga animal. En este último grupo se consideran todos aquellos suelos con limitantes o restricciones, como: pendiente excesiva, y en consecuencia riesgo de erosión elevado. Se prevé una producción pastoril anual y estacional inferior a la de las tierras discutidas en primer término. A las tierras pertenecientes a este grupo se asigna clase IVe por capacidad de uso.

No obstante, puede señalarse un grupo, de tipo intermedio en la cual la aptitud de uso presenta algunas limitantes a ser consideradas, pero no tantas como para incluir estos suelos en el último grupo. Se le asigna clase IIIh de capacidad de uso.

Por último, se distingue un área ocupando las planicies bajas asociadas a las vías de drenaje principal y concavidades asociadas a las vías de drenaje secundarias, las cuales, dadas sus limitantes ya descritas, se asigna clase por capacidad de uso Vh y IVe respectivamente.

## E. EVALUACIÓN DE ROTACIONES PARA LA UNIDAD LECHERA

### 1. Rotaciones evaluadas

Las rotaciones fueron seleccionadas de acuerdo al uso lechero actual, tratando de mantener las especies que normalmente se utilizan en las secuencias para la producción lechera. No se desestimó ninguna especie cuyo destacado comportamiento, especialmente en situaciones de producción, deberían ser consideradas en la oportunidad.

Para cada una de las unidades definidas por capacidad de uso, se estiman pérdidas de suelo por erosión según el uso actual y se proponen rotaciones alternativas, procurando resulten más sostenibles que las actuales. El único criterio utilizado para el área en estudio es la conservación del suelo como principio orientativo de la producción ecológica sostenible. Tampoco se consideraron criterios económicos de rentabilidad económica o sustentabilidad social del conjunto de rotaciones aplicar en la unidad de producción lechera (upl) de la estación.

A fin de obtener resultados más próximos a la situación real, se evalúan todas las secuencias propuestas en todas y cada una de las unidades cartográficas de suelo sin distinción, de forma de contribuir a la toma de decisiones más racional procurando evitar un descenso significativo de la producción.

Las rotaciones se plantean con igual duración, no más de 5 años, lo que va a depender, entre otros factores, del estado que alcancen desarrollar las plantas de los diferentes forrajes, así como sus respectivos niveles de cobertura.

Las mismas están pensadas para abastecer con forraje, no solo elevando la oferta, sino también equilibrar la distribución estacional, pensando en mantener cubierto el suelo la mayor parte del tiempo, sin desmedro de afectar la producción animal, en este caso leche.

A continuación, se presentan las rotaciones actuales y alternativas para la unidad lechera de la EEMAC.

Cuadro No. 25. Secuencia de cultivos forrajeros utilizados en la upl de la EEMAC, bajo actual sistema de empotramiento

	2010		2011		2012		2013		2014	
	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
rotación 1	rg.+alej.		festuca		cebadilla	moha		alfalfa		
rotación 2	b.q.	sja. p.				festuca				
rotación 3	av.+rg.	sgo. f.	silo	maíz silo			alfalfa			
rotación 4			alfalfa				dactylis		sja. p.	
rotación 5	av.+rg.	moha	av.+rg.+al	b.q.			alfalfa			
rotación 6	av.+rg.	sgo. g.	barbecho	maíz silo			festuca			

o-i= otoño- invierno. p-v=primavera- verano. rg.+alej.=raigrás + *Trifolium alexandrinum*. b.q.= barbecho químico. sja. p.= soja para pastoreo. maíz silo = maíz para silo. av.+rg.= avena y raigrás. sgo. f.= sorgo forrajero. av.+rg.+al= avena + raigrás + *Trifolium alexandrinum*. sgo. g.= sorgo para grano.

Cuadro No. 26. Secuencia de cultivos forrajeros alternativos para la upl de la EEMAC, bajo sistema de empotramiento rediseñado

	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v	o-i	p-v
rotación 1				pl (fca.+t.blanco+lotus)						maíz
rotación 2			alfalfa+dactylis				maíz silo	rg.+av.		soja p.
rotación 3		t.rojo+t.blanco+rg.	intersiembra		t.rojo+ achicoria			trigo		maíz
rotación 4	rg.+av.	sorgo		pl (fca.+t.blanco+lotus)						
rotación 5	rg.+av.	sudan		t.rojo+ achicoria		cebadilla	moha	rg.+av.		soja p.
rotación 6			alfalfa+dactylis				pl (fca.+t.blanco+lotus)			

o-i= otoño- invierno. p-v= primavera- verano. pl(fca.+t.blanco+lotus)= pradera larga compuesta de festuca, trébol blanco y lotus. mz(silo)= maíz para silo; rg.+av.= raigrás+avena. soja p.= soja para pastoreo. t.rojo= trébol rojo.

## 2. Estimación de pérdidas de suelo por erosión a través del modelo USLE/RUSLE para las diferentes capacidades de uso

Para la estimación de las pérdidas de suelo de las distintas rotaciones evaluadas, se utiliza el programa Erosión 6.0.

Dada la cercanía al sitio de estudio, se toma la localidad Paysandú, para definir el factor erosividad de la lluvia (factor R). En cuanto a la erodabilidad del suelo, la misma, fue definida para las correspondientes unidades cartográficas en base a datos obtenidos directamente de los perfiles estudiados. Posteriormente, en el programa se ingresaron los valores de K específicos en forma manual para simular las rotaciones a evaluar.

En el cuadro siguiente se resume los datos empleados para el cálculo de las pérdidas de suelo en la unidad de suelos 1:1 millón "San Manuel" (A) en Mg. ha. y año, las pérdidas máximas tolerables (T) en las mismas unidades para esa unidad cartográfica, así como el factor erosividad en la localidad de Paysandú.

Cuadro No. 27 . Factores R y K del modelo, y niveles de tolerancia definidos para la unidad San Manuel

localización	Paysandú
unidad/ suelo	San Manuel, Brunosol éútrico típico fr
factor R (J/ha)	659
factor K (Mg/J)	0.180
tolerancia (Mg/ha/año)	5

Los valores de K fueron estimados en base a la información obtenida en los respectivos estudios de perfiles, pero en el caso de la unidad cartográfica "Alto plano" se sintetizó un valor de K producto de la contribución relativa de dos suelos: un Brunosol éútrico típico Lac, y en Solonetz solodizado, cuyas proporciones relativas se estimaron en 80 y 20% respectivamente en el conjunto de la superficie.

Cuadro No. 28. Estimación de factor erodabilidad del suelo (factor K) para cada unidad

unidades	factor K
Alto plano	0.230
Ladera fuerte	0.200
Ladera suave	0.180
Planicie baja	0.150

En la caracterización física de los suelos solo se alcanzó a determinar el % de arcilla, limo y arena totales. Sin embargo, para el cálculo o estimación del valor K es necesario contar con valores de arena muy fina. Esos valores se estimaron afectando al valor de arena total de los perfiles estudiados por el porcentaje promedio o relación de arena muy fina que guarda ese componente a la arena total en los suelos estudiados del área (datos preexistentes, ver anexo No. 2, USDA 3).

Los valores de K obtenidos del presente estudio, son producto de la aplicación del modelo de estimación de factor K (Puentes y Szogi, 1983) utilizando datos recogidos en el área. Se considera que ello resulta un aporte, dado que las estimaciones de pérdidas de suelo resultantes se apoyan en datos extraídos de la realidad particular del predio de la EEMAC y en particular, la situación específica de la unidad de producción lechera.

En la unidad “Alto plano” el valor de K utilizado fue un promedio entre los valores de K para el Brunosol éutrico típico, LAc (K: 0,140) y el correspondiente al Solonetz solodizado, L (K: 0,59). Como fuese mencionado oportunamente, en el capítulo descripción de las unidades cartográficas, la denominada “Alto plano” está constituida por las dos series citadas cuya separación en el paisaje resulta muy difícil. Se estimó que la proporción del primero es 80% y la del segundo 20%. Esto llevó a calcular un promedio afectado por la contribución relativa de las dos series en la unidad.

El valor de K estimado de esta unidad de suelos compleja resultó: 0.23 tal como se presenta en el siguiente cuadro No. 29.

Cuadro No. 29. Obtención del valor de K, para la unidad Alto plano

	K de las series	porcentaje relativo de las series	contribución relativa de los factores K
Brunosol éútrico típico	0,14	0,8	0,112
Solonetz solodizado	0,59	0,2	0,118
K promedio de la u.c. "Alto plano"			0,230

En las demás unidades, el factor K es producto de cálculo de la erodabilidad en base a los resultados analíticos de las muestras extraídas de los perfiles representativos de cada unidad.

A efectos de poder comparar los resultados en todas las situaciones ambientales se utilizaron las pendientes promedio respectivas y tres largos de pendiente: 50, 100 y 200 metros.

Más detalle de la obtención de dichos resultados, se encuentra en anexo con la descripción de cada suelo relevado.

- a. Estimación de las pérdidas de suelo para las unidades definidas según la secuencia histórica del sistema

A continuación, se presentan las estimaciones de pérdidas de suelo a partir del uso actual: diferentes rotaciones históricas practicadas en la unidad "Alto plano", según el modelo USLE/ RUSLE.

