



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y
ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO

MAESTRÍA VIRTUAL EN MANEJO Y GESTIÓN DE
CUENCAS HIDROGRÁFICAS

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA MITIGACIÓN DE
PROCESOS DE DEGRADACIÓN DEL SUELO GENERADO POR
EROSIÓN HÍDRICA, EN UNA PARCELA DEL CAMPO EL
SAUCE PERTENECIENTE A LA CUENCA DEL RÍO
GUALEGUAY, ENTRE RÍOS, ARGENTINA.

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A
CONSIDERACIÓN DE LA DIVISIÓN DE EDUCACIÓN Y LA
ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR
AL GRADO DE

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE
CUENCAS HIDROGRÁFICAS

ALTAMIRANO; ALEJANDRA NOELIA

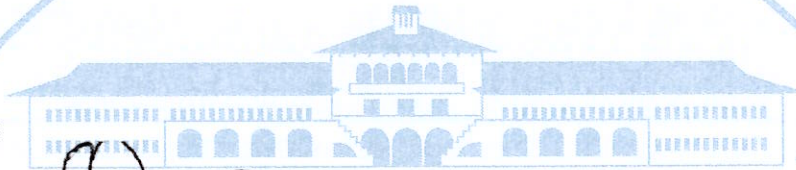
TURRIALBA, COSTA RICA
2023

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador de la estudiante, como requisito para optar por el grado de

División de Educación

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FIRMANTES:



Ramakrishna Bommat, Ph..

Codirector Principal del Trabajo de Graduación

Ariel Martín Amoroso, M.Sc.

Codirector Principal del Trabajo de Graduación

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.

Decano de la Escuela de Posgrado

Alejandra Noelia Altamirano

Candidata

Escuela de Posgrado

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a mis hijos, mis grandes amores, Tomás, Sophia y Victoria, a mi esposo Diego, a mis padres Estela Inés y Pedro, a mis hermanos y sus familias; Ramiro, Camila y Nicolás, y a Liliana, mi suegra; quienes han sido mi apoyo incondicional, han creído en mí y me han acompañado en todo el camino de formación profesional que he enfrentado.

Para vos, querido Joaquín E. Martínez Lazarte; hijo, hermano, amigo y compañero, que te fuiste tan temprano. Hasta que nos volvamos a encontrar...

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a mis hijos Tomás, Sophia y Victoria; a mi esposo Diego; a mis padres: Estela Inés y Pedro; y a mis hermanos: Ramiro, Camila y Nicolás y a Lili, a quienes adoro con locura, por resignar nuestro tiempo juntos para que yo pueda cumplir este anhelo; por el consuelo, el apoyo y los consejos, son mi fortaleza para alcanzar el éxito todos los días.

A mi director el PhD Bommat Ramakrishna, por aceptar acompañarme en esta producción académica y brindarme desde su experiencia y formación, los recursos necesarios para materializar este trabajo.

A mi co-Asesor, MSc Ariel Amoroso, a quien he admirado siempre, por su apoyo y el acompañamiento cuando tomé la decisión de iniciar este desafío en el CATIE.

A mis amigos y compañeros de trabajo, Gabriela, Walter, Romina y Florencia, quienes soportaron junto a mí cada módulo, trabajo y escollo, por cada mate que me han cebado para confortar el espíritu, y porque se alegraron junto a mí, en cada conquista.

A la Asociación Educacionista La Fraternidad-Universidad de Concepción del Uruguay, su presidente y Rector el Dr. Héctor Sauret y a la Magíster Valeria Carbone, quienes me permitieron formar parte de esta centenaria Institución y del espacio “Campo El Sauce” donde me brindaron el apoyo para lograr este trabajo.

Al MSc Claudio Hofer, quien me brindo su aval para iniciarme en el posgrado.

A mis colegas, compañeros, profesores y personal del CATIE, con quienes hemos entablado una relación sumamente enriquecedora y de quienes he aprendido mucho.

Al Ing. Agr. Manuel Fernández Verocay, quien, con su ayuda, hizo posible esto.

