

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COBERTURA DEL SUELO POR RASTROJO A LA SIEMBRA DE SOJA PARA  
DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS**

**por**

**Ana Lucía FERREIRA LÓPEZ  
Sebastián María FERREIRA PANISSA**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2016**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Oswaldo Ernst Benech

-----

Ing. Agr. Gonzalo Ferreira Donnini

-----

Ing. Agr. Mario Pérez Bidegain

Fecha: 22 de diciembre de 2016

Autores:

-----

Ana Lucía Ferreira López

-----

Sebastián María Ferreira Panissa

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro tutor ingeniero agrónomo Oswaldo Ernst por la dirección de esta tesis.

A los ingenieros agrónomos Gonzalo Ferreira y Gustavo Olivera quienes nos ayudaron en la parte de campo y en el procesamiento de los datos.

Al equipo técnico de D.G.R.N.-M.G.A.P. por su labor en tareas de campo.

Al ingeniero agrónomo Jorge Franco por su colaboración en el análisis de datos.

A la Lic. Sully Toledo por su colaboración en la corrección de los aspectos formales de esta tesis.

A productores visitados por permitirnos realizar este trabajo en sus establecimientos.

Al personal de laboratorio de la E.E.M.A.C.

A familiares y amigos por el apoyo brindado en nuestra trayectoria como estudiantes universitarios.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS.....	2
2.2. MODELO USLE/RUSLE .....	5
2.3. COBERTURA DE SUELOS .....	7
2.3.1. <u>Factor de uso y manejo (C)</u> .....	11
2.3.1.1. Evaluación del cambio del uso y manejo en suelos del sur de Brasil, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires .....	13
2.3.1.2. Estimación de la erosión en sistemas de producción que incluyen el cultivo de soja.....	17
2.4. DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJOS .....	19
2.4.1. <u>Factores que influyen sobre la descomposición de                 rastros</u> .....	19
2.4.1.1. Propiedades físico-químicas del rastrojo.....	19
2.4.1.2. Condiciones edáfico-ambientales .....	23
2.4.1.3. Tipo de laboreo .....	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	26
3.1. MATERIAL EXPERIMENTAL .....	26
3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS .....	27
3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	29
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	31

4.1.	ANÁLISIS POR CONGLOMERADOS PARA AGRUPAR SITIOS SEGÚN MEDIAS DE COBERTURA .....	31
4.2.	FACTORES QUE DETERMINAN LA COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DEL CULTIVO DE VERANO 2014 .....	35
4.2.1.	<u>Modelo para cobertura a la siembra de la zafra 3</u> .....	36
4.2.2.	<u>Modelo para cobertura a los 30 días post siembra de la zafra 3</u> .....	39
4.2.3.	<u>Relación entre cobertura de suelo y cantidad de rastrojo</u> .....	41
4.2.4.	<u>Ajuste de la regresión para la cobertura de suelo y materia seca del rastrojo</u> .....	43
5.	<u>DISCUSIÓN</u> .....	45
6.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	48
7.	<u>RESUMEN</u> .....	49
8.	<u>SUMMARY</u> .....	50
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	51
10.	<u>ANEXOS</u> .....	53

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

<b>Cuadro No.</b>	<b>Página</b>
1. Valores del factor C de USLE/RUSLE para diferentes sistemas de uso y manejo del suelo en la región sur de la Cuenca del Plata.....	13
2. Información de los suelos de la transecta.....	15
3. Estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica (Mg/ha.año), para cada uso, manejo y suelo considerado .....	16
4. Relación carbono / nitrógeno (C/N) de rastrojos de los principales cultivos anuales .....	22
5. Ubicación de las chacras muestreadas .....	26
6. Valor medio de porcentaje de cobertura a la siembra y 30 días post siembra de la zafra 3 para cada grupo de conglomerado .....	32
7. Secuencias de cultivos de cada sitio según conglomerado .....	34
8. Análisis de la Varianza (SC tipo III) para el antecesor a la siembra de invierno 2014. Alfa=0,05 .....	35
9. Test Tukey Alfa=0,05 DMS=6,66120 .....	35
10. Coeficientes evaluados en el modelo para el porcentaje de suelo cubierto a la siembra de la zafra 3. Alfa= 0.05 .....	36
11. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 (Cs3.) para la variable posición topográfica .....	37
12. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1).....	38
13. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 (Cs3.) para la variable antecesor 3, anidado en antecesor 1, teniendo en cuenta la variable días de muestro.....	39
14. Coeficientes evaluados para el modelo de cobertura a los 30 días post siembra de la zafra 3. Alfa= 0.05 .....	40
15. Comparación de medias de cobertura a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1) .....	40

16. Comparación de medias de cobertura a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1), teniendo en cuenta los días de muestreo .....	41
17. Promedio de materia seca total por hectárea según conglomerado a la siembra y 30 días post siembra del componente 3 .....	42
18. Materia seca total a la siembra y a los 30 días post siembra.....	42

**Figura No.**

1. Representación esquemática del proceso de erosión .....	3
2. Fotografía aérea de zona con erosión muy severa .....	4
3. Relación de la tasa de erosión (masa/superficie.tiempo) y los factores que la afectan, basada en la estructura del modelo USLE/RUSLE.....	7
4. Disminución de la erosión debido a la cobertura por la parte aérea de la vegetación en función de la altura de goteo desde la vegetación al suelo .....	8
5. Efecto de cobertura de la parte aérea de la vegetación y de residuos vegetales sobre la superficie en las pérdidas de suelo con 0.5m de altura de goteo de la vegetación al suelo.....	9
6. Relación entre cobertura de suelo por residuos y reducción de pérdida de suelo .....	10
7. Mapa tentativo de isoerodentas de la zona sur de la Cuenca del Plata. Factor R de la Ecuación universal de pérdida de suelo.....	14
8. Estimaciones de tasas de erosión con USLE/RUSLE para un Brunosol éutrico típico de la Unidad Young del mapa 1:1 Millón, considerando una pendiente de 3% y 100 m de largo y todas las labores a favor de la pendiente.....	18
9. Evolución de los principales componentes de gramíneas y leguminosas de acuerdo a su estado fenológico.....	20
10. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de soja 2 <sup>a</sup> inmediato a la siembra de canola.....	27
11. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de soja 2 <sup>a</sup> a los 30 días post siembra de canola.....	28

12. Esquema del período de muestreos .....	29
13. Árbol de conglomerados identificados a partir de la evolución de la cobertura de suelo entre verano 2013 y verano 2014.....	31
14. Box plot para cobertura a la siembra de la zafra de verano 2014 (Cs3.), según el conglomerado (G1, G2, G3) al cual correspondan. ....	33
15. Comparación de medias de Cs3. para la variable antecesor 1 .....	37
16. Ajuste de regresión no lineal para porcentaje de cobertura de suelo según cantidad de materia seca acumulada para cada sitio en el momento de la siembra del cultivo de verano 2014 (zafra 3).....	43
17. Ajuste de regresión no lineal para porcentaje de cobertura de suelo según cantidad de materia seca acumulada para cada muestra en el momento de la siembra del cultivo de verano 2014 (zafra 3).....	44
18. Ajuste de regresión lineal de primer orden entre método de cuadrante y método padrón (lineal) .....	45



## **1. INTRODUCCIÓN**

En Uruguay la principal causa de degradación de los suelos es la erosión hídrica.

Recientemente las autoridades nacionales basados en esta problemática establecieron normas técnicas basadas en la ley No. 15.239, de 23 de diciembre de 1981, y sus decretos reglamentarios No. 333/004 de 16 de setiembre de 2004, No. 405/008 de 21 de agosto de 2008 (Uso responsable y sostenible de los suelos) y ley No. 18.564 de 11 de setiembre de 2009 (Conservación, uso y manejo adecuado de las aguas).

A través del decreto reglamentario No. 405/008, artículo 5° y ley No. 19.355 artículo 31 19 de diciembre de 2015, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca exigirá la presentación de un Plan de Uso y Manejo Responsable del Suelo, en el cual se exponga que el sistema de producción proyectado, determine una erosión tolerable, teniendo en cuenta los suelos del predio, la secuencia de cultivos y las prácticas de manejo.

Para la estimación de la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica se estableció el software informático Erosión 6.0 (García Préchac, 2009), utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) incorporando algunos elementos de su versión revisada RUSLE (Renard et al., citados por García Préchac, 2009). Para la estimación el programa utiliza una serie de factores, de los cuales el factor C, de uso y manejo, es el más importante, porque representa el efecto combinado de condiciones o variables que pueden ser manejadas para el control de la erosión. El sub factor cobertura de suelo (factor C) por residuos en los sistemas de siembra directa, es un factor de relevancia en la reducción de la erosión hídrica cuando la cobertura por el cultivo aun no es relevante, esto es en el periodo I en dicho sistema. El factor C es la relación de pérdida de suelos (RPS) ponderada por la erosividad de la lluvia.

La información utilizada para establecer la cobertura del suelo que se utiliza actualmente proviene de fuentes variadas, mayoritariamente para sistemas con laboreo, manejo de cultivos diferenciales y potenciales productivos menores.

El objetivo del trabajo fue determinar valores promedios de porcentaje de cobertura de suelo por rastrojos generados en diferentes secuencias agrícolas durante el período invierno 2013 a verano 2014, en chacras comerciales del litoral oeste de Uruguay y conocer su variación en relación a los componentes de la secuencia, rendimiento de grano y materia seca acumulada.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS**

Según Durán y García Préchac (2007) se entiende por erosión, la pérdida del material del suelo en un lugar concreto del paisaje. Dicho material es transportado por el agua o aire hacia otra parte del paisaje. Por lo tanto, al ocurrir erosión en una parte del paisaje ocurre deposición o sedimentación en otras.

En nuestro país, predomina ampliamente el agua como agente de erosión y transporte, por lo que el fenómeno de erosión y sedimentación ocurre dentro de las cuencas hidrográficas.

La erosión natural o geológica ocurre naturalmente, sin intervención humana. Por lo general es imperceptible en el tiempo humano, es la erosión que ocurre cuando el suelo y sus procesos están en equilibrio con los componentes del ambiente (sus factores de formación: material madre, clima, vegetación y demás agentes biológicos).

La erosión antrópica es la aceleración del ritmo de erosión con respecto a su ritmo natural (erosión geológica), causada por la actividad humana (Wolman, citado por Durán y García Préchac, 2007).

Al eliminarse o alterarse la vegetación natural para realizar agricultura, se rompe el equilibrio natural aparente antes descrito. Cambia uno de los 5 Factores de Formación de Suelo, el Biótico (vegetación, fauna, microbiología), reduciendo la cobertura del suelo, la cantidad de restos vegetales que se incorporan al mismo y cambiando los regímenes hídrico, térmico y gaseoso.

Como se citó anteriormente la erosión en Uruguay es principalmente hídrica y el proceso consta de tres etapas: desagregación, transporte y sedimentación (Foster et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

Las gotas de lluvia presentan tamaños que oscilan entre 5 y 6 mm de diámetro, de formas y peso variable, que pueden alcanzar una velocidad terminal de hasta 10 m/s. La fase más importante del proceso erosivo comienza con el impacto de la gota en el suelo (Tayupanta, 1993). Las estimaciones anteriores coinciden con las realizadas por Laws, citado por Durán y García Préchac (2007) quien además concluyó que a mayor diámetro de gota mayor es la altura necesaria para alcanzar el 95% de la velocidad terminal, que también es mayor al aumentar el diámetro.

Como se ve en la figura 1, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo provoca la desagregación de las partículas que forman los agregados. Según Tayupanta (1993) la erosión hídrica es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre el suelo y al fluir sobre la superficie de los terrenos. Luego de que la gota impacta sobre el suelo lo disgrega y salpica las partículas en todas las direcciones, las que se dispersan más o menos uniformemente cuando los suelos son planos, pero en terrenos con pendiente, existe un mayor transporte hacia abajo.

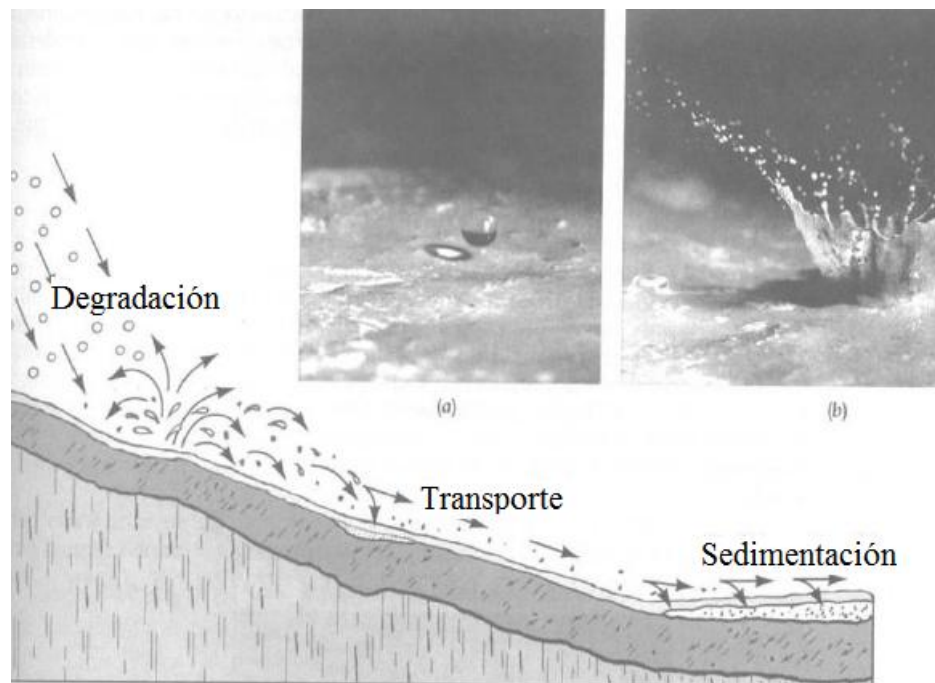


Figura 1. Representación esquemática del proceso de erosión (Fuente: adaptado de Brady y Weil, citados por Durán y García Préchac, 2007)

Cuando la precipitación es mayor que la infiltración, en el suelo se produce un excedente de agua que escurre siguiendo la superficie y pendiente del terreno, llevando consigo las partículas removidas del suelo. Esta agua se concentra en las rugosidades o grietas del terreno formando pequeños canalillos, surcos o cárcavas.

Debido a la escorrentía las partículas son transportadas hacia otros lugares formando a su paso socavaciones o rugosidades. Al disminuir la pendiente y velocidad del agua se inicia el proceso de sedimentación, depositándose en primer lugar los sedimentos gruesos y luego los finos.

Según Foster et al., citados por Durán y García Préchac (2007) se distingue dos tipos de erosión hídrica: encauzada y no encauzada. La primera corresponde a la Erosión en Canalículos, pequeños surcos y surcos (Rill Erosion), mientras la segunda es la anteriormente llamada Erosión Laminar (Interill Erosion) ésta ocurre cuando el suelo ha perdido una capa de espesor aproximadamente uniforme en toda su superficie, en este caso el agua de escurrimiento no se ha concentrado en ninguna parte del terreno. Pero, en general, cuando el escurrimiento no se ha concentrado, igualmente se observan pequeñas canalizaciones o canalículos distribuidos más o menos uniformemente en la superficie que sufre erosión (Foster, citado por Durán y García Préchac, 2007).

En una escala mayor, al considerarse las zonas de concentración de escurrimiento, en la modelación se consideran otras formas de erosión por flujo concentrado, de las que las cárcavas son su mayor expresión. En la figura 2 se puede observar todas las formas de erosión en un mismo paisaje.



