

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DETERMINACIÓN DE COBERTURA DEL SUELO DURANTE EL PERÍODO I
(MODELO EROSIÓN 6.0) PARA CULTIVOS DE SOJA SEMBRADOS LUEGO
DE DISTINTOS ANTECESORES**

por

**Facundo LIORI RIVARA
José Ignacio SAPRIZA SHAW**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2015**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Oswaldo Ernst Benech

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. MSc Gonzalo Ferreira

Fecha: 28 de mayo de 2015

Autores:

Facundo Liori Rivara

José Ignacio Sapriza Shaw

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 así como en el análisis de los datos.

Al ingeniero agrónomo Carlos Clérico por brindarnos su apoyo y colaboración.

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

A productores y personal de los establecimientos visitados por abrirnos las puertas y dejarnos realizar este trabajo.

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

Al Lic. en Traducción Pública Joaquín Rodríguez Massobrio por realizar la traducción del resumen.

A familiares y amigos por el apoyo brindado a lo largo de toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS</u>	3
2.2. <u>MODELO USLE/RUSLE, ADAPTACIÓN Y VALIDACIÓN EN URUGUAY</u> ...	5
2.2.1. <u>Estructura del modelo</u>	6
2.2.2. <u>Factor C (uso y manejo)</u>	7
2.2.3. <u>Cobertura del suelo</u>	9
2.2.4. <u>Estimación de la RPS en la nueva versión RUSLE</u>	12
2.2.4.1. Subfactor cobertura vegetal	14
2.2.4.2. Subfactor cobertura por residuos.....	15
2.3. <u>APLICACIÓN EROSIÓN 6.0</u>	18
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	21
3.1. <u>LOCALIZACIÓN</u>	21
3.1.1. <u>Trabajo de campo</u>	22
3.2. <u>DETERMINACIONES</u>	23
3.2.1. <u>Datos climáticos y rendimiento de cultivo antecesor</u>	23

3.2.2. <u>Variables continuas</u>	23
3.2.2.1. Cobertura de suelo	23
3.2.2.2. Materia seca de rastrojo acumulado y de cultivo	23
3.3. ANÁLISIS DE DATOS	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1. COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA	26
4.1.1. <u>Descripción por zona y antecesor</u>	27
4.1.2. <u>Variables determinantes de la cobertura del suelo a la siembra de soja</u>	29
4.1.2.1. Determinación de la cantidad de rastrojo suelto en la entre cola y zona intermedia	32
4.1.3. <u>Ajuste del modelo</u>	33
4.2. COBERTURA DEL SUELO AL FIN DEL PERÍODO I.....	37
4.3. COMPARACIÓN DE VALORES DE COBERTURA OBSERVADOS A SIEMBRA CON LOS PROPUESTOS POR EL PROGRAMA EROSIÓN 6.0.....	41
4.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA PARA LOS CULTIVOS ANALIZADOS	43
5. <u>CONCLUSIONES</u>	45
6. <u>RESUMEN</u>	46
7. <u>SUMMARY</u>	47
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48
9. <u>ANEXOS</u>	50

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Valores típicos de cobertura por el canopeo para diferentes cultivos en función de los días a partir de la siembra	14
2. Valores típicos del sub factor cobertura por residuos para los cultivos más comunes.	15
3. Cantidad de residuos (kg.MS.ha. ⁻¹) según diferentes niveles de cobertura en porcentaje para diferentes cultivos	17
4. Características de las chacras muestreadas	21
5. Medidas de resumen a la siembra del cultivo de soja	26
6. Análisis de la varianza (SC tipo III) para cobertura del suelo generada por antecesores de invierno a la siembra del cultivo de soja según posición topográfica y zona muestreada.....	27
7. Test de mínima diferencia significativa (LSD Fisher) para cultivos de invierno a la siembra, Alfa= 0,05; DMS= 9,80412	28
8. Descripción de los valores de cobertura del suelo agrupados por zona y antecesor a siembra	29
9. Estimación de parámetros para el modelo de regresión no lineal en CANOLA.....	37
10. Estimación de parámetros para el modelo de regresión no lineal en cereales de invierno	37
11. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal simple en sorgo/maíz.....	37
12. Medidas de resumen fin del período I.....	38
13. Descripción por zona muestreada y antecesor al fin del período I	42
14. Valores ofrecidos por el programa vs observados de cobertura a siembra según el rendimiento medio e índice de cosecha teórico del cultivo antecesor...	43
15. Ejemplo de cálculo de cobertura media generada por CANOLA y cereales de invierno	45

Figura No.

1. Representación esquemática del proceso de erosión.....	4
2. 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.....	9
3. 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.....	10
4. Relación entre cobertura de suelo por residuos y reducción de pérdida de suelo.....	11
5. Efecto de la cobertura por residuos y valores de b en el sub factor cobertura por residuos para superficies lisas.....	16
6. Erosión relativa en función de la cobertura del suelo (cuadrante I) y relación entre cobertura de suelo y rendimiento del rastrojo de un cultivo de maíz en Meso América (cuadrante II).....	17
7. Relación del peso del residuo con el porcentaje de cobertura de la superficie del suelo para varios cultivos.....	18
8. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de trigo luego de la siembra.....	22
9. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de trigo al fin del período I.....	23
10. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en CANOLA.....	30
11. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en cereales de invierno.....	31
12. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en sorgo/maíz.....	32
13. Árbol de regresión y clasificación para rastrojo suelto en la entre cola y zona intermedia.....	33
14. Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo suelto para CANOLA = $[-16 + (0,02 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6040) + (0,02 * 6040) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6040)]$	34

- 15.** Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo
suelto para cereales de invierno = $[36 + (0,01 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6440) + (0,01 * 6440) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6440)]$ 35
- 16.** Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo
anclado para sorgo/maíz = $[4E-3X + 70]$ 36
- 17.** Árbol de regresión y clasificación para cobertura de suelo al fin del
período I para CANOLA, cereales de invierno y sorgo/maíz..... 40

1. INTRODUCCIÓN

Considerando las tendencias demográficas actuales y el crecimiento de la población mundial previsto para el año 2050, que superará las 9000 millones de personas (FAO, 2014), el suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo socioeconómico, pues constituye un factor fundamental para el suministro de alimentos, agua, energía y materias primas. Es por ello la necesidad de mantener su productividad a través de un adecuado uso y manejo y con la implementación de prácticas agrícolas apropiadas, que resulten en un desarrollo sustentable del mismo dado que el suelo es un recurso natural no renovable en la producción agropecuaria.

La tasa actual de degradación del suelo pondrá en duda la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades básicas, siendo la erosión hídrica la principal vía de degradación en Uruguay (Do Prado y Da Veiga, 1994).

Un modelo para estimar la erosión del suelo fue desarrollado en Estados Unidos (Wischmeier y Smith, citados por García Préchac, 1992), la Ecuación Universal de pérdida de suelo, USLE por su sigla en inglés (Universal Soil Loss Equation). En Uruguay, técnicos del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y becarios del IICA, instalaron una red de parcelas de escurrimiento para la adaptación de algunos parámetros y validación del modelo en nuestras condiciones (García Préchac, 1992).

A los efectos de abordar esta problemática en el país, las autoridades competentes establecieron una serie de normas técnicas basadas en la ley No. 15.239, sus Decretos Reglamentarios No. 333/04 del 16 de setiembre de 2004, No.405/08 del 21 de agosto de 2008 - Uso Responsable y Sostenible de los Suelos y Ley No. 18.564 del 11 de setiembre de 2009 - Conservación, Uso y Manejo Adecuado de las Aguas. En el artículo 5° del Decreto 405/2008 el MGAP exige a través de esta normativa la presentación de planes de uso y manejo responsable del suelo, tomando en cuenta el sistema de producción proyectado, la pérdida por erosión tolerable, la secuencia de cultivos y las prácticas de manejo.

En la elaboración del plan de uso y manejo responsable del suelo y a efectos de estimar las pérdidas por erosión se utiliza el programa Erosión 6.0 (García Préchac et al., 2009), el cual utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo como modelo

de base. Éste permite estimar la erosión mediante una serie de factores, de los cuales el factor C (uso y manejo), es afectado exclusivamente por las diferentes prácticas agronómicas, modificando por tanto la pérdida de suelo por erosión. Dentro de éste, en un sistema de siembra directa la cobertura del suelo es el subfactor más importante en la relación de pérdida de suelo (RPS) en reducir la erosión hídrica en los periodos de cultivo 0 y 1 del modelo (Durán y García Préchac, 2007).

La cobertura de suelo es una variable de entrada en el modelo que tiene un alto impacto en la erosión estimada. Los valores disponibles en el modelo, en su mayoría, no fueron generados en el país ni para la tecnología de producción actual, que incluye agricultura continua en siembra directa. Además no se disponen de valores de cobertura para algunos antecesores ni para cobertura residual de cultivos previos.

El objetivo de estudio del presente trabajo es establecer relaciones causales para variaciones en la cobertura del suelo para un mismo antecesor y relacionar el rendimiento de éste con el porcentaje de suelo cubierto y comenzar a generar una base de datos para el porcentaje de suelo cubierto en el período I para cultivos de soja sembrados luego de distintos antecesores. Esta tesis se enmarca dentro de un convenio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República junto con la división de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca para generar información acerca de los parámetros utilizados en las herramientas de apoyo a la planificación sustentable del uso del suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS

Según Durán y García Préchac (2007) la erosión es la pérdida del material del suelo en un lugar concreto del paisaje. Consiste en el desprendimiento y arrastre de partículas del suelo debido a la acción del agua en movimiento (erosión hídrica) o por acción del viento (erosión eólica). Por lo tanto, al ocurrir erosión en una parte ocurre deposición o sedimentación en otras. En Uruguay, predomina el agua como agente de erosión y transporte, por lo que el proceso de erosión y sedimentación ocurre dentro de cuencas hidrográficas. La misma puede tener origen natural (erosión geológica) o antrópica (erosión acelerada).

La erosión antrópica o acelerada es la perceptible a escala humana y es la aceleración del ritmo de erosión respecto a su ritmo natural (erosión geológica), como resultado de la actividad humana (Wolman, citado por Durán y García Préchac, 2007). La misma se produce al alterarse la vegetación natural para realizar agricultura, determinando un cambio en el factor biótico de formación del suelo.

Son tres los procesos fundamentales de la erosión hídrica: desagregación, transporte y deposición (Foster et al., Rose, citados por Durán y García Préchac, 2007). El primero ocurre debido al impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y sus agregados. Una gran proporción de la energía cinética contenida en las gotas de lluvia, es la encargada de romper las uniones entre partículas del suelo y otra parte se disipa en el proceso de salpicado, dando origen al proceso de transporte. Cuando la tasa de infiltración es menor a la intensidad de lluvia, se produce escurrimiento superficial que también causa desagregación y es a su vez el principal agente de transporte del material desagregado. Si la energía del escurrimiento es menor a la requerida para transportar una determinada masa de partículas, se produce la sedimentación. Esto ocurre generalmente en las partes bajas de las pendientes, debido a la menor inclinación, lo que quita velocidad al escurrimiento.

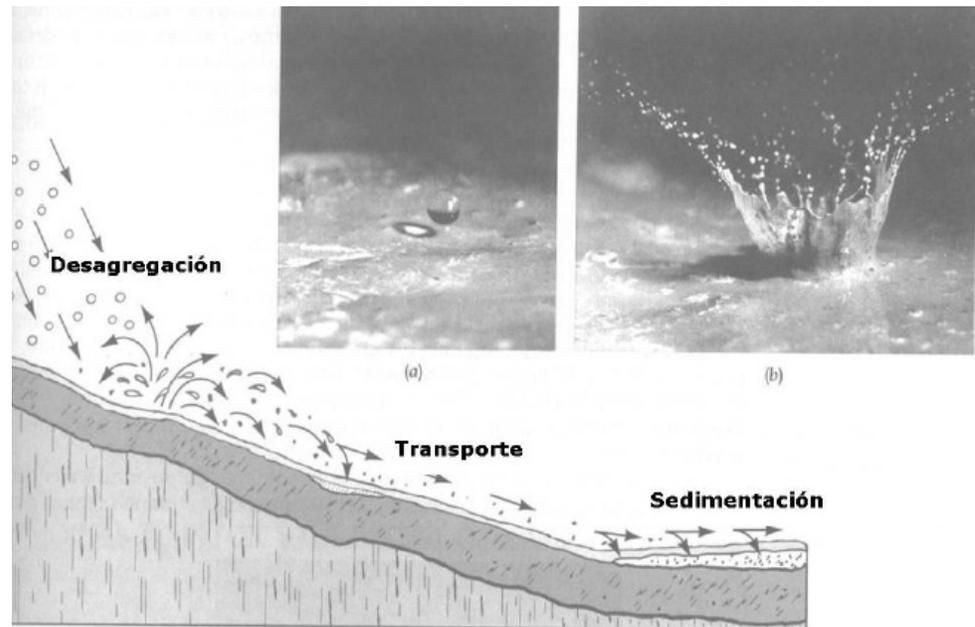


Figura No. 1. Representación esquemática del proceso de erosión (Fuente: tomado de Brady y Weil, 2002).

Actualmente, el estudio y la modelación de la erosión diferencian dos categorías de erosión hídrica (a escala de laderas uniformes): encauzada y no encauzada. La primera comprende la erosión en canalículos, pequeños surcos y surcos (Rill Erosion), mientras que la segunda abarca prácticamente la Erosión Laminar (Interill Erosion) que ocurre cuando el suelo pierde una capa uniforme de espesor en toda su superficie. Ésta es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que, al principio, es casi imperceptible y solo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado la intensidad del uso del suelo.

Por degradación se entiende al cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por procesos físicos, químicos y/o biológicos, lo que provoca variaciones en el nivel de fertilidad y consecuentemente en la capacidad del mismo para sostener el crecimiento de las plantas, debido fundamentalmente a la disminución del contenido de materia orgánica.

Las tres principales causas de pérdida de materia orgánica son: la erosión, ya que al erosionarse el suelo pierde materia orgánica debido a que los agentes erosivos actúan sobre la superficie, la cual la contiene en mayor contenido que los horizontes inferiores; en segundo lugar, lo más frecuente cuando se realiza agricultura, es que el balance entre aporte y extracción de biomasa al suelo sea negativo, disminuyendo la materia orgánica aun sin ocurrir erosión y en tercer lugar, en sistemas convencionales que utilizan laboreo, aumenta mucho la oxidación biológica de la materia orgánica del

suelo. Por lo anterior, la materia orgánica es el principal indicador de la calidad del suelo (Durán y García Préchac, 2007).

Según FAO (1986), el peligro de erosión es uno de los factores que más limitan la producción agrícola y las posibilidades de aprovechamiento de la tierra.

La creciente necesidad de aumentar la producción alimentaria y reconociendo la suprema importancia de los suelos para la supervivencia y el bienestar de los pueblos, es absolutamente necesario promover el óptimo uso de las tierras, el mantenimiento y el mejoramiento de la productividad de los suelos y la conservación de los recursos edafológicos (FAO, 1983).

2.2. MODELO USLE/RUSLE, ADAPTACIÓN Y VALIDACIÓN EN URUGUAY

Debido a la importancia de la erosión de suelos en nuestro país se validó un modelo que permite la estimación de la misma y comprende los factores principales que intervienen en dicho proceso: erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, pendiente (longitud y gradiente), factor uso y manejo y prácticas mecánicas de apoyo.

La utilización del modelo permite la toma de decisiones a diferentes niveles y una correcta planificación del uso del suelo a escala predial, generando a priori la estimación de pérdida de suelo por erosión que ocurriría de implementarse el uso y manejo propuesto, y así poder seleccionar el que garantice la sostenibilidad del recurso suelo.

Desde su publicación original, la USLE fue utilizada en todo el mundo (Hudson, citado por García Préchac, 1992), evidenciándose su principal limitación, originada en su carácter empírico. Su aplicación, en base a las guías de Wischmeier y Smith, está limitada a los rangos de variación de climas, suelos y sistemas de uso y manejo de los que se obtuvo la información experimental.