Cuadro No. 30. Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada en la unidad "Alto plano"

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	rg.+alej./festuca/cebadilla/moha/alfalfa	1	50	0,264	6,2
			100		6,9
			200		7,7
2	b.q../sja. p./festuca	1	50	0,138	3,3
			100		3,6
			200		4,0
3	av.+rg./sgo.f./silo/maíz silo/alfalfa	1	50	0,211	5,0
			100		5,5
			200		6,1
4	alfalfa/dactylis/sja. p.	1	50	0,152	3,6
			100		4,0
			200		4,4
5	av.+rg./moha/av.+rg.+al/b.q../alfalfa	1	50	0,131	3,1
			100		3,4
			200		3,8
6	av.+rg./sgo. g./b.q./maíz silo/festuca	1	50	0,139	3,1
			100		3,4
			200		3,8

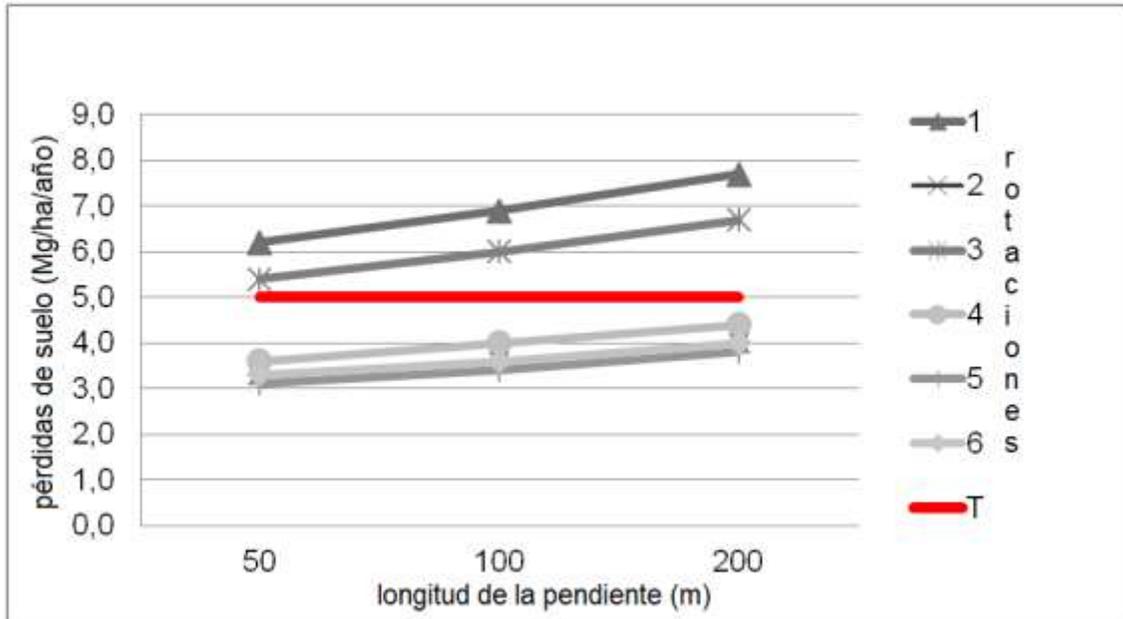


Figura No. 25. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad “Alto plano”

A excepción de las dos primeras rotaciones, las pérdidas son menores al nivel máximo de tolerancia, aún en diferentes longitudes de pendiente.

De acuerdo a la topografía que describe la unidad, la misma no genera escurrimientos importantes, aunque esto no detiene las posibilidades de erosión. Cabe destacar que dicha unidad, a pesar de presentar alta fertilidad del suelo dominante, posee un valor de K superior a las demás unidades, por lo que frente a esta situación no es conveniente se mantengan periodos de barbechos prolongados dentro de la secuencia a implementar.

Cuadro No. 31. Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada actualmente en la unidad “Ladera fuerte”

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	rg.+alej./festuca/cebadilla/moha/alfalfa	5	50	0,264	27,5
			100		36,3
			200		47,8
2	b.q../sja. p./festuca	5	50	0,141	14,7
			100		19,4
			200		25,6
3	av.+rg./sgo.f./silo/maíz silo/alfalfa	5	50	0,211	21,9
			100		29,0
			200		38,2
4	alfalfa/dactylis/sja. p.	5	50	0,152	15,8
			100		20,9
			200		27,5
5	av.+rg./moha/av.+rg.+al/b.q./alfalfa	5	50	0,131	13,6
			100		18,0
			200		23,7
6	av.+rg./sgo. g./b.q./maíz silo/festuca	5	50	0,139	14,5
			100		19,1
			200		25,2

Como puede apreciarse en el cuadro, todos los resultados simulados en esta unidad, independiente de la rotación superan el nivel máximo tolerable (5 Mg/ha/año). Tal situación resulta esperable en la discusión cualitativa a nivel de campo, teniendo en cuenta fuerte pendiente y el escaso desarrollo del suelo en esa unidad. Ello coincide con los factores que se emplearon en la simulación de esta unidad.

A continuación, se representan dichos resultados en relación a los niveles máximos tolerables dispuestos para la unidad.

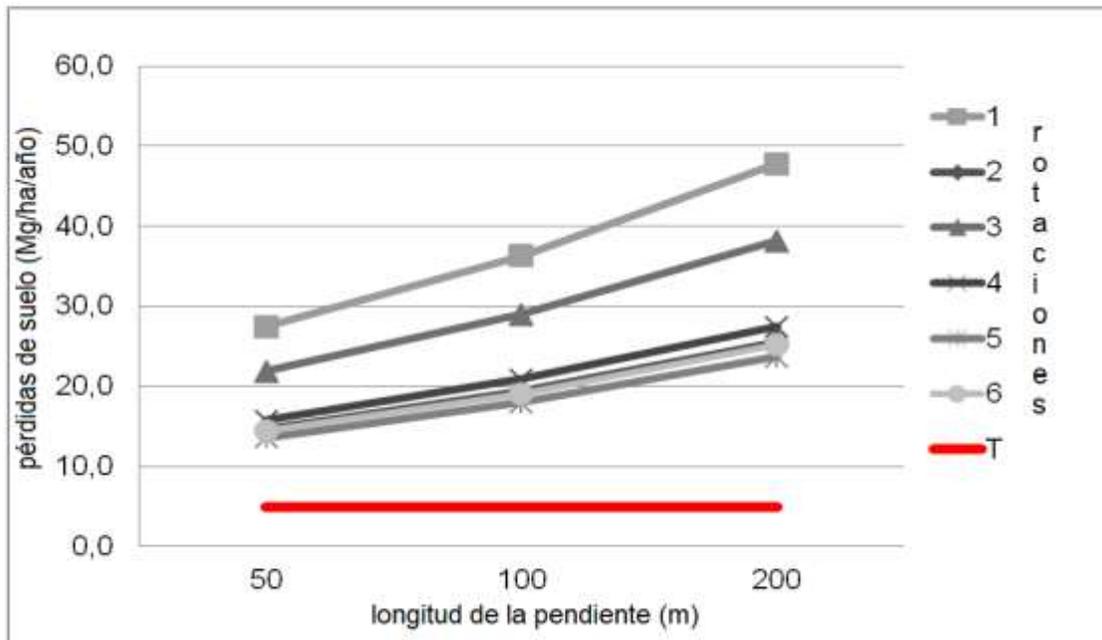


Figura No. 26. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad “Ladera fuerte”

Aún si se ajustan los resultados a las características topográficas que describe el paisaje, laderas de pendiente fuerte y cortas, que no superan los 100 metros, las pérdidas sobrepasan ampliamente el nivel de tolerancia.

Ante estos resultados, es indispensable pensar en una planificación que atienda a las debilidades que manifiesta el actual uso del suelo para estas condiciones.

Cuadro No. 32. Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia utilizada actualmente en la unidad “Ladera suave”

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	rg.+alej./festuca/cebadilla/moha/alfalfa	2,5	50	0,264	11,8
			100		14,3
			200		17,4
2	b.q./sja. p./festuca	2,5	50	0,141	6,3
			100		7,7
			200		9,3
3	av.+rg./sgo.f./silo/maíz silo/alfalfa	2,5	50	0,211	9,4
			100		11,5
			200		13,9
4	alfalfa/dactylis/sja. p.	2,5	50	0,152	6,8
			100		8,3
			200		10,0
5	av.+rg./moha/av.+rg.+al/b.q./alfalfa	2,5	50	0,131	5,9
			100		7,1
			200		8,6
6	av.+rg./sgo. g./b.q./maíz silo/festuca	2,5	50	0,139	6,2
			100		7,6
			200		9,2

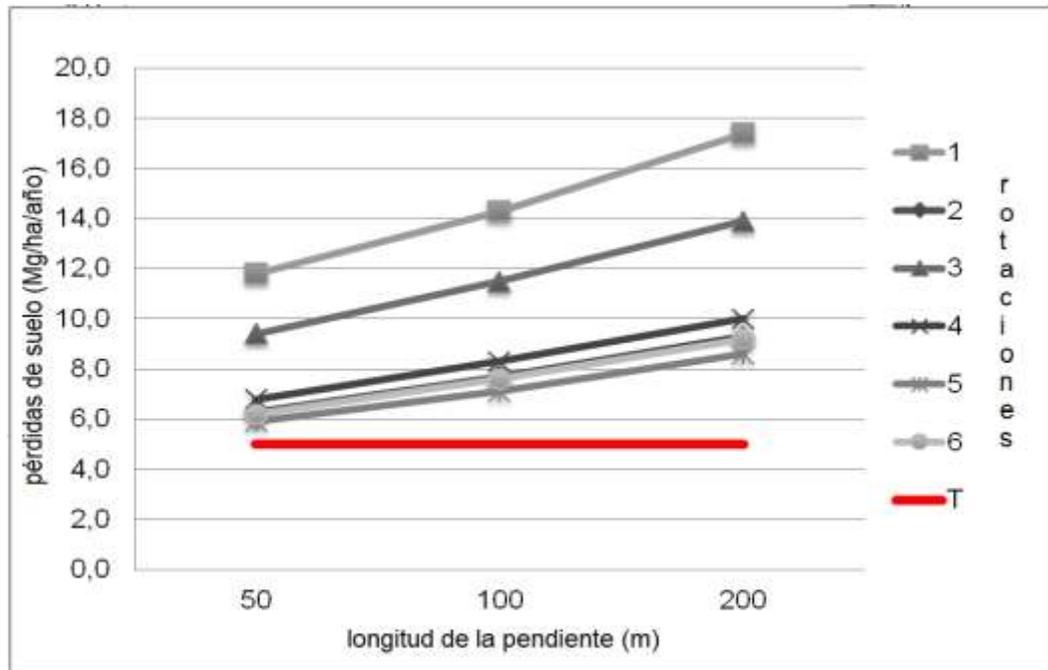


Figura No. 27. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación histórica, según el largo de la pendiente en la unidad “Ladera suave”

Es evidente la necesidad de repensar la utilización del recurso suelo, sin desmedro de la productividad, minimizar las pérdidas a fin de dar al sistema sostenibilidad desde el punto de vista ecológico.