Figura 2. Fotografía aérea de zona con erosión muy severa (Fuente: Aguirre, citado por Durán y García Préchac, 2007)

Se ha de diferenciar los conceptos de erosión y degradación. El primero se ha detallado al inicio del texto, en cuanto a la degradación decimos que se entiende como la pérdida o empeoramiento de propiedades físicas del suelo como medio para el crecimiento de las plantas. Dichas propiedades son las clasificadas como físicas, químicas, y biológicas (Durán y García Préchac, 2007).

Los cambios recién descritos, debidos a la actividad agrícola, además de acelerar la erosión, generan otros cambios que determinan degradación, cuyo indicador más evidente es la disminución del contenido de materia orgánica en el suelo. La materia orgánica es sustrato de toda actividad biológica del suelo y por lo tanto origen de sus propiedades biológicas. La actividad biológica es determinante del desarrollo de estructura y porosidad. Por lo tanto desde el punto de vista físico interviene en determinar la dinámica del agua, del aire y por lo tanto del calor (régimen térmico), así como la resistencia en la erosión del suelo. Lo anterior explica que se considere al contenido de materia orgánica como el principal indicador de calidad de suelo (Doran y Parkin, Reeves, Seybold et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

Los principales procesos conducentes a la pérdida de materia orgánica en el suelo son: a) erosión, b) balance negativo entre entradas y salida de biomasa y compuestos orgánicos, y c) oxidación acelerada por laboreo. Estos procesos ocurren en forma conjunta en los sistemas de producción por lo que es difícil separarlos.

Todos estos cambios y procesos ocurridos llevan a determinar un concepto, el de calidad de suelo. Se entiende como la misma a la capacidad del suelo de funcionar dentro de un ecosistema y de interaccionar positivamente con el ambiente exterior a su ecosistema (Larson y Pierce, 1994).

La capacidad del suelo de funcionar productivamente y de mejorarse y conservarse, además de hacerlo con el ambiente y las saludes de las plantas, los animales y los humanos.

Se ha trabajado con índices objetivos y subjetivos para medir la calidad del suelo, pero esto escapa al objetivo del trabajo. Es importante destacar que, la reducción de la erosión y degradación del suelo apuntan a mejorar la calidad del mismo por lo que se debería apuntar a prácticas que reduzcan al máximo el efecto de éstas sin detrimento de la productividad.

Es importante tener presente el concepto de sustentabilidad, ya que se debe procurar evitar pérdidas y desmejoras en los recursos naturales no renovables, el suelo entre ellos. Sustentabilidad es producir en actividades económicamente viables, socialmente aceptables, reduciendo el nivel de riesgo y protegiendo el potencial de los recursos naturales (Dumanski y Smyth, 1994).

## **2.2. MODELO USLE/RUSLE**

Como se ha visto al inicio, los factores que regulan la erosión pueden clasificarse en dos grandes categorías: los naturales y los antrópicos. Los primeros son la

erosividad de la lluvia y su escurrimiento asociado, la erodabilidad del suelo y la posición que el suelo ocupa en la topografía. Los segundos son los resultantes del uso y manejo a los que se somete el suelo.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), comienza con una expresión funcional teórica, que muestra a la tasa de erosión siendo función de dos categorías de variables, erosividad y erodabilidad. La primera depende exclusivamente del agente erosivo lluvia y su escurrimiento asociado, la segunda está compuesta por las demás variables, que como se indicó anteriormente, en parte son naturales (características del suelo y el paisaje que ocupa) y en parte antrópicas (uso y manejo) (Durán y García Préchac, 2007).

De acuerdo con Bertoni y Lombardi Neto (1990) dentro de las muchas ecuaciones que buscan explicar la acción de los principales factores que ejercen influencia en las pérdidas de suelo por la erosión hídrica, la más adecuada debido al hecho de superar restricciones climáticas y geográficas y tener una aplicación generalizada, es la llamada Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), desarrollada por Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac (2007) cuya expresión es la siguiente:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1).$$

Donde

A: pérdida de suelo calculada por unidad de área, expresada en  $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  . ;

R: factor erosividad de la lluvia. Es el producto acumulado para el periodo de interés (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  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , aunque por simplicidad conviene pensar en energía por unidad de superficie ( $\text{J} \cdot \text{ha}^{-1}$ , Troeh et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

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

Los siguientes valores son relaciones a estándares y no tienen dimensiones.

L: factor longitud de 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 de 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 condiciones estándares en que se definió el factor K, a igualdad de los demás factores.

P: es el factor práctica 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.

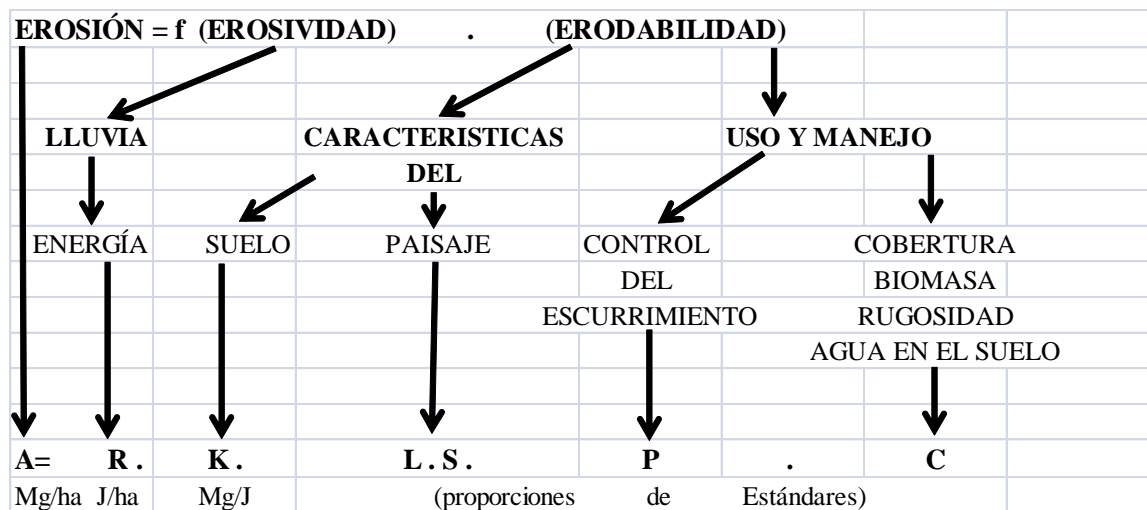


Figura 3. Relación de la tasa de erosión (masa/superficie.tiempo) y los factores que la afectan, basada en la estructura del modelo USLE/RUSLE (Fuente: Durán y García Préchac, 2007)

### 2.3. COBERTURA DE SUELOS

Si el suelo está cubierto, el impacto de las gotas de lluvia es absorbido por la cobertura del suelo y no por éste. Igualmente ha de considerarse que el efecto de la vegetación como cobertura depende de su altura, ya que una parte importante de la lluvia interceptada se desliza por las hojas y tallos y vuelve a caer según Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac (2007). Ocho o nueve metros de caída libre son suficientes para que una gota alcance su velocidad terminal. Es por ello que el mayor efecto de protección, a igualdad de cobertura del suelo, lo tiene la vegetación corta como

las pasturas o la cobertura de residuos contra el suelo (Durán y García Préchac, 2007, ver figuras 4 y 5).

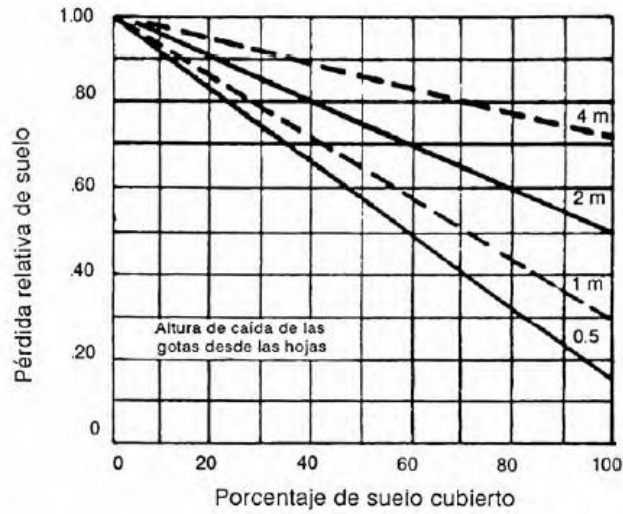


Figura 4. Disminución de la erosión debido a la cobertura por la parte aérea de la vegetación en función de la altura de goteo desde la vegetación al suelo (Fuente: Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac, 2007)



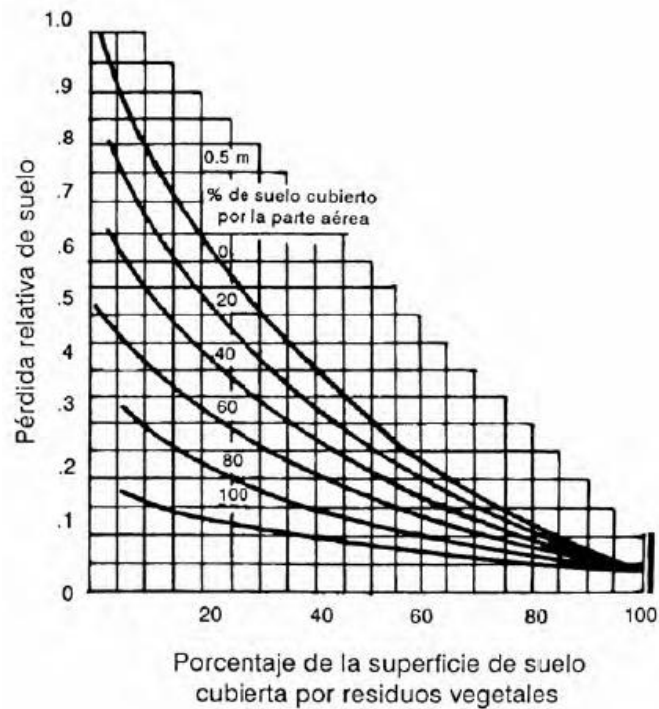


Figura 5. Efecto de cobertura de la parte aérea de la vegetación y de residuos vegetales sobre la superficie en las pérdidas de suelo con 0.5m de altura de goteo de la vegetación al suelo (Fuente: Wischmeier y Smith, citados por García Préchac, 1992)

De la importancia de la cobertura contra el suelo como agente controlador de erosión, en especial en los periodos en que el suelo no tiene cultivos creciendo, surgieron los conceptos de laboreo conservacionista, y no laboreo. Se entiende como laboreo conservacionista a todo aquel que mantiene al menos una cobertura de 30% de la superficie con residuos en los periodos sin cultivo (Allmaras et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

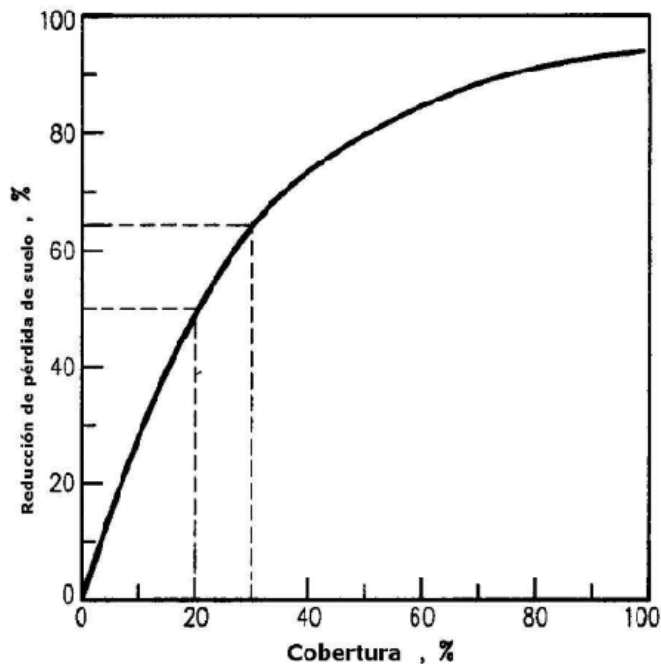


Figura 6. Relación entre cobertura de suelo por residuos y reducción de pérdida de suelo (Fuente: Shelton et al., citados por Durán y García Préchac, 2007)

La figura 6 permite apreciar que la reducción de la erosión tiene una fuerte respuesta (al aumentar la cobertura) para niveles bajos de cobertura. Según Stocking, citado por Durán y García Préchac (2007) cuando esta última aumenta más allá del 70% la respuesta decrece notablemente.

La cobertura del suelo por residuos vegetales o biomasa en descomposición tiene efecto sobre la erosión del mismo.

Los productos de descomposición de esta biomasa son altamente efectivos en desarrollar uniones fuertes entre partículas, generando agregados estructurales capaces de resistir el golpeteo de las gotas de lluvia, aunque el efecto es de corta duración en comparación con el de materia orgánica humificada. También entre esa biomasa están los restos de coronas de plantas y de su sistema radicular, que colaboran físicamente a mantener el suelo unido. Cerca de la superficie son barreras al escurrimiento y los poros abiertos que van dejando al descomponerse aumentan la infiltración de agua en el suelo. A este último proceso también aporta eficientemente la actividad de la mesofauna del suelo, que se alimenta de esos residuos y colabora en su descomposición. Por lo tanto, cuanto mayor la cantidad de biomasa en el suelo menor será su erodabilidad (Durán y García Préchac, 2007).

### **2.3.1. Factor de uso y manejo (C)**

De acuerdo con Renard et al., citados por Durán y García Préchac (2007) éste es el factor más importante del modelo, porque representa el efecto combinado de condiciones o variables que pueden ser manejadas con mayor facilidad para controlar la erosión. Como se expresó en su definición (términos de la ecuación 1), es la relación entre la pérdida de suelo que ocurre en un determinado y concreto uso y manejo del suelo y la que ocurre en el mismo suelo desnudo y pronto para una siembra convencional (condición estándar que define  $C = 1$ ), a igualdad de los demás factores.

Este factor es considerado por Bertoni y Lombardi Neto (1990) el más complejo de ser calculado debido a que la cobertura del suelo es muy variable, durante el año y además según la especie vegetal que es utilizada.

Según Durán y García Préchac (2007) la RPS puede considerarse sencilla de entender cuando nos referimos a un evento erosivo concreto, refiriéndose a un momento o un evento de lluvia. Esto es, si ocurre un evento de lluvia erosiva en un momento en un suelo que tenga su superficie cubierta en un 60% por la parte aérea de una vegetación de 0,5 m de altura promedio y un 40% por restos de la vegetación sobre el suelo, la RPS en ese evento será de 0,2.

La conceptualización del significado del factor C es más complicada si se piensa que el modelo original realiza estimaciones de erosión promedio anuales, porque el factor R representa la erosividad de la lluvia promedio anual. Las variables que determinan la RPS (cobertura por la parte aérea, cobertura por los residuos, cantidad de raíces y residuos en descomposición en los primeros 10 cm de suelo y rugosidad) varían a lo largo del cultivo (fecha y densidad de siembra, fertilización, etc.) que afectan la producción de biomasa por el cultivo en función del tiempo, determinando cobertura por la parte aérea y residuos y aporte de raíces al suelo superficial. Por lo tanto, el factor C promedio anual debe ser un promedio ponderado de esos efectos, de los valores de RPS que determinan en función del tiempo.

De la información experimental con que se desarrolló USLE, se encontró que los valores de RPS podrían considerarse aproximadamente uniformes durante varios periodos del ciclo de un cultivo (Wischmeier et al., citados por Durán y García Préchac, 2007). En el primer manual se definieron 5 periodos y en el segundo 6. La diferencia entre ambas aproximaciones radica en que el segundo define a los periodos en función de la cobertura del suelo por el cultivo.