CONTENIDO

FIRMANTES	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO.....	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes	1
Justificación.....	1
Importancia.....	2
OBJETIVOS.....	2
General	2
Específicos.....	2
REVISIÓN LITERARIA	3
METODOLOGÍA	4
Ubicación del área de estudio.....	4
Coordenadas geográficas.....	4
Descripción general	4
Clima:	4
Suelo: Serie Mansilla. Peluderte argiudólico.	5
PROCESO METODOLÓGICO.....	6
Objetivo específico 1: Determinar las características agroecológicas, tomando	

cómo línea de base los parámetros de contenido de materia orgánica, pH y fósforo, como indicador de la salud del suelo, para la parcela demostrativa ubicada en el campo El Sauce.	6
Objetivo específico 2: Estimar y cuantificar los factores que intervienen en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para el cálculo la erosión hídrica en la parcela experimental.	8
Objetivo específico 3: Proponer estrategias de mitigación para la recuperación de suelos degradados por erosión hídrica.	15
Objetivo Específico 4: Establecer el consenso entre diferentes actores para ensayar las medidas de Mitigación propuesta en la parcela perteneciente a la Asociación Educacionista la Fraternidad, afectadas por erosión hídrica.	26
CONSIDERACIONES FINALES	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	29
LITERATURA CITADA.....	31
ANEXO I.....	34

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1: Condiciones agroecológicas de la parcela.
- Cuadro 2: Relación entre la precipitación media anual (PMA) y el factor de erosividad de las lluvias (R).
- Cuadro 3: Ficha edafológica.
- Cuadro 4: Factor K.
- Cuadro 5: Factor LS calculado sobre la base de longitud (m) y el grado (%) de la pendiente.
- Cuadro 6: Factor C.
- Cuadro 7: Factor P.
- Cuadro 8: Evolución de la participación de gramíneas y oleaginosas.
- Cuadro 9: Evolución de productores que realizó cultivos de cobertura en Argentina.
- Cuadro 10: Características de diferentes especies usadas como cobertura.
- Cuadro 11: Valor para Factor P.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuencadelrío Gualeguay.

Figura 2: Mapa de precipitación media anual de la provincia de Entre Ríos. (mm)

Figura 3: Caracterización de zonas y subzonas RIAN Entre Ríos (2013).

Figura 4: Siembra directa vs. Siembra convencional para el Departamento Tala, Entre Ríos.

Figura 5: Maíz en siembra directa.

Figura 6: Maíz en siembra directa, evidencia de erosión hídrica.

Figura 7: Ensayo de cultivo de cobertura de *Trifolium alexandrinum*.

Figura 8: Ensayo de cultivo de cobertura. Maíz sobre *Trifolium alexandrinum*.

Figura 9: Diseño de terrazas y canales. Parcela Campo el Sauce.

Figura 10: Diseño de canales. Parcela Campo el Sauce.

Figura 11: Inicio de construcción de canales evacuadores.

Figura 12: Resumen de ejes trabajados en reuniones con arrendatarios.

Figura 13: Cuadro resumen de la metodología propuesta.

LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

AELF: Asociación Educacionista la Fraternidad.
EEA: Estación Experimental Agropecuaria.
EE. UU: Estados Unidos de Norteamérica.
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Gt: Gigatonelada.
ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soils.
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
ha: hectárea.
mm: milímetros.
M.J: mega joule.
M.O: materia orgánica.
O.M.M: Organización Meteorológica Mundial.
PAM: precipitación media anual.
PAS: Panorama agrícola semanal.
ReTAA: Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada.
RIAP: Red de Información Agropecuaria Pampeana.
RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation.
SAGyP: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
SiSINTA: Sistema de información de Suelos INTA.
t: tonelada.
U.S.L.E: Universal Soil Loss Equation.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es generar una propuesta metodológica para la mitigación de los procesos de degradación del suelo generados por erosión hídrica. El mismo se realizó en una parcela ubicada en el Departamento Tala, perteneciente a la Cuenca del Río Gualeguay, la cual presentaba evidencia de erosión moderada y severa.

Se llevó a cabo el relevamiento de las condiciones agroecológicas de la parcela objeto del estudio y se cuantificaron las pérdidas de suelo por erosión bajo la condición de uso actual.

A partir de allí, se relevaron propuestas técnicas, como estrategias de mitigación, y se generaron acuerdos entre los diferentes actores, para su implementación.

Esta metodología, permite un uso amplio, dado que la misma, puede ser adaptada a diferentes tipos de parcelas y condiciones de uso.

PALABRAS CLAVE: erosión hídrica, suelo, mitigación, propuesta metodológica.