En la búsqueda de minimizar las pérdidas estimadas por erosión se plantean otras alternativas a utilizar, planificando las mismas en base a supuestos a considerar al momento de implementarlas.

b. Estimación de las pérdidas de suelo para las unidades definidas según rotaciones alternativas propuestas

A continuación, se describe cada caso de rotación propuesta particular.

Rotación No. 1, supuestos:

1. En la implantación de la pradera, se considera laboreo reducido (Ir), un 90% de cobertura por parte aérea en el periodo 3.

2. La siembra se realiza en abril.

3. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha) en el segundo año y un nivel bajo (2,25-4,5 Mg ms/ha/año) a partir del cuarto año, la misma se mantiene hasta el 5to. año hasta el mes de setiembre.

4. En el verdeo de verano (vv), se utiliza siembra directa (sd) y la fecha de siembra es en el mes de octubre.

5. Al momento de la siembra se supone un 60% de cobertura correspondiente a la pradera anterior; se espera un nivel de producción regular de 3,4 Mg de ms/ha/año aproximadamente; en el periodo 3 se estima una cobertura por la parte aérea de las plantas de 80%.

6. El verdeo de verano se mantiene bajo pastoreo directo hasta marzo, lo cual determina que el manejo del suelo del componente siguiente sea bajo laboreo reducido (lr), con eliminación del rastrojo por pastoreo.

7. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifican los porcentajes de suelo cubierto, procurando se incremente el porcentaje de superficie de suelo cubierto, debido al rol relevante de la cobertura frente a la erosión.

#### Rotación No. 2, supuestos:

1. En la implantación de la pradera, se considera lr.

2. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha), durante los tres años, los últimos meses se asume un rendimiento bajo (2.25-4.5 Mg de ms/ha).

3. La cobertura por la parte aérea de las plantas en el periodo 3 se estima en 80%.

4. En el verdeo de verano se utiliza siembra directa y se siembra en el mes de octubre, 60% de cobertura al momento de la implantación, 80% de cobertura por la parte aérea de las plantas en el periodo 3.

5. Nivel de producción regular (3,4 Mg de ms/ha).

6. En el verdeo de invierno (vi) se supone un laboreo reducido, debido a que le antecede un cultivo para silo, alcanzando en el periodo 3 una cobertura de 80%.

7. La soja, se considera un manejo bajo siembra directa, la cobertura al momento de la implantación es 60%, en el periodo 3 es de 80%.

8. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifica los porcentajes de suelo cubierto, manteniendo la superficie menos expuesta a la erosión.

#### Rotación No. 3, supuestos:

1. En la implantación de la pradera, se considera lr.

2. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha) en el segundo año y un nivel bajo (2,25-4,5 Mg de ms/ha) en el tercer año, en el periodo 3, la cobertura por parte aérea es de 80%.

3. La siguiente pradera bianual, asume los mismos supuestos que la anterior.

4. El verdeo de invierno es pastoreado, considerando un manejo del suelo con eliminación del rastrojo de la pradera anterior por pastoreo, manteniendo cubierto un 80% del suelo en el periodo 3.

5. El verdeo de verano siguiente se supone un manejo del suelo con siembra directa, debido a que vendría de un verdeo pastoreado poco intenso, que mantiene la superficie cubierta que hace al 60% de la superficie cubierta al momento de implantar el maíz.

6. El nivel de producción es regular (3,4 Mg de ms/ha), siendo el mismo pastoreado.

7. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifica los porcentajes de suelo cubierto.

#### Rotación No. 4, supuestos:

1. En el verdeo de invierno (raigrás y avena) se utiliza laboreo reducido y se siembra en el mes de abril.

2. El verdeo de verano siguiente se supone un manejo del suelo con siembra directa, debido a que vendría de un verdeo pastoreado poco intenso, que mantiene la superficie cubierta un 80% en el periodo 3 y que hace al 60% de la superficie cubierta al momento de implantar el maíz.

3. Este se extiende hasta el mes de abril, con un nivel de producción regular (3,4 Mg de ms/ha), siendo el mismo pastoreado.

4. En la implantación de la pradera, se considera laboreo r.

5. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha) en el segundo año y un nivel bajo (2,25-4,5 Mg de ms/ha) a partir del tercer año, en el periodo 3, la cobertura por parte aérea es de 80%.

6. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifica los porcentajes de suelo cubierto.

Rotación No. 5, supuestos:

1. En el verdeo de invierno (raigrás y avena) se utiliza laboreo reducido y se siembra en el mes de abril.

2. El verdeo de verano (sudan para pastoreo), asume un manejo del suelo con laboreo con arado, cincel o disquera superficial, como única labor (pendiente <12%); nivel de producción medio (3,74 Mg de ms/ha) debido a que se viene de un verdeo pastoreado.

3. Al momento de la implantación 50% del suelo se encuentra cubierto por rastrojo del cultivo anterior.

4. En la implantación de la pradera, se considera laboreo reducido.

5. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha) en el segundo año y un nivel bajo (2,25-4,5 Mg de ms/ha) en el tercer año, en el periodo 3, la cobertura por parte aérea es de 80%.

6. En el verdeo de invierno (cebadilla) se utiliza laboreo reducido y se siembra en el mes de mayo, prolongando su producción hasta el mes de octubre, 90% de cobertura del suelo en periodo 3, para mantener coherencia con el porcentaje de suelo cubierto por residuo luego de la siembra del cultivo posterior.

7. Para mantener esos porcentajes de cobertura, la intensidad, frecuencia y duración de los pastoreos deben ser estrictamente controlados.

8. El verdeo de verano (moha), se utiliza siembra directa y se siembra en el mes de noviembre, 85% de cobertura al momento de la implantación, 96% de cobertura por la parte aérea de las plantas en el periodo 3.

9. En el verdeo de invierno (raigrás y avena) se utiliza laboreo reducido y se siembra en el mes de abril, prolongando su producción hasta el mes de octubre, 80% de cobertura del suelo en periodo 3.

10. Por último, el verdeo de verano (soja para pastoreo), se utiliza siembra directa, con un 60% de cobertura después de la siembra.

11. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifica los porcentajes de suelo cubierto.

Rotación No. 6, supuestos:

1. En la implantación de la pradera, se considera laboreo reducido, porcentaje de cobertura 80 % al periodo 3.

2. Se considera un nivel de producción de la pradera medio (4,5-6,75 Mg de ms/ha) en el segundo año y un nivel bajo (2,25-4,5 Mg de ms/ha) en el tercer año.

3. La siguiente pradera se mantiene durante tres años en las mismas condiciones que la anterior.

4. Aplicada esta rotación en suelos con pendientes fuertes, se modifica los porcentajes de suelo cubierto, debido a que la cobertura juega un papel más importante.

5. Para las unidades definidas como laderas fuertes se modifica el manejo del suelo a siembra directa.

6. En el caso de unidades con pendiente suave, se asume siembra directa y laboreo reducido entre los dos componentes.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos atendiendo a los supuestos detallados anteriormente en cada caso.

Cuadro No. 33 Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas en la unidad “Alto plano”

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	pl (fca.+t.blanco+lotus)/maíz	1	50	0,089	2,1
			100		2,3
			200		2,6
2	alfalfa+dactylis/maíz silo/rg.+av./sja. p.	1	50	0,131	3,1
			100		3,4
			200		3,8
3	t.rojo+t.blanco+rg. interseembra/t.rojo+ achicoria/trigo/maíz	1	50	0,151	3,6
			100		4,0
			200		4,4
4	rg.+av./sorgo/pl (fca.+t.blanco+lotus)	1	50	0,11	2,6
			100		2,9
			200		3,2
5	av.+rg./sudan/t.rojo+ achicoria/cebadilla/moha/rg.+av./sja. p.	1	50	0,199	13,6
			100		18,0
			200		23,7
6	alfalfa+dactylis/pl (fca.+t.blanco+lotus)	1	50	0,134	3,2
			100		3,5
			200		3,9

Dado el nivel máximo de tolerancia para la unidad San Manuel (5 Mg/ha/año), puede verse que siempre que el suelo se mantenga cubierto, las pérdidas de suelo por erosión se mantienen por debajo de dicho nivel. Lo que hace viable a cada rotación propuesta en esta unidad.

Aun ensayando diferentes longitudes de pendiente, los resultados han sido satisfactorios, tal como queda claramente reflejado en el siguiente gráfico.