#### Periodo 0 o F

Barbecho rugosos. Comienza con la aradura con volteo y termina con el comienzo del afinamiento de la sementera para preparar la siembra.

#### Periodo 1

Siembra y emergencia. Comienza con el afinamiento para la siembra y termina un mes luego de la siembra.

#### Periodo 2

Establecimiento. Comienza al finalizar el periodo anterior y va hasta el segundo mes luego de la siembra, por lo que dura un mes.

#### Periodo 3

Crecimiento y maduración. Fin del periodo anterior hasta la cosecha.

#### Periodo 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 que no existe el Periodo F).

La ocurrencia de lluvias erosivas en correspondencia con periodos de alta o baja protección del suelo por los cultivos y por la vegetación en general, puede ser diferente en diferentes regiones o lugares geográficos. Por lo tanto, el valor del factor C puede no ser el mismo en todas partes. Para tener esto en consideración se estudio la covariación entre el efecto de la distribución dentro del año de la erosividad promedio de la lluvia y el manejo del suelo para cada periodo del cultivo (Wischmeier et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

El resultado es que los valores de RPS de los diferentes 5 periodos definidos se ponderan por la proporción del factor R (EI30 acumulado promedio anual) que ocurriría durante cada periodo. El valor del factor C de una determinada rotación, es la sumatoria de los productos de los RPS de todos los periodos de los cultivos y pasturas que la conforman, por la proporción del R que es de esperar para cada uno de esos periodos, dividida por el número de años en los que se cumple la rotación. García Préchac (1992) presenta la información disponible a la fecha de esta publicación; se refiere a dicha publicación a quien quiera ver el detalle del cálculo del factor C, incluyendo varios ejemplos (Durán y García Préchac, 2007).

El cuadro 1 presenta valores del factor C promedio anual para algunos sistemas de uso y manejo en nuestras condiciones regionales. Puede observarse que hay sistemas que generan muy bajo riesgo de erosión (No. 1, 2, 4, 6 y 8), todos ellos caracterizados

por mantener el suelo bajo cobertura permanente viva o muerta. También, que los sistemas de agricultura continua con laboreo convencional generan los mayores riesgos de erosión (No. 5 y 7), lo que puede atenuarse marcadamente si se incluyen pasturas en la rotación (No. 3). Algo altamente llamativo es que las rotaciones de cultivos y pasturas con siembra directa tienen el mismo riesgo de erosión que el campo natural manejado con corte de forraje, excluyendo el pastoreo directo.

Cuadro 1. Valores del factor C de USLE/RUSLE para diferentes sistemas de uso y manejo del suelo en la región sur de la Cuenca del Plata

<b>Uso y manejo</b>	<b>Factor C</b>
1) Campo natural manejado bajo corte	0,02
2) Forestación artificial, eucaliptos implantados (8 años)	0,006
3) Rotación agrícola ganadera 2 años de cultivos 2 de pastura con laboreo convencional	0,11
4) Idem. 3) con siembra directa	0,02
5) Agricultura de cultivos continuos laboreo convencional	0,3
6) Agricultura cultivos continuos siembra directa	0,036
7) Agricultura continua (trigo-soja), laboreo convencional en RGDS	0,41
8) Idem. 7) RGDS siembra directa	0,062

Fuente: Clérici y García Préchac, citados por Durán y García Préchac (2007).

### **2.3.1.1. Evaluación del cambio del uso y manejo en suelos del sur de Brasil, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires**

Este caso pretende ilustrar el uso del modelo en una aplicación regional, pero también permitirá apreciar su utilidad para evaluar el riesgo de erosión de un mismo suelo sujeto a varios usos y manejos propuestos (Durán y García Préchac, 2007).

En este trabajo, Clérici y García Préchac, citados por Durán y García Préchac (2007) analizan el efecto de posibles cambios en el uso y manejo de los suelos sobre la tasa de erosión, en 15 suelos seleccionados dentro de una transecta IGBP (los puntos marcados en el mapa de la figura 7), en la que trabajó el Proyecto “Evaluación regional del impacto del uso de la tierra sobre la función y estructura de los ecosistemas de áreas templadas de América del Sur y del Norte”, con financiación del Instituto Interamericano para el Cambio Global (IAI). Dicha selección incluye dos suelos contrastantes de Río Grande do Sul, ocho suelos de Uruguay y cinco de la Provincia de Buenos Aires (Argentina).

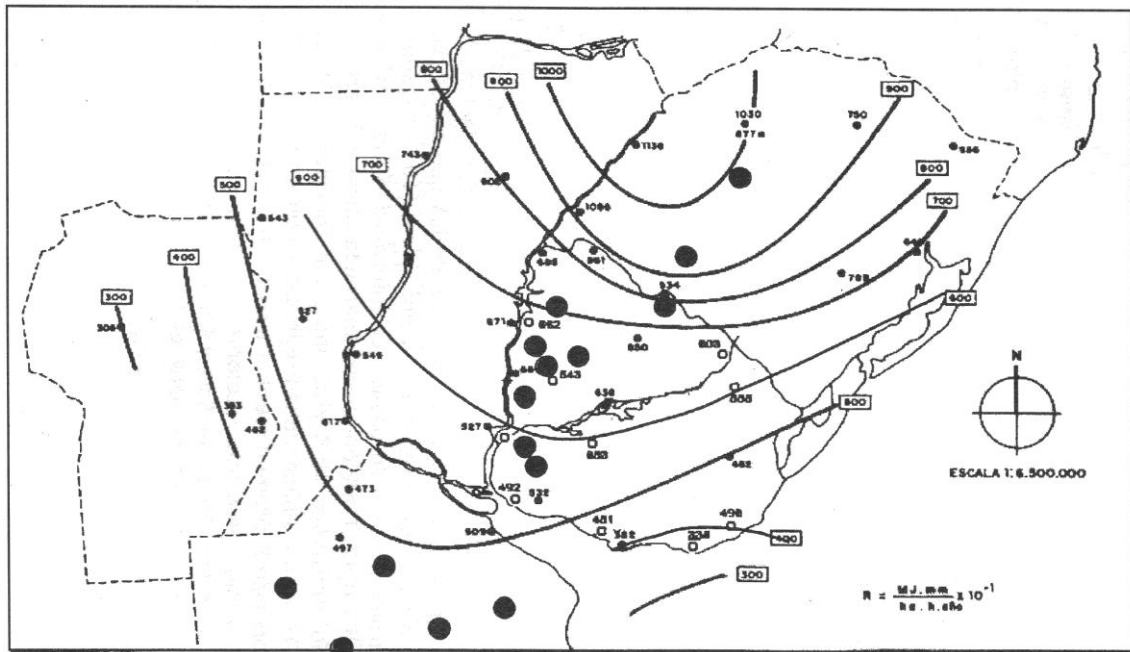


Figura 7. Mapa tentativo de isoerodentas de la zona sur de la Cuenca del Plata. Factor R de la Ecuación universal de pérdida de suelo (Fuente: Durán y García Préchac, 2007)

Se estimaron las pérdidas de suelo debidas a erosión hídrica con valores del factor C determinados experimentalmente (García Préchac 1992, García Préchac et al., citados por Durán y García Préchac 2007) o estimados con RUSLE (Renard et al., citados por Durán y García Préchac, 2007), que ya fueron presentados en el cuadro 1. La erosividad de la lluvia se tomó de la información disponible de un mapa regional de isoerodentas (Durán y García Préchac, 2007, figura 7).

Los factores de erodabilidad y factores topográficos de los suelos seleccionados se obtuvieron de las siguientes fuentes: Bertoni y Lombardi Neto (1990), García Fernández, citado por Durán y García Préchac (2007). El factor P de las prácticas mecánicas de apoyo utilizado, fue el correspondiente a laboreo en sentido de la pendiente, por lo tanto igual a 1,0. Para todos los casos se consideraron 100 m de longitud de pendiente. El cuadro 2 resume toda esa información (Durán y García Préchac, 2007).

Cuadro 2. Información de los suelos de la transecta

Suelo	Clasificación o identificación	K USLE (Mg.hr.año /MJ.cm)	Pendiente %	LS USLE	R USLE (MJ.mm/ha.hr. año.10 <sup>-1</sup> )
Bq.	Vertic Argiudoll	0,18	5	1,04	532
CñN.	Typic Argiudoll	0,34	6	1,3	532
FB.	Vertic Argiudoll	0,26	3	0,57	659
TB.	Vertic Argiudoll	0,15	4	0,8	659
Ch.	Typic Argiudoll	0,24	4	0,8	659
Al.	Typic Argiudoll	0,2	4	0,8	659
ITA.	Typic Hapludert	0,21	3	0,57	685
Rv.	Typic Hapludert	0,22	6	1,3	935
Pod. Va.	Podzólico vermelho-amarelo	0,28	3	0,57	1000
Latva.	Latosolo vermelho-amarelo	0,2	3	0,57	1000
9 de Julio	Serie Norumbega	0,5	0,5	0,11	527
Las Flores	Serie Monte	0,37	0,5	0,11	365
Pehuajó	Serie Pehuajó	0,26	0,5	0,11	402
Azul	Serie Cinco Cerros	0,26	4	0,8	382
Coronel Suárez	Serie Laprida	0,43	0,5	0,11	353

Fuente: Durán y García Préchac (2007).

Se discutirán a continuación, los resultados de estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica para cada uso, manejo y suelo considerado, presentados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica (Mg/ha.año), para cada uso, manejo y suelo considerado

Suelo	Factor K	1*	2	3	4	5	6	7
Bq.	0,18	2	0,6	19	11	2	30	3,6
CñN.	0,34	4,7	1,4	44,7	25,8	4,6	75,6	8,4
FB.	0,26	1,9	0,6	18,4	10,6	2	29	3,4
TB.	0,15	1,9	0,4	15	8,6	1,6	23,6	2,8
Ch.	0,24	2,8	0,8	23,9	16	2,8	43,6	5,2
Al.	0,2	2	0,6	19,9	11,6	2	31,4	3,8
ITA.	0,21	1,9	0,4	14,9	9	1,6	24,4	3
Rv.	0,22	5,3	1,6	50,8	29,4	5,4	80,2	9,6
Pod. Va.	0,28	7,5	2,2	71,2	41,2	7,5	153,7	23,2
Latva.	0,2	5,4	1,6	50,9	29,5	5,4	109,8	16,6
9 de Julio	0,5	0,6	0,2	5,5	3,2	0,6	8,7	1
Las Flores	0,37	0,3	0,1	2,8	1,6	0,3	4,5	0,5
Pehuajó	0,26	0,2	0,1	2,2	1,3	0,2	3,5	0,4
Azul	0,26	1,6	0,5	15,1	8,7	1,6	23,8	5,5
Coronel Suárez	0,43	1,3	0,1	3,2	1,8	0,3	5	0,6

Nota: 1\*: campo Natural. 2: forestación implantada. 3: forestación instalación. 4:rotación 2:2 laboreo convencional. 5: rotación 2:2 siembra directa. 6: agricultura continua laboreo convencional. 7: agricultura continua siembra directa.

Fuente: Durán y García Préchac (2007).

- Campo natural

Este uso y manejo corresponde a pasturas naturales utilizadas bajo pastoreo continuo de vacunos y lanares.

La estimación de la erosión hídrica para el uso y manejo de pradera o campo natural en la Provincia de Buenos Aires, resultaron en un promedio para los cinco suelos de 0,6 Mg/ha.año, con un rango de 0,3 a 1,6 Mg/ha.año. Bajo igual uso y manejo, en Uruguay el promedio de los ocho suelos fue 2,8 Mg/ha.año, con un rango de 1,9 a 5,3 Mg/ha.año. Para los dos suelos de Río Grande do Sul, los valores estimados fueron 5,4 y 7,5 Mg/ha.año.

El riesgo de erosión aumenta desde la Provincia de Buenos Aires hacia el sur de Brasil, debido principalmente a la erosividad de lluvias.



- Agricultura continua

Las estimaciones para agricultura continua con laboreo convencional indican un incremento de 15,7 veces de erosión, respecto a la situación de campo natural, para la Provincia de Buenos Aires, con un rango promedio para los cinco suelos de 14,15 a 16 veces más. En Uruguay, este sistema incrementó en promedio 14,8 veces las estimaciones respecto a campo natural. En Río Grande do Sul, las estimaciones muestran los mayores incrementos, de 20,3 y 20,5 veces respecto a campo natural para los dos suelos considerados. Lo anterior indica que para el sistema de agricultura continua con laboreo convencional, el aumento de la erosión sobre la base del campo natural es muy parecido en Uruguay y Argentina, pero es unas seis veces mayor en el sur de Brasil.

Si el sistema considerado es siembra directa frente a campo natural, para los suelos argentinos el promedio de las estimaciones de erosión aumenta 1,8 veces, con un rango de 1,6 a 2 veces. Para los suelos uruguayos el promedio de aumento es de 1,7 veces con un rango de 1,6 a 1,9 veces. Mientras que para los dos suelos del sur de Brasil el resultado se incrementa en 3,1 veces. La efectividad de la siembra directa se estima similar en Argentina y Uruguay, pero es alrededor de la mitad de efectiva en el sur de Brasil.

- Rotación de cultivos con pasturas

Para los sistemas de rotaciones 50% cultivos 50% pasturas, sembradas con laboreo convencional, se estimó para los suelos argentinos un incremento promedio de 5,7 veces respecto a campo natural, con un rango de 5,3 a 6,5 veces. Para los suelos uruguayos el incremento fue de 5,3 veces. Para los suelos brasileros los valores se incrementaron 5,5 veces. Si en este caso el laboreo convencional se realizara en contorno (Factor P = 0,5), las estimaciones son escasamente superiores al sistema de agricultura continua con siembra directa. Cuando el sistema de uso fue la misma rotación pero con siembra directa los valores para toda la transecta fueron similares a los de campo natural, aun con la siembra realizada en el sentido de la pendiente. Esto significa que se trata de los sistemas de uso más sustentables para la agricultura y la ganadería en la región.

### **2.3.1.2. Estimación de la erosión en sistemas de producción que incluyen el cultivo de soja**

Desde 2003 Uruguay ha experimentado un crecimiento extraordinario del área dedicada al cultivo de soja. Este cultivo tuvo algunos periodos en los que apareció en el país con cierta importancia, pero fue abandonado luego de la gran sequía de 1988-1989.

Tan importante había sido su desaparición que la investigación agropecuaria nacional discontinuó la gran mayoría de las líneas relacionadas al cultivo. Sin embargo a partir de 2003 paso a ser el cultivo más importante en 2004-2005, ocupando unas 260.000 ha.

En buena medida este rebrote tan importante de la soja se ha relacionado a la venida al país de productores argentinos, con planteos de agricultura o cultivo continuos, desplazando a las pasturas perennes de las rotaciones. Si bien predomina la utilización de siembra directa, el cultivo de soja es reconocido por dejar pocos residuos que cubran el suelo, los que además tienen alta tasa de descomposición por su baja relación C/N. Esto determina que los sistemas con alta frecuencia de soja presenten mayor riesgo de erosión que aquellos sistemas con mayor proporción de cultivos de gramíneas (Nearing et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

En 2004 se realizaron trabajos con el objetivo de estimar los posibles impactos de estos cambios, entre otros sobre la erosión de los suelos. Al no disponerse de resultados experimentales de erosión incluyendo al cultivo de soja, se apeló al modelo USLE/RUSLE y a la información extranjera para hacer estimaciones para sistemas con soja, sobre el respaldo de la validación en el modelo contra datos experimentales de sistemas con otros cultivos. Los resultados para un suelo representativo de los de mayor potencial agrícola del país se presentan en la figura 8.