ABSTRACT

The objective of this study is to generate a methodological proposal for the mitigation of soil degradation processes generated by water erosion. It was carried out based on a belonging plot located in the Tala Department, belonging to the Gualeguay River Basin, which presented evidence of moderate and severe erosion.

The agroecological conditions of the plot under study were surveyed, and soil losses due to erosion under the current use condition were quantified.

The different technical proposals such as mitigation strategies were revealed, and agreements were generated between the different actors, for their implementation.

This methodology generated, allows us a wide use, since, can be adapted to different types of plots and conditions of use.

KEY WORDS: water erosion, soil, mitigation, methodological proposal.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La provincia de Entre Ríos tiene como principal actividad económica la producción agropecuaria y agroindustrial, donde se destacan principalmente los cultivos cereales y oleaginosas y desde la agroindustria la producción avícola y su industrialización de subproductos.

En las últimas décadas, la superficie destinada a la agricultura ha crecido de manera sostenida, de la mano de un paquete tecnológico altamente dependiente de agro insumos. (Viglizo et al. 2001).

La expansión de la frontera agrícola fue sumamente marcada durante los años 90, sin tener en cuenta la capacidad de uso del suelo, la falta de adecuación de las labores, el desconocimiento de los productores agropecuarios sobre los ambientes y la falta de difusión de políticas públicas que regularan la actividad y promovieran la conservación del recurso suelo, llevaron a que hoy la provincia enfrente un deterioro significativo.

En particular para la provincia de Entre Ríos, el deterioro del recurso edáfico está mayormente asociado a las pérdidas por erosión hídrica y que hoy representan casi 4 millones de ha (Sasaletal.2015).

Justificación

La degradación del recurso suelo, y en particular las pérdidas generadas por erosión hídrica, fomentan el deterioro progresivo de los sistemas productivos agropecuarios de la provincia de Entre Ríos.

Este deterioro del suelo tiene consecuencias a corto, mediano y largo plazo. A corto plazo, la contaminación de los recursos hídricos por la presencia de sedimentos, el vuelco de plantas y pérdidas de fertilidad. A mediano plazo la pérdida de la estabilidad estructural, su capacidad de infiltración y retención de agua, el aumento de la resistencia a la penetración y la disminución de la capacidad de exploración de la raíz como consecuencia de la disminución de la profundidad efectiva del suelo. A largo plazo, problemas de desertificación, contaminación del recurso hídrico, generación de superficies improductivas, falta de rentabilidad agropecuaria, inseguridad alimentaria y éxodo rural.

Importancia

En muchas parcelas ubicadas en la cuenca del Río Gualeguay se repiten problemáticas de degradación de suelos relacionados con la erosión hídrica.

Es imperativo reconocer estrategias y técnicas agronómicas dirigidas a los productores locales, que los orienten en la preservación del recurso suelo.

El control y la gestión de la erosión de los suelos son importantes porque cuando la capa superior del suelo, la más fértil y rica en biodiversidad, se erosiona, el suelo restante es menos productivo con el mismo nivel de insumos, es decir impacta en el rendimiento final de los cultivos.

La variabilidad en el rendimiento está estrechamente asociada a la disponibilidad hídrica, la que depende del estado de degradación del suelo. (Gvozdenovich y Paparotti, 2010).

Este estudio propondrá una metodología y su implementación en una parcela seleccionada a tal fin, ubicada en el Campo El Sauce, propiedad de la Asociación Educacionista la Fraternidad en la cuenca del Río Gualeguay, departamento Tala, provincia de Entre Ríos, Argentina, la cual presenta evidencia de proceso degradativo que la erosión hídrica ha generado.

OBJETIVOS

General

Proponer una metodología que permita mitigar los procesos de degradación de suelo generados por erosión hídrica y las problemáticas asociadas tales como la desertificación, contaminación del recurso hídrico, generación de superficies improductivas, falta de rentabilidad agropecuaria, inseguridad alimentaria y éxodo rural, en una parcela ubicada en el campo El Sauce, departamento Tala, Cuenca del Río Gualeguay.

Específicos

- Determinar las características agroecológicas, tomando como línea de base los parámetros de contenido de materia orgánica, pH y fósforo, como indicador de la salud del suelo, para la parcela ubicada en el campo El Sauce.
- Estimar y cuantificar los factores que intervienen en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para el cálculo de la erosión hídrica en la parcela ubicada en el campo El Sauce.
- Proponer estrategias técnicas de mitigación para la recuperación de suelos degradados por erosión hídrica.