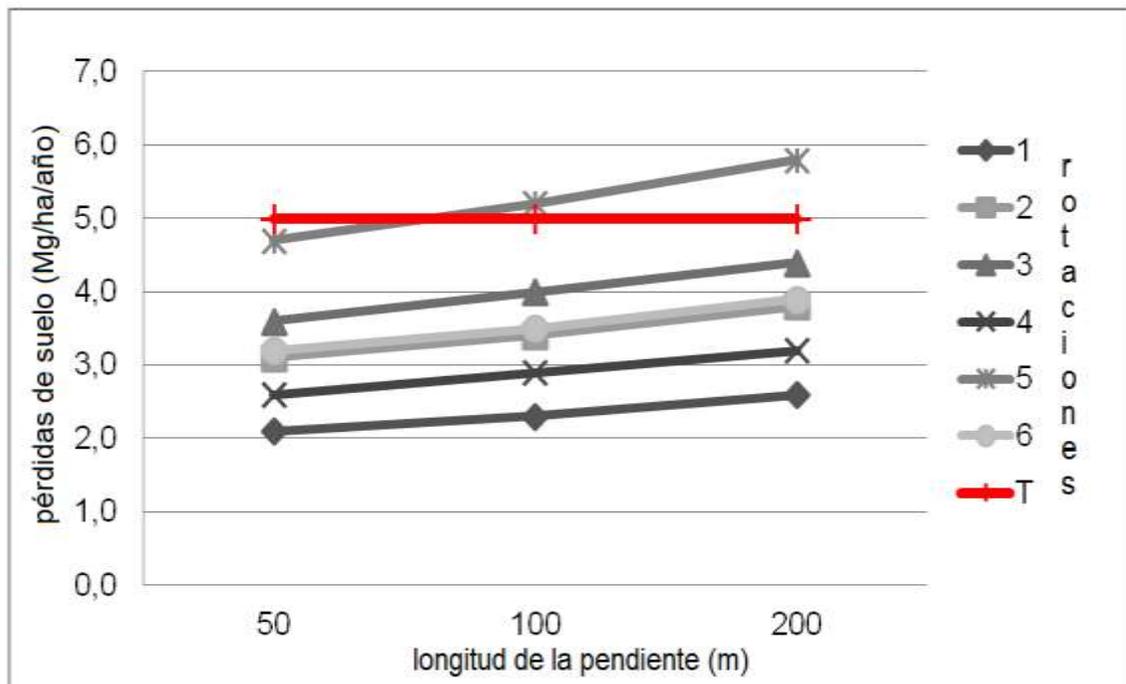


Figura No. 28. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad “Alto plano”

En la unidad, para incluir el efecto del pisoteo, el cultivo c4 es eliminado bajo un manejo de pastoreo directo, lo que resulta en un valor de factor C superior, al afectar la cobertura del suelo entre componentes. A pesar de ello las pérdidas siguen siendo muy por debajo del nivel máximo tolerable.

Por tratarse de una unidad de fertilidad relativamente alta, sumado al vigor inicial de las especies que componen las praderas, cubren rápidamente el suelo. Permitiendo estimar un 90% de suelo cubierto una vez establecida la pradera. En el programa, se toman valores medios de rendimiento, a fin de no sobreestimar el mismo.

En este sentido el cultivo de maíz, el rendimiento estimado a fin de ingresar al modelo, es bajo, dado que permite seleccionar un nivel de rendimiento en una situación de cosecha de grano (ic), y no de materia seca total. Al seleccionar un nivel de rendimiento bajo, el residuo en superficie postcosecha es menor, como una forma de apreciar aquí el efecto del pastoreo directo de dicho componente. De lo contrario, si en la selección se opta por rendimientos altos, el residuo en superficie se considera que es mayor cantidad y por ende más cubierto el suelo. Este aspecto no refleja una situación de

pastoreo real del material ya que al ser consumido deja suelo expuesto a la erosión.

En el caso de praderas permanentes, se estima un 90% de suelo cubierto una vez establecida la misma. El rendimiento es medio en el segundo año y a partir del tercer año de la pradera se considera menor para contemplar efectos del pastoreo, pisoteo y aspectos propios del material.

Cabe destacar que el porcentaje de cobertura manejado para contemplar algunos efectos de la cosecha directa que hace el animal, son aproximados, ya que no se cuenta con la información precisa de dichos efectos.

En la rotación No. 2, destinado cada componente al pastoreo directo, no descuidando la carga del sistema, así como el manejo del mismo (frecuencia, intensidad y duración), especialmente en los verdes, dado que son los componentes más vulnerables del sistema.

En el caso del verdeo de invierno, se plantea la mezcla de avena y raigrás, cuyo comportamiento complementario, ofrece un ciclo de producción más extendido y estable, gracias a la precocidad otoñal que presenta la avena y producción elevada de forraje del raigrás que se prolonga hasta mediados de primavera.

Se logra elevar aún más la capacidad productiva y extender el periodo de aprovechamiento de la mezcla, con la selección de materiales precoces de avena y tardíos de raigrás, tal como cita de ejemplo Carámbula (2010), para alcanzar tal meta avena negra- raigrás INIA Titán.

No obstante, es importante destacar que dicha mezcla, es reconocida por su amplia adaptabilidad y eficiencia en la utilización del medio ambiente, lo que ha dado gran difusión en diferentes sistemas intensivos (Carámbula, 2010).

La rotación No. 3, consta de componentes cuyo ciclo de duración no supera los dos años, lo que aumenta el número de barbechos, a la vez que extiende el tiempo en que el suelo permanece expuesto a la erosión. Esto puede observarse al analizar el resultado del elevado factor C obtenido en esta circunstancia (0,151), esta secuencia, comparado con las demás, presenta una cobertura menor durante toda la rotación, sin embargo, no compromete la sustentabilidad del sistema desde el punto de vista ecológico (conservación de suelo), a la vez que se destaca por la calidad de sus componentes.

En la rotación No. 4, el componente de mayor duración, una mezcla que garantiza una buena cobertura del suelo durante todo el año y alta producción,

cuya persistencia puede extenderse varios periodos más, gracias a la gran longevidad de las especies que forman la pastura.

Esta secuencia cuenta con dos componentes de menor duración, una mezcla invernal de avena y raigrás, y sorgo como verdeo de verano.

Este último, admite varios posibles destinos, ya que logra importantes volúmenes de forraje en una época crítica, permitiendo ser utilizado con gran flexibilidad para pastoreo directo o reservar como ensilaje. Aspecto último que es contemplado en el manejo del suelo del siguiente componente al definir laboreo reducido con eliminación del rastrojo mecánicamente o por pastoreo.

En la rotación No. 5, cuya secuencia de 5 años de duración presenta el valor de factor C más elevado de las rotaciones planteadas. Ello se explica por la mayor exposición del suelo a la erosión que provoca esta secuencia en particular, fruto del manejo: pastoreo directo. Esa práctica implica que gran parte de la materia seca es removida constantemente lo cual expone un mayor tiempo de barbecho. Este último aspecto puede mejorar la situación si se asocian especies como trébol rojo o lotus que presentan buen comportamiento en siembras de primavera asociadas a gramíneas como sorgo o sudan, los que no solo aportarán valor nutricional al componente sino también cobertura al suelo (Carámbula, 2010).

La principal debilidad de esta secuencia está dada por la menor persistencia de sus componentes, a la vez que presenta el más elevado valor de C (0.199).

Por otro lado, los altos costos que involucran la implantación de los verdeos, en relación a la utilización que admiten, hace necesario incluirlos, sistemas como éste que involucren forrajeras de ciclos más largo, a fin de amortiguar el impacto económico a la vez de diversificar el sistema productivo.

Además, es importante mencionar la moha como componente del sistema, un material de baja resistencia al pastoreo, ciclo muy corto que, si bien cubre rápidamente el suelo gracias a su gran precocidad, al final de la estación estival es probable que no realice una cobertura efectiva, ya que generalmente su aporte forrajero lo hace en el verano. De esta manera, en el mes de marzo ya ingresado el otoño la producción tiende a ser menor, y al ingresar al modelo, la siembra de dicho componente se realiza bajo laboreo reducido, a fin de corregir el factor C en virtud de expresar la situación dado el comportamiento del material en el periodo.

No obstante, en el mes de abril cuando las especies invernales inician su desarrollo, las estivales finalizan su ciclo productivo, lo que se traduce en un déficit forrajero que puede verse reflejado en la producción animal.

Una posible opción que remplace muy bien a la moha, puede ser el sudán, cuyo verdeo tal vez no tan precoz, presenta un comportamiento más tardío produciendo aun durante el otoño.

No se descarta la posibilidad de incluir asociado al verdeo de verano, trébol rojo, ya que dicha combinación ha demostrado mejores resultados, como *“mejor calidad del verdeo con porcentajes mayores de proteína, mayor producción de forraje durante la primavera y verano siguiente y una supuesta mejora en la fertilidad del suelo como consecuencia de la presencia de una leguminosa”* (Carámbula, 2010).

Las rotaciones No. 6, se compone de especies perennes, que incluso, dependiendo del estado de la misma pueden mantenerse en producción por un tiempo superior al que se planifica. Este tipo de rotaciones son útiles ya que permiten tener una oferta alta de forraje, a la vez que mantienen cubierto el suelo todo el año, reduciendo los periodos de barbechos.

Debido a las características topográficas de esta unidad, prácticamente todas las rotaciones propuestas dan resultados de pérdidas de suelo inferiores a las máximas tolerables independientemente de la pendiente. La rotación No. 5 solamente arroja pérdidas de suelos superiores a las tolerables cuando el largo de la pendiente resulta mayor aproximadamente mayor a 75 metros (ver figura No. 28).

Cuadro No. 34. Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas en la unidad “Ladera fuerte”

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	pl (fca.+t.blanco+lotus)/maíz	5	50	0,046	4,8
			100		6,3
			200		8,3
2	alfalfa+dactylis/maíz silo/rg.+av./sja. p.	5	50	0,115	12,0
			100		15,8
			200		20,8
3	t.rojo+t.blanco+rg. intersiembra/t.rojo+ achicoria/trigo/maíz	5	50	0,140	14,6
			100		19,2
			200		25,4
4	rg.+av./sorgo/pl (fca.+t.blanco+lotus)	5	50	0,100	10,4
			100		13,7
			200		18,1
5	av.+rg./sudan/t.rojo+ achicoria/cebadilla/moha/rg.+av./sja. p.	5	50	0,177	18,4
			100		24,3
			200		32,1
6	alfalfa+dactylis/pl (fca.+t.blanco+lotus)	5	50	0,045	4,7
			100		6,2
			200		8,2

Como puede verse en los resultados, en esta unidad (capacidad de uso IVe), son limitadas las opciones que garanticen la conservación del suelo.

Se espera que las rotaciones que incluyan entre sus componentes especies perennes sean de gran utilidad en ese ambiente. Si logran instalarse correctamente las praderas constituidas por especies perennes, se prevé establezcan una cobertura del suelo por un periodo prolongado, superior a tres años, lo que supone un unico periodo de barbecho, siembra y de crecimiento inicial, y un prolongado periodo de pastoreo.