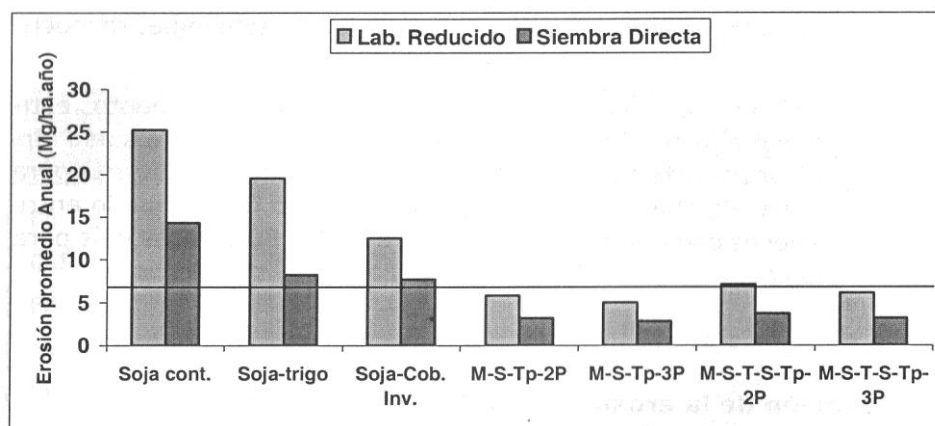


Figura 8. Estimaciones de tasas de erosión con USLE/RUSLE (Clérici et al., citados por Durán y García Préchac, 2007) para un Brunosol éutrico típico de la Unidad Young del mapa 1:1 Millón, considerando una pendiente de 3% y 100 m de largo y todas las labores a favor de la pendiente. M: maíz; S: soja; T: trigo; p: pradera considerada; 2P: 2 años de pradera, etcétera (Fuente: Durán y García Préchac, 2007)

Se observa que solamente con siembra directa y con el suelo cubierto en el invierno (trigo o cobertura) se logra acercarse a la tasa de erosión tolerable, con cultivo continuo. En cambio las rotaciones con pasturas de 2 o 3 años de duración están por

debajo de la tasa tolerable, excepto la que tiene la secuencia larga de cultivos y corta de pasturas y se hace con el laboreo reducido, que aparece ligeramente pasada de la tolerancia.

## **2.4. DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJOS**

La descomposición de rastrojos es un proceso complejo, mediado principalmente por microorganismos, durante el cual los materiales orgánicos son degradados a sus constituyentes inorgánicos (Moorhead, citado por Lupwayi et al., 2004). Es de similar importancia a la fotosíntesis pero de signo contrario; la fotosíntesis captura C como CO<sub>2</sub> de la atmósfera y la descomposición restituye el C también como CO<sub>2</sub> (Morón, 2001).

La tasa de descomposición de rastrojos es regulada por las características físico-químicas del material en descomposición, el contacto con el suelo de los residuos y factores ambientales como la temperatura, contenido de agua y la disponibilidad de nutrientes (Parr, citado por Varela et al., 2014).

### **2.4.1. Factores que influyen sobre la descomposición de rastrojos**

#### **2.4.1.1. Propiedades físico-químicas del rastrojo**

- Calidad del rastrojo

La calidad de los rastrojos se refiere a su composición química y es uno de los factores más importantes que afecta la descomposición de los mismos.

La constitución de los diversos materiales vegetales que entran al suelo es heterogénea. Alexander, citado por Morón (2001) establece que los constituyentes orgánicos de los vegetales pueden ser divididos en seis grandes categorías:

1) Celulosa. Es el constituyente vegetal más importante, pudiendo variar de un 15 a un 60 % del peso seco. Está formado por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). La celulosa es un compuesto orgánico, polisacárido, formado por unidades de glucosa unidas por enlaces β 1-4 en cadenas no ramificadas, encontrada en la pared celular de la célula vegetal.

2) Hemicelulosa. Generalmente el segundo compuesto orgánico en importancia después de la celulosa. Es un polisacárido, usualmente ramificado, formado por pentosas, hexosas y ácidos urónicos. Se encuentra en la pared celular asociado a la celulosa.

- 3) Lignina puede variar de un 5 a un 30 % del peso seco. Es un polímero de C, H y O de unidades fenil-propano, con estructura no uniforme y muy ramificada. Se encuentra asociado a la celulosa en la pared celular.
- 4) Fracción soluble al agua. Formada por azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos.
- 5) Fracción soluble en éter y alcohol. Formada por grasa, aceites, resinas y pigmentos.
- 6) Proteínas portadoras de la mayor parte del nitrógeno (N) y azufre (S) de los vegetales.

La calidad es un factor que no solo varía según el cultivo sino también con el estado fenológico en que se encuentre y de que parte de la planta se esté tratando. En la figura 9 se muestra la variación porcentual de los componentes según el estado fenológico.

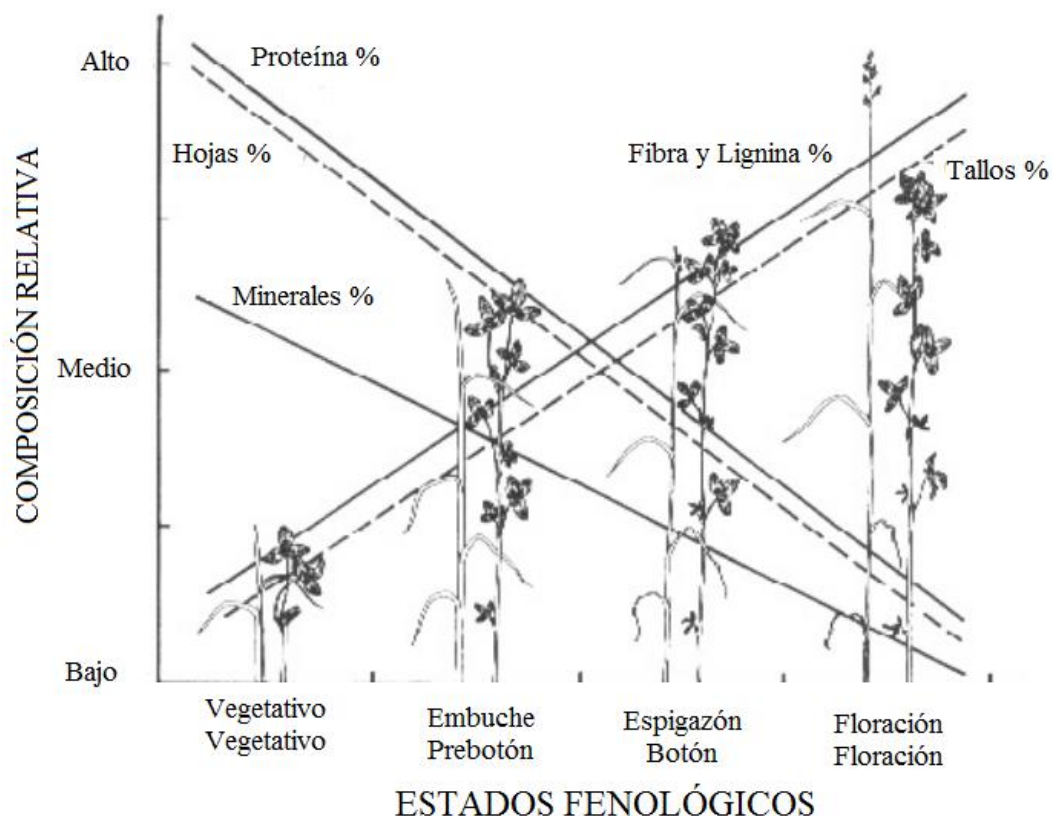


Figura 9. Evolución de los principales componentes de gramíneas y leguminosas de acuerdo a su estado fenológico. Fuente: Blaser et al., citados por Morón (2001).

A medida que la planta madura, su contenido de proteína, N y sus constituyentes solubles en agua decrecen en forma importante, a diferencia de los componentes estructurales como hemicelulosa, celulosa y lignina que aumentan.

Douglas y Rickman, citados por Borges (2001) dividieron el proceso de descomposición de los rastrojos en dos fases, las cuales están determinadas principalmente por la composición química relativa de estos compuestos en cada rastrojo. Los materiales que están compuestos por bajo contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, tienen un descenso en peso relativo más rápido que aquellos que tienen un alto contenido en estos compuestos.

La fase I está determinada principalmente por el contenido inicial de nitrógeno, es donde desaparecen las fracciones solubles en agua como azúcares, almidón, ácidos orgánicos, pectinas, taninos y una variedad de compuestos nitrogenados que están rápidamente disponibles para los microorganismos. En la fase II la tasa de descomposición se reduce y varían muy poco entre rastrojos de diferente contenido de nitrógeno inicial (Douglas y Rickman, citados por Ernst et al., 2002).

Un parámetro para estimar la calidad de los rastrojos es la relación C/N. Los cultivos fijadores de N (leguminosas) se caracterizan por su mayor concentración de N. ello determina que sus residuos presenten relaciones C/N bajas en torno a 40, lo cual implica que se descomponen con mayor rapidez. A diferencia de ellos, los cultivos no fijadores como los cereales poseen relaciones C/N muy amplias (mayores a 80), lo cual determina que sus residuos demoren más en descomponerse en el suelo, debido a la limitación de N (Varela et al., 2014).

En el cuadro 4 se muestran las relaciones C/N para los rastrojos de diferentes cultivos. Los cultivos que tienen una relación C/N alta, como el trigo y otros cereales de invierno, tienen una menor velocidad de descomposición, ya que el N disponible es limitante para el crecimiento de la flora microbiana, comparados con cultivos de menor relación C/N, como las leguminosas (Rouanet et al., 2005).

Cuadro 4. Relación carbono / nitrógeno (C/N) de rastrojos de los principales cultivos anuales.

Cultivo	C/N.
trigo	60-90
cebada	80-90
arroz	80-90
maíz	50-60
canola	40-50
soja	30-40
suelo	10-12
microorganismos del suelo	6-7

Fuente: Rouanet (2005).

- Cantidad del rastrojo

Según Varela et al. (2014) los cultivos en la secuencia de una rotación se diferencian por el diferente volumen de residuos que dejan en el suelo, así como en la calidad de dichos residuos.

La cantidad de residuos puede ser calculada por el índice de cosecha del cultivo, existiendo así cultivos que dejan importante cantidad de residuos sobre el suelo (e.g. cereales de invierno y de verano), y otros que dejan residuos muy escasos (e.g. soja, girasol, algodón, lino). De cualquier manera, aun cuando un cultivo puede dejar importante cantidad de residuo sobre el suelo, ello depende de la productividad de esa zafra. En años en que los rindes disminuyen, por ejemplo por deficiencias hídricas, también lo hacen la cantidad de residuos que deja el cultivo. Por otra parte, existen cultivos que por sus condiciones de producción dejan el suelo siempre descubierto y en condiciones de elevada vulnerabilidad.

Broadbent y Bartolomew, citados por Borges (2001), plantearon que en estudios de laboratorio el % de descomposición de residuos orgánicos fue inversamente relacionado al nivel de residuos agregado. Los bajos % de descomposición con altas cargas de rastrojo podrían estar asociados a factores físicos o biológicos que restringen el crecimiento y la actividad microbiana en un volumen de suelo dado.

Según lo demostrado por Stroo y Elliot, citados por Borges (2001), no existen diferencias entre las tasas respiratorias para 1500 y 3000 kg de rastrojo.ha<sup>-1</sup>, sin embargo para cantidades de 6000 kg.ha<sup>-1</sup> se encontró un descenso del 10%. Resultados similares se obtuvieron en 1986, donde se verificó una tasa de descomposición para parcelas con 6000 kg.ha<sup>-1</sup> de rastrojo, menor a la tasa registrada en parcelas con 3000 kg.ha<sup>-1</sup>.

- Tamaño de corte del rastrojo

El tamaño relativo de los residuos de cosecha también tiene efecto. Los residuos de cultivos que se cortan por picadoras, cosechadoras o equipos de labranza tienen tamaños de partículas más pequeñas que los residuos que quedan imperturbados.

Las partículas pequeñas pueden descomponerse más rápidamente que las partículas más grandes, debido a la mayor área superficial y una mayor dispersión en el suelo, lo que aumenta la susceptibilidad al ataque microbiano debido a la falta de barrera del lignificado (Summerell y Burgess, citados por Kumar y Goh, 1999).

Los tallos de trigo o mijo son inherentemente más pequeños y tienen una mayor superficie expuesta por kilogramo de materia seca que los tallos de maíz, sorgo o girasol. Un determinado peso de los residuos de trigo y mijo al ser más pequeños deben descomponerse más rápido, en las mismas condiciones de temperatura, agua y manejo del suelo. Los residuos de cultivos que han sido cortados y laboreados se mezclan más íntimamente con la población microbiana del suelo. Estos residuos están físicamente en una posición más favorable para un mayor ataque microbiano y deben descomponerse más rápido que los residuos que quedan de pie sobre el suelo (Vigil, 1995).

#### **2.4.1.2. Condiciones edáfico-ambientales**

- Temperatura

Según Vigil (1995) el principal requisito para la descomposición de rastrojos de cultivos es una población microbiana activa en contacto con el rastrojo. Los microorganismos del suelo son más activos y prosperan en condiciones de calor y humedad; por lo tanto la descomposición aumenta durante la primavera húmeda y en verano y otoños con días cálidos y húmedos. Este proceso se enlentece en invierno. Del mismo modo un verano lluvioso y húmedo tendría mayor descomposición que uno fresco y seco.

La máxima descomposición se produce a temperaturas del suelo cerca de los 32-35°C y avanza lentamente a por debajo de los 10°C y a temperaturas superiores a 35°C. Se detiene a temperaturas cercanas a la congelación y por encima de 40 °C.

Según Parr y Papendick, citados por Borges (2001) la mayoría de los microorganismos del suelo son considerados como mesófilos, porque exhiben su máximo crecimiento y actividad entre los 20-30°C. El suelo también contiene algunos microorganismos conocidos como psicrófilos, los que tienen su mayor crecimiento a temperaturas por debajo de los 20°C, y por otro lado están presentes aquellos que se

desarrollan solo a altas temperaturas, llamados termófilos, con una crecimiento máximo a 50-60°C.

- Humedad

La descomposición máxima se produce en suelos con humedad cercana a la capacidad de campo (húmedo pero no mojado fangoso, mojado, alrededor del 55% del espacio poroso lleno de agua). La descomposición es lenta a contenidos de humedad que tienen menos de 40% del espacio poroso con agua (apenas húmedo al tacto, pero no seco y polvoriento) y se detiene en los suelos secos (polvorientos, duros y quebradizos al tacto, cerca del punto de marchitez permanente). En suelos saturados se reduce drásticamente, dado que se impide la difusión (movimiento) de oxígeno en un suelo. El oxígeno es necesario para la actividad microbiana (Vigil, 1995).

- Fertilidad del suelo

Stroo y Elliot, citados por Ernst et al. (2002) estudiaron la posibilidad de que la fertilidad del suelo modificara la tasa de descomposición de residuos en superficie trabajando con diferentes cantidades de rastrojo de trigo sobre suelo, no encontraron diferencias significativas entre las tasas de descomposición con contenidos de materia orgánica de entre 1,3% a 3,6%.

La descomposición de rastrojos se enlentece cuando el N del suelo más fertilizante es limitante, pero por encima de determinado nivel, esto deja de tener efecto, por lo que la fertilidad del suelo representa una limitante para la descomposición de rastrojos en superficie solo a niveles muy bajos (Blackmer y Green, citados por Ernst et al., 2002).

#### **2.4.1.3. Tipo de laboreo**

El principal efecto de la labranza es poner el residuo en contacto íntimo con los microorganismos del suelo. Por enterrar los rastrojos de cultivos, la labranza coloca los residuos en un mejor entorno para la actividad microbiana. Debajo de la superficie del suelo la temperatura es más estable con respecto a la superficie.