El modelo USLE/RUSLE estima tasas de erosión para diferentes combinaciones de localidad-suelo-topografía-uso y manejo. Su primera versión se publicó en el año 1960 (Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac, 2007) y se continuó con esta línea de investigación que finalizó con la publicación de la versión revisada del modelo, RUSLE (Renard et al., citados por Durán y García Préchac, 2007). Ésta nueva versión es la principal herramienta oficial para el cumplimiento de la legislación de conservación de suelos por erosión en Estados Unidos. En Uruguay se han incorporado los avances de la RUSLE en dos de los cinco factores del modelo original, por lo que nos referimos a él como USLE/RUSLE (Clérici y García Préchac, 2001).

Desde el comienzo de la década del ochenta y hasta la fecha se han realizado avances para adaptar y validar el modelo en Uruguay y en la región sur de la cuenca del Río de la Plata (García Préchac, García Préchac et al., citados por Clérici y García Préchac, 2001). Participaron en el proceso la Dirección de Suelos, la División Uso y Manejo del Agua del MGAP, la Estación Experimental La Estanzuela del Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (actual INIA) y la Facultad de Agronomía-UDELAR.

La División Uso y Manejo del Agua con apoyo del ICCA – Organización de los Estados Americanos (OEA), obtuvo información nacional sobre el factor R (erosividad de la lluvia) del modelo (Rovira et al., Pannone et al., citados por Durán y García Préchac, 2007). En la actualidad se cuenta con información que abarca todo el territorio nacional, el estado de Río Grande do Sul de Brasil y algunas provincias Argentinas reunidas en un mapa de isoerodentas (Clérici y García Préchac, García Préchac et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

La Dirección de Suelos obtuvo información nacional sobre la erodabilidad de los suelos del Uruguay, factor K (Puentes, citado por Durán y García Préchac, 2007). Los valores del factor C (uso y manejo) resultaron a priori de seleccionar en la bibliografía internacional valores de sistemas de uso y manejo comparables a los de nuestro país (Puentes, García y Baetghen, García, Puentes y Szogi, citados por Durán y García Préchac, 2007). A posteriori se generaron valores para los principales sistemas de producción del Uruguay (García Préchac et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

En el 2008 se agregó el efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE. Es así que se logró corregir la sobreestimación de pérdida de suelo respecto a resultados experimentales, comprobándose una mejora en la estimación a través del cambio en la pendiente de la regresión entre valores estimados y medidos, que paso de 1,21 a 0,99 y el aumento de 0,93 a 0,97 en el coeficiente de correlación. De esta forma se pasó de una sobreestimación de la erosión del 25 % a una ligera subestimación del orden de 4% (Hill et al., 2008).

2.2.1. Estructura del modelo

El modelo presentado por Wischmeier y Smith, citados por García Préchac (1992) es el siguiente:

$A=R.K.L.S.C.P$, donde

A= Pérdida de suelo por unidad de superficie; expresado en toneladas o megagramos por hectárea y por año ($Mg.ha^{-1}.año^{-1}$).

R= Factor erosividad de la lluvia; es el producto acumulado para el período de interés (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 unidades simplificadas en términos de energía cinética por unidad de superficie son joule por hectárea ($J.ha^{-1}$) (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 erosividad de la lluvia ($Mg.J^{-1}$, según simplificación propuesta por Troeh et al., citados por Durán y García Préchac, 2007), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo con laboreo secundario a favor de la pendiente (9% de gradiente y 22,1 m de longitud).

Los demás factores son adimensionales:

L= Factor longitud de la pendiente; es la relación entre la pérdida de suelo con una longitud de pendiente determinada y la que ocurre con una de 22,1 m (condición estándar), a igualdad de los demás factores.

S= Factor gradiente de la pendiente; es la relación entre la pérdida de suelo con un gradiente de pendiente dado y la que ocurre con un gradiente estándar de 9%, a igualdad de los demás factores.

C= Factor uso y manejo; es la relación de pérdida de erosión de un suelo con un uso y manejo dado y la que ocurre con el mismo suelo puesto en las condiciones en que se definió el factor K, a igualdad de los demás factores.

P= Factor práctica mecánica de apoyo; es la relación entre la pérdida de suelo con una práctica mecánica dada y la que ocurre en condiciones de laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores.

2.2.2. Factor C (uso y manejo)

Conforme con Renard et al., citados por García Préchac (1992), éste es el factor más importante del modelo, porque incorpora el efecto combinado de condiciones o variables que pueden ser manipuladas con mayor facilidad para controlar la erosión. Es la relación entre la pérdida de suelo (RPS) que ocurre con un uso y manejo concreto del suelo y la que sucede con el mismo suelo desnudo pronto para una siembra convencional (condición estándar que define $C=1,0$).

La versión revisada del modelo, RUSLE, incluye un procedimiento para obtener el valor del factor C a través de cinco variables: cobertura del suelo por residuos de la vegetación previa, cobertura por parte aérea del cultivo, rugosidad

superficial al azar, contenido de biomasa en descomposición en los primeros 10 cm del suelo y contenido de agua en el suelo (Clérici y García Préchac, 2001).

Las variables que determinan la RPS varían a lo largo del ciclo del cultivo, varían más a lo largo del tiempo de un sistema de rotación de cultivos y mucho más aún a lo largo de los años de una rotación de cultivos y pasturas. Para un cultivo determinado esas variables cambian con el sistema de manejo del suelo y del cultivo. Por lo tanto, el valor del factor C debe ser un promedio ponderado de esos efectos, de los valores de RPS que lo determinan en el tiempo. Para una rotación, es la sumatoria del producto de la RPS de cada período de cultivos y pasturas de la misma, por la proporción del factor R que es de esperar en cada uno de estos, dividido el número de años en que se efectúa la rotación.

El efecto del manejo de los rastrojos dependerá de su volumen físico. La protección debido a la parte aérea de la vegetación no depende únicamente de sus características específicas, su población y crecimiento, sino también del momento que se considere. Por tanto, dicho efecto depende, en gran magnitud, de la erosividad de las lluvias que ocurren cuando la vegetación y el manejo brindan menos protección al suelo (García Préchac, 1992).

La información con que se desarrolló el modelo llevó a evidenciar que la cobertura del suelo tiene alta efectividad en reducir la erosión, determinando que la pérdida de suelo sea menor en un suelo cultivado en relación a un suelo desnudo y laboreado a favor de la pendiente. Esto llevó a definir cinco períodos del ciclo del cultivo, donde la cobertura es relativamente homogénea (Wischmeier y Smith, citados por García Préchac, 1992):

Período 0 ó F: barbecho rugoso; desde arada con volteo hasta comienzo del afinamiento.

Período 1: siembra y emergencia; comienzo del afinamiento hasta un mes luego de la siembra.

Período 2: establecimiento; fin del período anterior hasta el segundo mes luego de la siembra.

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

Período 4: rastrojo; desde la cosecha hasta la siguiente arada con volteo o siembra (cuando se realiza siembra directa o laboreo reducido).

En el modelo de Wischmeier y Smith, citados por García Préchac (1992) se definen 6 períodos en función del porcentaje de suelo cubierto por el cultivo, lo que

permite una evaluación más precisa ya que contempla efectos de manejo. En las guías o aproximaciones publicadas para el uso del modelo en Uruguay se ha optado por las definiciones Wischmeier y Smith, citados por García Préchac (1992).

2.2.3. Cobertura del suelo

Según la altura de caída de las gotas interceptadas por el follaje hasta el suelo, como se observa en la figura No. 2, el porcentaje de suelo cubierto tiene un marcado efecto de reducción de la erosión. Con 0,5 m de altura de goteo, el incremento de cobertura de 20 a 80% disminuye la erosión en alrededor de 50% (García Préchac, 1992).

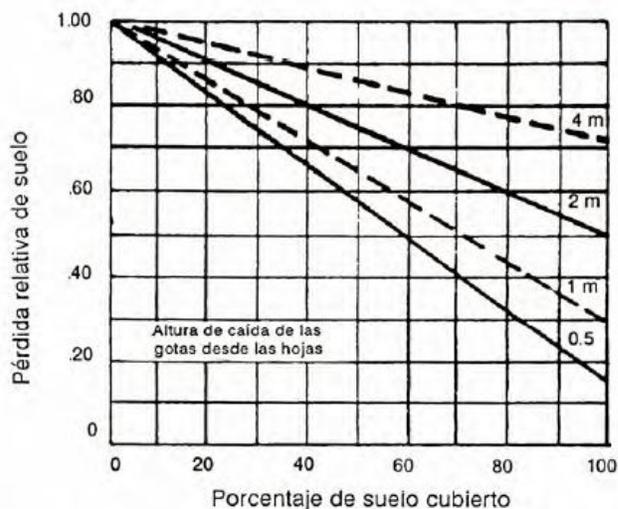


Figura No. 2. Disminución de la erosión debido a la cobertura por la parte aérea de la vegetación en función de la altura de goteo desde la vegetación al suelo (Fuente: Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac, 2007).

El impacto de las gotas de lluvia, cuando el suelo está cubierto, es absorbido por la cobertura. Existe información experimental que explica el efecto de la cobertura por vegetación viva o muerta en reducir la erosión (Stocking, citado por Durán y García Préchac, 2007). No obstante, dicho efecto depende de la altura de la vegetación, ya que una parte de la lluvia interceptada desliza por la misma y vuelve a caer al suelo, causando erosión (Wischmeier y Smith, citados por Durán y García Préchac, 2007). Las gotas alcanzan su velocidad terminal con 8 a 9 m de caída libre, lo que provoca que la vegetación corta ofrezca mayor protección al suelo, como pasturas y residuos contra el suelo (Durán y García Préchac, 2007).

Debido a la importancia de la cobertura contra el suelo como agente regulador de la erosión, especialmente en los periodos en que el suelo no tiene cultivos

creciendo, aparecieron los conceptos de laboreo conservacionista y no laboreo o siembra directa. Por laboreo conservacionista se entiende al que mantiene al menos una cobertura del 30% de la superficie con residuos (principalmente de maíz) en los periodos sin cultivos (Allmaras et al., citados por Durán y García Préchac, 2007). En siembra directa, el porcentaje de suelo cubierto por residuos de vegetación previa es habitualmente mayor al 80% y en la mayoría de los casos del orden del 90% (Durán y García Préchac, 2007).

En la figura No. 3 se aprecia que la cobertura por residuos vegetales sobre la superficie, al igual que la de la parte aérea, tiene un importante efecto en reducir las pérdidas de suelo por erosión. Los efectos se sustituyen, ya que la variación de algún tipo de cobertura no tiene prácticamente efecto cuando la otra tiene un valor alto.

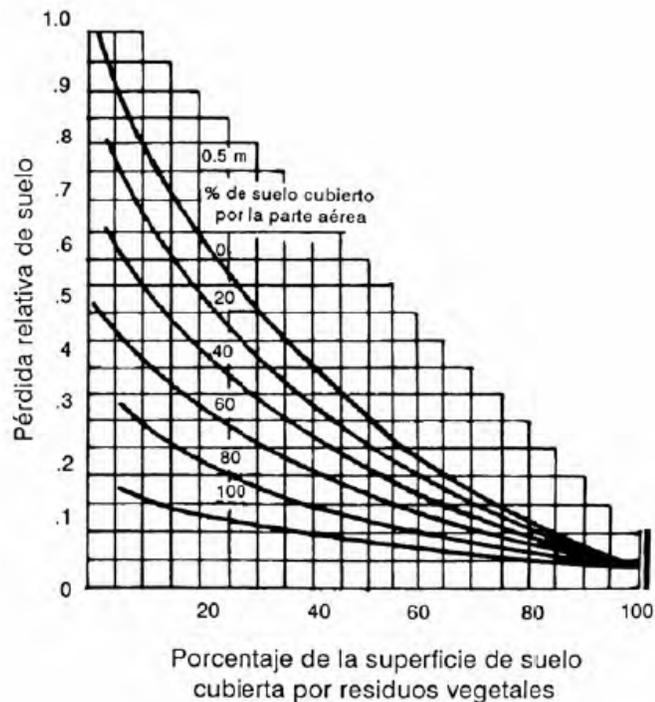


Figura No. 3. Efecto de cobertura de la parte aérea de la vegetación y de residuos vegetales sobre la superficie en las pérdidas de suelo con 0,5m de altura de goteo de la vegetación al suelo (Fuente: Wischmeier y Smith, citados por García Préchac, 1992).

La siguiente figura permite apreciar que el efecto de la cobertura reduce la erosión en gran magnitud en el rango bajo de valores, disminuyendo el efecto por encima de 60-70 % de la superficie de suelo cubierta por residuos vegetales (Stocking, citado por García Préchac, 1992). Por lo tanto a mayor porcentaje de suelo cubierto

por residuos vegetales y parte aérea del cultivo, menor será la pérdida relativa de suelo.

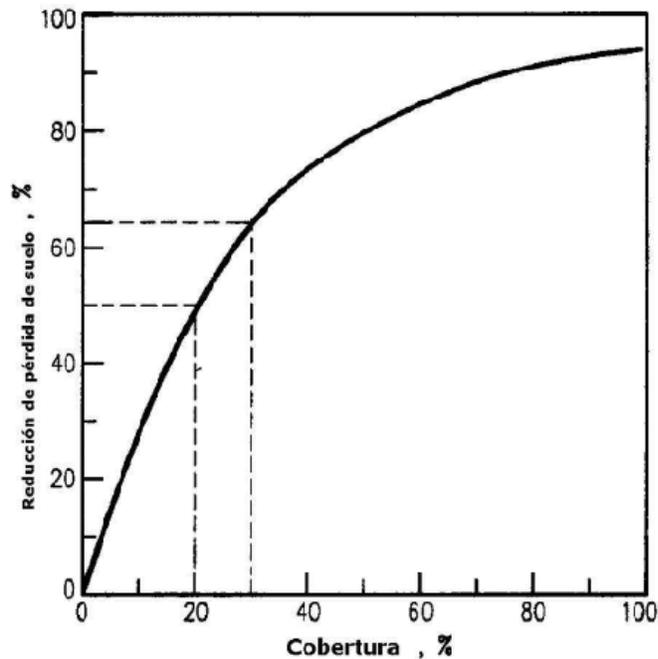


Figura No. 4. Relación entre cobertura de suelo por residuos y reducción de pérdida de suelo (Fuente: Shelton et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

Es sabido el efecto de la cantidad de residuos en descomposición en la capa superficial del suelo como agente reductor de la erosión. La misma contribuye, a través de los productos de la descomposición, en la formación de fuertes uniones entre las partículas del suelo, formando agregados que resisten el golpeteo de la lluvia. Sin embargo el efecto es de escasa duración si se lo compara con la materia orgánica humificada. Por consiguiente cuanto mayor sea la cantidad de biomasa en descomposición en el suelo menor será su erodabilidad, disminuyendo así las pérdidas por erosión (Durán y García Préchac, 2007).

Otro factor de control de la erodabilidad a través de las variables afectadas por el uso y manejo del suelo, además de la cobertura por residuos cerca de la superficie del suelo y la cantidad de residuos en descomposición, es la rugosidad de la superficie. Ésta, independientemente de su magnitud, puede estar ordenada o al azar.

La rugosidad al azar es la que se estima que dejan las operaciones de laboreo y se define como la desviación típica de las elevaciones superficiales del suelo, sin considerar los cambios debidos a la pendiente del terreno, ni las huellas que puedan dejar ciertos implementos de laboreo (Porta Casanellas et al., citados por Durán y

García Préchac, 2007). La misma se forma naturalmente por diversos factores ambientales en el suelo, que se diferencian en los elementos de diferentes tamaños que forman la rugosidad, desde partículas individuales hasta agregados.