Esto no solo tiene beneficios en cuanto a la producción total de forraje, sino también en cuanto a la alta rentabilidad que caracteriza a las pasturas perennes, frente a los altos costos de un verdeo o pasturas cortas.

La posición que ocupa en el paisaje determina un estricto manejo del mismo, debería procurarse minimizar los efectos del pastoreo sobre el tapiz, priorizando la conservación del recurso por sobre la productividad del sistema.

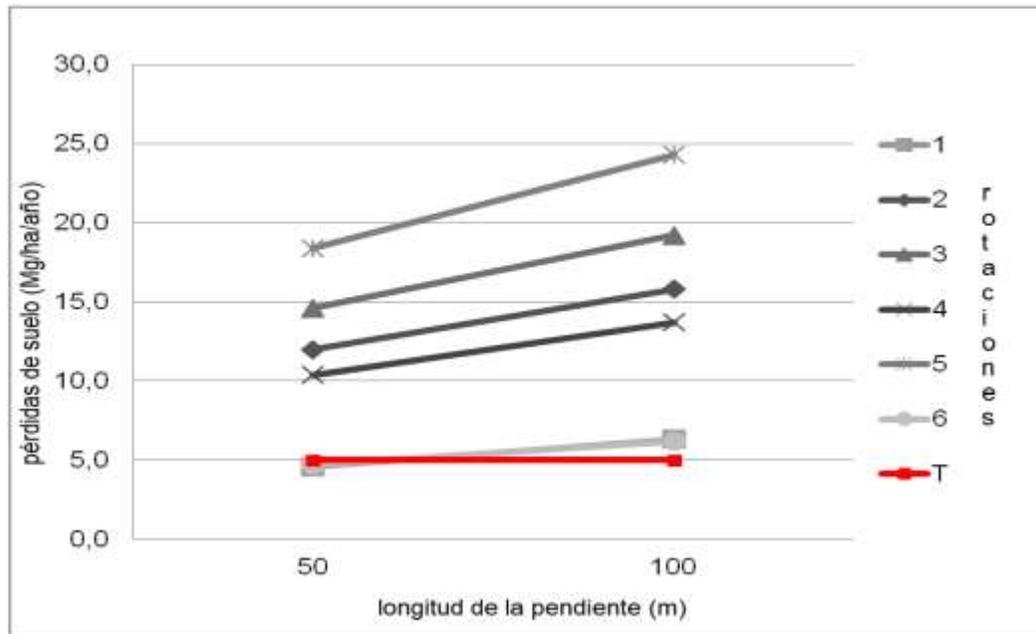


Figura No. 29. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad “Ladera fuerte”

Los resultados del programa evidencian que las rotaciones No. 1 y 6, tendrían los valores más bajos de pérdidas de suelo. Por lo que los resultados arrojados por el programa son coherentes para la unidad y bajo la situación de pastoreo continuo.

Esto puede deberse en parte a que al ingresar los diferentes valores requeridos al programa (Erosión 6.0), se asumen algunas medidas en la prácticas agronómicas que garanticen un patrón de crecimiento de las pasturas optimo, adecuando el manejo del pastoreo (intensidad y frecuencia) a la oferta de forraje; de manera que se mantenga cubierto el suelo durante todo el año. Estas medidas permiten suponer un mejor porcentaje de cobertura que realiza el residuo del cultivo anterior o cobertura de la pastura en el periodo 3 (crecimiento y maduración).

Así mismo, estos ajustes en el manejo, permiten adecuar la oferta con la carga animal que soporta el sistema mediante una presupuestación, de modo que no se descuiden los requerimientos nutricionales a cubrir de los mismos.

Es de tener en cuenta, que bajo las condiciones que manifiesta la unidad, hay cultivos como el maíz, que en situaciones de escasez de lluvias no cubran los requerimientos hídricos durante periodos de escasez de precipitaciones. Ante estos casos se debería incluir alguna alternativa forrajera como el sorgo, el cual no solo aporta un elevado volumen de forraje sino también que posee mayor tolerancia ante déficit hídricos (Cozzolino et al., 2002).

Si bien los resultados de pérdidas de suelo en las rotaciones No. 1 y 6 son inferiores a las tolerables, no lo son para un largo de chacra extenso; en el gráfico de la figura de la página anterior puede observarse que cuando el largo de pendiente supera aproximadamente los 75 m, las pérdidas de suelo resultantes superarían las pérdidas máximas tolerables.

Cuadro No. 35. Resultados del modelo USLE/ RUSLE de cada secuencia propuestas como alternativas en la unidad "Ladera suave"

No.	rotación	factor S	factor L	factor C	A
		(%)	(m.)		(Mg/ha/año)
1	pl (fca.+t.blanco+lotus)/maíz	2,5	50	0,087	3,9
			100		4,7
			200		5,7
2	alfalfa+dactylis/maíz silo/rg.+av./sja. p.	2,5	50	0,113	5,1
			100		6,1
			200		7,5
3	t.rojo+t.blanco+rg. intersiembra/t.rojo+ achicoria/trigo/maíz	2,5	50	0,140	6,3
			100		7,6
			200		9,2
4	rg.+av./sorgo/pl (fca.+t.blanco+lotus)	2,5	50	0,100	4,5
			100		5,4
			200		6,6
5	av.+rg./sudan/t.rojo+ achicoria/cebadilla/moha/rg.+av./sja. p.	2,5	50	0,177	7,9
			100		9,6
			200		11,7
6	alfalfa+dactylis/pl (fca.+t.blanco+lotus)	2,5	50	0,079	3,5
			100		4,3
			200		5,2

En esta unidad, se obtienen resultados más satisfactorios respecto al caso discutido previamente. Seguramente la pendiente suave que caracteriza esta unidad no presenta longitudes (L) tan extensas que difícilmente puedan alcanzar los 200 metros, en combinación con lo mencionado los valores de K resultan más bajos (K: 0.180).

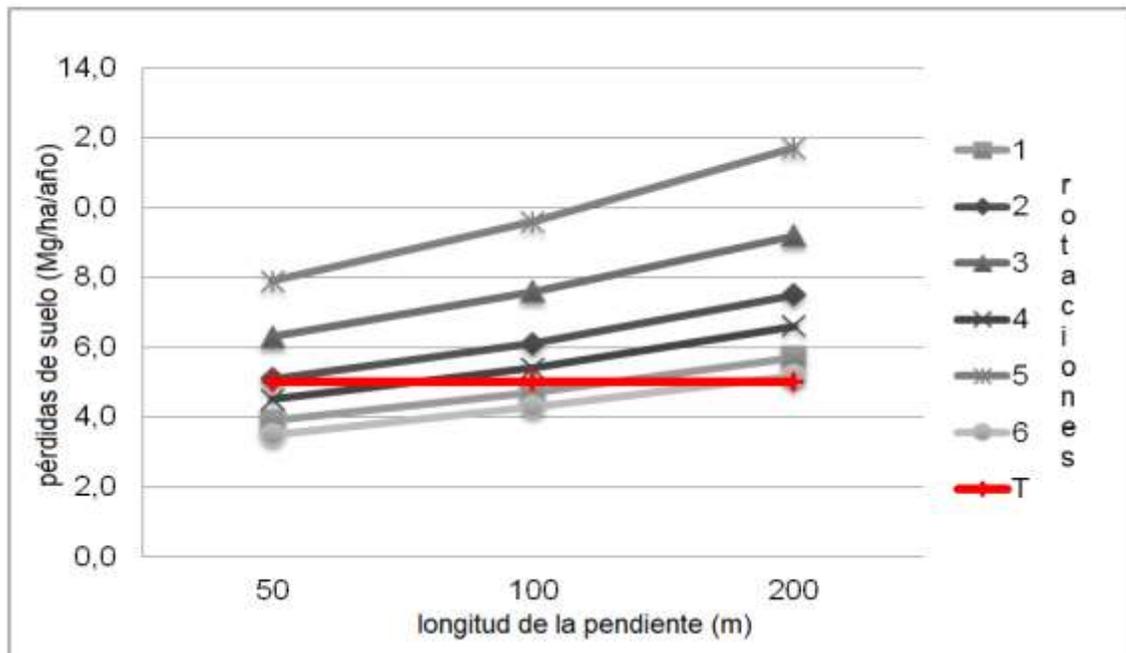


Figura No. 30. Pérdidas de suelo estimadas para cada rotación propuesta, según el largo de la pendiente para la unidad “Ladera suaves”

Las menores pérdidas estimadas corresponden a las rotaciones simuladas No. 1, 4 y 6 las cuales resultan en pérdidas de suelo menores a las pérdidas máximas admisibles (ver gráfico No. 30). La diferencia entre los resultados de esas tres rotaciones radica en el largo de pendiente hasta el que se mantienen inferiores a las pérdidas admisibles. Es aconsejable que la rotación No. 4 no se realice para largos de pendiente mayores a 75 metros aproximadamente; la rotación No. 1 admitiría un largo de hasta 125 metros, mientras que la rotación No. 6 exhibiría un comportamiento sostenible hasta casi los 200 metros de largo de pendiente.

## V. CONCLUSIONES

Los objetivos generales y específicos fueron cumplidos, aportando información edáfica a la estación experimental.