Los microorganismos debajo de la superficie del suelo están protegidos de los extremos de humedad y temperatura. La interfaz aire- suelo se seca rápidamente durante los meses de verano y puede alcanzar temperaturas superiores a 40°C.

La labranza rompe el rastrojo en partículas más pequeñas, exponiendo una mayor superficie al ataque microbiano (Vigil, 2005).



En condiciones de siembra directa, los residuos agrícolas dejados sobre la superficie del suelo se descomponen más lentamente que cuando son incorporados (Álvarez et al., citados por Santanatoglia, 1995) y éstos no solo son una fuente de nutrientes para las plantas sino que pueden actuar como destino del nitrógeno edáfico disponible cuando se produce inmovilización del nutriente.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL EXPERIMENTAL

Se cuantificó el porcentaje de cobertura de suelo y cantidad de rastrojo presente en 17 sitios representativos de la agricultura de secano y abarcando una diversidad de ambientes edáficos del litoral oeste del Uruguay. Los sitios mencionados están orientados a la producción de grano en condiciones de secano y con un paquete tecnológico que se utiliza sobre los cultivos en la actualidad a nivel comercial. Este paquete tecnológico engloba el sistema de siembra directa, uso de semillas certificadas y/o modificadas genéticamente y un conjunto de insumos y fitosanitarios asociados (herbicidas, insecticidas, fertilizantes, entre otros). En ocasiones se combinan con laboreo reducido.

Están ubicados en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Flores y Soriano (cuadro 5); siendo el ubicado más al sur cercano a la ciudad de Dolores, Soriano; el más al norte cercano a Constanza y el más al este a Guichón, ambos en Paysandú.

Cuadro 5. Ubicación de las chacras muestreadas

Sitio	Coordenadas	Dpto.
1	32°14'4.57"S - 57°52'46.84"O	Paysandú
2	32°14'42.83"S - 57°51'28.27"O	Paysandú
3	32°15'39.51"S - 57°50'53.29"O	Paysandú
4	32°13'58.04"S - 57°20'28.96"O	Paysandú
5	32°13'57.11"S - 57°20'20.27"O	Paysandú
6	32°17'36.34"S - 57°58'39.69"O	Paysandú
7	32°16'50.93"S - 57°58'55.25"O	Paysandú
8	32°16'51.65"S - 57°58'39.90"O	Paysandú
9	32°51'34.12"S - 57°29'14.53"O	Río Negro
10	32°50'7.00"S - 57°28'59.92"O	Río Negro
11	32°49'36.88"S - 57°29'9.78"O	Río Negro
12	32°48'41.02"S - 57°26'19.18"O	Río Negro
13	33°16'46.65"S - 57°17'11.50"O	Flores
14	33°16'59.07"S - 57°17'15.68"O	Flores
15	33°18'41.79"S - 57°14'10.78"O	Flores
16	33°25'10.55"S - 58° 1'6.87"O	Soriano
17	33°32'30.92"S - 58°15'5.51"O	Soriano

### 3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS

En cada sitio se realizaron mediciones en una secuencia topográfica con puntos definidos en las situaciones de ladera Alta, Medio y Baja. En cada punto topográfico se realizó la medición de coberturas contemplando diferentes situaciones que hacen variar la cantidad del rastrojo y cobertura del suelo, como lo son la cola de trilla, la entre cola y zonas intermedias. Obteniendo tres muestras por cada situación de rastrojo/cobertura.

La cobertura de suelo se cuantificó haciendo una lectura visual del porcentaje de cobertura de un cuadrante de 50 cm de lado, subdividido en 25 sub cuadrantes de 10 cm de lado. La medida del cuadrante es un promedio de 25 observaciones individuales. En las figuras 10 y 11 se muestran los cuadrantes utilizados en el procedimiento de muestreo.



Figura 10. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de soja 2a. inmediato a la siembra de canola



Figura 11. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de soja 2a. a los 30 días post siembra de canola

Como las determinaciones dentro de cada posición topográfica no se hicieron al azar (se midió en tres zonas: cola de trilla, entrecola e intermedio), para obtener un valor representativo de la cobertura se ponderó el promedio de cobertura en función de lo que aportaría cada zona en cada posición topográfica. La ponderación se realizó asumiendo un aporte de la cola de trilla del 20% relativo al total y 40% para cada uno de los casos de entrecola e intermedio. Obteniéndose así un único valor de cobertura por cada sitio, promedio de las posiciones topográficas.

Además se midió la cantidad de materia seca de rastrojo presente en el área del cuadrante, discriminando entre suelto y anclado. Adicionalmente a los 30 días post siembra se determinó la materia seca del cultivo en crecimiento. Para el secado de las muestras se llevaron al laboratorio donde permanecieron por 48 horas en estufa a 60°C. Luego se pesaron con balanza electrónica y los valores obtenidos se llevaron a  $\text{Kg.MS.ha}^{-1}$ .

La base de datos comprende determinaciones de la cobertura a la siembra y 30 días post siembra de cultivos de verano 2013, invierno 2014 y verano 2014; abarcando el periodo que va desde el 31/10/2013 hasta el 28/01/15.

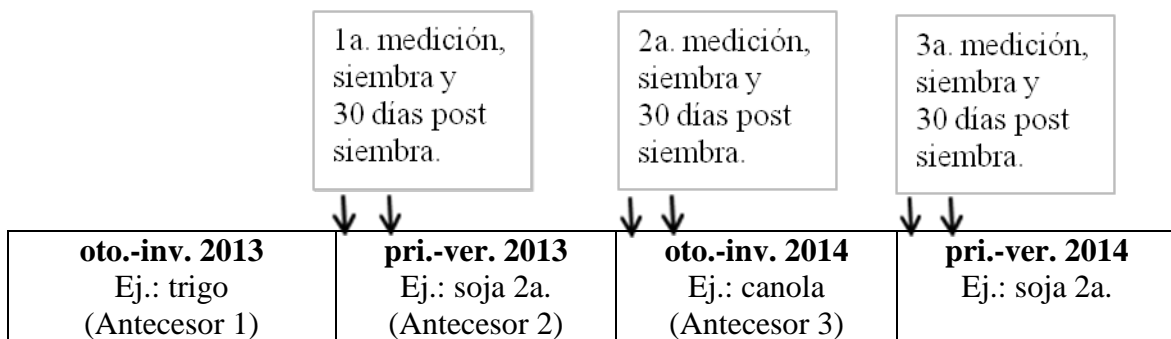


Figura 12. Esquema del período de muestreos

### 3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las variables de respuesta fueron, cobertura del suelo (%) a la siembra en el verano 2014 (Cs3.) y a los 30 días post siembra del cultivo de verano (C303.). Se estudió el efecto cultivo antecesor y su relación con la cobertura lograda en las zafras anteriores.

Se identificaron grupos de chacras con cobertura de suelo similar y suficientemente diferente entre sí, definidas por la evolución de la cobertura del suelo. Para ello se utilizaron todas las determinaciones realizadas en el período, incluyendo cobertura a la siembra y a los 30 días post siembra. Se utilizó el método de conglomerados de Ward y distancia Euclídea. Como se puede ver en la figura 13, si se toma una distancia de forma tal que el resultado sean cuatro grupos, la diferencia entre lo que sería el tercer y cuarto grupo es muy pequeña, razón por la cual se optó por trabajar con tres grupos que se diferencian más claramente; y que además se pueden clasificar como se verá más adelante en niveles alto, medio y bajo de cobertura de suelo.

Una vez definidos los grupos, se realizaron análisis de varianza para la variable cobertura de suelos en las zafras anteriores (zafra 1 y 2) utilizando grupos como variable de clasificación.

Se estudió el efecto de la evolución de la cobertura del suelo definida por la secuencia de cultivos, el efecto antecesor sobre cobertura del suelo en la última zafra (verano 2014) a la siembra y a los 30 días. Como las mediciones de cobertura en cada chacra no se realizaron el mismo día, sino que abarcaron un período relativamente amplio definido por la fecha de cosecha y siembra de los cultivos más la imposibilidad de llegar a todas las chacras en el mismo momento, se aplicó el mismo modelo con y sin los días entre determinaciones como co-variable para Cs3.

Los modelos utilizados fueron del tipo lineal general.

$$Cs_{3ijklm} = rep_i + antcs_{1j} + antcs_{3k} + postop_l + antcs_{3k(j)} + Cs_{1m} + \varepsilon_{ijklm}$$

$$Cs_{3ijklmn} = rep_i + antcs_{1j} + antcs_{3k} + postop_l + antcs_{3k(j)} + Cs_{1m} + diascs_{3t_n} + \varepsilon_{ijklmn}$$

$$C303_{ijklm} = rep_i + antcs_{1j} + antcs_{3k} + postop_l + antcs_{3k(j)} + Cs_{3m} + \varepsilon_{ijklm}$$

$$C303_{ijklm} = rep_i + antcs_{1j} + antcs_{3k} + postop_l + antcs_{3k(j)} + Cs_{3m} + \varepsilon_{ijklm}$$

Dónde:

postop. = Posición topográfica (3 niveles: alto, medio, bajo).

rep. = Lugar de muestreo (3 niveles: cola de trilla, entrecola, intermedio).

antcs1. = Antecesor 1 (3 niveles: barbecho químico de sorgo o maíz (B.Q.S.M.), trigo o cebada (triceb.) y canola).

antcs3. = Antecesor 3 (5 niveles: barbecho químico de soja de primera (B.Q.S.1.), barbecho químico de soja de segunda (B.Q.S.2.), trigo o cebada (triceb.), cobertura, canola). Anidado en antcs1.

Cs1. = Cobertura a la siembra en la zafra 1. Variable numérica. Anidada en antcs1.

Cs3. = Cobertura a la siembra en la zafra 3. Variable numérica.

diascs3t. = Días desde la primera medición

Las variables dependientes fueron:

Cs3. = Cobertura a la siembra en la zafra 3.

C303. = Cobertura a los 30 días de la instalación del cultivo en la zafra 3.

El análisis de los modelos se detallará en la sección siguiente, pero vale aclarar que al incluir la variable días a los modelos, es decir al llevar las medidas al mismo momento en el tiempo, ésta no es significativa. Esto permite trabajar con el modelo que no considera los días y que tiene un coeficiente de determinación más alto ( $R^2$ ). De todas formas se realiza un análisis comparativo entre las pruebas de comparación de medias (Tukey) al corregir por los días en términos agronómicos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS POR CONGLOMERADOS PARA AGRUPAR SITIOS SEGÚN MEDIAS DE COBERTURA

Los 17 sitios se agruparon en 3 conglomerados de chacras definidos por la evolución de la cobertura del suelo (figura 13).

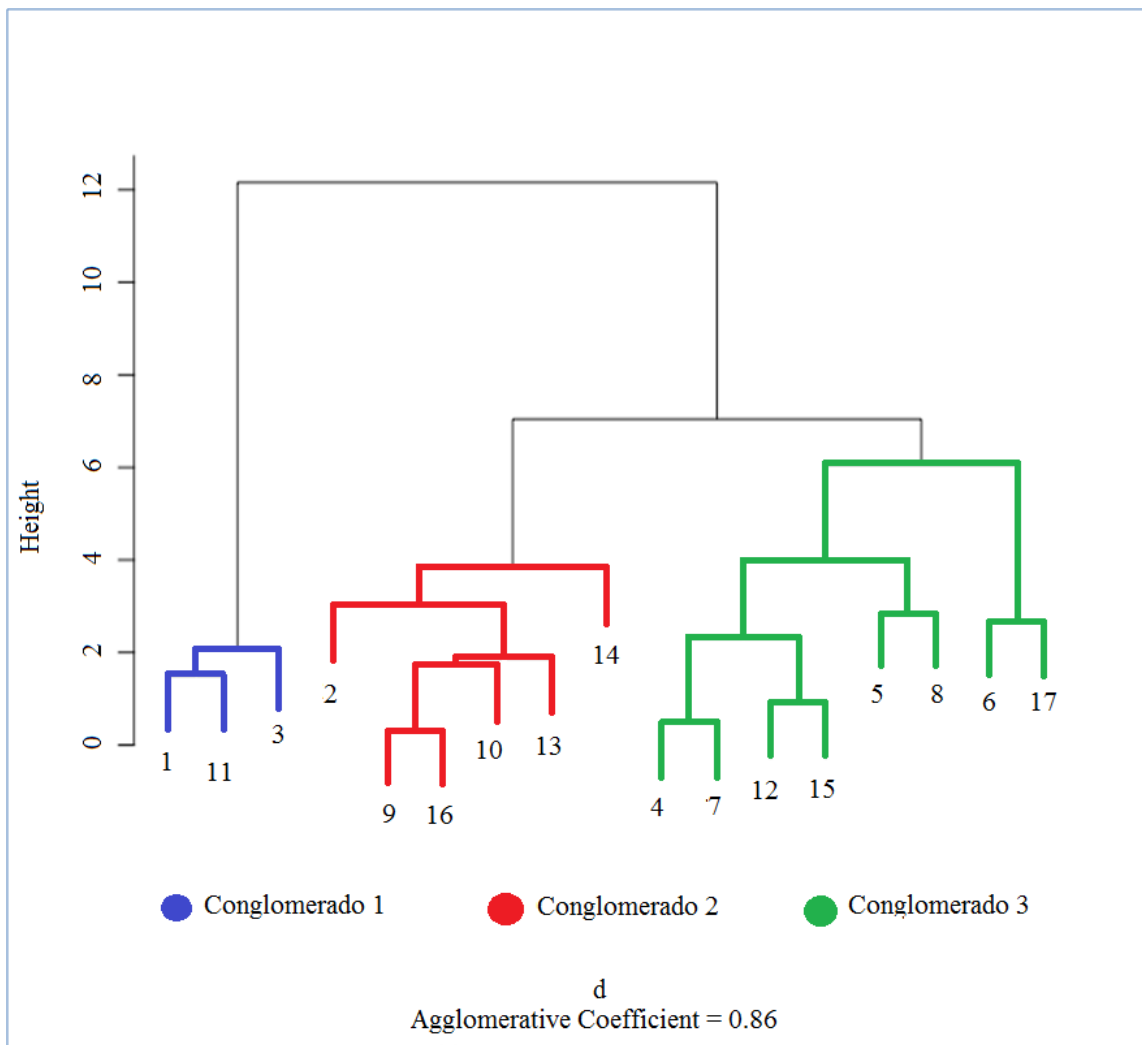


Figura 13. Árbol de conglomerados identificados a partir de la evolución de la cobertura de suelo entre verano 2013 y verano 2014.

La cobertura media del suelo a la siembra de la zafra 3 (Cs3.) y 30 días post siembra (C303.) para cada conglomerado se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Valor medio de porcentaje de cobertura a la siembra y 30 días post siembra de la zafra 3 para cada grupo de conglomerado

Conglomerado	Cs3. pond./sitio	C303. pond./sitio
G1	27	49
G2	91	88
G3	80	77

Nota: G1,G2,G3: conglomerados; Cs3. pond./sitio: cobertura a la siembra de la zafra verano 2014 ponderada por sitio; C303. pond./sitio: cobertura a los 30 días post siembra de la zafra verano 2014 ponderada por sitio. Todas las coberturas son un promedio de los sitios que integran cada conglomerado.

Los sitios que integran el conglomerado G1 presentaron menor valor medio de cobertura a la siembra entre 53 y 64 puntos porcentuales por debajo de los conglomerados G3 y G2 respectivamente.

Esto significa que con algunas secuencias de cultivos se llegó a la siembra de verano 2014 con una cobertura del suelo promedio de 27%, contra más de 80% de cobertura lograda en los G2 y G3. En sistemas de cero laboreo o siembra directa, a la emergencia del cultivo, el porcentaje de la superficie cubierta con residuos del cultivo o pastura anterior debe ser más del 85%.