- Establecer el consenso entre diferentes actores para ensayar las medidas de Mitigación propuesta y en la parcela perteneciente a la Asociación Educacionista la Fraternidad afectadas por erosión hídrica.

REVISIÓN LITERARIA

La superficie de la tierra cumple roles sumamente importantes en los ecosistemas y guarda una íntima correlación con los fenómenos atmosféricos que en ellos suceden.

La degradación de las tierras acentúa el cambio climático inducido por el aumento en la concentración de CO₂, producto de la desaparición de la vegetación y como consecuencia de una baja capacidad de secuestro de carbono por la pérdida de microorganismos del suelo (OMM, 2006).

Este deterioro, está mayormente asociado a las pérdidas por erosión, la contaminación, compactación, acidificación, salinización y desequilibrio de nutrientes entre otros. Puntualmente, la cuantificación de la pérdida de suelos por erosión hídrica a nivel mundial, ronda entre 20 a 30 Gt/año (FAO e ITPS, 2015).

En Argentina, la erosión afecta alrededor de 45.509.394 ha. De este total, unas 3.939.955 ha presentes en Entre Ríos, se encuentran afectadas exclusivamente por erosión hídrica, considerando una superficie total de la provincia de 7.878.100 ha.

Otro indicador importante a tener en cuenta es que 57% de la superficie de la provincia presentan algún grado de susceptibilidad a la erosión, ya sea leve, moderada o alta (Sasal, et al. citado por Casas y Albarracín, 2015) lo que representa un indicador relevante y que debe ser tenido en cuenta en la planificación de las actividades productivas de los establecimientos agropecuarios.

La erosión es descripta como un proceso natural, que consiste en la pérdida de la capa superficial del suelo mediado por un agente causal que puede ser el viento o el agua. En el caso de la erosión hídrica, es el agua la encargada de movilizar las partículas que se desprenden de la superficie del suelo mediante el impacto que genera la caída de la gota de lluvia, o bien por arrastre superficial.

Cuando la capacidad de infiltración del suelo se ha reducido y el exceso de agua recorre la superficie en forma de escorrentía, arrastra a esta fracción, que se corresponde a la más rica en biodiversidad y materia orgánica. Los sedimentos desprendidos, terminan siendo transportados y relocalizados en otros sitios, como depresiones del terreno o causas hídricas. Este proceso natural, denominado geológico se ha visto intensificado de manera significativa por la acción antrópica sobre los ecosistemas, asociados a la producción primaria, en particular de los circuitos agrícola-ganaderos.

METODOLOGÍA

Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se realizó en una parcela perteneciente al campo El Sauce, propiedad de la Asociación Educacionista La Fraternidad.

Esta, es una Asociación sin fines de lucro, creada en 1.877 como sociedad de socorro mutuo, cuyo objetivo principal era la protección de estudiantes que habían perdido sus becas de estudio y que concurrían al histórico Colegio Nacional del Uruguay. En el año 1.971, la Asociación crea por iniciativa propia, a la Universidad de Concepción del Uruguay, afianzando así, su proyecto educativo.

El mismo se encuentra ubicado en el Departamento Tala, en el centro de la provincia de Entre Ríos, área perteneciente a la cuenca del Río Gualeguay.

Esta parcela de estudios fue seleccionada, por sus características; en primer lugar, por ser representativa de la región en lo que se refiere a su agroecosistema, como unidades productivas, su accesibilidad, (estado de caminos) y como otro factor de importancia, la evidencia clara de erosión hídrica en algunas secciones del mismo, caracterizadas de manera cualitativa como áreas de erosión baja a moderada (erosión laminar y en surcos) y áreas de erosión severa (cárcavas).



Figura 1. Cuenca del Río Gualeguay. Fuente: Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.

Coordenadas geográficas.

El lote objeto de este trabajo, se ubica en LAT 32° 37' 31'' S y LONG: 59° 14' 02'' O.

Descripción general

Clima:

Según la clasificación establecida por Köppen el área de interés pertenece al clima templado húmedo de llanura, sin estación seca, con una temperatura media anual de 17°C que varía en las épocas de verano hacia 25°C y rondan los 10°C en

mes más frío de invierno.