- A partir del estudio del área y del ambiente físico se generó una carta de suelos utilitaria a nivel de predio escala 1: 20.000, de 256 hectáreas.
- La carta referida posee 6 unidades o ambientes, dentro de los cuales dos pertenecen a unidades con limitantes difíciles de corregir (clase V, por capacidad de uso).
- Las unidades con mayor potencial productivo, fueron evaluadas cualitativamente a nivel de campo, incrementando la información edáfica de la EEMAC y en particular de la unidad de producción lechera.
- Con la información y datos analíticos alcanzados, se logró realizar una evaluación de mayor calidad cualitativa en los aspectos de capacidad de almacenaje de agua disponible y riesgo de sequía, así como riesgo de erosión.
- La interpretación cuali-cuantitativa de la carta de suelos obtenida dio lugar a una carta de capacidad de uso de escala 1:20.000.
- En base a la información obtenida precedentemente se propuso una alternativa de subdivisión en potreros de la unidad de producción lechera, con el propósito de continuar ejerciendo la producción de leche en forma sostenible en base a la capacidad de uso de las diferentes tierras.
- Utilizando la información reunida desde el mismo predio y las simulaciones de USLE/RUSLE a través del programa Erosión 6.0, se proponen modificaciones en la composición de las rotaciones, secuencia de forrajes, así como en la duración y manejo de los mismos.

Todas las unidades cartográficas definidas, excepto las unidades asociadas a las vías de drenaje principales y secundarias, se encuentran dentro de tierras arables, perteneciendo a las clases de capacidad: II, III y IV. Las tierras de esas clases pueden aceptar su utilización en una amplia variedad de cultivos. Sin embargo, se va reduciendo la diversidad potencial de utilización conforme se incrementa el número o valor de las clases, así como la subclase lo indica. Teniendo en cuenta que la mayor superficie la ocupa la unidad "Ladera fuerte", clase IVe, es necesario ampliar los cuidados que se le deben prodigar a estas tierras.

La evaluación de las pérdidas suelo a través del modelo USLE/RUSLE sirven para validar la asignación de la capacidad de uso, en la medida que en esta última cualitativamente se había predicho que el riesgo de erosión constituía la principal limitante de estas tierras.

La situación actual, teniendo como criterio las pérdidas de suelos que arroja el programa Erosión 6.0, el sistema no resulta sostenible ecológicamente, en el largo plazo. Ante esta situación, tal como se maneja el área hasta el presente, los periodos de barbechos en algunos casos prolongados no garantizan la conservación del sistema.

A tales efectos las diversas rotaciones propuestas como alternativas de uso, pretenden mantener el mayor tiempo posible el suelo cubierto, reduciendo los periodos de barbecho. Esto se hace posible utilizando especies perennes como principal componente, así como ajustar el pastoreo o cosecha de forraje, dejando un remanente importante que asegure un alto porcentaje de cobertura del suelo. Esto, aunque muy jugado al manejo, logra resultados sostenibles en cuanto a las pérdidas de suelo. No reflejando una sostenibilidad desde el punto de vista económico, el cual no se incluye en el análisis.

Se debe destacar que la propuesta de nuevo empotramiento resulta viable, ya que se mantiene la caminería principal; además de que el “nuevo” diseño permite implementar manejo diferencial, optimizar el uso en cada unidad y planificar en base al concepto de capacidad de uso.

La utilización del modelo USLE/ RUSLE como ayuda a la toma de decisión, bajo este sistema (tambo), presenta algunos alcances y limitaciones a saber:

- No es un modelo físico sino empírico, a partir de regresiones basadas en resultados de ensayos de situaciones ambientales reales concretas; brinda resultados promedio probables para un período considerablemente prolongado.

- Fue desarrollado y ajustado para estimar pérdidas de suelo en agricultura cerealera. Se desconoce experiencias y ajuste de su utilización en el rubro lechero.

- Si bien constituye una herramienta para la planificación y conservación de los recursos naturales, hay aspectos del modelo USLE/ RUSLE que no han sido considerados para ser aplicado exitosamente en los sistemas de producción lechera (tambo). A saber: la ecuación no tiene coeficientes que representen efectos como carga animal y categorías utilizadas,

grado de cobertura del suelo debido al pastoreo directo, ni pisoteo provocado por los mismos.

- Los componentes a ingresar para estimar el factor C no son específicos (para cada especie forrajera o sus mezclas en diferentes proporciones), o sea para el modelo todas las pasturas se comportan similarmente.

- Es igualmente importante utilizar modelos que no se encuentren completamente ajustados para el rubro lechero, pero que permitan obtener resultados aproximados de lo que podría ocurrir en forma anticipada, si se utiliza una porción de terreno en el cual impera un determinado clima con una sucesión de cultivos forrajeros dada.

- Es necesario realizar cartografía de suelos para obtener información más precisa y detallada que represente más fielmente las circunstancias ambientales donde se pretende aplicar el modelo. El valor de K a utilizar en la modelización de una situación real, puede provocar una sub o sobre estimación de los resultados.

No deben de descartarse la utilización de otros métodos de evaluación como WEPP, aunque requieran información más completa del sitio tanto en calidad como cantidad. La erosión hídrica se asocia a eventos climáticos extremos, por lo que sus efectos más catastróficos, posibles de suceder en años concretos, quedando encubiertos dado que USLE/RUSLE maneja datos promedio para una serie significativa de años.

A fin de proponer un uso sustentable, es preciso analizar otros componentes del sistema, más que el estrictamente ecológico, la conservación de suelos, como la producción de forraje y la conversión del mismo en leche (sustentabilidad económica).

## VI. RESUMEN

Dado que la erosión hídrica es el principal proceso de degradación de suelos a nivel nacional, se propone la elaboración y presentación de una propuesta de desarrollo sustentable según el uso y manejo de suelos en la unidad lechera de la Estación experimental Mario Cassinoni. El trabajo presenta primeramente la descripción del sitio experimental, mediante el estudio de antecedentes y posterior relevamiento in situs; con la finalidad de llegar a una caracterización en unidades cartográficas y un diagnóstico sobre la situación del sistema. A partir de esta última se elabora la carta básica de suelos y por capacidad de uso. Posteriormente se realiza un rediseño de los potreros actuales, de acuerdo a la capacidad de uso definida en cada unidad. Para cada una de las unidades, se estiman pérdidas de suelo por erosión mediante el programa Erosión 6.0, según el uso actual y alternativas, procurando ser más sostenibles que las actuales, en la medida que cumplan con pérdidas de suelo por debajo del límite tolerable, criterio que se utiliza para definir la viabilidad de la rotación dentro del sistema en estudio, desde el punto de vista ecológico, atendiendo a la conservación del suelo. Dentro de estas se realizan estimaciones de factor K a ingresar en el programa Erosión 6.0. Luego de obtenidos los resultados, se analiza la viabilidad de las mismas, en términos de pérdida de suelos.

Palabras clave: Suelos; Erosión; Planes de uso.

## VII. SUMMARY

Given that the water erosion is the principal process of degradation of the soil a national level, it is proposed the elaboration and presentation of a proposal of sustainable development according the use and management of the soil in the milkmaid unity of the experimental station Mario Cassinoni. The elaboration presents firstly the description of the experimental site across the study of antecedents and later survey in sites with the purpose of arriving to a characterization in cartographies unities and a diagnostic about the situation of the system. From the latter it is elaborated a basic card of soil and capacity for use map. Later it is realized a redesign of the actual paddocks in agreement to the capacity for use defined in each unity. For each one of the unities, it is estimated soil loss by erosion through the program Erosion 6.0 according to the historical use and alternatives; procuring to be more sustainable than the existing; as long as they meet with the loss soil below the tolerable limit, standard that its use to define the viability of the rotation within the system studied, from the ecological point of view, attending to the soil conservation. Within these are realized estimations of K factor to be enter in the Erosion 6.0 program. After obtained the results, it is analyzed the viability of there, in terms of loss of soil.

Keywords: Soil; Erosion; Plans of use.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay: clasificación de suelos del Uruguay. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
2. Aznar, J. M. 2002. Recursos mundiales 2002: la guía global del planeta. Madrid, España, Ecoespaña. 405 p.
3. Baethghen, W.; Clérico, C.; García Préchac, F.; Hill, M. 2004. Estimación del impacto de la soja sobre erosión y carbono orgánico en suelos agrícolas del Uruguay. Cangüé. no. 26:17-22.
4. Barrios, J.; Cayssials, R.; Lucas, J. P.; Petraglia, C.; Puentes, R. 1982. Avances en conservación de suelos en el Uruguay. Montevideo, Uruguay, MAP/IICA. 67 p.
5. Bossi, J. 1966. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. 450 p.
6. \_\_\_\_\_; Navarro, R. 1991. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. t.2, 966 p.
7. \_\_\_\_\_; Ferrando, L.; Montaña, J.; Campal, N.; Morales, H.; Gancio, F.; Schipilov, A.; Piñeyro, D.; Sprechman, P. 1998. Carta geológica del Uruguay. Montevideo, MGAP. DSF. 1 disco compacto.
8. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_.2001. Carta geológica del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 80-98.
9. Brundtland, G. H. 1987. Nuestro futuro común. Madrid, España, Alianza Editorial. 416 p.
10. Califra, A.; Ruiz, A. s.f. Relevamiento de suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 13 p.
11. Carámbula, M. 1991. Aspectos relevantes para la producción forrajera. Montevideo, INIA. 47 p. (Serie Técnica no. 19).
12. \_\_\_\_\_. 2010. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.2, 371 p.

13. Castaño, J.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay (1980-2009). Montevideo, INIA. 40 p. (Serie Técnica no. 193).
14. Christensen, B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*. 20:1-90.
15. Clérici, C.; García Préchac, F.; Terra, J. A. 1998. Validación del factor uso y manejo del suelo (C) de la RUSLE en Uruguay. In: Reunião Sul Brasileira de la Ciencia do Solo (2ª., 1998, Santa María, Brasil). Relatório. Santa María, Brasil, Sociedade Brasileira de la Ciência do Solo. pp. 223-226.
16. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1999. Avances con USLE- RUSLE para estimar erosión y pérdidas de productividad en Uruguay. (en línea). Pucón, Temuco, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. s.p. Consultado 4 dic. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/264157894\\_Avances\\_con\\_USLE-RUSLE\\_para\\_estimar\\_erosion\\_y\\_perdidas\\_de\\_productividad\\_en\\_Uruguay](https://www.researchgate.net/publication/264157894_Avances_con_USLE-RUSLE_para_estimar_erosion_y_perdidas_de_productividad_en_Uruguay)
17. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región Sur de la cuenca del Río de la Plata. *Agrociencia* (Montevideo). 5(1):92-103.
18. Cozzolino, D.; Fassio, A.; Fernández, E.; Ibáñez, W. 2002. Sorgo: destino forrajero. Montevideo, INIA. 31 p. (Serie Técnica no. 127).
19. De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Barcelona, España, CSIC. 404 p.
20. Durán, A.; García Préchac, F.; Ponce de León, J.; Silva, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua en los suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía (Montevideo). Boletín de Investigación no. 10. 20 p.
21. \_\_\_\_\_.; Kaplán, A.; Labella, S.; Rucks, L. 1990. Manual para la descripción e interpretación del perfil del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 71 p.