Esto implica que existen situaciones en siembra directa en que la cobertura del suelo es inferior a lo establecido por Durán y García Préchac (2007), para reducir las pérdidas de suelo por erosión e incluso para considerar como no conservacionista el sistema a pesar de manejarse bajo siembra directa la mayoría de las chacras (Allmaras et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

A los 30 días la cobertura está compuesta por lo que aporta el rastrojo de los cultivos anteriores más la aportada por el cultivo en crecimiento de la zafra 3. En el G1 aún con el crecimiento del cultivo no se logró la cobertura necesaria (70% de cobertura de suelo según Stocking, citado por Durán y García Préchac, 2007) para reducir las pérdidas de suelo por erosión a valores de tolerancia establecidos para los diferentes tipos de suelos. De todas formas el aporte del cultivo en el G1 fue importante. Se puede interpretar de que mientras el cultivo aportó cobertura en situaciones en las que no había suficiente cobertura de suelo (G1), en las situaciones en las que la cobertura por rastrojos es suficiente el cultivo cubre un suelo ya cubierto previamente por el rastrojo. El aporte del cultivo se cuantificó como una disminución de las diferencias entre conglomerados a los 30 días post siembra. Por tanto, cuando se logra una cobertura del suelo por rastrojos



aceptable a la siembra, ésta cumple con el objetivo de proteger el suelo durante el primer mes post siembra y no se hace tan evidente el aporte por el cultivo en crecimiento.

En la figura 14 se puede ver que el conglomerado dos (G2) es el que presenta la mayor media de cobertura además de una baja dispersión en relación al resto, por lo que se puede inferir que son las mejores secuencias en términos de cobertura de suelo.

Por el contrario los sitios pertenecientes al conglomerado 1 (G1) además de presentar valores mínimos de cobertura tanto en el cuartil 25 y 75 presentó una dispersión mayor de los datos lo que da idea de riesgo al tener menor estabilidad los valores de cobertura logrados con esas secuencias, pero que de todas maneras son extremadamente bajos.

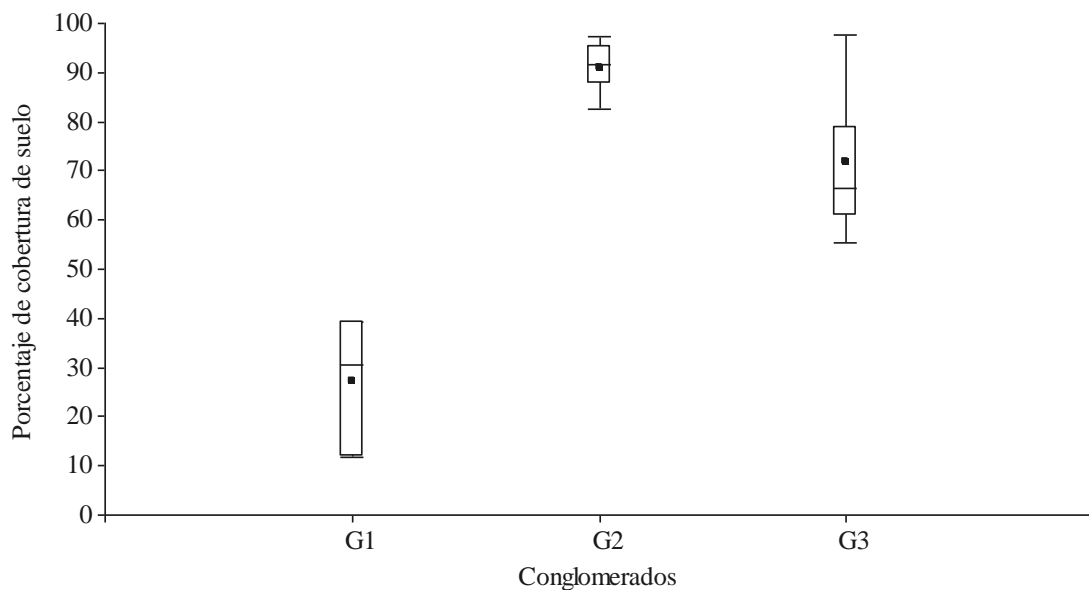


Figura 14. Box plot para cobertura a la siembra de la zafra de verano 2014 (Cs3.), según el conglomerado (G1, G2, G3) al cual correspondan.

En el cuadro 7 se presentan las secuencias de cultivos que dieron origen a los conglomerados, estando estos ordenados según la cobertura promedio en Cs3 (cuadro 6). Dentro de cada grupo el orden de los sitios es según la cobertura promedio del sitio en Cs3., también en orden ascendente.

Cuadro 7. Secuencias de cultivos de cada sitio según conglomerado

Conglomerado	Año	2013	2013	2014	2014
	Periodo	O.I.	P.V.	O.I.	P.V.
	Sitio	COMPONENTES			
G1	1	canola	soja 2da.	B.Q. soja 2da.	soja 1ra.
	11	B.Q. maíz	soja 1ra.	B.Q. soja 1ra.	soja 1ra.
	3	canola	soja 2da.	B.Q. soja 2da.	soja 1ra.
G3	5	B.Q. maíz	soja 1ra.	cobertura	soja 1ra.
	15	B.Q. maíz	soja 1ra.	canola	soja 2da.
	12	trigo	soja 2da.	B.Q. soja 2da.	maíz 1ra.
	4	trigo	soja 2da.	cobertura	soja 1ra.
	7	trigo	soja 2da.	cobertura	soja 1ra.
	8	cebada	soja 2da.	canola	soja 2da.
	6	B.Q. sorgo	soja 1ra.	trigo	soja 2da.
G2	17	canola	soja 2da.	cebada	soja 2da.
	2	trigo	soja 2da.	cobertura	soja 1ra.
	9	B.Q. sorgo	soja 1ra.	trigo	soja 2da.
	16	canola	soja 2da.	cobertura	soja 1ra.
	14	canola	soja 2da.	trigo	maíz 2da.
	10	B.Q. sorgo	soja 1ra.	trigo	soja 2da.
	13	canola	soja 2da.	trigo	maíz 2da.

Nota: G1,G2,G3: conglomerados; O.I.: otoño-invierno; P.V.: primavera-verano; B.Q.: barbecho químico; soja 1ra.: cultivo de soja sembrado luego de un barbecho químico de invierno; soja 2da.: cultivo de soja sembrado luego de un cultivo de invierno.

Los sitios que componen el conglomerado que llegó a la siembra de verano 2014 con menor cobertura de suelo, fueron aquellos que durante uno o ambos inviernos previos estuvieron como barbecho químico, ya sea de soja y/o maíz. En tanto, cuando las secuencias de cultivos incluyeron cultivos de invierno en todos los años, ya sean cereales, canola o cultivos de cobertura, se obtuvieron las mayores coberturas de suelo, estando en todas las mediciones por encima del 80%.

#### 4.2. FACTORES QUE DETERMINAN LA COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DEL CULTIVO DE VERANO 2014

Teniendo en cuenta que en la zafra 2 se sembró soja en todos los casos, se procedió al análisis de la cobertura a la siembra de los antecesores 3 (CS2) para establecer diferencias o no entre chacras. De esta forma si la cobertura al final de esta zafra se mantiene constante, se la puede descartar como variable de clasificación facilitando el análisis de los modelos. Según el análisis del cuadro 8 el antecesor a la siembra de invierno 2014 no fue significativo, por tanto se dedujo que lo que produce cambios en la cobertura del suelo a la siembra de invierno 2014 es el cultivo anterior al Antcs2., es decir el que estuvo en el invierno 2013. Para mejorar el análisis se consideraron las chacras según el antecesor soja de primera o segunda, para lo cual no se hallaron diferencias como se ve en la siguiente prueba de comparación de medias en el cuadro 9.

Cuadro 8. Análisis de la Varianza (SC tipo III) para el antecesor a la siembra de invierno 2014. Alfa=0,05

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F.	p-valor
Modelo.	28,91	1	28,91	0,1	0,7471
Antcs2.	28,91	1	28,91	0,1	0,7471
Error	26819,36	97	276,49		
Total	26848,27	98			

Nota. Antcs2.: antecesor del cultivo de la zafra invierno 2014.

Cuadro 9. Test Tukey Alfa=0,05 DMS=6,66120

Antcs2.	Medias	n	E.E.	*
Soja 2da.	83,39	54	2,26	a
Soja 1ra.	82,3	45	2,48	a

Nota. Antcs2.: antecesor del cultivo de la zafra invierno 2014. Soja 1ra.: cultivo de soja sembrado luego de un barbecho químico de invierno. Soja 2da.: cultivo de soja sembrado luego de un cultivo de invierno. \* filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

#### 4.2.1. Modelo para cobertura a la siembra de la zafra 3

La cobertura a la siembra en la zafra 3 (Cs3.) fue explicada por antcs3. (antecesor inmediato), con efecto anidado en el antecesor 1 (antcs1., antecesor inmediato a la siembra en zafra 1); término altamente significativo p-valor <0,0001, y en menor medida también por el efecto del antecesor 1 (cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes evaluados en el modelo para el porcentaje de suelo cubierto a la siembra de la zafra 3. Alfa= 0.05

Fuente	Valor de F	Pr.>F
Postop.	2,02	0,137
rep.	3,14	0,0463
antcs1.	3,08	0,0492
antcs3(antcs1).	37,11	<0,0001
cs1(antcs1).	1,82	0,1461

Nota. Postop.: posición topográfica. Rep.: repetición. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3(antcs1): antecesor del cultivo de la zafra verano 2014 anidado en el antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Cs1(antcs1): cobertura de suelo a la siembra del cultivo de la zafra verano 2013 anidado en al antecesor del cultivo de la zafra verano 2014.

Se destaca que el valor de la cobertura del suelo a la siembra en la zafra 1 (cs1(antcs1).) no fue significativo, por lo que se puede decir que a la Cs3. ya se perdió el efecto cuantitativo de la cobertura que había en el inicio del experimento. Lo que si fue significativo es la variable cualitativa de tipo de antecesor, aunque con un valor bajo de F. el efecto más importante es el del antecesor inmediato a la siembra de la zafra 3 anidado, es decir según el antecesor 1.

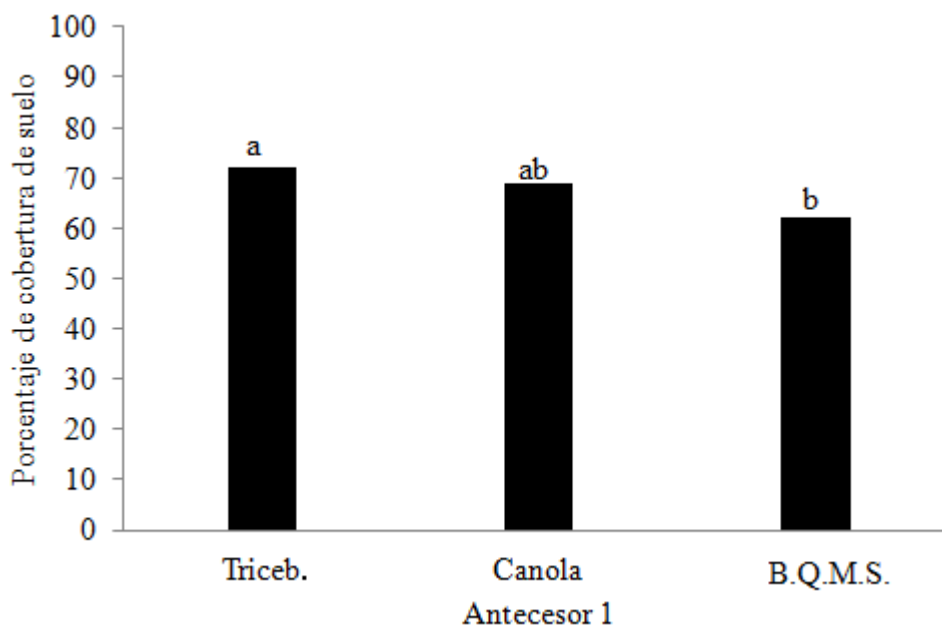
El efecto de la posición topográfica no fue significativo (cuadro 11), por lo que se trabajó con la media quitando la posición topográfica como fuente de variación de la cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 (Cs3.).

Cuadro 11. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 (Cs3.) para la variable posición topográfica

Postop.	Promedio Cs3.	*
Alto	71	a
Bajo	66	a
Medio	65	a

Nota. postop.: posición topográfica. Promedio Cs3.: promedio de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014. \*filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

Las Cs3. se diferenciaron significativamente (figura 15) en las situaciones donde el invierno 2013 tuvo presente el cultivo de trigo o cebada (Triceb.) y también donde hubo barbecho químico de maíz o sorgo (72% contra 62% respectivamente); en cambio cuando en el invierno se sembró canola la cobertura del suelo no se diferenció significativamente de ninguno de los dos.



Nota. Antecesor 1: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Promedio Cs3.: promedio de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014. Triceb.: trigo o cebada. B.Q.M.S.: barbecho químico de maíz o sorgo. \* columnas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

Figura 15. Comparación de medias de Cs3. para la variable antecesor 1

Cuadro 12. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1)

antcs1.	antcs3.	Promedio Cs3.	*	Rango CS3.
canola	triceb.	97	a	96-98
B.Q.M.S.	triceb.	90	a	80-97
canola	cobertura	88	b a	85-91
triceb.	canola	82	b a c	74-83
triceb.	cobertura	73	b c	52-83
B.Q.M.S.	cobertura	64	b c	43-66
B.Q.M.S.	canola	63	c	50-75
triceb.	B.Q.S.2.	60	c	56-69
B.Q.M.S.	B.Q.S.1.	30	d	17-48
canola	B.Q.S.2.	24	d	9-41

Nota. antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2014. Promedio Cs3.: promedio de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014. Triceb.: trigo o cebada. B.Q.M.S.: barbecho químico de maíz o sorgo. B.Q.S.1.: barbecho químico de soja 1a. B.Q.S.2.: barbecho químico de soja 2a. Cobertura: cultivo de cobertura de avena o raygras. Rango CS3.: valor máximo y mínimo de cobertura de suelo obtenido en cada secuencia. \*filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

La menor cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014 se dio en aquellas situaciones de combinación de un cultivo de canola y un barbecho químico de soja en el invierno siguiente. Según datos obtenidos por Ernst et al. (2001) la tasa de descomposición del rastrojo de soja es 2,5 veces mayor que la de maíz y 25% mayor que la de trigo; por lo que esto estaría siendo parte de la razón por la cual las combinaciones donde hay rastrojos de soja son las de menor cobertura promedio.

Cuadro 13. Comparación de medias de cobertura a la siembra del cultivo de verano 2014 (Cs3.) para la variable antecesor 3, anidado en antecesor 1, teniendo en cuenta la variable días de muestro

antes1.	antes3.	Promedio Cs3.	*
canola	triceb.	100	a
B.Q.M.S.	triceb.	94	b a
canola	cobertura	89	b a
triceb.	canola	78	b a c
triceb.	B.Q.S.2.	69	b d c
triceb.	cobertura	67	b d c
B.Q.M.S.	cobertura	64	b d c
B.Q.M.S.	canola	59	d c
canola	B.Q.S.2.	33	d

Nota. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2014. Promedio Cs3.: promedio de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014. Triceb.: trigo o cebada. B.Q.M.S.: barbecho químico de maíz o sorgo. B.Q.S.2.: barbecho químico de soja 2a. Cobertura: cultivo de cobertura de avena o raygras. \* filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

En el análisis anterior (cuadro 13) se incluyó la variable días de muestreo, como ya se expresó no tuvo efecto significativo sobre las coberturas pero sí cambia el ranking de las mismas y las diferencias entre ellas, tendiendo a disminuir las diferencias. Este es el efecto de llevar todas las chacras a un mismo día de siembra cosa que no ocurre en la práctica. Igualmente las chacras que en invierno estuvieron con barbecho químico siguen siendo las que más se diferencian por su menor cobertura de suelo.