La precipitación media anual es de 1.105mm en la zona norte, disminuyendo a 995 mm hacia el sur, presentando variabilidad interanual. El período más lluvioso es el correspondiente a los meses de abril, mayo y noviembre. En la región sur de la zona se presenta una ausencia de situaciones extremas, lo que la posiciona como la de mayor aptitud desde el punto de vista climático para el cultivo de secano de cereales y forrajeras y para la ganadería (RIAP Entre Ríos, 2006).

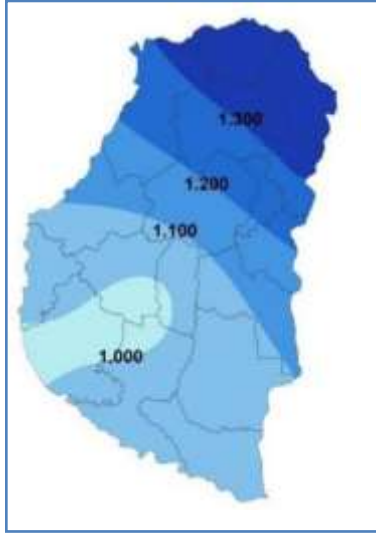


Figura 2. Mapa de precipitación media anual de la provincia de Entre Ríos. (mm)
Fuente: Observatorio Meteorológico de la EEA Paraná INTA. Serie 1971-2000(2008)

Suelo: Serie Mansilla. Peluderte argiudólico.

Suelo de la parcela pertenece al Orden Vertisol, de color oscuro, presenta un horizonte subsuperficial argílico, también llamado B2t, con alto contenido de arcilla montmorilonítica (expandibles) lo que le confiere un alto grado de impermeabilidad.

También presenta un epipedón mólico y un régimen de humedad údico (no se encuentra seco por lo menos 90 días consecutivos).

Suelo: Clase de aptitud de tierras.

Según lo detallado en la Red de Información Agropecuaria Nacional, generada por el Centro Regional Entre Ríos, (RIAN) la parcela de estudio pertenece a la Subzona VII B Gualeguay, con denominación local: Región Centro Sur y se ubica en sector perteneciente a la Clase II de Aptitud de Tierras: engloba suelos aptos para todo tipo de cultivos con ligeras limitaciones. En este caso en particular, estas limitaciones en la parcela de estudio están relacionadas con el horizonte subsuperficial argílico o B2t y el alto grado de impermeabilidad que este le confiere al perfil del suelo.

Es importante reconocer que las limitaciones que presentan estas tierras

exigen la adopción de medidas que permitan la preservación del recurso y una producción sustentable.



SUBZONA	CLASE DE APTITUD DE LAS TIERRAS	SUPERFICIE	
		Ha.	%
VII B	Clase II	487.900	36,32
	Clase III	260.725	18,08
	Clase IV	69.925	23,44
	Clase VI	975	0,16
	Clase VII	16.225	15,59
	Clase VIII	28.600	6,40

Figura 3: Caracterización de zonas y subzonas RIAN Entre Ríos (2013). Fuente: Red de Información Agropecuaria Nacional Centro Regional Entre Ríos.

PROCESO METODOLÓGICO.

Objetivo específico 1: Determinar las características agroecológicas, tomando cómo línea de base los parámetros de contenido de materia orgánica, pH y fósforo, como indicador de la salud del suelo, para la parcela demostrativa ubicada en el campo El Sauce.

Para determinar las características agroecológicas de la parcela se trabajó con un formulario adaptados de la Guía Técnica de Conservación de suelos y aguas, creado por el Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central, PASOLAC. Esta guía, permite el relevamiento de información rápida a campo por parte del productor, que después se puede profundizar a nivel de gabinete para alcanzar una precisión mayor.

Como complemento a la información relevada desde la Guía Técnica, se realizará un muestreo del perfil del suelo para determinar, mediante análisis de laboratorio, el contenido de materia orgánica (%M.O.), pH y Fósforo disponible como indicadores del estado actual del suelo.

Según Adriulo e Irizar, "la MO del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales - entre ellas captura de C y calidad del aire. Además, es la principal determinante de su actividad biológica"(Wilson et al, 2017, Capítulo 1, p.65).