La rugosidad superficial es uno de los factores que influye significativamente la erosión a la que se ve sometido el suelo. La misma reduce la velocidad de escorrentía y disminuye el arrastre y transporte de partículas por erosión hídrica, incrementando o restaurando el contenido de agua de los suelos y por lo tanto, la disponibilidad de agua para las plantas al mejorar la estructura de los mismos. Asimismo, puesto que las superficies con mayor rugosidad tardan más en encostrarse, mejoran la capacidad de infiltración del agua (Cogo et al., citados por García Préchac, 1992). Este tipo de efecto ha sido incorporado en la RUSLE.

Durán y García Préchac (2007) estudiaron mediante un análisis de sensibilidad en la versión más reciente del modelo, los efectos de los 3 factores de manejo agronómico considerado por el mismo. Dicho estudio demostró que la cobertura cerca de la superficie del suelo es el principal factor de control de la erosión, con 3 veces menos efecto le sigue la biomasa en descomposición, posteriormente la cobertura aérea (4 veces menos efecto) y por último la rugosidad (5 veces menos efecto). Esto ratifica el valor de conservación de la cobertura permanente cercana al suelo por vegetación viva (como las pasturas) o muerta (en siembra directa).

De todas las prácticas posibles de conservación de suelos, según Kirby y Morgan, citados por Durán y García Préchac (2007), la cobertura del suelo es la que puede ejercer un alto grado de control sobre todos los procesos de la erosión hídrica. El efecto de la fertilización de cultivos promueve una más rápida y mayor cobertura por la parte aérea; evitando el golpeteo de las gotas de lluvia contra el suelo y cultivos más densos son también un obstáculo mayor al escurrimiento superficial.

2.2.4. Estimación de la RPS en la nueva versión RUSLE

La nueva versión RUSLE contiene un algoritmo para estimar valores de RPS, el cual fue utilizado en nuestro país para obtener valores locales de RPS. El cálculo de la RPS se realiza en base a varios subfactores ($RPS=UP.CV.CR.R.CA$), donde UP evalúa el efecto del uso previo del suelo, CV evalúa el efecto de la cobertura vegetal, CR evalúa la cobertura por residuos, R evalúa el efecto rugosidad y CA evalúa el efecto contenido de agua del suelo (Durán y García Préchac, 2007).

Para la descripción del cálculo de la estimación de la RPS, se citarán frases textuales pertenecientes a García Préchac (1992) dado que son descripciones absolutamente técnicas.

$$1) UP = DEN. (IV + RA.T). EXP[(-0,00053).RS],$$

Donde: DEN: Depende de la densidad de la superficie (1,0 inmediatamente después de la arada, luego comienza disminución exponencial hasta 0,45 a los 7 años; los valores que se sugieren usar se pueden tomar del trabajo de Dissmeyer y Foster, citados por García Préchac (1992). (IV + RA.T): Toda esta función evalúa efectos de cultivos o usos anteriores. El valor inicial, IV, es la relación entre la erosión para el caso concreto en algún período crítico y para el uso normal en cultivos. RA es la tasa de cambio de ese efecto con el tiempo T. Esta función es usada para modelar los menores valores de erosión que se observan luego de pasturas (Wischmeier, citado por García Préchac, 1992). Para este caso, IV = 0,3 y RA = 0,7/24 (meses⁻¹). Este efecto residual de las pasturas comienza en el momento de destrucción de la misma. RS es la masa de raíces vivas y residuos en los primeros 10 a 12 cm de suelo (García Préchac, 1992).

$$2) CV = 1 - FV \cdot \text{EXP} [(-0,1) \cdot H];$$

FV (fracción de la superficie cubierta por la parte aérea de la vegetación) (Stocking, citado por García Préchac, 1992) y H (altura de goteo de la lluvia interceptada por la parte aérea de la vegetación, aproximadamente a la mitad de la altura de la vegetación).

$$3) CR = \text{EXP} \{-b \cdot RC \cdot [6 / (6 + RG)]^{0,08}\},$$

Donde: b: indica la efectividad de la cobertura por residuos en reducir la erosión (Laflen et al., citados por García Préchac, 1992) encontraron valores de b entre 0,03 y 0,07 para cultivos en hilera (Dickey et al., citados por García Préchac, 1992) encontraron valores de b entre 0,024 y 0,032 para cereales de invierno (Norton et al., citados por García Préchac, 1992), encontraron valores alrededor de 0,03 para el promedio de diferentes sistemas de laboreo, pero encontraron que el valor de b estaba alrededor de 0,05 en no laboreo (siembra directa). Renard et al., citados por García Préchac (1992) dicen que b puede tomar valores de 0,025, el más típico de 0,035, ó 0,05 para casos especiales. RC (porcentaje de la superficie cubierta por residuos) (Hartwig y Laflen, citados por García Préchac, 1992). $RG = \{(25 \cdot 4 \cdot RB - 6) [1 - \text{EXP}(-0,0015 \cdot RS)]\} \cdot [\text{EXP}(-0,14 \cdot RN)]$, donde: RB (rugosidad al azar) (USDA. ARS, citados por García Préchac, 1992) y RS (masa de raíces vivas y residuos en los primeros 10 a 12 cm del suelo). RN: lluvia desde el último laboreo (en pulgadas).

$$4) R = \text{EXP}(-0,026 \cdot RG) \text{ RG ya fue definido.}$$

Éstos parámetros ya fueron definidos en el párrafo anterior.

5) CA = 1,0 si el suelo tiene un contenido de agua mayor o igual a capacidad de campo hasta 1,5 m. CA = 0,0 si el contenido de agua es menor o igual al punto de

marchitez permanente hasta 1 ,5 m. Entre ambos extremos se interpola linealmente (García Préchac, 1992).

En base a la RUSLE en Estados Unidos se realizó un programa en computadora para estimar la pérdida de suelo, el mismo contiene una base de datos de los diferentes cultivos para calcular la pérdida de suelo, el usuario ingresa las características del cultivo, las características y cantidad de residuos. El programa contiene también como opción, diferentes operaciones mecánicas de laboreo, que modifican la vegetación y los residuos, las cuales impactan en los subfactores antes mencionados. Los datos de cobertura tanto de residuos como de cobertura vegetal para el programa erosión 6.0, son los utilizados por el modelo RUSLE en Estados Unidos, algunos valores de cobertura fueron generados con RUSLE en el proyecto PRENADER No. 34 en nuestro país, cuyos valores fueron 95, 90 y 85 por ciento de suelo cubierto por los residuos luego de la siembra en un sistema de siembra directa (García Préchac et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

2.2.4.1. Sub factor cobertura vegetal

Los valores del siguiente cuadro son utilizados para calcular factor FV en el programa de suelos de los Estados Unidos. Se puede ver como aumenta la cobertura del suelo por parte del canopeo en función del tiempo transcurrido después de la siembra para diferentes cultivos.

Cuadro No. 1. Valores típicos de cobertura por el canopeo para diferentes cultivos en función de los días a partir de la siembra.

Días después de la siembra	Superficie del suelo cubierta por el canopeo (%)			
	Maíz	Soja	Algodón	Sorgo
15	5	5	5	5
30	10	20	15	10
45	50	40	35	50
60	80	70	55	80
75	100	100	85	100

Fuente: adaptado de Yoder et al. (1997).

2.2.4.2. Sub factor cobertura por residuos

En el siguiente cuadro se muestran los valores utilizados en el modelo RUSLE para el cálculo del sub factor cobertura por residuos, vemos como el α (relación entre masa y cobertura por residuos) para los diferentes cultivos varía según el cultivo que se trate, donde para una misma masa, un cultivo de maíz cubre menos superficie de suelo que un cultivo de trigo, lo cual también lo podemos ver en la cantidad de masa de residuos que se necesitan para cubrir el 30 % de la superficie del suelo (sistema de laboreo conservacionista).

En la primera columna se puede observar como los cultivos de trigo, soja y girasol, son los que dejan mayor rastrojo para un mismo rendimiento en grano (menor índice de cosecha), estos son también los que cubren mayor superficie de suelo para una misma cantidad de masa, pero como contrapartida son los que tienen menores rendimientos en grano, a diferencia de las gramíneas C4 como maíz y sorgo.

Cuadro No. 2. Valores típicos del sub factor cobertura por residuos para los cultivos más comunes.

Cultivo	Residuo /rend. ratio*	Sup. p**	α *** (ha.kg ⁻¹)	Residuo 30% cobertura **** (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento	D.H ***** *	Pob. ***** (plantas. ha ⁻¹)
Maíz	1,00	0,016	0,000043	1065	8160 kg.ha ⁻¹	30	61.776
Sorgo	1,00	0,016	0,000040	1,121	4080 kg.ha ⁻¹	30	101.313
Soja	1,50	0,025	0,000066	672	2556 kg.ha ⁻¹	30	271.815
Girasol	1,50	0,016	0,000027	1,681	1,233 kg.ha ⁻¹	30	49.421
Trigo(primavera)	1,30	0,008	0,000066	672	2018 kg.ha ⁻¹	7	2.199.238
Trigo(inverno)	1,70	0,008	0,000066	672	3026 kg.ha ⁻¹	7	2.199.238

* Cantidad de residuo en relación a la cantidad de rendimiento en grano del cultivo. ** Es una constante que muestra la velocidad de descomposición de los residuos, al no haber suficientes datos para diferenciar entre superficial y subsuperficial se utiliza la misma constante para ambos. *** Es la relación entre la masa de un residuo y la cobertura por parte del mismo. **** La masa que se requiere para cubrir un 30% de la superficie, le corresponde un valor de α . ***** Distancia entre hileras. ***** Población de plantas.

Fuente: adaptado de Yoder et al. (1997).

En la figura No. 5 se observa la relación entre el sub factor cobertura por residuos y el porcentaje de superficie cubierta por residuos para diferentes valores del coeficiente b.

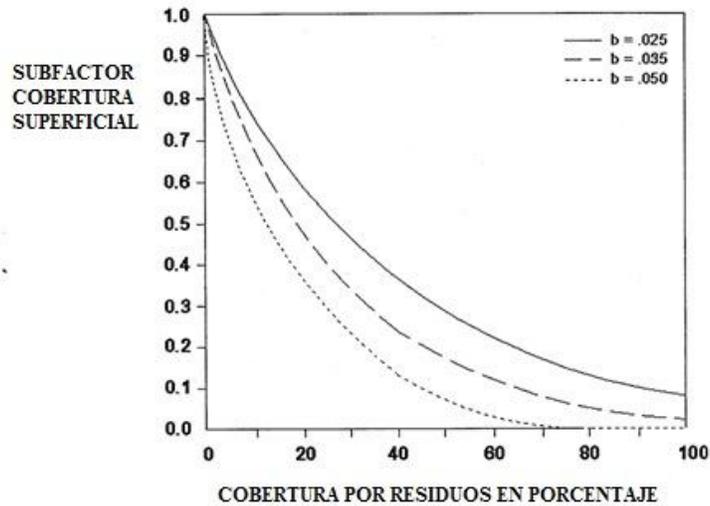


Figura No. 5. Efecto de la cobertura por residuos y valores de b en el sub factor cobertura por residuos para superficies lisas (Fuente: tomado de Yoder et al., 1997).

En el siguiente cuadro se puede observar la cantidad de residuos de diferentes cultivos que se necesitan para cubrir diferentes niveles de porcentaje de la superficie del suelo. El cuadro permite afirmar lo mencionado en párrafos anteriores, que el maíz y el sorgo requieren mayor cantidad de residuos para cubrir la misma superficie de suelo que cubren los cultivos de soja y trigo para una masa de residuos determinada.

Cuadro No. 3. Cantidad de residuos (kg.MS.ha⁻¹) según diferentes niveles de cobertura en porcentaje para diferentes cultivos.

Cultivo	30%	60%	90%
Maíz	1064	2688	6776
Soja	672	1792	-
Algodón	1792	4648	-
Sorgo	1176	3024	7560
Trigo de invierno	672	1736	4312
Avena de primavera	672	1736	4312

Fuente: tomado de Yoder et al. (1997).

En el cuadrante I de la figura No. 6 se muestra la relación de la superficie cubierta según la cantidad de residuos de maíz, donde se ve que para cubrir un 30% del suelo se requiere una mayor cantidad de rastrojo que la reportada por Yoder et al. (1997) en el cuadro anterior (2 toneladas vs. 1 tonelada), cierto es que provienen de estudios diferentes, uno de Meso América y otro de Estados Unidos.

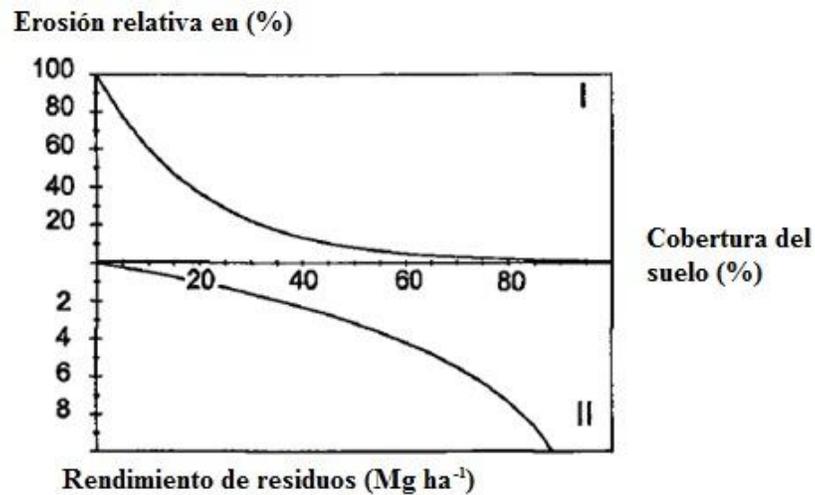


Figura No. 6. Erosión relativa en función de la cobertura del suelo (cuadrante I) y relación entre cobertura de suelo y rendimiento del rastrojo de un cultivo de maíz en Meso América (cuadrante II) (Fuente: Tripp y Barreto, citados por Erenstein, 1999).

En el cuadrante II se observa un aumento exponencial del porcentaje de suelo cubierto, a medida que nos acercamos a valores altos de cobertura, precisamos más cantidad de rastrojo para aumentar la cobertura. La cantidad de residuos necesarios para cubrir una determinada cantidad de suelo varía según el tipo de cultivo, la variedad y el manejo de los residuos (Tripp y Barreto, citados por Erenstein, 1999).

En la siguiente figura observamos como varia el subfactor cobertura por residuos según la cantidad y tipo de residuo. Los cultivos de soja y trigo son los que a una misma cantidad de residuo, logran un mayor coeficiente del subfactor mencionado.

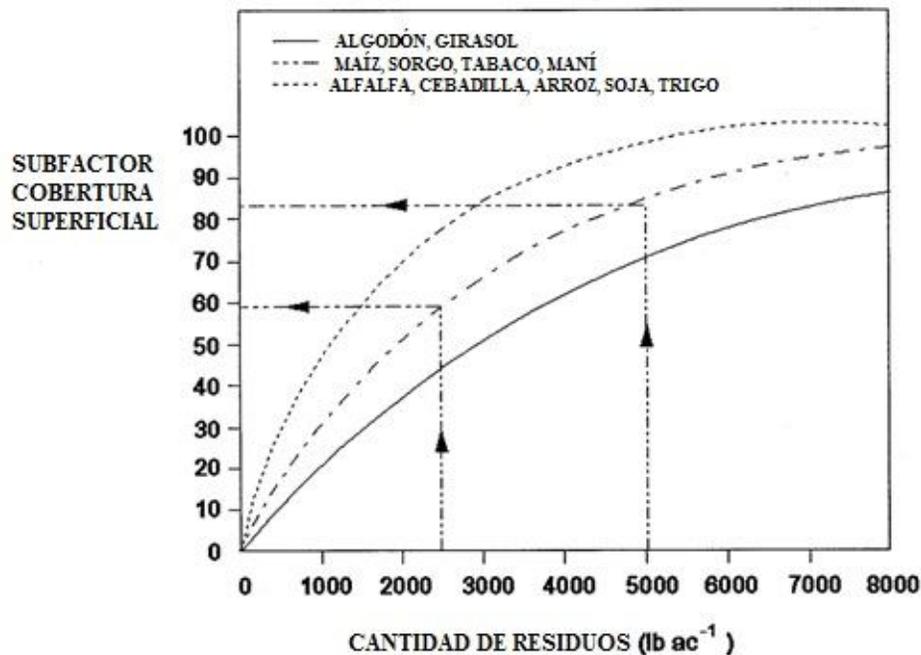


Figura No. 7. Relación del peso del residuo con el porcentaje de cobertura de la superficie del suelo para varios cultivos. (Fuente: tomado de Yoder et al., 1997).