#### **4.2.2. Modelo para cobertura a los 30 días post siembra de la zafra 3**

El porcentaje de suelo cubierto a los 30 días post siembra, fue significativamente modificado por Cs3. y el antecesor 3 anidado en el antecesor 1 (cuadro 14).

Cuadro 14. Coeficientes evaluados para el modelo de cobertura a los 30 días post siembra de la zafra 3. Alfa= 0.05

Fuente	Valor de F	Pr.>F
postop.	2,74	0,0698
rep.	7,12	0,0013
antcs1.	1,36	0,261
antcs3(antcs1).	4,77	0,0006
cs3.	14,24	0,0003

Nota. Postop.: posición topográfica. Rep.: repetición. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3(antcs1): antecesor del cultivo de la zafra verano 2014 anidado en el antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Cs3.: cobertura de suelo a la siembra del cultivo de la zafra verano 2014.

El antecesor 1 por sí mismo, que tuvo efecto significativo sobre la cobertura a la siembra (cuadro 10) dejó de ser significativo sobre la cobertura a los 30 días luego de la siembra (cuadro 14).

Las diferencias entre medias de cobertura disminuyeron con respecto a las diferencias que se encontraron a la siembra del cultivo (cuadro 15).

En este caso solo se pueden establecer diferencias entre las chacras que presentan la secuencia canola-trigo, trigo-canola, canola-cebada o cebada-canola y las chacras que dejan barbechos químicos de soja o en secuencias trigo-cobertura.

Cuadro 15. Comparación de medias de cobertura a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1)

antcs1.	antcs3.	Promedio C303.	*	
canola	triceb.	87	a	
triceb.	canola	86	a	
canola	cobertura	85	a	b
triceb.	B.Q.S.2.	76	a	b
B.Q.M.S.	canola	73	a	b
B.Q.M.S.	cobertura	67	a	b
triceb	cobertura	66		b
canola	B.Q.S.2.	60		b

Nota. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2014. Promedio C303.: promedio de cobertura de suelo a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014. Triceb.: trigo o cebada. B.Q.M.S.: barbecho químico de maíz o sorgo. B.Q.S.2.: barbecho químico de soja 2a. Cobertura: cultivo de cobertura de avena o raygras. \* filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).



Cuadro 16. Comparación de medias de cobertura a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014 para la variable antecesor 3 (anidado en antecesor 1), teniendo en cuenta los días de muestreo

antes1.	antcs3.	Promedio C303.	*
triceb.	canola	87	a
canola	triceb.	80	a
canola	cobertura	79	a
B.Q.M.S.	canola	77	a
B.Q.M.S.	cobertura	76	a
triceb.	cobertura	75	a
canola	B.Q.S.2.	65	a
triceb.	B.Q.S.2.	63	a

Nota. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2014. Promedio C303.: promedio de cobertura de suelo a los 30 días post siembra del cultivo de verano 2014. Triceb.: trigo o cebada. B.Q.M.S.: barbecho químico de maíz o sorgo. B.Q.S.2.: barbecho químico de soja 2a. Cobertura: cultivo de cobertura de avena o raygras. \* filas con misma letra no presentaron diferencia significativa (p-valor= 0.05).

Cuando se evaluó la cobertura a los 30 días incluyendo los días de muestreo el resultado es similar a la siembra. Los días no tienen un efecto significativo (ver anexo 1) aunque en la prueba de comparación de medias las diferencias desaparecen, es decir son todas iguales estadísticamente, con lo que podríamos establecer que la etapa crítica es a la siembra en la zafra 3 y no pasados los 30 días de cultivo, donde el crecimiento de los mismos tiende a unificar las situaciones.

#### **4.2.3. Relación entre cobertura de suelo y cantidad de rastrojo**

El conglomerado G1 se diferenció claramente en términos absolutos de los otros dos en cuanto a la cantidad de materia seca total por hectárea presente a la siembra del cultivo 3 (M.S.T.), (cuadro 17). No se puede determinar que las diferencias sean significativas en el análisis estadístico por la falta de repeticiones pero la M.S.T. del primer conglomerado es menos que la mitad de los demás, lo que daría idea de que la materia seca podría estar explicando variaciones en la cobertura del suelo.

Cuadro 17. Promedio de materia seca total por hectárea según conglomerado a la siembra y 30 días post siembra del componente 3

Conglomerado	Cs3. pond./sitio	M.S.T.S.3/sitio (KgMS.ha <sup>-1</sup> )	C303. pond./sitio	M.S.T.303/sitio (KgMS.ha <sup>-1</sup> )
G1	27	2.564	49	3.353
G2	91	10.136	88	7.259
G3	80	6.575	77	7.545

Nota. G1,G2,G3: conglomerados. Cs3. pond./sitio: cobertura a la siembra de la zafra verano 2014 ponderada por sitio. M.S.T.S.3/sitio: materia seca total a la siembra de la zafra verano 2014 por sitio. C303. pond./sitio: cobertura a los 30 días post siembra de la zafra verano 2014 ponderada por sitio. MST303/sitio: materia seca total a los 30 días post siembra de la zafra verano 2014 por sitio.

Cuadro 18. Materia seca total a la siembra y a los 30 días post siembra

Conglomerado	Sitio	M.S.T.S.3 (KgMS.ha <sup>-1</sup> )	M.S.T.303 (KgMS.ha <sup>-1</sup> )
G1	1	690	Sd.
	11	3158	Sd.
	3	3844	3353
G3	5	4327	7693
	15	6398	8194
	12	6157	9078
	4	4774	6905
	7	7669	6684
	8	8499	7072
	6	9187	Sd.
	17	5590	7189
G2	2	5406	6110
	9	9157	Sd.
	16	5296	4506
	14	15091	9661
	10	11697	Sd.
	13	14168	8758

Nota. G1,G2,G3: conglomerados. M.S.T.S.3/sitio: materia seca total a la siembra de la zafra verano 2014 por sitio. MST303/sitio: materia seca total a los 30 días post siembra de la zafra verano 2014 por sitio.

#### 4.2.4. Ajuste de la regresión para la cobertura de suelo y materia seca del rastrojo

El primer ajuste que se intentó fue uno lineal pero los indicadores (BIC y AIC) fueron mejores para la regresión no lineal, más específicamente para un ajuste del tipo monomolecular, donde el crecimiento es decreciente y tendiente a una cota superior con valor de 100%, respondiendo a la siguiente ecuación:

$$Cs3.= 100,5(1-1,08e^{-2,2EXP-4MS})$$

Donde,

Cs3.= porcentaje de cobertura de suelo.

MS.= materia seca de rastrojo promedio por sitio, en kgMS./ha.

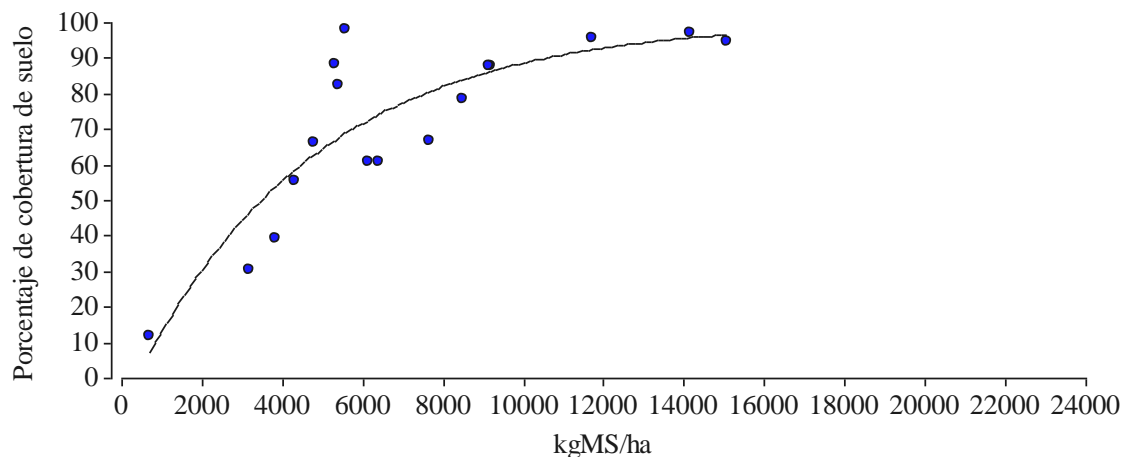


Figura 16. Ajuste de regresión no lineal para porcentaje de cobertura de suelo según cantidad de materia seca acumulada para cada sitio en el momento de la siembra del cultivo de verano 2014 (zafra 3).

La cantidad de materia seca tuvo una interacción positiva con la cantidad de materia seca de residuos acumulada. Los valores de materia seca necesarios para lograr una cobertura de 70% se ubican en el entorno de los 6000 KgMS.ha<sup>-1</sup> y de 7500 KgMS.ha<sup>-1</sup> para lograr un 80%.

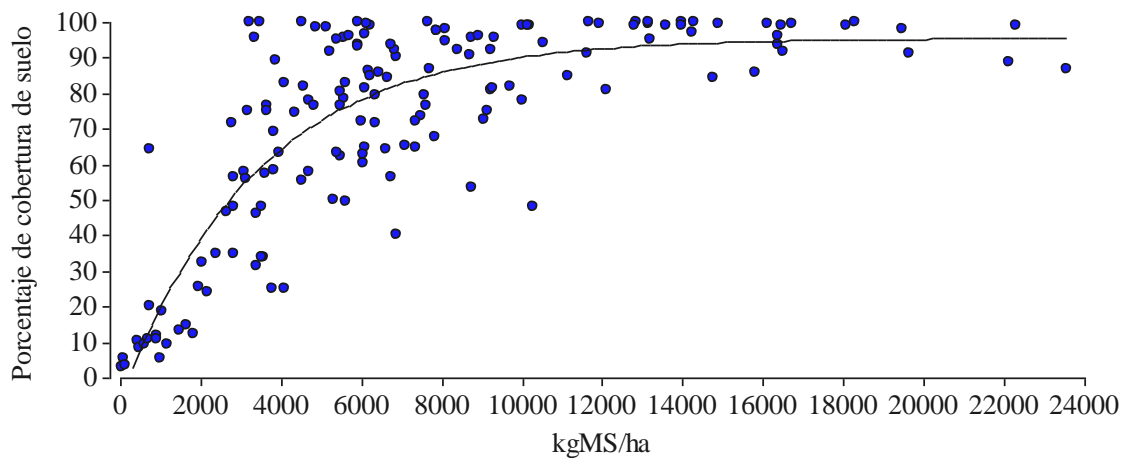


Figura 17 Ajuste de regresión no lineal para porcentaje de cobertura de suelo según cantidad de materia seca acumulada para cada muestra en el momento de la siembra del cultivo de verano 2014 (zafra 3)

Además del ajuste de la regresión para los valores promedio de cobertura de suelo ponderados por sitio, se procedió a un ajuste en función de la materia seca de cada muestra tomada, es decir que no es representativo de la chacra pero si podría utilizarse a fin de ver una relación solamente entre materia seca de rastrojo y cobertura, sin tener en cuenta el sitio o la secuencia.

La ecuación a la cual responde el grafico es la siguiente,

$$Cs3.= 95,6(1-1,05e^{-2,9EXP-4MS})$$

Donde:

Cs3.= porcentaje de cobertura de suelo a la siembra

MS.= materia seca de rastrojo determinada en cada muestra, en Kg/ha.

Cuando se estimó la cantidad de materia seca necesaria para obtener 70 u 80% de cobertura de suelo, los valores fueron inferiores a los obtenidos utilizando el promedio por sitio en 700 y 1000 kg respectivamente (5000 kg para 70% de cobertura de suelo y 6500 para 80%). Aunque si se estima para 85% de cobertura de suelo que es en realidad lo que se espera de la siembra directa el valor de materia seca necesario es de 7800 kgMS./ha, o sea que más allá de las diferencias continúan siendo valores altos de materia seca que es necesario generar con los rastrojos.

## 5. DISCUSIÓN

La cobertura de suelo por rastrojo fue estimada por método visual por cuadrante con el fin de poder asociar la cobertura de suelo a la cantidad de materia seca acumulada en el mismo sitio, utilizando cuadrante de 50x50 cm. con el cometido de comparar los resultados con las opciones de cobertura del suelo ofrecidas en el programa Erosión 6.0, las que fueron estimadas utilizando el método padrón (lineal).

En la figura 18 se muestra la relación encontrada entre el % de cobertura de suelo estimada utilizando el cuadrante de 50x50 centímetros contra la medida en el mismo sitio utilizando el método padrón.

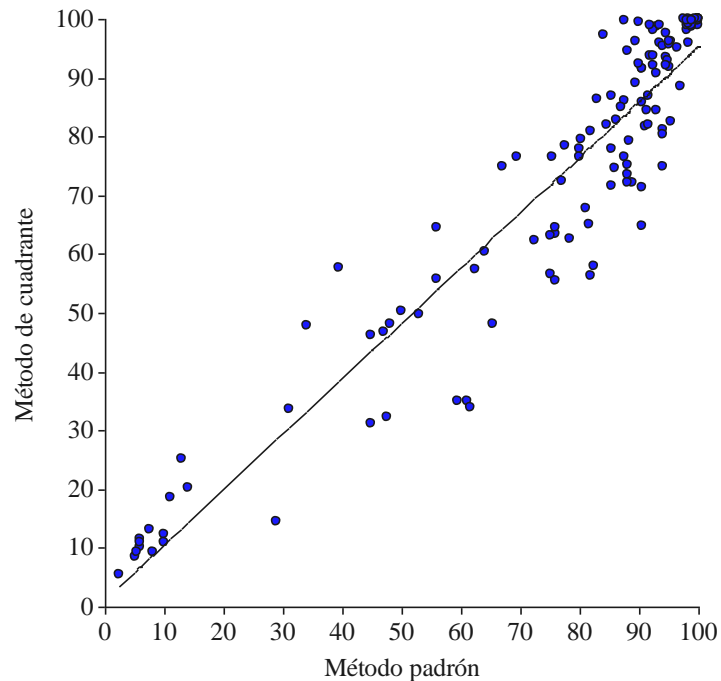


Figura 18. Ajuste de regresión lineal de primer orden entre método de cuadrante y método padrón (lineal)

La correlación es altamente significativa ( $R^2=0,90$ , con un coeficiente de correlación de 0,95), por lo que existe una sobre estimación para valores de cobertura por método métrico menores a 22 y una sub estimación para valores menores a 22. Evidentemente los métodos están correlacionados, por el hecho de tener una pendiente

muy cercana a 1. Entonces, podríamos preferir el método de estimación por cuadrante por la asociación ya descrita con la materia seca acumulada. La zona a evaluar queda bien delimitada en un espacio mayor que cuando estimamos por método lineal (hay que medir centímetro a centímetro la cobertura).

Hay tres tipos de secuencias (sitio 1: canola/soja-barbecho químico de soja /soja; sitio 3: canola/soja- barbecho químico de soja /soja; sitio 11: barbecho químico maíz/soja-barbecho químico soja/ soja) del total de las evaluadas, los sitios 1, 3 y 11, tienen valores por debajo de los necesarios para mantener las pérdidas de suelo dentro de las tolerancias establecidas. Éste grupo de sitios llegaron a la siembra del segundo verano con un promedio de cobertura de 27%, valor que coincide con el manejado en el programa si en este último se considera la mínima producción de residuos. Éstos pueden considerarse sumamente bajos si se tiene presente que el mínimo de cobertura de suelo para reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica a niveles tolerables ronda el 70%.