22. \_\_\_\_\_.; García Préchac, F. 1998. Propuesta de estimación del impacto de la erosión sobre la productividad del suelo en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 1(2):26-36.
23. \_\_\_\_\_. 2000. La cartografía de suelos CONEAT y sus posibilidades de utilización. Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p.
24. \_\_\_\_\_.; García Préchac, F. 2007a. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay, *Hemisferio Sur*. v. 1, 334 p.
25. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2007b. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay, *Hemisferio Sur*. v. 2, 358 p.
26. Formoso, F. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. *In*: Berreta, E.; Morón, A.; Risso, D. eds. *Producción y manejo de pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 1- 20 (Serie Técnica no. 80).
27. García Préchac, F. 1992a. Conservación de suelos. Montevideo, INIA. 63 p. (Serie Técnica no. 26).
28. \_\_\_\_\_. 1992b. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*. 1(1):127-140.
29. \_\_\_\_\_.; Hill, M.; Sawchik, J.; Terra, J. 2008. Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar erosión en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 12 (2): 57- 67.
30. Hudson, N. W. 1981. *Soil Conservation*. 2<sup>nd</sup>. ed. Ithaca, NY, Cornell University. 324 p.
31. Izquierdo, J. 2009. Intensificación sostenible como respuesta al cambio climático. (en línea). *In*: Jornadas del Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Cambio Climático (2<sup>as.</sup>, 2009, Buenos Aires). Estrategias integradas de mitigación y adaptación a cambios globales. Buenos Aires, PIUBACC. s.p. Consultado 16 jul. 2017. Disponible en <https://ubapiubacc.wordpress.com/2009/07/21/intensificacion-sostenible-como-respuesta-al-cambio-climatico-necesidad-de-una->

[estrategia-que-integre-a-las-biotecnologias-y-herramientas-acordes-con-la-vulnerabilidad-de-los-sistemas-agricolas-y-pecu/](#)

32. Leborgne, R. 1995. Antecedentes técnico y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros. 2<sup>a</sup>. ed. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 53 p.
33. López-Acevedo Reguerín, M.; Porta Casanelas, J.; Roquero del Laburu, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2<sup>a</sup>. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 849 p.
34. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2008. Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. Madrid, Mundi-Prensa. 452 p.
35. MAP. DSA (Ministerio de Agricultura y Pesca. División Suelos y Aguas. Dirección de Recursos Naturales Renovables, UY). 1976. Compendio actualizado de información de suelos del Uruguay. Montevideo. Esc. 1:1.000.000.
36. \_\_\_\_\_. CONEAT (Ministerio de Agricultura y Pesca. Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra. UY). 1979. Índice de productividad de suelos: grupos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 25 ene. 2015. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat>.
37. MDN. SGM (Ministerio de Defensa Nacional. Servicio Geográfico Militar, UY). 1967a. Fotografía aérea a escala 1: 20.000, no. 32-037. Montevideo, Uruguay. s.p.
38. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1967b. Fotografía aérea a escala 1: 20.000, no. 32-038. Montevideo, Uruguay. s.p.
39. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1967c. Fotografía aérea a escala 1: 20.000, no. 32-039. Montevideo, Uruguay. s.p.
40. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1967d. Mapa político administrativo del Uruguay a escala 1: 50.000. Montevideo, Uruguay. s.p.
41. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigación Estadística Agropecuarias, UY). 2016. Principales indicadores productivos y técnicos de la producción lechera por año. (en línea). Montevideo. 215 p. Consultado 29 dic. 2016. Disponible en

[http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programación-y-políticas-agropecuarias/publicaciones/anuales-diea/anuario\\_2016](http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programación-y-políticas-agropecuarias/publicaciones/anuales-diea/anuario_2016)

42. \_\_\_\_\_. DSA. PRENADER (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Aguas. Programa de Manejo de los Recursos Naturales y Desarrollo del Riesgo, UY). 1998. Carta de erosión antrópica. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 29 dic. 2016. Disponible en <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/EROSION.pdf>
43. \_\_\_\_\_. SIG (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Servicio de Información Geográfico, UY). 2008. Mapa riesgo de degradación de suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 29 dic. 2016. Disponible <https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/layouts/15/Lightbox.aspx?url=https%3A%2F%2Fdescargas.mgap.gub.uy%2FDGRN%2FCo municaciones%2FRiesgo%20de%20degradaci%C3%B3n%20de%20tierras%20mapa%20formato%20jpg.jpg>
44. Molfino, J. H. 2009. Estimación del agua disponible en los grupos CONEAT. Montevideo, Uruguay, MGAP. DGRNR. 15 p.
45. Montgomery, P. H.; Klingebiel, A. A. 1961. Land capability classification. Washington, D.C., USDA. 115 p.
46. PL (Poder Legislativo, UY). 1968. Ley No. 13.667. Conservación de suelos y aguas. Montevideo. 7 p.
47. \_\_\_\_\_. 1981. Ley No. 15.239. Uso y conservación de los suelos y de las aguas. Montevideo. 3 p.
48. \_\_\_\_\_. 2004. Decreto reglamentario No. 333 de la Ley 15.239. Regulación de uso y conservación de suelos y aguas superficiales. Montevideo. 4 p.
49. \_\_\_\_\_. 2008. Decreto reglamentario No. 405 de la Ley 15.239. Uso responsable y sostenible de los suelos. Montevideo. 3 p.
50. \_\_\_\_\_. 2009. Ley No. 18.564. Conservación, uso y manejo adecuado de los suelos y las aguas. Montevideo. 2 p.
51. Pla, I. 2006. Problema de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias. (en línea). In: Congreso Ecuatoriano de la Ciencia

del Suelo (10°. , 2006, Guayaquil). Trabajos presentados. Guayaquil, CECS. pp. 1- 9. Consultado 6 nov. 2016. Disponible en <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>.

52. Puentes, R.; Szogi, A. 1983. Manual para la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos en el Uruguay. Montevideo, INIA. 80 p. (Nota Técnica no. 1).
53. Rossiter, D. G. 1990. Framework for land evaluation using a microcomputer. (en línea). Soil Use and Management 6(1):7-20. Consultado 27 jul. 2017. Disponible en [http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/Docs/SUM\\_6\\_7\\_Rossiter\\_ALES.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/Docs/SUM_6_7_Rossiter_ALES.pdf)
54. \_\_\_\_\_. 2004. Metodología para el levantamiento del recurso suelo. (en línea). s.l., ITC. Soil Science Division. 145 p. Consultado 4 jul. 2018. Disponible en [http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/teach/ssm/SSM\\_LectureNotes2\\_E.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/teach/ssm/SSM_LectureNotes2_E.pdf)
55. Soil Survey Staff. 1991. Soil Survey Manual. Washington, D.C., United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 437 p. (Agricultural Handbook no. 18).
56. USDA. NRCS (United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service). 1976. Soil survey manual. (en línea). Washington, D. C. s.p. Consultado 4 jul. 2018. Disponible en [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2\\_054261](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054261)
57. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 1979. Soil Texture Calculator. (en línea). Washington, D. C. s.p. Consultado 10 oct. 2017. Disponible en [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/?cid=nrcs142p2_054167)
58. UdelaR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 1994. Relevamiento de suelos. Montevideo. 14 p.
59. Vasallo Muniz, M. 2011. Dinámica y competencia intrasectorial en el agro: Uruguay 2000-2010. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 169 p.

60. Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Washington, D. C., United States Department of Agriculture. 58 p. (Agricultural Handbook no. 537).

## IX. ANEXOS

### 1. Datos meteorológicos de temperatura (°c) y precipitación (mm)

meses	t°c máxima 2013/14	t°c media 2013/14	t°c mínima 2013/14	t°c media 1980/2009
octubre	24,3	18,1	12,2	18,2
noviembre	26,1	20,9	16,0	20,8
diciembre	33,2	26,3	19,2	23,4
enero	31,9	25,4	19,5	25,2
febrero	27,3	22,7	18,5	24
marzo	25,3	19,5	14,0	22,6
abril	23,5	17,8	12,9	18,7
mayo	18,6	14,2	10,2	15,1
junio	16,9	11,5	6,4	12,4
julio	17,5	12,7	8,3	11,9
agosto	20,9	14,4	8,4	13,6
septiembre	21,3	15,7	10,6	15

t°c máxima. 2013/14= temperatura máxima expresada en grados celsius para el periodo octubre 2013 a setiembre 2014

t°c media 2013/14= temperatura media expresada en grados celsius para el periodo octubre 2013 a setiembre 2014

t°c mínima 2013/14= temperatura mínima expresada en grados celsius para el periodo octubre 2013 a setiembre 2014

t°c media 1980/2009= temperatura media expresada en grados Celsius para el periodo comprendido entre 1980 y 2009

meses	pp(mm)1980/09	pp(mm)2013/14
octubre	121,3	110,0
noviembre	123,1	200,2
diciembre	112,9	60,7
enero	106,1	276,4
febrero	125,5	304,3
marzo	137,8	91,2
abril	158,8	189,0
mayo	102,0	171,7
junio	68,3	46,7
julio	56,1	134,4
agosto	55,3	5,3
septiembre	71,5	182,4
total	1238,7	1772,3

pp(mm) 1980/2009= precipitaciones medias mensuales, expresadas en milímetros, comprendidas entre 1980 y 2009

pp(mm) 2013/2014= precipitaciones medias mensuales, expresadas en milímetros, comprendidas entre octubre 2013 a setiembre 2014