2.3. APLICACIÓN EROSIÓN 6.0

La aplicación erosión 6.0 se desarrolló como apoyo al trabajo de García Préchac (1992).

Esta aplicación digital es de gran utilidad para la estimación de pérdidas de suelo y de fácil manejo, pudiendo utilizarse como guía para la toma de decisiones en conservación de suelos a nivel predial, en la elaboración de planes de uso de suelos y

a nivel político como criterio o normativa técnica, de acuerdo con los requisitos de la ley vigente.

Dicho programa permite estimar las pérdidas de suelo de un sistema agrícola utilizando el modelo USLE e incorporando también, algunos elementos de su versión revisada RUSLE (Renard et al., citados por García Préchac et al., 2009). Los factores del modelo se ingresan en el programa, ya sea proporcionando los datos básicos que éste solicita para el cálculo de los mismos o ingresando directamente los coeficientes de los factores calculados manualmente, dejando que el programa los calcule a partir de la información introducida.

Para obtener el valor del factor C (uso y manejo del suelo), se requieren una serie de datos, a través de la definición de los componentes del sistema de producción (rotación). Se debe introducir la duración en años del sistema de producción para el cálculo del valor promedio del factor, los datos de cada componente se van seleccionando en la ventana (tipo de cultivo, manejo del suelo, rendimiento, % de suelo cubierto por residuos, % suelo cubierto por parte aérea, etc.).

Luego de seleccionarlos, el sistema crea una grilla desplegando los valores de relación de pérdida de suelo para cada periodo del cultivo, donde se observan para cada periodo de cada componente, los valores de EI30 (erosividad de lluvias acumulada del periodo), RPS (relación de pérdida de suelo entre la situación del sistema en el periodo y el suelo desnudo), ERP (efecto residual de una pastura anterior), C (valor del factor C en el periodo) y A (erosión promedio anual estimada en el periodo).

Los únicos valores que se introducen directamente en dicha grilla son la duración de cada periodo, para ello se pone el valor en número del mes inicial y final del período en cuestión. Cuando un período no corresponde, se deja en cero el valor del mes inicial y final.

La duración de cada período es utilizada para estimar los valores de EI30 en cada uno de ellos, que dependerá de la localidad definida. Es por esto, que inicialmente se debe definir la localidad en la ventana del factor R.

A partir de los valores parciales de C y la duración total del sistema, el programa realiza el cálculo del C total promedio anual para el sistema considerado.

Finalmente, en la pantalla de resultados, se pueden ver los valores calculados por el programa para los diferentes factores del modelo, así como el resultado final (erosión anual estimada) que mide la pérdida de suelo por unidad de superficie ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

Adicionalmente, cuando el factor K se estima a partir de la tabla de suelos, se presenta el valor de tolerancia (T) de tasa de erosión promedio anual para el suelo en consideración, y la relación de la situación considerada respecto al tipo de suelo seleccionado, expresado como “X” cantidad de veces la tolerancia. En caso de seleccionar el factor K de forma manual, éste último valor será 0, debido a que el sistema no tiene un suelo para establecer una comparación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en diecisiete chacras comerciales en el litoral agrícola del país, en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Flores y Soriano con el fin de abarcar distintos antecesores y con diferentes rendimientos para obtener variabilidad en los datos. El mismo comenzó el 31/10/2013 y culminó el 23/01/2014.

Los antecesores fueron sorgo y maíz para las sojas de primera y CANOLA, trigo y cebada para las de segunda.

Cuadro No. 4. Características de las chacras muestreadas.

Sitio	Antecesor	Coordenadas	Fecha medición		Dpto.
			Siembra	FDPI*	
1	Sorgo	32°51'34.12"S - 57°29'14.53"O	31/10/2013	06/12/2013	Río Negro
2	Sorgo	32°17'36.34"S - 57°58'39.69"O	12/11/2013	12/12/2013	Paysandú
3	Sorgo	32°50'7.00"S - 57°28'59.92"O	19/11/2013	19/12/2013	Río Negro
4	Maíz	32°49'36.88"S - 57°29'9.78"O	22/11/2013	19/12/2013	Río Negro
5	Maíz	33°18'41.79"S - 57°14'10.78"O	26/11/2013	27/12/2013	Flores
6	CANOLA	33°16'46.65"S - 57°17'11.50"O	26/11/2013	27/12/2013	Flores
7	CANOLA	33°16'59.07"S - 57°17'15.68"O	26/11/2013	27/12/2013	Flores
8	CANOLA	33°25'10.55"S - 58° 1'6.87"O	28/11/2013	30/12/2013	Soriano
9	CANOLA	33°32'30.92"S - 58°15'5.51"O	28/11/2013	30/12/2013	Soriano
10	Trigo	32°16'50.93"S - 57°58'55.25"O	03/12/2013	20/01/2014	Paysandú
11	Cebada	32°16'51.65"S - 57°58'39.90"O	04/12/2013	20/01/2014	Paysandú
12	Trigo	32°13'58.04"S - 57°20'28.96"O	05/12/2013	22/01/2014	Paysandú
13	Maíz	32°13'57.11"S - 57°20'20.27"O	05/12/2013	22/01/2014	Paysandú
14	Trigo	32°48'41.02"S - 57°26'19.18"O	06/12/2013	23/01/2014	Río Negro
15	CANOLA	32°15'39.51"S - 57°50'53.29"O	10/12/2013	22/01/2014	Paysandú
16	CANOLA	32°14'4.57"S - 57°52'46.84"O	11/12/2013	17/01/2014	Paysandú
17	Trigo	32°14'42.83"S - 57°51'28.27"O	13/12/2013	22/01/2014	Paysandú

* Fin del período I.

3.1.1. Trabajo de campo

Se midió la cobertura de suelo inmediatamente luego de la siembra del cultivo de soja (bajo la modalidad de siembra directa) y al fin del período I (FDPI) que comprende el inicio y final del período I del cultivo. En cada chacra se realizaron nueve mediciones, resultado de tres repeticiones en cada posición topográfica (alto, ladera media y bajo).

Para los cultivos de primera se ubicó el cuadrante en la huella de la sembradora, zona de rastrojo parado y acostado con el objetivo de obtener una muestra representativa de cada chacra. En cuanto a los de segunda, el mismo se ubicó sobre la cola de trilla, entre colas de trilla y una zona intermedia entre las anteriores con el mismo fin.

Para ilustrar el procedimiento de muestreo se adjuntan las siguientes figuras:



Figura No. 8. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de trigo luego de la siembra.



Figura No. 9. Cuadrante de muestreo sobre rastrojo de trigo al fin del período I.

3.2. DETERMINACIONES

3.2.1. Datos climáticos y rendimiento de cultivo antecesor

Los datos pluviométricos y de rendimiento de cultivos antecesores se obtuvieron de los registros de los establecimientos donde se realizó el muestreo.

3.2.2. Variables continuas

3.2.2.1. Cobertura de suelo

Las mediciones se realizaron por método directo (subjetivo) e imágenes fotográficas (objetivo).

El primero consistió en un cuadrante de 50 x 50 cm con grillado de 10 x 10 cm, asignando un porcentaje de suelo cubierto a cada sub cuadrante y promediando el porcentaje total del cuadrante. El segundo consistió en tomar una fotografía al cuadrante para poder en una etapa posterior determinar la cobertura mediante el desarrollo de un software computacional y poder correlacionar este método con el anterior. En ambos métodos se georeferenciaron todas las mediciones mediante GPS.

3.2.2.2. Materia seca de rastrojo acumulado y de cultivo

Además del porcentaje de cobertura se determinó la materia seca de rastrojo acumulado en el área del cuadrante, diferenciando suelto de anclado. Adicionalmente

al fin del período I se determinó la materia seca del cultivo de soja a efectos de su contribución como cobertura en reducir la erosión hídrica del suelo. Cabe aclarar que todas las chacras muestreadas venían de agricultura por lo que al momento de recolectar el rastrojo del área bajo el cuadrante, se recolecto también rastrojos de cultivos anteriores al antecesor. Es por esto que se sobreestimo la materia seca del cultivo antecesor, ya que no se logró separarlo de los residuos de los otros cultivos.

Estas determinaciones se hicieron en laboratorio mediante secado en estufa a 60° C durante 48 hs o hasta alcanzar peso constante. Posteriormente los valores obtenidos se llevaron a kg.MS.ha^{-1} ya que estaban asociadas a un área de 0,25 m^2 .

3.3. ANÁLISIS DE DATOS

La hipótesis del trabajo fue que el nivel de cobertura de suelo a la siembra del cultivo de soja depende del cultivo antecesor y a su vez de las variables que determinan el rendimiento del mismo.

Se estandarizaron los datos de materia seca del rastrojo (suelto, anclado y total), además de la materia seca del cultivo de soja, extraídos del área del cuadrante llevándolos a kilogramos por hectárea. También se estandarizo la cobertura utilizando el promedio por cuadrante.

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas InfoStat/L y Jump 11 (JMP11) versión prueba. Se organizó una planilla en Excel con todas las variables discretas y continuas a estudiar para utilizarla en los programas estadísticos.

Lo primero que se realizó fueron las medidas de resumen, que contienen los datos de estadística descriptiva: media, desvío estándar, percentil 10 y 90; esto se hizo para los datos de siembra y fin del período I.

Luego se estudiaron las variables de clasificación (posición topográfica y zona de muestreo) para ver cuál presentó efecto sobre la cobertura, para esto se realizó un análisis de varianza mediante una prueba de Fisher al 5% de significancia. La única variable que generó datos diferentes estadísticamente fue la zona muestreada, por lo que se procedió a realizar las medidas de resumen desglosado por zona de muestreo.

Para la construcción del modelo estadístico se procedió a realizar arboles de decisión en el programa JMP11 separado por cultivo para determinar cual variable continua (rendimiento del antecesor, rastrojouelto y rastrojo anclado) tuvo más efecto sobre la cobertura. Además se realizó un árbol de regresión para determinar cuáles variables determinaron la cantidad de rastrojouelto en las zonas problemáticas (entre cola de trilla y zona intermedia).

Posteriormente se realizó el diagrama de dispersión para cobertura en función de las distintas variables y de esta manera se eligieron aquellas que mostraron mayor relación con la cobertura dada su distribución. Luego se eligió el modelo estadístico que más se adecuara, optándose por un modelo de dos tramos con plateau para cereales de invierno y CANOLA y un modelo de regresión lineal simple para sorgo/maíz.

Para determinar las variables relevadas que podrían explicar el aumento de la cobertura de suelo al fin del período I (cobertura de suelo a la siembra, precipitaciones ocurridas, días entre mediciones y pérdida de residuo) se realizó un árbol de regresión y clasificación con el software JMP11.

Por último se compararon los valores de cobertura observados a la siembra de soja con los propuestos por el programa Erosión 6.0 y se construyó un ejercicio a modo de ejemplo para que el usuario pueda ponderar por las distintas zonas (cola y entre cola de trilla en los cultivos de invierno) a la hora de correr una rotación en el programa y poder así establecer diferentes valores de cobertura según el rendimiento y cultivo antecesor.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan siguiendo las actuales categorías ofrecidas en el programa Erosión 6.0, agrupando los antecesores trigo y cebada como cultivos de invierno en una secuencia de doble cultivo anual “cultivos de invierno/soja”. Maíz y sorgo como una única opción para antecesores “barbecho invernal/soja de estación completa” y se agrega CANOLA como cultivo antecesor para doble cultivo anual, para la cual no se dispone información en el programa.

La agrupación de los antecesores de verano se hizo fundamentalmente a que no se pudo obtener un número de muestras de maíz lo suficientemente grandes como para poder realizar un análisis concreto, por lo que se lo agrupó con el cultivo de sorgo. A pesar de esto se debería separar el cultivo de sorgo del de maíz ya que tienen diferentes proporciones de rastrojo anclado, que es el que determina la cobertura y además también presentan, valores distintos de cobertura a siembra (ver anexo No. 5).

4.1. COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA

La figura No. 4 muestra que con un 70% de cobertura del suelo por residuos se puede reducir la pérdida de suelo entre un 80 y 90%, por lo que se podría tomar 70% como valor crítico de cobertura a la siembra del cultivo de soja.

La cobertura promedio del suelo a la siembra varió entre 78 y 84% para los cultivos analizados.

Cuadro No. 5. Medidas de resumen a la siembra del cultivo de soja.

Antecesor	Cobertura media (%)					Rastrojo (%)	
	n	Media	D.E.	P(10)	P(90)	Suelto	Anclado
CANOLA	45	80	23	44	99	79	21
Cereales de invierno	45	84	19	51	99	80	20
Maíz/Sorgo	54	78	16	58	96	79	21

D.E.: Desvío estándar. P (10): 10% inferior ó percentil 10. P (90): 10 % superior ó percentil 90.

Todos los antecesores alcanzaron en promedio un 70% de cobertura del suelo por residuos a la siembra del cultivo de soja. Los valores máximos de cobertura de suelo (P90) estuvieron muy cerca del 100%, no difiriendo entre cultivos antecesores. En tanto, los valores mínimos (P10) presentaron mayor variación pero permitieron controlar alrededor del 80% de la erosión potencial, (figura No. 4). Al analizar los resultados por zona muestreada, nuevamente se destacan las diferencias en los valores mínimos (cuadro No. 8). Las proporciones de rastrojo suelto y anclado prácticamente no variaron entre antecesores, presentando una relación suelto/anclado: 4 a 1.

Cabe aclarar que una de las diecisiete chacras muestreadas no fue tomada en cuenta en el análisis de los datos debido a que no se encontró correlación entre la distribución de la cantidad de residuos en las distintas zonas muestreadas y la cobertura de suelo. Esto se debió fundamentalmente a la alta proporción de malezas y la baja cantidad de residuos de cultivo, por lo que la cobertura estuvo determinada por el enmalezamiento.

4.1.1. Descripción por zona y antecesor

Según la prueba de análisis de varianza clasificada por zona de muestreo y posición topográfica, la única variable que tuvo efecto en la cobertura de suelo a la siembra para cultivos de invierno fue la zona de muestreo como se observa en el siguiente cuadro (p-valor < alfa= 0,05). La zona de muestreo clasificada como cola tuvo significativamente mayor cobertura que las otras zonas (cuadros No. 7 y 8).

Cuadro No. 6. Análisis de la varianza (SC tipo III) para cobertura del suelo generada por antecesores de invierno a la siembra del cultivo de soja según posición topográfica y zona muestreada.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8523,59	4	2130,90	5,84	0,0003
Posición topográfica	372,20	2	186,10	0,51	0,6022
Zona muestreada	8151,39	2	4075,69	11,17	<0,0001
Error	31001,14	85	364,72		
Total	39524,73	89			

F.V.: Fuente de variación. SC: Suma cuadrado del error. gl: Grados de libertad. CM: Cuadrado medio del error. F: prueba estadística de significancia "F" de Fisher.

Cuadro No. 7. Test de mínima diferencia significativa (LSD Fisher) para cultivos de invierno a la siembra, Alfa= 0,05; DMS= 9,80412.

Posición topográfica	Medias	n	E.E.
Alto	84,32	30	3,49 a
Ladera	82,61	30	3,49 a
Bajo	79,42	30	3,49 a
<hr/>			
Zona muestreada			
Cola	95,32	30	3,49 a
Intermedio	77,76	30	3,49 b
Entre cola	73,27	30	3,49 b

Medias con misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) dentro de cada fuente de variación. E.E.: error estándar.