La reacción del suelo hace referencia a la actividad del H^+ en la solución del suelo. Este factor influencia los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en él. Cuando medimos la concentración de H^+ presente en el suelo, surge el concepto de pH (Gonzales; Marbán; Conti; 2014Capítulo 4.2p.297).

Además, el pH tiene efectos sobre las propiedades físicas, (porosidad,

aireación, conductividad hidráulica) propiedades químicas y su fertilidad (disponibilidad de nutrientes, toxicidad) y las propiedades biológicas (afectación de la actividad microbiana, su impacto en la mineralización de residuos vegetales, nodulación).

En cuanto a Fósforo, se seleccionó pensando en un macronutriente indispensable para los cultivos, de poca movilidad en el suelo, cuyo mantenimiento y reposición debe ser considerado en todo planteo productivo. La medición se realiza mediante la técnica de Bray & Kurtz N°1 para determinar fósforo disponible.

Cuadro1.Condicionesagroecológicas de la parcela. Adaptado PASOLAC.

Condiciones Agroecológicas	
Precipitación anual en milímetros	Baja (menos de 1000mm) Media (1000mm-1200mm) Alta (1200mm-1300mm)
Textura del suelo al tacto	Arenoso a franco arenoso. Franca a franca-arcillosa Arcilloso
Profundidad del suelo en cm	Moderado Profundo
Capacidad de infiltración	Baja Moderada Alta
Pendiente en %	Nula 0-1% Suave 1-3% Moderada 3-5%
Contenido de P disponible (Bray & Kurts N°1)	8ppm
Contenido de materia orgánica. (Walker & Black)	3.2%
pH (en agua 1:1)	6.9

Basado en lo anteriores parámetros, se definió el sistema agroecológico de la parcela demostrativa. Esta tabla será utilizada para la metodología con el propósito de generar una referencia y que permita ser extrapolada a otras zonas de la cuenca con la intención de generar información para la mitigación de erosión.

Los datos de referencia con los que serán completada esta tabla, son de acceso

público, por lo que tanto los productores como otros actores del medio productivo pueden obtenerlos.

Objetivo específico 2: Estimar y cuantificar los factores que intervienen en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para el cálculo la erosión hídrica en la parcela experimental.

Las investigaciones llevadas a cabo para estimar la erosión de suelos y sus consecuencias en los sistemas agro-productivos datan del año 1.930. En las décadas posteriores, la comunidad científica se abocó en el desarrollo de un procedimiento que permitiera cuantificar y estimar la pérdida de suelo que ocurría en el cinturón maicero de los Estados Unidos de Norteamérica. Este trabajo pormenorizado, que conllevó la instalación de parcelas demostrativas que abarcaron 49 ambientes, condiciones y tipos de suelo diferentes, permitió el desarrollo de la Ecuación universal de pérdida de suelo U.S.L.E. (Wischmeier, Smith et al., 1965). Con nuevas investigaciones y avances tecnológicos, se logró una mejora de la U.S.L.E., lo que condujo al desarrollo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada R.U.S.L.E. (Renard, et al., 1997), que fue publicada por el Departamento de Agricultura de los EE. UU. en su Manual de agricultura No. 703.

$$A=R*K*LS*C*P$$

Donde:

A=Pérdida anual de suelo, expresado en t/ha/año

R=Energía cinética o erosiva de las precipitaciones, expresado en t/ha/año

K=Factor erosionabilidad del suelo, expresado en t.ha.h /MJ.ha.cm (tonelada de suelo perdido por unidad de erosividad)

S=Factor gradiente de la pendiente, adimensional.

L= Factor longitud de la pendiente, adimensional.

C=Factor anual de cobertura de cultivo y manejo, adimensional.

P=Factor prácticas de cultivo, adimensional.

Factor R= Se calcula a partir de un valor "E", que es la energía cinética liberada por las lluvias y un valor "I" que corresponde a la máxima intensidad de la precipitación en un intervalo de 30 minutos.

$$EI_{30} = (Ec) \cdot (I_{30})$$

En donde:

EI_{30} = Índice de erosividad para un evento ($MJ.mm.ha^{-1} .h^{-1}$)

c = Energía cinética de la lluvia ($MJ.ha^{-1}$)

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos continuos de lluvia ($mm. h^{-1}$)

Con la suma de todos los EI_{30} de cada uno de los eventos del año. Se obtiene el índice de erosividad anual (R).