Las diferencias estarían relacionadas a los valores de cobertura que ofrece el programa en función de los niveles de producción de rastrojos, que están muy por encima de los obtenidos en este trabajo.

La cobertura generada por el rastrojo de soja no se relacionó con su rendimiento ni con la situación de siembra, es decir si es de primera o segunda, pero sí con la materia seca remanente sobre el suelo. Las diferencias radican en los valores manejados en el programa. El mínimo valor de producción de materia seca al momento de la siembra ofrecido en el programa es de 2600 kgMS.ha<sup>-1</sup>, sin embargo en las observaciones se obtuvieron valores de hasta 690 kgMS.ha<sup>-1</sup>. Además, para alcanzar el 70% de cobertura del suelo serían necesarios como mínimo unos 6000 KgMS.ha<sup>-1</sup> al momento de la siembra, mientras que en el programa con 6000 KgMS.ha<sup>-1</sup> se establece un valor mínimo de 90% de cobertura de suelo. Sin embargo, para valores bajos de rastrojo las diferencias no son tan marcadas.

Otra de las particularidades del sistema es que no tiene valores para el cultivo de canola, aunque se utilicen los datos de soja en su lugar, podría ser de utilidad un estudio más exhaustivo sobre la cobertura producida por el cultivo de canola.

Las coberturas generadas por secuencias que presenten algún barbecho químico durante algún invierno no llegan a valores aceptables desde el punto de vista de la conservación de los suelos, sin diferencias entre los cultivos que compongan el barbecho. Es decir que aunque sean de maíz o sorgo los valores son bajos.

Para los casos que parten de un barbecho químico de maíz o sorgo, no hay problemas en hacer soja dos veranos seguidos si se ha mantenido el suelo con cultivo o cobertura durante el invierno siguiente.

Otra de las consideraciones a destacar es que si fijamos un 70% como valor crítico de cobertura de suelo, las secuencias con barbechos químicos de sorgo generaron valores aceptables mientras que las que tuvieron barbecho químico de maíz no llegaron al valor fijado.

Si además de las consideraciones ya explicitadas tenemos en cuenta que la práctica de siembra directa requiere mantener el suelo cubierto con valores por encima del 85%, vemos que más allá de que se está sembrando sin laboreo y tomando como válido los coeficientes y relaciones encontradas, en muchos casos las coberturas de suelo son muy bajas. Si miramos el G1, no sólo es el de menores valores sino que contiene las secuencias más representativas a nivel nacional y en este grupo en el mejor de los casos se llega a un nivel de cobertura de suelo que determinaría un laboreo conservacionista, lejos de lo que sería siembra directa.

## 6. CONCLUSIONES

- Con las estimaciones de coberturas de suelo realizadas, por método visual, se pudieron diferenciar tres grupos de chacras en base a la cobertura del suelo a la siembra de soja, la que varió entre 12 y 98% dependiendo del cultivo antecesor inmediato. Estas diferencias se redujeron a los 30 días pos siembra, explicado por la creciente importancia del cultivo en la determinación de la cobertura.

- Las chacras integrantes del G1 tuvieron una cobertura del suelo a la siembra inferior a la establecida como valor crítico para control de la erosión hídrica. Si bien la situación mejoró con el crecimiento de la soja, la cobertura a los 30 días pos siembra se mantuvo por debajo del valor objetivo. En tanto cuando se logró una cobertura aceptable a la siembra, ésta cumplió con el objetivo de proteger el suelo durante el primer mes post siembra, quitándole importancia al aporte por el cultivo en crecimiento.

- Las secuencias de cultivos que incluyeron el barbecho químico de soja durante el invierno, previo a la siembra de soja, independientemente del resto de los componentes de la secuencia, lograron en promedio 27% de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014. Específicamente, la menor cobertura de suelo a la siembra del cultivo de verano 2014 (24%) se dio en la combinación de un cultivo de canola-soja, barbecho químico invernal.

- Las secuencias de cultivos que incluyeron un cultivo de invierno, sea éste cereal, canola o cultivo de cobertura, lograron en promedio un 80% (64 a 100%) del suelo cubierto al momento de la siembra del cultivo de verano 2014.

- En definitiva el uso del suelo en los dos inviernos previos fue determinante del valor promedio de cobertura de suelo a la siembra de soja 2014. Si bien no se estableció una relación entre el rendimiento en grano de los cultivos y la cobertura del suelo que generan, sería necesario producir un valor crítico de  $6000 \text{ kg.ha}^{-1}$  de materia seca de rastrojo sobre el suelo, a lograr con la secuencia de cultivos, para asegurar 70% de cobertura de suelo.

- En comparación a los valores manejados en el programa Erosión 6.0, se vio que para valores bajos de producción de residuos, las coberturas de suelo que ofrece son similares a las obtenidas en el trabajo; en cambio se establecieron diferencias para valores medios y altos de producción de residuos donde el programa sobrestima la cobertura de suelo ofrecida por los mismos.



## **7. RESUMEN**

Según la normativa vigente del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca los planes de uso y manejo responsable del suelo deben establecer rotaciones o secuencias que presenten pérdidas dentro de la tolerancia de cada suelo. Para la estimación de las pérdidas de suelo se utiliza actualmente el software informático Erosión 6.0, el cual utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), que tiene en cuenta factores propios del suelo y de manejo. Dentro de estos últimos el factor C (cobertura de suelo) aparece como el más determinante dentro de los que se pueden modificar por el hombre, es decir que la cobertura producida por los cultivos en crecimiento y la que dejaron los cultivos antecesores es lo que en mayor medida puede disminuir la erosión hídrica de los suelos. La información para establecer la cobertura del suelo que se utiliza actualmente proviene de fuentes variadas, mayoritariamente para sistemas con laboreo, manejo de cultivos diferenciales y potenciales productivos menores. Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar valores promedios de porcentaje de cobertura de suelo generados en diferentes secuencias agrícolas durante el período invierno 2013 a verano 2014 en chacras comerciales y conocer su variación en relación a los componentes de la secuencia, rendimiento de grano y materia seca acumulada. Para ello se cuantificó el porcentaje de cobertura de suelo y cantidad de rastrojo al momento de la siembra y 30 días post siembra en 17 sitios, abarcando una diversidad de ambientes edáficos del litoral del Uruguay y en un lapso de tiempo que va desde el 31/10/2013 hasta el 28/01/15. En cada sitio se realizaron nueve mediciones, tres en cada posición topográfica contemplando diferentes situaciones que hacen variar la cantidad del rastrojo y cobertura del suelo. Además se determinó la materia seca de rastrojo presente en el área del cuadrante, discriminando entre suelto y anclado, incluyendo la materia seca del cultivo en crecimiento a los 30 días post siembra. El trabajo se centró en la evolución de la cobertura de cada secuencia, más allá de los valores puntuales al momento de la siembra de cada cultivo. Las secuencias de cultivos que dejan barbecho químico de soja e incluso algunas secuencias con barbecho químico de maíz o sorgo durante el invierno no generan una cobertura satisfactoria al momento de la siembra de verano luego de tres cultivos antecesores. Como factor más determinante de la cobertura se vio al cultivo antecesor inmediato, aunque también los resultados de cobertura son definidos por los cultivos anteriores en las secuencias. Cualquier situación en la que se deje barbecho químico durante el invierno no genera la cobertura que se estima es la mínima para reducir las pérdidas de suelo dentro de los límites de tolerancia. Los resultados obtenidos fueron independientes del rendimiento de los cultivos, en cambio la relación es directa con la cantidad de materia seca de rastrojo.

Palabras clave: Cobertura de suelo; Erosión; Descomposición de rastrojo.

## 8. SUMMARY

According to the existing regulations of the Ministerio de Ganaderia, Agricultura y Pesca, the plans of responsible use and soil management should establish rotations or sequences that show soil losses equal or below the maximum tolerable soil loss. For the estimation of soil losses, it is used nowadays the informatic software "Erosion 6.0", which employs the Universal Soil Loss Equation (USLE), that takes into account specific factors of use and management of the soil. The C factor (soil cover) appears as the most determinant factor from those that can be modified by human beings, that is to say that the cover produced by the growing crops or the one left by the predecessors, is what in further can explain the reduction of the hydric erosion of soils. The information used to establish soil cover comes from several sources, mostly for production systems that use tillage, differentiated crops management and less production potentials. This work was made under the aim of the determination of the average values of the soil cover percentages generated in different agricultural sequences during the period between winter 2013 and summer 2014 in commercial farms, and learn their variations in relation to the sequence components, grain yield and accumulated dry material. To achieve this, it was quantified the soil cover percentage and the amount of stubble at the moment of the sowing and 30 days after, in 17 places, covering a wide variety of edaphic environments in the littoral of Uruguay, in a period of time between 31/10/2013 to 28/01/15. Nine measurements were made in each place, which were divided in three groups for each topographic position, contemplating different situations that cause changes in the amount of stubble and soil cover. Furthermore, it was calculated the dry matter contained in the stubble of the quadrant area, making differences between loose and anchored, including the growing crop's dry matter on the 30 days after seedtime. The work was focused on the evolution of each sequence's cover, beyond the punctual values at the time of planting each crop. The crop sequences that leave chemical fallow of soybean, and even the one left by some corn or sorghum sequences during winter, do not produce a satisfactory cover at summer sowing, after three previous crops. The most important factor that explains the soil cover was the immediate previous crop, although the cover results are also defined by more previous crops in the sequences. Any situation that leave chemical fallow during winter, does not produce the minimal cover that it is required to reduce the soil losses within the limits of tolerance. The results obtained were independent from the crop's yield, but it is directly related to the amount of dry matter contained in the crop stubble.

Keywords: Soil coverage; Erosion; Stubble decomposition.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1990. Conservação do solo. Piracicaba, São Paulo, Icone. 355 p.
2. Borges Pérez, R. 2001. Descomposición de rastrojos de trigo, soja y maíz sobre el suelo en secuencia de cultivos sembrados sin laboreo con y sin rotación de pasturas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 65 p.
3. Clérici, C.; García Préchac, F. 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.
4. Dumanski, J.; Smyth, A. 1994. The sigues and challenges of sustainable land management. In: International Workshop on Sustainable Land Management for the 21<sup>st</sup>. Century (1994, Alberta, CA). Proceedings. Ottawa, Agricultural Institute of Canada. s.p.
5. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v.2, cap. 3, 229 p.
6. Ernst, O.; Bentancur, O.; Borges, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo; trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia* (Montevideo). 6(1): 20-26.
7. \_\_\_\_\_; Siri Prieto, G. 2013. Pérdida de calidad del suelo como factor limitante del rendimiento en el largo plazo. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (3<sup>o</sup>.,2013, Paysandú). No se llega, si no se sabe a dónde ir. Paysandú, Facultad de Agronomía. Grupo Interdisciplinario Agricultura. pp.159-166.
8. García Préchac, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos. Montevideo, INIA. 63 p. (Serie Técnica no. 26).
9. \_\_\_\_\_. 2009. La erosión en la agricultura de Uruguay. In: Simposio Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo; Impactos y Propuestas (2009, Montevideo). Resúmenes expandidos. Montevideo, INIA. pp. 29-30 (Actividades de Difusión no. 587).

10. Kumar, K.; Goh, K. M. 1999. Crop residues and management practices; effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*. 68: 197-319.
11. Larson, W.; Pierce, F. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. ed. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America. pp. 37-52.
12. Lupwayi, N.; Clayton, G.; O'Donovan, J.; Harker, K.; Turkington, T.; Rice, W. 2004. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science (Canadá)*. 84: 403–410.
13. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. In: Díaz Rosselló, R. ed. *Siembra directa en el cono Sur*. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 387-405.
14. Rouanet, J. 2005. Rotación de cultivos y sus beneficios para la agricultura del sur. Santiago, Fundación Chile. 91 p.
15. Santanatoglia, O.; Álvarez, R.; Barbero, N.; Russo, M. 1994. Descomposición de la cobertura de rastrojo y evolución de su contenido de nitrógeno en el doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo (Buenos Aires)*. 12(2): 63-67.
16. Studdent, G.; Domínguez, G.; Agostini, M. 2009. Labranzas y rotaciones para un uso sustentable de los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. In: Simposio Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo; Impactos y Propuestas (2009, Montevideo). Resúmenes expandidos. Montevideo, INIA. pp. 61-67 (Actividades de Difusión no. 587).
17. Tuyapanta, J. 1993. La erosión hídrica; procesos, factores y formas. Santa Catalina, INIAP. pp. 2-7.
18. Varela, M.; Scianca, C.; Taboada, M.; Rubio, G. 2014. Cover crop effects on soybean residue decomposition and P release in no-tillage systems of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 143: 59-66.
19. Vigil, M. 1995. Factors affecting the rate of crop residue decomposition under field conditions. USDA. Conservation Tillage Fact Sheet. no.3: s.p.

## 10. ANEXOS

### 1.1. ANEXO 1. MODELOS PARA COBERTURA A LA SIEMBRA Y 30 DÍAS POST SIEMBRA TENIENDO EN CUENTA LOS DÍAS

Al incluir al modelo los días desde la primera medición se puede ver que estos no afectaron significativamente los resultados obtenidos, como se ve en los cuadros 1 y 2, en la fuente de variación díascs3t. y díascs30t. el p-valor es mayor al F en ambos casos.

Cuadro 1. Modelo para cobertura a la siembra de la zafra 3 ajustado por los días al primer muestreo

Fuente	Valor de F	Pr.>F
postop.	2,12	0,1244
rep.	7,84	0,0006
antcs1.	5,75	0,0041
antcs3(antcs1).	25,79	<0,0001
cs1(antcs1).	3,48	0,0182
díascs3t.	1,23	0,2699

Nota. Postop.: posición topográfica. Rep.: repetición. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3(antcs1): antecesor del cultivo de la zafra verano 2014 anidado en el antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Cs1(antcs1): cobertura de suelo a la siembra del cultivo de la zafra verano 2013 anidado en el antecesor del cultivo de la zafra verano 2014. Díascs3t.: días desde la primera medición hasta la siembra del cultivo de la zafra de verano 2014.

Cuadro 2. Modelo para cobertura 30 días post siembra de la zafra 3 ajustado por los días al primer muestreo

Fuente	Valor de F	Pr.>F
postop.	2,75	0,0694
rep.	7,2	0,0012
antcs1.	0,05	0,9492
antcs3(antcs1).	2,42	0,0414
cs3.	15,06	0,0002
días303t.	2,46	0,1199

Nota. Postop.: posición topográfica. Rep.: repetición. Antcs1.: antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Antcs3(antcs1): antecesor del cultivo de la zafra verano 2014 anidado en el antecesor del cultivo de la zafra verano 2013. Cs3.: Cobertura a la siembra de la zafra verano 2014. Días303t.: días desde la primera medición hasta 30 días post siembra del cultivo de la zafra de verano 2014.

**1.2. ANEXO 2. AJUSTE DE REGRESIÓN PARA LA COBERTURA EN FUNCIÓN DE LA MATERIA SECA.**

Cuadro 3. Análisis de regresión no lineal

Variable	N	C.M. Error	Sigma	A.I.C.	B.I.C.	Interacción
CS3.	17	184,61	13,59	141,65	144,99	2

Cuadro 4. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val. ini.	Estimación	E.E,	T	p-valor
ALFA	-1E30	1E30	97,81	100,59	11,72	8,58	<0,0001
BETA	-1E30	1E30	1,0E-03	1,08	0,19	5,83	<0,0001
GAMMA	-1E30	1E30	1,0E-03	2,2E-04	7,7E-05	2,85	0,0128