No hubo efecto de la posición topográfica en la cobertura. En el caso de antecesores de verano el análisis de la varianza no dio significativo para ambas variables, es decir, no hubo efecto de la zona muestreada ni de la posición topográfica sobre la cobertura de suelo a la siembra (ver anexo No. 1).

En los cuadros No. 8 y 13 se observa que los valores de cobertura en la cola de trilla varían en un rango de 91 a 98%, lo que sugiere que la cobertura siempre es alta en dicha zona porque hay una cantidad de rastrojo superior al crítico ya que la cosechadora concentra en dicha zona, independientemente del cultivo antecesor.

En la entre cola, la cantidad de rastrojo anclado debería ser igual que en la cola, ya que lo determina la altura de corte de la cosechadora. Sin embargo, mediante el test de Fisher al 5% de significancia, se constató que no existieron diferencias en canola y si existieron en cereales de invierno (menor cantidad de rastrojo anclado en la cola de trilla respecto a la entre cola). Esto se podría explicar como error de muestreo ya que al haber de una alta cantidad de rastrojo suelto en la cola de trilla, al colectarse manualmente, parte del rastrojo anclado se va como suelto, desprendiéndose del suelo fácilmente por lo que se estaría subestimando el rastrojo anclado en la cola. En tanto, la cantidad de rastrojo suelto varía con la calidad del desparramado de la cosecha.

En todos los antecesores hubo diferencias en la cobertura de suelo según la zona muestreada, siendo máxima y poco variable en la cola de trilla, mínima y con mayores diferencias en la entre cola de trilla de los antecesores de invierno y en las zonas con rastrojo en pie de los de verano. Esto parece indicar que la calidad de la cosecha juega un rol importante en la determinación de la cobertura, no solo en la

cantidad de residuos que quedan dispuestos en cada zona de muestreo sino también en la proporción que cada zona ocupa dentro de la chacra. Un buen desparramado de la cosechadora debería dejar una cola de trilla más ancha y por tanto una entre cola más angosta (similar al ancho de la cola) y con mayor cobertura, determinando una cobertura total más homogénea entre zonas dentro de la chacra.

Cuadro No. 8. Descripción de los valores de cobertura del suelo agrupados por zona y antecesor a siembra.

Antecesor	Zona muestreada	Variable	n	Media	D.E.	P(10)	P(90)
CANOLA	Cola	Media cobertura	15	94	6	83	100
CANOLA	Entre cola	Media cobertura	15	70	30	19	98
CANOLA	Intermedio	Media cobertura	15	76	18	53	94
Cereal invierno	Cola	Media cobertura	15	97	7	94	100
Cereal invierno	Entre cola	Media cobertura	15	77	19	51	99
Cereal invierno	Intermedio	Media cobertura	15	80	23	41	98
Sorgo/Maíz	Acostado	Media cobertura	18	81	13	66	98
Sorgo/Maíz	Huella	Media cobertura	18	75	17	47	95
Sorgo/Maíz	Parado	Media cobertura	18	78	17	58	96

D.E.: desvío estándar. P (10): 10% inferior ó percentil 10. P (90): 10% superior ó percentil 90.

En la cola de trilla todos los valores de cobertura fueron altos porque la cosechadora concentra rastrojo.

En CANOLA, el tipo de cosecha (cortado e hilerado o cosecha directa) define la cobertura en la entre cola. El primer método de cosecha concentra el rastrojo en la zona de la hilera (equivalente a cola de trilla en cosecha directa) quedando menor cantidad del mismo en la entre hilera (equivalente a entre cola). Esto indicaría que en CANOLA debería haber mayores diferencias de cobertura entre zonas que en cereales de invierno, ya que hay dos fuentes de variación (método de cosecha y calidad del desparramado) en comparación con cereales de invierno donde solo varía la calidad del último.

4.1.2. Variables determinantes de la cobertura del suelo a la siembra de soja

Mediante la partición recursiva de los datos con el fin de predecir una respuesta se observó que la primera variable que divide para el cultivo de CANOLA es el rastrojo suelto. Cuando este es mayor o igual a 4240 kg.MS.ha⁻¹ la media de cobertura fue 87% más menos 14% y cuando el mismo fue menor a 4240 kg.MS.ha⁻¹ la media de cobertura fue de 34% más menos 17%. La segunda variable divisora para rastrojo

suelto mayor o igual a 4240 kg.MS.ha⁻¹ es la zona muestreada, separando la zona de entre cola e intermedia con una cobertura de 82% más menos 15% y la cola de trilla con cobertura de 94% más menos 6%. La figura parece indicar que si el cultivo tiene un rendimiento bajo la cobertura es baja también, mientras que si el rendimiento es bueno lo que determina la cobertura es la calidad del desparramado de la cosecha a través de la cantidad de residuos que quedan en las distintas zonas.

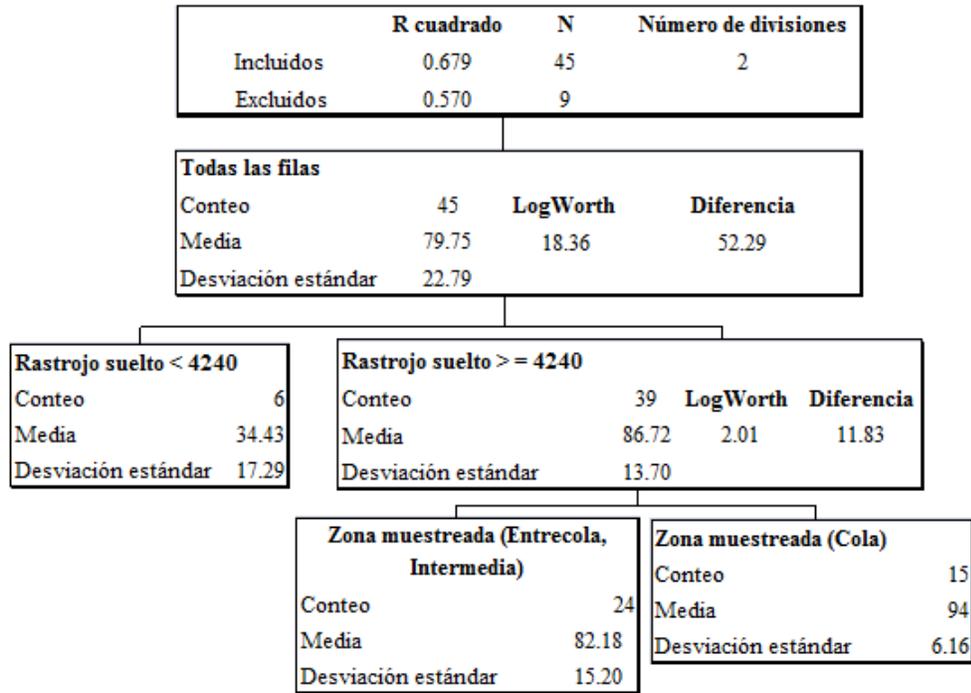


Figura No. 10. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en CANOLA.

En cereales de invierno también la primera variable fue el rastrojo suelto, diferenciando aquellos menores a 4440 kg.MS.ha.⁻¹ con una cobertura media de 57% más menos 18% y aquellos mayores o iguales a 4440 kg.MS.ha.⁻¹ con cobertura media de 93% más menos 9%. Para el segundo caso (≥ 4440 kg.MS.ha.⁻¹) la segunda variable que divide es, al igual que en CANOLA, la zona de muestreo, diferenciando por un lado la zona de entre cola e intermedio con una cobertura media de 91% más menos 9% y por otro lado la zona de cola de trilla con cobertura media de 97% más menos 7%. Al comparar las medias y los desvíos de los valores de cobertura para los que rinden mayor cantidad de rastrojo suelto (≥ 4440 kg.MS.ha.⁻¹) con el cultivo de CANOLA, observamos que los cereales de invierno presentan valores más altos, siempre por encima de 70% de cobertura. Esto parece indicar que la calidad del desparramado de la cosecha es mejor en trigo y cebada (por la forma y el peso del rastrojo) que en CANOLA.

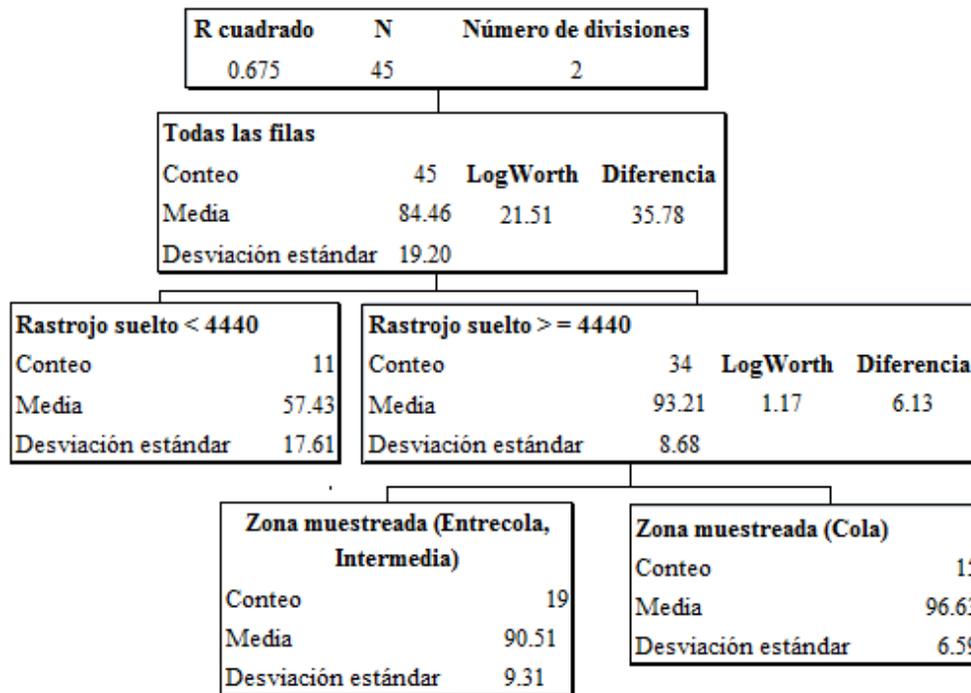


Figura No. 11. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en cereales de invierno.

El comportamiento del antecesor sorgo/maíz fue diferente. La primera variable que divide es el rastrojo anclado, separando por un lado aquellos menores a 3600 kg.MS.ha.⁻¹ con cobertura media de 73% más menos 15% y aquellos mayores o iguales a 3600 kg.MS.ha.⁻¹ con una cobertura de 90% más menos 8%. La segunda variable que divide es el rastrojo suelto, que en el primer caso los divide en menores a 7490 kg.MS.ha.⁻¹ con cobertura de 65% más menos 14% y mayores o iguales a 7490 con cobertura de 80% más menos 13%. Para el segundo caso (≥ 3600 kg.MS.ha.⁻¹ de rastrojo anclado) los diferencia en menores a 7600 con cobertura media de 89% más menos 3% y mayores o iguales a 7600 kg.MS.ha.⁻¹ con cobertura de 91% más menos 10%. La figura permite observar que los cultivos buenos dejan en el campo una mayor cantidad de rastrojo anclado y por tanto una cobertura superior, mayor al 70% necesario para controlar la erosión potencial en 80 a 90%. Sin embargo, aquellos cultivos que rinden menos de 3600 kg.MS.ha.⁻¹ de rastrojo anclado, alcanzan cantidades altas de rastrojo suelto, lo que se puede atribuir, en parte, a residuos de cultivos anteriores al antecesor sorgo/maíz y por otro lado a que esas zonas con más de 7490 kg.MS.ha.⁻¹ de rastrojo suelto podrían corresponder a las colas de trilla de los antecesores de verano.

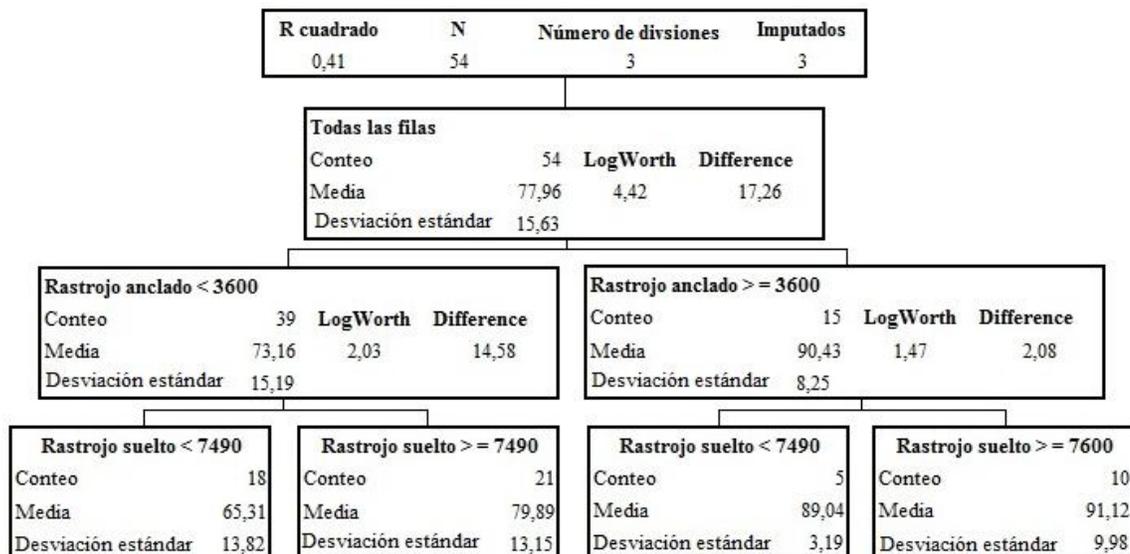


Figura No. 12. Árbol de regresión y clasificación para cobertura media en sorgo/maíz.

La cobertura del suelo a la siembra de soja sobre maíz/sorgo dependió de la cantidad de rastrojo anclado. Es por ello que en la construcción del modelo se utilizó como variable regresora la cantidad de materia seca de rastrojo anclado y no de rastrojo suelto como en CANOLA y cereales de invierno.

4.1.2.1. Determinación de la cantidad de rastrojo suelto en la entre cola y zona intermedia

La cantidad de MS de rastrojo suelto en las zonas en las cuales fue importante (entre cola e intermedio) fue determinada por el rendimiento del cultivo antecesor, separando por un lado los que rindieron menos de 2200 kg.ha.⁻¹, que produjeron 3567 kg.MS.ha.⁻¹ de rastrojo suelto y los que rindieron 2200 kg.ha.⁻¹ o más, con un rendimiento de 7620 kg.MS.ha.⁻¹ de rastrojo suelto. Para éste último (≥ 2200 kg.ha.⁻¹) la segunda variable en determinar la cantidad de rastrojo suelto fue el cultivo antecesor, separando cereales de invierno (con un rendimiento de rastrojo suelto de 6355 kg.MS.ha.⁻¹) de CANOLA (con 9202 kg.MS.ha.⁻¹).