Entonces:

$$R = \sum_{i=1}^n E \cdot I30i$$

R: energía cinética erosiva anual (MJ. mm./ha. h. año)

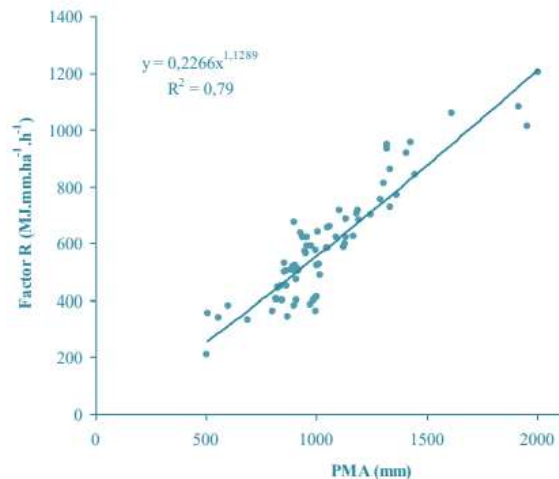
EI30i: energía cinética erosiva de cada tormenta en el año (MJ mm/ha h)

n: número de tormentas anuales.

Para el presente trabajo, utilizaremos la metodología descrita por Gaitán et al. 2017 en donde se tomaron los valores de R para 75 localidades distribuidas en el territorio argentino y a su vez los datos de precipitación media anual (PMA) extraídos del Atlas climático digital de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010). Esta metodología, permitió reconocer que el mapa de la PMA es un buen estimador de valor R para todo el país según:

$$\text{Factor R} = 0,2266 \cdot \text{PMA}^{1,1289}$$

Cuadro 2: Relación entre la precipitación media anual (PMA) y el factor de erosividad de las lluvias (R) para 75 localidades de la República Argentina.



El valor establecido de PMA para el Departamento Tala, donde se ubica la parcela interés del presente trabajo, tiene un valor de 1.137 mm.

$$R = 0,2266 \cdot 1137^{1,1289}$$

Del cálculo se obtiene:

$$R = 620 \text{ MJ mm/ha h año}$$

Factor K= Este es un factor que permite dimensionar la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y se expresa en t/ha año por cada punto de R (t métrica. ha.

h /MJ. mm. ha). Guarda íntima correlación con la fracción componente del suelo limos + arenas finas, arenas, materia orgánica, estructura y permeabilidad del horizonte en la capa superficial del suelo.

La metodología propone la utilización del nomograma de erodabilidad (Wischmeier et al. 1971) dándole resolución a siguiente ecuación:

$$100 K = 1,292 * 2,1 M^{1,14} * (10^{-4}) * (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)$$

Donde:

M = parámetro asociado al tamaño de partículas = (% limo +% arena muy fina) * (100 - % de arcilla)

a= es el % de Materia orgánica

b= código correspondiente a la clase de estructura, definida según Soil Survey Manual 1951 (USDA 1951).

c= código de la clase de permeabilidad del perfil definida según descripción del Soil Survey Manual, 1951 (USDA 1951).

El suelo identificado en la parcela objeto del presente trabajo, pertenece a la Serie Mansilla, un Peluderte argilodólico, se extrajeron los datos cargados en el Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos - Convenio INTA - Gob. de Entre Ríos, identificado bajo el Número ER1-96C.

A continuación, se presenta la ficha de descripción edafológica:

Cuadro 3: Ficha edafológica. Fuente: SiSINTA. Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos.

The image shows a screenshot of a web-based form titled "Ficha de descripción edafológica". The form is filled with data for a soil profile. Key fields include:

- Es nodal?:** No
- Nombre:** Mansilla
- Provincia:** Entre Ríos
- Símbolo:** Msl
- Descripción del sitio:**
 - Blotaje:** 3360-11-3
 - Recorrido:** 421
 - Aerofoto:** 74
 - Fecha:** 31/05/1994
 - Número:** ER1-96C
- Fase:** Peluderte argilodólico
- Clasificación utilizada:** Clave
- Ubicación:** Descripción: Campo J. Marosini - Dpto. Tala
- Coordenadas:** lat: -32.584669, lon: -60.261118
- Tipo:** Penplanicie
- Vegetación natural o cultivos:** Pastura degradada (nichicoria, caragustá, cardo)
- Material original:** Limos calcáreos
- Relieve:** normal
- Posición:** media loma alta
- Pendientes:** 1 - 3%
- Excurrimientos:** medio
- Permeabilidad:** moderadamente lenta
- Erosión:** hidráulica, moderada

Es posible, a través del uso de Software, creado por INTA Paraná, obtener los valores precalculados de K, para la serie de suelo reconocida a nivel de la parcela. También es

posible, conociendo los valores de materia orgánica, %de arena + arena muy fina y arcilla, su estructura y permeabilidad realizar el cálculo de forma manual.