## 2. Descripción de los suelos dominantes de cada unidad cartográfica

unidad "Alto plano" (P1)

ubicación		fecha	foto aérea
latitud	32°23'48.37"S	18/06/2014	32-037
longitud	58° 3'44.41"O		
posición en el paisaje	alto plano. lomadas fuertes		
pendiente (%)	0,5		32-038
uso actual	pradera		

horizonte	espesor	color	transición	moteados	textura	concreciones	raíces	reacción HCl
Ap	0- 13	10 YR 2/2			FAC			
Bt	13-42	10 YR 2/1	clara		Ac			
BC	42-62	70% 7.5 YR 3/2 30% 7.5 YR 3/1	clara	comunes, bordes tenues y difusos 10YR 5/6	Ac	blandas de CaCO3	pocas	fuerte
2Ck	62+		abrupta					

cálculo de erodabilidad (factor K), para Brunosol éútrico

estructura	permeabilidad	m.o	ar.m.fina+l	Ac	M	M <sup>1.14</sup>	erodabilidad
1	4	4.86	37	35	2411	7174	0.140

m.o= materia orgánica. ar.m.fina+l= % de arena muy fina +limo. Ac= % de arcilla. M= corresponde al cálculo  $(ar.m.fina+l)^*(100-Ac)$

cálculo de erodabilidad (factor K) para solonetz (usda 3)

estructura	permeabilidad	m.o	ar.m.fina+l	Ac	M	M <sup>1.14</sup>	erodabilidad
4	6	2.1	54.6	17	4559	14829	0.590

Descripción morfológica de un suelo halomórfico- USDA 3, mapeado en la EEMAC

id. perfil	perfil P1	espesor	color- h	color- s	transición	raíces	reacción al HCL
usda 3	Au1	0- 2	10 YR 3/1	10 YR 5/1 y 10 YR 7/1		si	-
usda 3	Au2	2- 6	10 YR 3/2		abrupta	si	-

Resultado de análisis químicos realizados a USDA 3

	pH	c.o	m.o	c/n	Ca	Mg	K	Na	a.tit.	cicpH7	bt	sb
	H <sub>2</sub> O	%	%	-								%
horizonte												
Au1	7,2	1,23	2,1	9,7	7,8	1,9	0,8	1,1	1	2,6	11,6	92
Au2	6,9	1,44	2,4	9,6	11,2	1,9	0,9	1,5	1,4	16,9	15,5	92

c.o= carbono orgánico. M.o= materia orgánica. c/n= relación carbono/nitrogeno. a. tit.= acidez titulable. Cicph7= capacidad de intercambio catiónico a ph 7. bt= bases totales. Sb= % saturación en base

Resultado de análisis textural detallado de USDA 3

horizonte	Arena								clase textural
	muy gruesa	gruesa	media	gruesa	muy fina	arena	limo	arcilla	
Au1	0,4	3,2	7,1	18,2	11,3	40,2	43,3	16,5	franco
Au2	0,2	2,4	6,9	17,2	10	36,7	40	23,3	franco

unidad Ladera fuerte (P2)

ubicación		fecha	foto aérea
latitud	32°22'57.24"S		
longitud	58°02'44.20"O		
	lomada sobre Fray		
	Bentos con		
	recubrimientos escasos	18/6/2014	32- 037
	de lodolitas		32- 038
posición en	ladera alta		
el paisaje			
pendiente (%)	6		
uso actual			

horizonte	espesor	color	transición	moteados	clase textural	concreciones	raíces	reacción al HCl
Ap	0- 19	10 YR 2/1,5			FAc			
A	19- 35	10 YR 2/2	clara		FAc			
Ck		70% 5 YR 6/4		comunes,		blandas de		
		30% 5 YR 5/6	clara	bordes tenues y	Ac	CaCO3	pocas	fuerte
				difusos 10 YR 5/6				

Cálculo de erodabilidad (factor K)

estructura	permeabilidad	m.o	ar.m. fina+l	Ac	M	M <sup>1.14</sup>	erodabilidad
2	6	6,67	31,1	25	2333	6907	0,200

m.o= materia orgánica. ar.m.fina+l= % arena muy fina +limo. M=corresponde al cálculo (ar.m.fina+l)\* (100-Ac)

unidad Ladera suave (p3)

ubicación		fecha	foto aérea
latitud	32°22'38.21"S	18/6/2014	32- 037 32- 038
longitud	58°02'40.88"O		
	lomada suave, pendientes ligeras de hasta 2%		
posición en el paisaje	ladera suave		
pendiente (%)	3		
uso actual	pradera		

horizonte	espesor	color	transición	clase textural	reacción al hcl
Ap	0- 19	10 YR 2/2		Fac	
Bt	19- 45	10 YR 3/1	clara	Fac	
BC	45- 62	7,5 YR 2,5/2	gradual	L	
Ck	62- +	70% 5 YR 7/2 30% 5 YR 5/3	abrupta		fuerte

Cálculo de erodabilidad (factor K)

estructura	permeabilidad	m.o	ar.m. fina+	Ac	M	M <sup>1.14</sup>	erodabilidad
1	4	2,33	33,92	30	2374	7049	0,180

m.o= materia orgánica. ar.m.fina+= % arena muy fina +limo. M=corresponde al cálculo (ar.m.fina+)\* (100-Ac)

unidad Ladera suave (P3)

ubicación		fecha	foto aérea
latitud			
longitud			
posición en el paisaje	planicie baja	18/6/2014	32- 037 32- 038
pendiente (%)	0,5		
uso actual	pasturas		

horizonte	espesor	color	transición	moteados	clase textural	concreciones	raíces	reacción al HCl
A1	0- 33	7,5 YR 2,5/1			FAcL			
A2	33- 52	7,5 YR 2,5/1	gradual	comunes, bordes tenues y difusos 10 YR 5/6	Ac			
Ck	52- +	7,5 YR 2,5/1	clara		Ac	CaCo3	pocas	fuerte

Cálculo de erodabilidad (factor K)

estructura	permeabilidad	m.o	ar.m. fina+l	Ac	M	M <sup>1.14</sup>	erodabilidad
2	6	9,57	49,02	44	2745	8317	0,150

m.o= materia orgánica. ar.m.fina+l= % arena muy fina +limo. M=corresponde al cálculo (ar.m.fina+l)\* (100-Ac)

Descripción y datos analíticos del Planosol mapeado en la estación experimental Mario Cassinoni

horizonte	espesor	descripción
AU <sub>1</sub>	28 cm	pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 2.5/1.5), franco arcillo limoso, bloques subangulares finos y algo a granular media, moderados, transición gradual.
E	28- 38 cm	gris muy oscuro (10 YR 3/1) y gris a gris claro en seco (10YR 5.5/1), franco arcillo limoso a franco limoso, bloques subangulares medios y finos, débiles, con concreciones de Fe-Mn, pequeñas, comunes, transición, abrupta.
Bt <sub>1</sub>	38- 60 cm	gris muy oscuro (10 YR 3.5/1) con tenue moteado pardo grisáceo, arcilloso, bloques angulares y subangulares gruesos, fuertes, películas de arcilla, continuas, abundantes, transición gradual.
Bt <sub>2</sub>	60- 75 cm	gris oscuro a muy oscuro (10 YR 3.5/1), arcilloso, bloques angulares gruesos, fuertes, películas de arcilla abundantes, algunas concreciones de Fe-Mn pequeñas, transición gradual.
BC	75- 90 cm	gris muy oscuro (10 YR 3/1) y pardo oscuro (7.5 YR 3.5/2), arcilloso limoso liviano, bloques subangulares medios, moderados, algunas películas de arcilla discontinuas, transición gradual.
C	90 cm +	pardo (7.5 YR 5/4), arcilloso limoso liviano.

Resultados de análisis químicos realizados al Planosol

	pH	m.o	cicpH <sub>7</sub>	bt	sb
	H <sub>2</sub> O	%	Cmol.k(+). <sup>-1</sup>		%
horizonte					
A	5.8	5.7	27.9	23.4	84
Bt <sub>1</sub>	5.9	1.9	15.7	13.4	85
Bt <sub>2</sub>	6.5	1.0	28.9	26.8	93
BC	6.7	0.8	33.8	32.2	95
C					

Resultados de análisis textural del Planosol

% en peso				
horizonte	arena	limo	arcilla	clase textural
A	15.0	51.4	33.6	franco arcillo limoso
Bt <sub>1</sub>	21.0	50.6	28.3	franco arcillo limoso
Bt <sub>2</sub>	18.4	28.8	52.8	arcilloso
BC	15.6	22.6	61.7	arcilloso
C				

### 3. Capacidad de almacenaje de agua disponible de cada unidad

unidad	perfil	espesor	textura	h. disp/10 cm		caad	
Alto plano	Ap	18	FAc	15	20	27	36
	Bt	35	Ac	15	20	52,5	70
	BC	27	L (AcL)	20	25	54	68
					total	134	174
unidad	perfil	espesor	textura	h. disp/10 cm		caad	
Ladera fuerte	Ap	11	Fac	15	20	16,5	22
	A	18	FAcL	20	25	36	45
					total	53	67
unidad	perfil	espesor	textura	h. disp/10 cm		caad	
Ladera suave	Ap	19	FAc	20	25	38	47,5
	Bt	26	FAc	20	25	52	65
	BC	17	L	20	25	34	43
					total	124	155
unidad	perfil	espesor	textura	h. disp/10 cm		caad	
Planicie baja	A1	33	AcL	20	25	66	83
	A2	19	Ac	15	20	28,5	38
					total	95	121