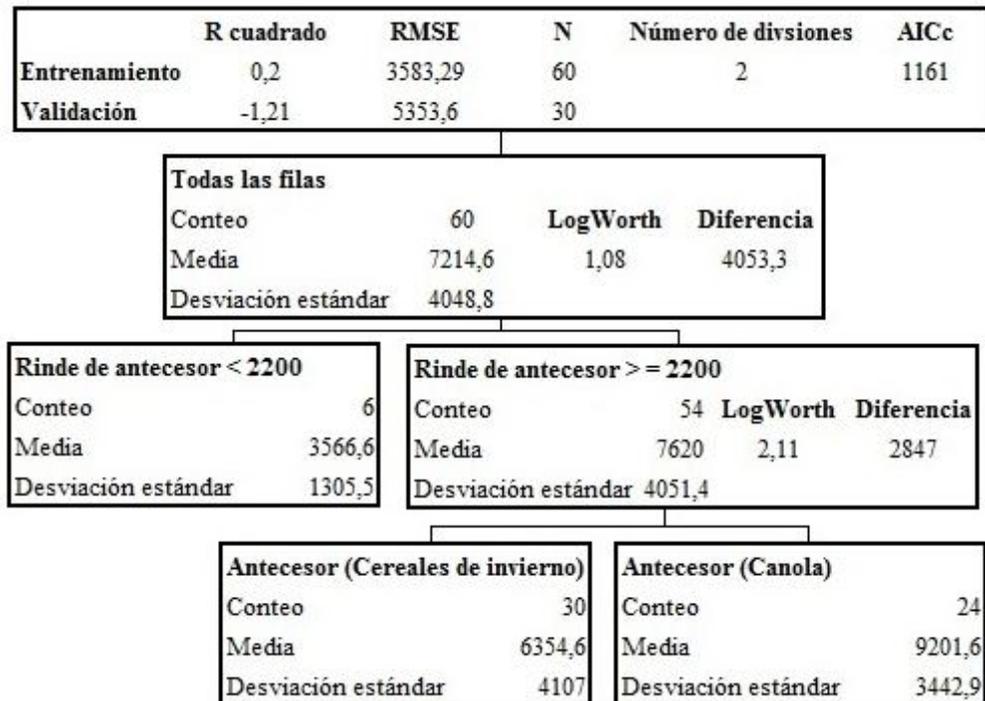


Figura No. 13. Árbol de regresión y clasificación para rastrojo suelto en la entre cola y zona intermedia.

El porcentaje de suelo cubierto a la siembra de soja dependió del rendimiento del cultivo antecesor y la separación de CANOLA es el resultado de que tuvo un menor rendimiento (3260 contra 2280 de trigo/cebada vs CANOLA).

4.1.3. Ajuste del modelo

La cobertura de suelo a la siembra de soja en función de la cantidad de rastrojo suelto luego de CANOLA y cereales de invierno se ajustó en un modelo de regresión no lineal de dos tramos con plateau (figuras No. 14 y 15).

Al aumentar la cantidad de rastrojo suelto la cobertura de suelo aumentó significativamente hasta un máximo de 6040 kg.MS.ha⁻¹ en CANOLA (figura No. 14 y cuadro No. 9) y 6440 kg.MS.ha⁻¹ en cereales de invierno (figura No. 15 y cuadro No. 10). Cantidades mayores no incrementaron la cobertura. La cantidad de rastrojo suelto que se necesita para alcanzar el valor crítico de 70% de cobertura del suelo a la siembra es aproximadamente 4300 y 3400 kg.MS.ha⁻¹ de rastrojo suelto para CANOLA y cereales de invierno respectivamente.

En el caso de antecesores de verano, la relación con cantidad de rastrojo suelto no fue significativa, adquiriendo importancia la forma en que esta el rastrojo dispuesto en el campo. Para sorgo/maíz el modelo utilizado es regresión lineal simple.

El modelo indica una relación positiva entre la cantidad de rastrojo anclado y la cobertura a la siembra (figura No. 16 y cuadro No. 11).

Los modelos propuestos para los cultivos se pueden observar en el título de las siguientes figuras.

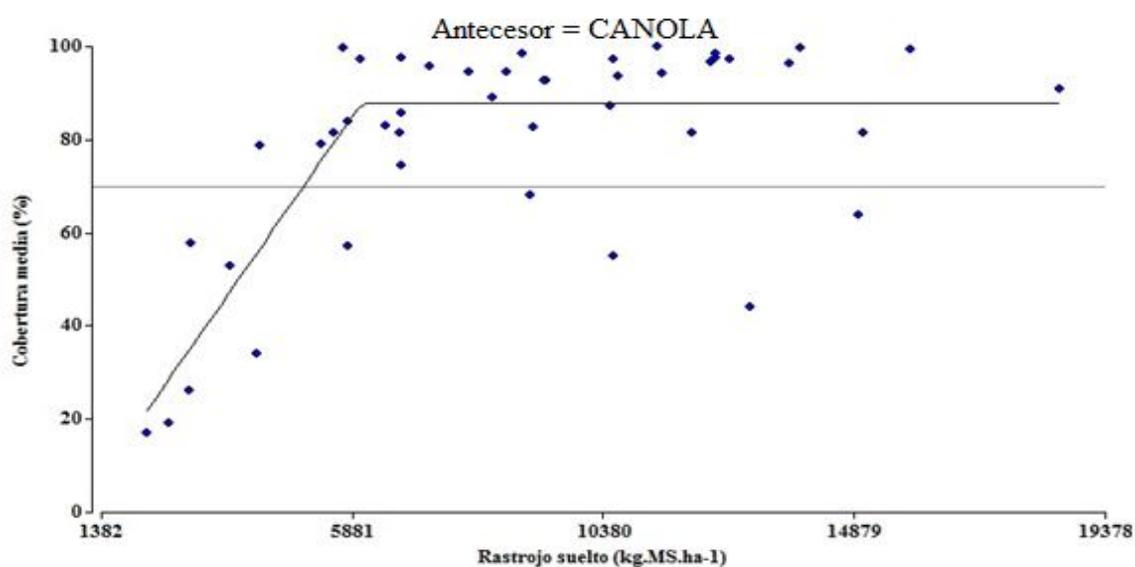


Figura No. 14. Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo suelto para CANOLA = $[-16 + (0,02 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6040) + (0,02 * 6040) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6040)]$.

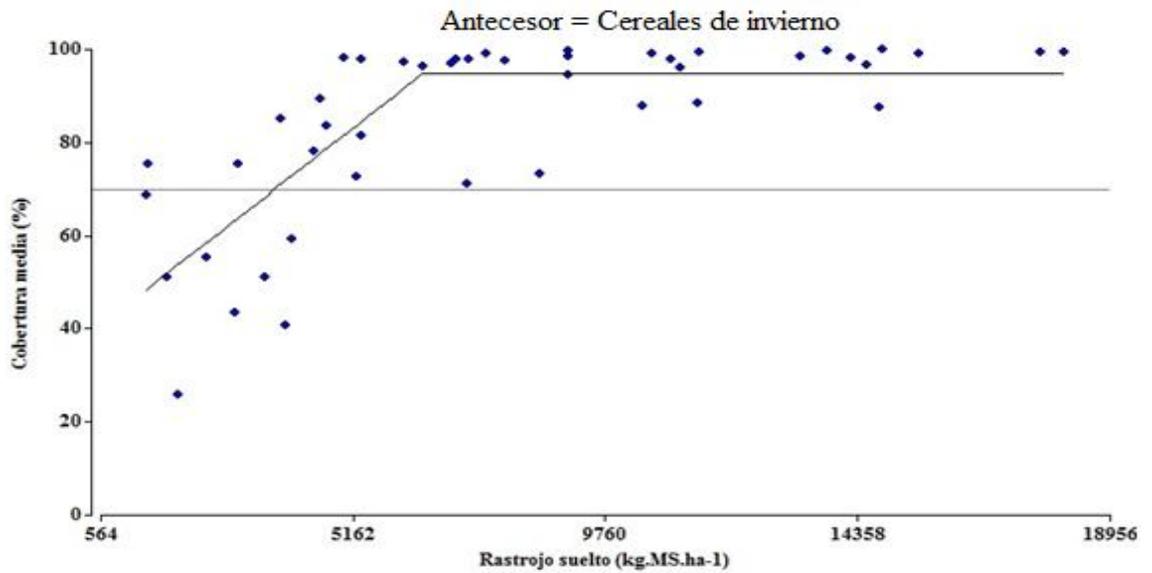


Figura No. 15. Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo suelto para cereales de invierno = $[36 + (0,01 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6440) + (0,01 * 6440) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6440)]$.

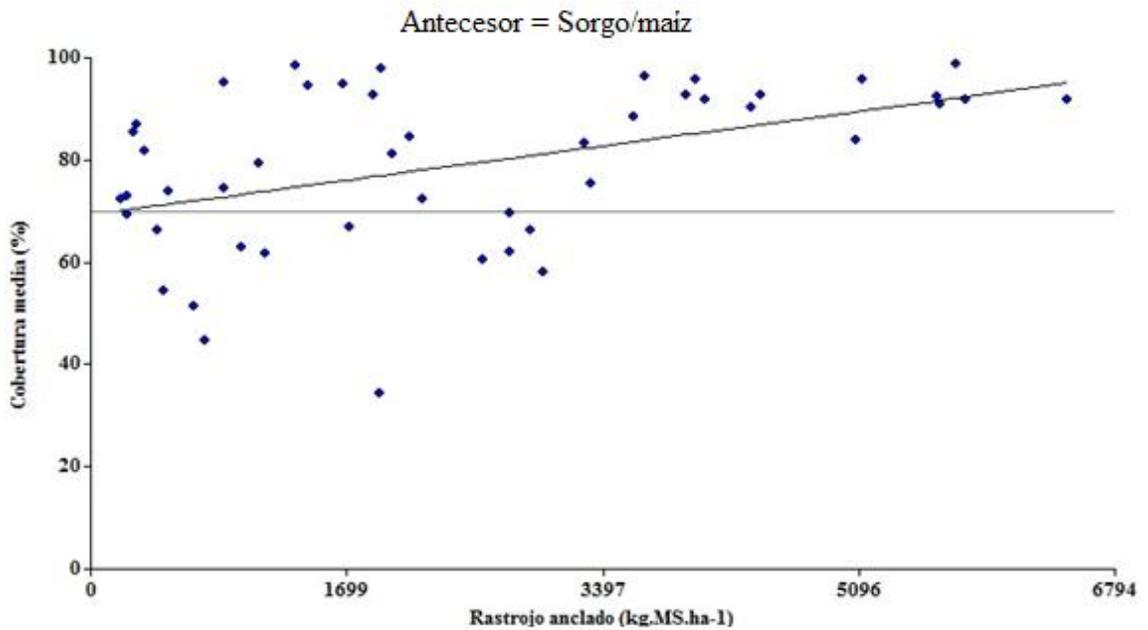


Figura No. 16. Cobertura de suelo en función de la cantidad de materia seca de rastrojo anclado para sorgo/maíz = $[4E-3X + 70]$.

Por tanto, en el caso de CANOLA y rastrojos de invierno, la cantidad de rastrojo cortado por la cosechadora y efectivamente desparramado, es determinante de la cobertura del suelo a la siembra. La cantidad de rastrojo anclado es relativamente fija, ya que está definida por el tipo de cultivo y su rendimiento. En tanto, la cobertura del suelo a la siembra sobre maíz/sorgo, dependió de la cantidad de rastrojo anclado, es decir, el que no ingresó a la cosechadora. En estos cultivos la calidad del desparramado sería menos importante.

En CANOLA el alfa = -16 dio no significativo, lo que significa que la ordenada en el origen no es distinta de cero. Los parámetros beta1=0,02 (cuanto aumenta la cobertura por unidad de rastrojo suelto adicional) y gamma=6040 (valor máximo de cobertura) fueron significativos al 5% ya que el p-valor fue menor a 0,05, lo que dice que el modelo es válido. La única variable que tendría efecto significativo en la cobertura es el rastrojo suelto. La cobertura aumentó en 0,02% por cada kilogramo de rastrojo suelto adicional hasta 6040 Kg.MS.ha.⁻¹, por encima de éste la cobertura no aumentó.

Cuadro No. 9. Estimación de parámetros para el modelo de regresión no lineal en CANOLA.

Parámetros	Estimación	p-valor
ALFA	-15,75	0,2695
BETA1	0,02	<0,0001
GAMMA	6040,00	<0,0001

Adicionalmente se estudio la relación que existe entre el rastrojo suelto y el rendimiento del cultivo antecesor en la entre cola (ver anexo No. 2).

En el caso de cereales de invierno todos los parámetros fueron significativos. La cobertura aumentó en 0,01% por cada kilogramo de rastrojo suelto adicional hasta 6440 Kg.MS.ha.⁻¹, valor por encima del cuál la cobertura no varió.

Cuadro No. 10. Estimación de parámetros para el modelo de regresión no lineal en cereales de invierno.

Parámetro	Estimación	p-valor
ALFA	35,54	<0,0001
BETA1	0,01	<0,0001
GAMMA	6440,00	<0,0001

En sorgo/maíz la cobertura aumentó en 0,0038% por cada kilogramo de rastrojo anclado adicional.

Cuadro No. 11. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal simple en sorgo/maíz.

Parámetro	Estimación	p-valor
Constante	69,99	<0,0001
Rastrojo anclado	3,80E-03	0,0007

En todos los casos los modelos son válidos para el rango de medición de la cobertura de los diferentes cultivos (17 a 100% en CANOLA, 26 a 100% en cereales de invierno y 34 a 99% en sorgo/maíz).

Todos los cultivos parecen haber alcanzado el 70% de cobertura a la siembra del cultivo de soja. En cultivos de invierno, la calidad de la cosecha determina la cantidad de rastrojo suelto y por tanto la cobertura del suelo a la siembra. En antecesores sorgo/maíz lo que importa es cuan bueno sea el cultivo ya que la cobertura está determinada por la cantidad de rastrojo anclado. Los kg.MS.ha⁻¹ que se necesitan para cubrir el 70% de la superficie del suelo son aproximadamente 4300 en CANOLA y 3400 en cereales de invierno.

4.2. COBERTURA DEL SUELO AL FIN DEL PERÍODO I

Cuadro No. 12. Medidas de resumen fin del período I.

Antecesor	Cobertura media (%)					Rastrojo (%)	
	n	Media	D.E.	P(10)	P(90)	Suelto	Anclado
CANOLA	45	85	18	59	98	84	16
Cereales de invierno	45	95	5	87	99	82	18
Maíz/Sorgo	54	80	16	54	98	72	28

D.E.: Desvío estándar. P (10): 10% inferior ó percentil 10. P (90): 10 % superior ó percentil 90.

La cobertura al fin del periodo I fue mayor que a la siembra debido al desarrollo del cultivo de soja, el cual contribuye de manera importante en la cobertura del suelo a este momento (cuadro No. 13). El aumento fue de 11% en antecesores

“cereales de invierno”, 5% en CANOLA y 2% en maíz/sorgo. La cobertura mínima (10% inferior o percentil 10) pasó de 51 a 87% en cereales de invierno, de 44 a 59% en CANOLA y de 58 a 54% en maíz/sorgo. Las proporciones de rastrojo suelto y anclado no mostraron grandes variaciones respecto a la siembra.

La magnitud del aumento de cobertura difiere entre cultivos, la cual se puede atribuir a varios factores, entre ellos tipo de suelo, variedad sembrada (vigor inicial, estructura del canopeo, etc.), fertilización, distancia entre filas, agua disponible en suelo, precipitaciones durante el período transcurrido, días entre siembra y la fecha real de las mediciones y la tasa de desaparición del rastrojo presente a la siembra. Muchas de las anteriores no fueron relevadas ni medidas por lo que no se tendrán en cuenta en el análisis, pese al reconocimiento de su importancia en su contribución a la cobertura vegetal. Es evidente que un mayor crecimiento y desarrollo del cultivo provoca una mayor cobertura de suelo por lo que todos aquellos factores que lo favorezcan permiten aumentar la misma.

En la figura No.17 se presenta el árbol de regresión y clasificación para porcentaje de cobertura total al fin del período I, que incluye dos componentes: cobertura vegetal y cobertura por residuos. Debido a que algunas variables pueden afectar positiva o negativamente a los componentes de la cobertura total, como por ejemplo una mayor cantidad de días entre mediciones y más precipitaciones afectan positivamente a la cobertura vegetal, esas mismas variables podrían afectar negativamente a la cobertura por residuos (a través de un aumento de la descomposición del rastrojo y la velocidad de la misma). Por tanto, el incremento de cobertura por el cultivo debió ser mayor que la reducción de cobertura por pérdida de residuo ya que la cobertura total aumentó al fin del período I.

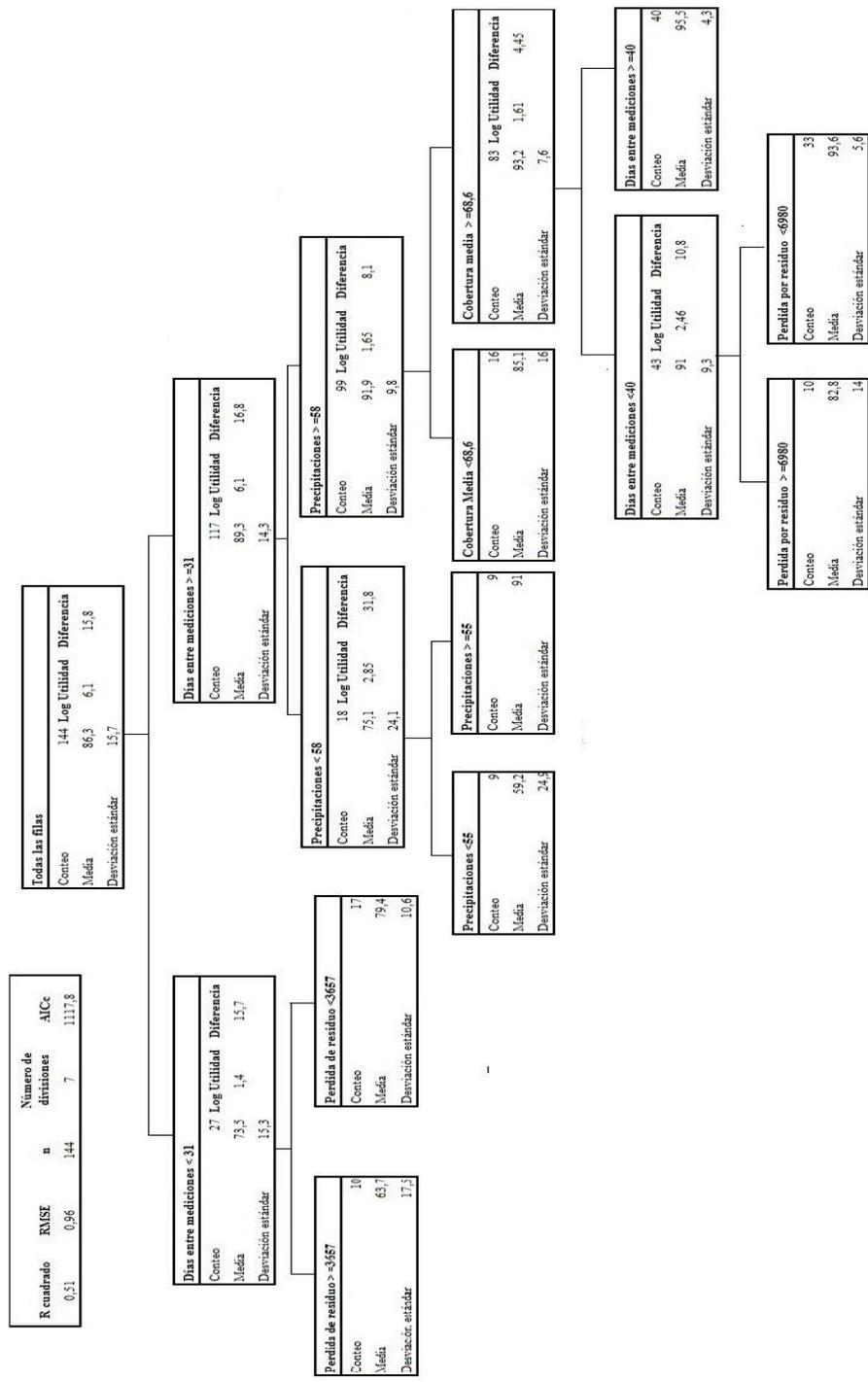


Figura No. 17. Árbol de regresión y clasificación para cobertura de suelo al fin del período I para CANOLA, cereales de invierno y sorgo/maíz.

Para todos los antecesores analizados, la primera variable que explica la cobertura al final del período I es la cantidad de días entre siembra y la medición, es decir, días de desarrollo del cultivo, separándolas en chacras con menos de 31 días de sembradas con cobertura de 74% y aquellas con 31 o más días con cobertura de 89%. Para el primer caso (menos de 31 días de sembradas) la segunda variable en importancia fue la cantidad de rastrojo desaparecido (kg.MS.ha^{-1}), separándolas en aquellas que perdieron $3657 \text{ kg.MS.ha}^{-1}$ o más, con cobertura de 64% y aquellas que pierden menos de $3657 \text{ kg.MS.ha}^{-1}$ con cobertura media de 79%. Para el segundo caso (chacras con 31 o más días de sembradas) la segunda variable fue la cantidad de precipitaciones durante el período siembra-final del período I, separando aquellas chacras que tuvieron menos de 58 mm, con cobertura de 75% y aquellas que recibieron 58 mm o más con una cobertura media de 92%. Para las chacras que tuvieron 58 mm o más, la siguiente variable fue el % de cobertura de suelo a la siembra, diferenciando aquellas que venían con menos de 69% de cobertura a siembra con una media de cobertura de 85% y aquellas que venían con 68% o más de cobertura a siembra, con una cobertura media al FDPI de 93%. Para este último caso (chacras con 68% o más de cobertura a siembra) la siguiente variable que divide es la cantidad de días entre mediciones, separando por un lado aquellas con menos de 40 días de sembradas, con cobertura de 91% y aquellas con 40 o más días con cobertura de 96%. Por último, para aquellas con menos de 40 días de sembradas, la variable que divide es la cantidad de pérdida de residuos, diferenciando aquellas que perdieron $6980 \text{ kg.MS.ha}^{-1}$ o más con cobertura de 83% y aquellas que perdieron menos de 6980 con cobertura de 94%. Cabe aclarar que para las chacras que recibieron menos de 58 mm de lluvia, si bien el programa vuelve a dividir las según la cantidad de precipitaciones, la misma no se tomo en cuenta ya que los datos de esa chacra en particular no se consideraron confiables debido a que fue resembrada.

Las chacras que tuvieron una mayor cobertura a siembra, mayor cantidad de precipitaciones durante el período I, que perdieron menor cantidad de residuos y cuya determinación se realizó más tarde que 30 días pos siembra (entre 31 y 48 días, lo que implica más días de crecimiento del cultivo), presentaron mayor cobertura al final del período I.

La distancia entre filas si bien es una variable que se midió a campo, la mayoría de las chacras se sembraron a la misma distancia (35cm) por lo que no generó una variación importante de cobertura. Es cierto que una menor distancia entre hileras provoca una más rápida cobertura, llegándose a cubrir el suelo en menor tiempo (ver anexo No. 3).

Cuadro No. 13. Descripción por zona muestreada y antecesor a fin del período I.

Antecesor	Zona muestreada	Variable	n	Media	D.E.	P(10)	P(90)
CANOLA	Cola	Media cobertura	15	91	11	72	99
CANOLA	Entre cola	Media cobertura	15	81	25	31	97
CANOLA	Intermedio	Media cobertura	15	84	16	59	96
Cereal invierno	Cola	Media cobertura	15	98	1	95	99
Cereal invierno	Entre cola	Media cobertura	15	93	7	80	100
Cereal invierno	Intermedio	Media cobertura	15	94	4	87	98
Sorgo/Maíz	Acostado	Media cobertura	18	83	13	59	95
Sorgo/Maíz	Huella	Media cobertura	18	76	20	46	96
Sorgo/Maíz	Parado	Media cobertura	18	82	16	55	99

D.E.: desvío estándar. P (10): 10% inferior ó percentil 10. P (90): 10% superior ó percentil 90.

Al final del período I, a diferencia de lo cuantificado a la siembra en cereales de invierno, la cobertura alcanzó un máximo en todas las zonas muestreadas, superior al 90%. También en antecesor CANOLA la cobertura se incrementó en todas las zonas muestreadas, lo cual sugiere que el crecimiento del cultivo (soja) fue mayor que la pérdida de residuo, ya que la cobertura total del suelo se incrementó al final del período I. En la mayoría de los casos la cantidad en kilogramos de MS de residuos en superficie disminuyó respecto a la siembra, lo que era de esperar debido a la pérdida de residuo (ver anexo No. 3).

Las zonas de muestreo problemáticas (entre cola de trilla y zona intermedia de antecesores de invierno), es decir con baja cobertura a siembra parecen haberse resuelto al final del período I.

4.3. COMPARACIÓN DE VALORES DE COBERTURA OBSERVADOS A SIEMBRA CON LOS PROPUESTOS POR EL PROGRAMA EROSIÓN 6.0.

Para la comparación de los valores de cobertura a siembra con los propuestos por el programa Erosión 6.0 se utilizaron los valores medios de cobertura y los percentiles 10 y 90, es decir, los valores superiores e inferiores registrados a campo mediante el método directo de determinación de cobertura.

Se compararon los valores de porcentaje de suelo cubierto por residuos del cultivo anterior luego de la siembra que ofrece el programa Erosión 6.0 para los diferentes niveles de producción (kg.MS.ha^{-1} de residuos en superficie en el momento del laboreo) de los antecesores con los valores observados. Para esto, se estimó la

cantidad de residuos que dejan los antecesores en superficie al momento de la siembra según el rendimiento medio en grano y el índice de cosecha teórico de cada antecesor (0,30; 0,40 y 0,50 para CANOLA, cereales de invierno y sorgo/maíz respectivamente). Una vez obtenido el dato de nivel de producción de rastrojo por antecesor, se asigno a la categoría correspondiente ofrecida por el programa (bajo, regular, medio o alto) con sus respectivos valores de cobertura. Éstos se compararon con los valores medios de cobertura observados.

El rango total de cobertura que propone el programa es de 30 a 95% para el período I independientemente del cultivo antecesor. Los datos observados fueron por cultivo antecesor por lo que se compararán los valores de cobertura para sorgo/maíz y cereales de invierno. Adicionalmente se propondrá un rango de cobertura para el antecesor CANOLA ya que el programa no lo toma en cuenta.

Cuadro No. 14. Valores ofrecidos por el programa vs observados de cobertura a siembra según el rendimiento medio e índice de cosecha teórico del cultivo antecesor.

	Rendimiento medio (kg.ha ⁻¹)	Valores observados de cobertura media (%)		
		Erosión 6.0	Promedio	Mínimo y máximo
Sorgo/maíz	6400	90 y 95	78	58 a 96
Cereales de invierno	3260	80	84	51 a 99
CANOLA	2280	(80)	80	44 a 99

Los valores observados están dentro del rango que se propone. En definitiva entre el mínimo y el máximo que ofrece el modelo la variable que define cual es el valor real de cobertura tendría que ser el rendimiento del cultivo anterior, que determina la cantidad de rastrojo.

Para sorgo/maíz el programa ofrece valores de cobertura de 90 y 95% para el nivel de producción de residuos alto (>6000 kg.MS.ha⁻¹ de residuos en superficie en el momento del laboreo). Sin embargo los valores observados muestran que los niveles de cobertura son más bajos, del orden del 80%, por lo tanto el programa estaría sobreestimando la cobertura por residuos para estos antecesores.

En cereales de invierno los valores de cobertura ofrecidos vs observados parecen coincidir.

En CANOLA, si bien el programa no lo contempla, para un rendimiento medio de 2280 kg.ha⁻¹ y un índice de cosecha teórico de 0,25 a 0,30, tendría un nivel de producción de rastrojo medio y el programa debería ofrecer valores de cobertura de

80% aproximadamente, lo que parecería coincidir con los valores observados al igual que en cereales de invierno. Si bien el valor inferior del rango es más bajo que para los otros cultivos, está dentro del rango que maneja el programa. Este cultivo, independientemente del rendimiento, ofrece rangos de valores de cobertura más bajos que los otros cultivos analizados debido al método de cosecha. Sin embargo ofrece coberturas más altas de lo que se cree.

Es importante aclarar que los rendimientos medios de las chacras muestreadas de los antecesores sorgo/maíz y CANOLA son altos, ubicándose por encima del promedio nacional, mientras que los de cereales de invierno son rendimientos promedio.

4.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE COBERTURA DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA PARA LOS CULTIVOS ANALIZADOS

Al encontrarse diferencias en los valores de cobertura en las distintas zonas de muestreo de los diferentes rastrojos, fundamentalmente en la cola y entre cola de trilla de los rastrojos de invierno, realizamos un ejemplo de cómo sería el cálculo para obtener la cobertura media del suelo a la siembra del cultivo de soja. Como los valores medios de cobertura manejados a lo largo de toda la tesis son medias aritméticas, es decir, que cada zona de muestreo estaría ocupando la misma proporción dentro de la chacra, se propone el siguiente ejemplo de cálculo para obtener el valor de cobertura ponderado.

Los valores de cobertura de la cola de trilla son altos en cereales de invierno y CANOLA (percentil 10 de 94 y 83% de cobertura respectivamente), presentando la CANOLA una media de 94% y los cereales de invierno de 97% de cobertura. Teniendo en cuenta que valores por encima del 90% no contribuyen a una mayor reducción de pérdida de suelo (figura No. 4) y que los valores de cobertura de la cola de trilla se encuentran en la zona plateau del modelo, se optó por tomar como valor fijo para la cola un 90% de cobertura.

Para la zona de la entre cola de trilla, por presentar una cobertura más heterogénea dentro de la chacra y mayor variación de los datos, no se puede establecer un solo valor por lo que se propone ingresar la cantidad de rastrojo suelto en el modelo (figuras No. 14 y 15) y a partir de este calcular la cobertura media.

Luego se debería ponderar por el ancho que ocupa cada zona de muestreo dentro de la chacra. Para esto se debe multiplicar la cobertura por la proporción que ocupa cada zona en la chacra (ver anexo No. 4).

Cuadro No. 15. Ejemplo de cálculo de cobertura media generada por CANOLA y cereales de invierno.

	CANOLA	Cereales de invierno
Ancho _{cola} (m)	3	3
Ancho _{entre cola} (m)	4	4
Rastrojo suelto (Kg.MS.ha. ⁻¹)	3000	3300
Cobertura _{cola} (%)	90	90
Cobertura _{entre cola} (%)	44*	69**
Ancho _{total} (m)***	7	7
Cobertura _{total} (%)	63,7	78

* Valor de cobertura de suelo en la entre cola calculado a partir del modelo para CANOLA (figura No. 14). ** Valor de cobertura de suelo en la entre cola calculado a partir del modelo para cereales de invierno (figura No. 15). *** Se obtiene de la suma del ancho de cola y la entre cola.

Los anchos de cada zona son estimaciones poco precisas por lo que no explican con exactitud la realidad. Para saber realmente el ancho que ocupa cada zona de muestreo se debería medir cada una de estas con un instrumento adecuado.

Para el cálculo de cobertura de sorgo/maíz se debe usar el rastrojo anclado en vez de suelto ya que es quien determina la cobertura. Dado que las zonas de muestreo son diferentes que en los rastrojos de invierno y por no presentar las mismas una alta heterogeneidad de los residuos en superficie, se debe aplicar el modelo de la figura No. 16.

El cálculo de cobertura de suelo a la siembra de soja para sorgo/maíz tomando como valor de rastrojo anclado 2200 Kg.MS.ha.⁻¹ (valor promedio de la cantidad de rastrojo anclado de todas las chacras muestreadas de maíz y sorgo) sería:

$$[4E-3X + 70] = 4E-3*(2200) + 70 = 78,7\%$$

Los valores de cobertura calculados a partir del ejemplo anterior no se deben tomar en cuenta ya que la longitud de cada zona no se midió con exactitud. Simplemente es para explicar cómo se debería ponderar la cobertura de cada zona por la proporción que ocupa cada una en la chacra.

5. CONCLUSIONES

La cobertura de suelo a la siembra de soja dependió de la cantidad de rastrojo suelto en cereales de invierno y CANOLA, mientras que en sorgo/maíz la determino la cantidad de rastrojo anclado.

La variación de la cobertura de suelo a la siembra dentro de antecesores de invierno, dependió de la calidad de la cosecha, estableciéndose los menores valores en la entre cola de trilla en cereales de invierno y CANOLA. En sorgo/maíz dependió del estado del cultivo.

Los valores mínimos y máximos de cobertura del suelo por cultivo están dentro de los rangos que se proponen en el programa Erosión 6.0. Sin embargo, tomando en cuenta el nivel de producción promedio de residuos por cultivo y el índice de cosecha teórico, el programa estaría sobreestimando la cobertura para antecesores sorgo/maíz. En tanto, los valores observados para cereales de invierno y (CANOLA) coinciden con los propuestos por el programa.

Al final del período I la cobertura promedio de suelo aumentó en todos los cultivos y se homogeneizó, indicando que el crecimiento del cultivo es una variable relevante en definir el resultado.

En definitiva, el programa Erosión 6.0 debería permitir que el usuario solamente pueda ingresar los datos del rendimiento medio del cultivo antecesor y el ancho de las zonas de muestreo (cola y entre cola de trilla) y a partir de los modelos ajustados y el índice de cosecha de cada cultivo calcular la cobertura promedio ponderada por el ancho de cada zona para obtener el valor de cobertura real de la chacra en cuestión.

Adicionalmente se debería separar el cultivo de sorgo del de maíz ya que tienen diferentes proporciones de rastrojo anclado, que es el que determina la cobertura y además también presentan, valores distintos de cobertura a siembra.

6. RESUMEN

En la elaboración del plan de uso y manejo responsable del suelo y a efectos de estimar las pérdidas por erosión se utiliza el programa Erosión 6.0, el cual usa la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo como modelo. Éste permite estimar la erosión mediante una serie de factores, de los cuales el factor C (uso y manejo), es afectado exclusivamente por las diferentes prácticas agronómicas, modificando por tanto la pérdida de suelo por erosión. Dentro de este, en un sistema de siembra directa la cobertura del suelo es el subfactor más importante en la relación de pérdida de suelo (RPS) en reducir la erosión hídrica en los periodos de cultivo 0 y 1 del modelo. La cobertura de suelo es una variable de entrada en el modelo que tiene un alto impacto en la erosión estimada. Los valores disponibles en el modelo, en su mayoría, no fueron generados en el país ni para la tecnología de producción actual, que incluye agricultura continua en siembra directa. Además no se disponen de valores de cobertura para algunos antecesores ni para cobertura residual de cultivos previos. Esta investigación se realizó con el objetivo de empezar a generar una base de datos para el porcentaje de suelo cubierto en el período I, en cultivos de soja en siembra directa sembrados luego de distintos antecesores (sorgo/maíz, trigo/cebada y CANOLA), localizados en diferentes departamentos del litoral, estableciendo relaciones causales para variaciones en la cobertura del suelo para un mismo antecesor y relacionar el rendimiento de éste con el porcentaje de suelo cubierto. Se midió la cobertura de suelo a la siembra del cultivo de soja y al final del periodo I por método directo (subjetivo), desde el 31/10/2013 hasta el 23/01/2014. Adicionalmente se determinó la materia seca de rastrojo acumulado en el área del cuadrante, diferenciando suelo de anclado, y la materia seca de soja en la medición al final del periodo I. En cada chacra se realizaron nueve mediciones, tres repeticiones en cada posición topográfica para abarcar la variabilidad existente dentro de la misma. La cobertura de suelo a la siembra de soja dependió de la cantidad de rastrojo suelto en cereales de invierno y CANOLA, diferenciándose dos zonas bien definidas (cola y entre cola de trilla), mientras que en sorgo/maíz se determinó la cantidad de rastrojo anclado. Los valores mínimos y máximos de cobertura del suelo por cultivo están dentro de los rangos que se proponen en el programa Erosión 6.0. Al final del período I la cobertura promedio de suelo aumentó en todos los cultivos y se homogeneizó, indicando que el crecimiento del cultivo es una variable relevante en definir el resultado.

Palabras clave: Cobertura de suelo; Erosión; Rastrojo; Plan de Uso del Suelo; Siembra directa.

7. SUMMARY

The program Erosion 6.0, based on the Universal Soil Loss Equation of Soil as a model, not only is it used in order to elaborate a plan of use and responsible management of the soil, but it is also used to ponder the losses due to erosion. This program evaluates erosion through the analysis of certain factors such as factor C (use and management) which is exclusively affected by different agronomic practices and, hence, the loss of soil due to erosion is modified. Within factor C, in relation to a direct sowing system, the soil coverage emerges as the most important sub factor when it comes to determining the soil loss relation (SLR) and the reduction of the hydric erosion during the growing periods 0 and I belonging to the model. The soil coverage is one of the most fundamental variables of the model since it presents a deep impact on the projected erosion. Mostly, the available values of the model have not emerged from the study of our local context in which different technologies of production, such as the agriculture based on a continuous direct sowing system, are usually applied. In addition, the model also lacks some values related to soil coverage of predecessor crops and to residual coverages of previous ones. In the light of this, the following research was carried out in order to progressively start constructing a database focused on the percentage the soil covered in period I. The study is based on soya harvested through a direct sowing system and after different predecessor crops such as sorghum/corn, wheat/barley and canola. The selected zone of study was the west coastal area of our country and, throughout this research, causal relations were established on different variations of soil coverage, belonging to one predecessor crop, in order to evaluate its yield in connection with the percentage of the covered soil. In this sense, the soil coverage was measured through the direct method (subjective) in two different instances: during the growing period of soya and at the end of period I from October 31st 2013 to January 1st 2014. Furthermore, on the one hand, the accumulated dry matter of stubble in the selected areas was determined through a differentiation between loose and anchored and, on the other hand, the soya dry matter was measured at the end of period I. Nine measures were carried out in each of the farms since, for each of the topographic positions, three repetitions were made in order to contemplate any variability. The soil coverage during the growing period of soya depended on loose stubble in winter grains and canola and there was a clear difference between two zones: “cola” and “entrecola”. In relation to sorghum/corn, the soil coverage depended on the amount of stubble anchored. The maximum and minimum values of soil coverage for crops are within the expected ranks proposed by the program Erosion 6.0. At the end of period I, the average of soil coverage increased in each and every crop and it became homogeneous which shows that the growth of the crop emerges as a relevant variable when defining the result.

Key Words: Soil coverage; Erosion; Stubble; Soil Use Plan; Direct Growing.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Do Prado Wildner, L.; Da Veiga, M. 1994. Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. (en línea). *In: Erosión de suelos en América Latina*. Santiago, Chile, FAO s.p. Consultado dic. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s06.htm>.
3. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v.2, cap. 3, pp. 1-229.
4. Erenstein, O. C. A. 1999. The economics of soil conservation in developing countries; the case of crop residue mulching. (en línea). Wageningen, The Netherlands, Wageningen University. cap. 5, pp. 103-104. Consultado 16 dic. 2014. Disponible en <http://edepot.wur.nl/165794>
5. FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2009. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. (en línea). *In: Foro de Expertos de Alto Nivel (2009, Roma). Cómo alimentar al mundo 2050*. s.p. (Papers). Consultado dic. 2014. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
6. _____. 2015. La FAO y la agenda de desarrollo post-2015; informe temático. (en línea). Roma. s.p. (Alimentar a las personas, nutrir al planeta. Tema No. 14). Consultado dic. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/land-and-soils/es/>
7. García, I.; Dorronsoro, C. s.f. Contaminación del suelo. (en línea). Lima, PE, CIEFA. 20 p. Consultado 12 nov. 2014. Disponible en <http://www.ciefa.org/acrobat/modulos/LECTURA%20TRES%20%20MODULO%20DOS%20GAOT.pdf>
8. García Préchac, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos. Montevideo, INIA. 63 p. (Serie Técnica no. 26).

9. _____.; Clérici, C.; Hill, M. 2009. Sistema de erosión para Windows, versión 6.0; manual del usuario. (en línea). Montevideo, MGAP. 14 p. Consultado 14 nov. 2014. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/planes-de-uso-y-manejo-de-suelos/herramientas-de-apoyo/>.
10. Hill, M.; García Préchac, F.; Terra, J.; Sawchik, J. 2008. Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar erosión en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 12(2): 57-67.
11. _____.; Clérici, C. 2013. Avances en políticas de manejo y conservación de suelos en Uruguay. (en línea). *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 12: 2-6. Consultado 10 nov.2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/B387A9BDC39CF5C985257C39005C4C6B/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/B387A9BDC39CF5C985257C39005C4C6B/$FILE/2.pdf)
12. Yoder, D. C.; Porter, J. P.; Laflen, J. M.; Simanton, J. R.; Renard, K. G.; Mc Cool, D. K.; Foster, G. R. 1997. Cover management factor (C) . (en línea). In: Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A.; Mc Cool, D. K.; Yoder, D. C. eds. *Predicting soil erosion by water; a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington, D. C., USDA. ARS. cap. 5, pp. 143-182 (Agriculture Handbook no. 703). Consultado dic. 2014. Disponible en http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf.

9. ANEXOS

ANEXOS RESULTADOS

Anexo No. 1.

Análisis de varianza para antecesor sorgo/maíz clasificado por zona de muestreo y posición topográfica

Cuadro No. 1. Análisis de la varianza (SC tipo III) para cobertura del suelo generada por antecesores sorgo/maíz a la siembra del cultivo de soja según posición topográfica y zona muestreada.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	533,62	4	133,40	0,53	0,7166
Posición topográfica	231,54	2	115,77	0,46	0,6358
Zona muestreada	302,08	2	151,04	0,60	0,5548
Error	12411,52	49	253,30		
Total	12945,14	53			

Cuadro No. 2. Test de mínima diferencia significativa (LSD Fisher) para antecesores sorgo/maíz a la siembra, Alfa=0,05; DMS=10,6609.

	Medias	n	E.E.
<u>Posición topográfica</u>			
Alto	79,58	18	3,75 a
Ladera	79,26	18	3,75 a
Bajo	75,04	18	3,75 a
<u>Zona muestreada</u>			
Acostado	80,56	18	3,75 a
Parado	78,48	18	3,75 a
Huella	74,84	18	3,75 a

Medias con misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) dentro de cada fuente de variación. E.E.: error estándar.

Anexo No. 2.

Relación entre rastrojo suelto y rendimiento del cultivo antecesor para CANOLA en la entre cola de trilla

La relación que existe entre el rastrojo suelto y el rendimiento del cultivo antecesor en la entre cola se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 3. Estimación de los parámetros para el ajuste del modelo en CANOLA (rastrojo suelto/rinde antecesor en la entre cola).

Término	Estimación	Error estándar	Razón t	Prob > [t]
Constante del modelo	-47055,41	13554,18	-3,47	0,0046*
Rinde antecesor	23,96432	6,024863	3,98	0,0018*
Rastrojo anclado	0,7458122	1,47407	0,51	0,6221

El rendimiento del cultivo antecesor tuvo efecto significativo sobre la cantidad de rastrojo suelto en la entre cola de trilla. El rastrojo suelto aumenta 24 Kg por cada Kg de aumento en rendimiento. En tanto, el rastrojo anclado no tuvo efecto significativo sobre el rastrojo suelto en la entre cola.

Anexo No. 3.

Cuadro No. 4. Cobertura media al fin del período I (FDPI) y variables relevadas que podrían afectarla.

Sitio	Antecesor	Días entre mediciones	Dpto.*	PP (mm)	Distancia entre hileras	Cobertura Media (%)	Pérdida de residuo (Kg.MS.ha ⁻¹)
1	Sorgo	36	Río Negro	184	35	81	4642
2	Sorgo	30	Paysandú	105,5	35	77	1844
3	Sorgo	30	Río Negro	72	35	79	3375
4	Maíz	27	Río Negro	66	35	64	-1424
5	Maíz	31	Flores	58	35	92	1560
6	CANOLA	31	Flores	58	35	89	3276
7	CANOLA	31	Flores	58	35	91	1853
8	CANOLA	32	Soriano	28	19	91	3270
9	CANOLA	32	Soriano	sd	19	97	2618
10	Trigo	48	Paysandú	155,3	35	94	3187
11	Cebada	47	Paysandú	152,2	35	96	529
12	Trigo	48	Paysandú	sd	50	94	sd
13	Maíz	48	Paysandú	sd	50	89	sd
14	Trigo	48	Río Negro	283	35	94	2213
15	CANOLA	43	Paysandú	55	35	59	222
16	CANOLA	37	Paysandú	30	35	58	542
17	Trigo	40	Paysandú	73	35	96	3298

* Departamento.

Anexo No. 4.

Ejemplo de cálculo de cobertura del suelo a la siembra de soja para CANOLA y cereales de invierno

CANOLA

$$\text{Ancho}_{\text{cola}} = 3 \text{ metros}$$

$$\text{Ancho}_{\text{entre cola}} = 4 \text{ metros}$$

$$\text{Rastrojo suelto} = 3000 \text{ Kg.MS.ha.}^{-1}$$

$$\text{Cob}_{\text{cola}} = 90\%$$

$$\text{Cob}_{\text{entre cola}} = [-16 + (0,02 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6040) + (0,02 * 6040) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6040)]$$

$$\text{Cob}_{\text{entre cola}} = [-16 + (0,02 * 3000)] = 44\%$$

$$\text{Ancho}_{\text{total}} = \text{Ancho}_{\text{cola}} + \text{Ancho}_{\text{entre cola}} = 3 + 4 = 7 \text{ metros}$$

$$\text{Cobertura}_{\text{total}} = \text{Cob}_{\text{cola}} * \frac{(\text{Ancho}_{\text{cola}})}{\text{Área}_{\text{total}}} + \text{Cob}_{\text{entre cola}} * \frac{(\text{Ancho}_{\text{entre cola}})}{\text{Área}_{\text{total}}}$$

$$\text{Cobertura}_{\text{total}} = 90 * \frac{(3 \text{ mts})}{7 \text{ mts}} + 44 * \frac{(4 \text{ mts})}{7 \text{ mts}} = 63,7\%$$

Cereales de invierno

$$\text{Ancho}_{\text{cola}} = 3 \text{ metros}$$

$$\text{Ancho}_{\text{entre cola}} = 4 \text{ metros}$$

$$\text{Rastrojo suelto} = 3300 \text{ Kg.MS.ha.}^{-1}$$

$$\text{Cob}_{\text{cola}} = 90\%$$

$$\text{Cob}_{\text{entre cola}} = [36 + (0,01 * \text{Rastrojo suelto}) * (\text{Rastrojo suelto} < 6440) + (0,01 * 6440) * (\text{Rastrojo suelto} \geq 6440)]$$

$$\text{Cob}_{\text{entre cola}} = [36 + (0,01 * 3300)] = 69\%$$

$$\text{Ancho}_{\text{total}} = \text{Ancho}_{\text{cola}} + \text{Ancho}_{\text{entre cola}} = 3 + 4 = 7 \text{ metros}$$

$$\text{Cobertura}_{\text{total}} = \text{Cob}_{\text{cola}} * \frac{(\text{Ancho}_{\text{cola}})}{\text{Área}_{\text{total}}} + \text{Cob}_{\text{entre cola}} * \frac{(\text{Ancho}_{\text{entre cola}})}{\text{Área}_{\text{total}}}$$

$$\text{Cobertura}_{\text{total}} = 90 * \frac{(3 \text{ mts})}{7 \text{ mts}} + 69 * \frac{(4 \text{ mts})}{7 \text{ mts}} = 78\%$$

Anexo No. 5.

Cuadro No. 5. Proporción de rastrojo suelto, anclado y cobertura media para sorgo y maíz a la siembra del cultivo de soja.

	Siembra		
	Rastrojo (%)		Cobertura media (%)
	Suelto	Anclado	
Maíz	87	13	73
Sorgo	71	29	83