Esta herramienta es sumamente interesante puesto que permite la determinación de perdida de suelo, reconociendo los cada uno de los valores de referencia dentro de la ecuación.

Cuadro 4: Factor K. Fuente: Gvozdenovich J; et al. (2015). Erosión Hídrica - USLE/RUSLE Argentina INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0.

Factor K:

Precalculado: Mansilla - Peluderte argiudólico

Calculado:

Manual:

Materia orgánica:

Limo + arena muy fina:

Estructura:

Permeabilidad:

Arcilla:

calcular K

K: 0.345

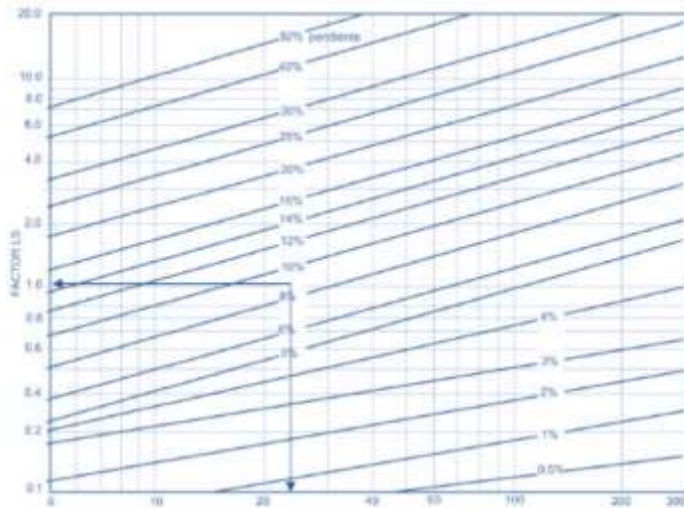
Factor K= 0.345

Factor LS= Este se corresponde al factor combinado de la longitud y grado de la pendiente de un terreno, es adimensional.

Para la longitud, particularmente referenciamos la distancia desde el origen del flujo de agua en la parcela, hasta donde el terreno pierde su grado de inclinación permitiendo que ocurra la deposición del material transportado. Es importante reconocer que, el incremento de la longitud de del terreno, genera mayor fricción con la superficie, lo que potencia el efecto erosivo del agua.

Por otro lado, el factor de la pendiente hace alusión al grado de inclinación del terreno, y se expresa en %. Cuanto mayor es el grado de inclinación del terreno, el agua aumenta su velocidad, por lo tanto, el escurrimiento superficial que se genera durante las lluvias incrementa el transporte de fracciones del suelo que se encuentran sobre la superficie.

Cuadro 5: Factor LS calculado sobre la base de longitud (m) y el grado (%) de la pendiente. (USDA, Handbook 537)



Para el desarrollo de la RUSLE, este factor se calculó en base a una parcela de 22.13 metros de largo y un 9% de pendiente tal como se visualiza en el Cuadro 5.

El factor de longitud de la pendiente queda definido como:

$$L=(x/22.13)^m$$

L = factor de longitud de la pendiente;

x = longitud de la pendiente [m]

m = coeficiente

Según:

m = 0,5 si la pendiente > 5 %

m = 0,4 si la pendiente < 5% y > 3%

m = 0,3 si la pendiente < 3% y > 1%

m = 0,2 si la pendiente < 1%

La longitud de la parcela objeto del presente trabajo es de 120 metros y presenta una pendiente del 3%, por lo cual el cálculo de L resulta en:

$$L=(120/22.13)^{0.3}$$

Para el cálculo del Factor S, se emplea:

$$S = 0.43 + 0.3s + 0.043s^2/6.613$$

S = factor de gradiente de la pendiente;

s= grado de la pendiente [%]

Los factores longitud de la pendiente y su inclinación se calculan mediante las fórmulas descritas anteriormente, las cuales se combinan en una sola, que representa el factor topográfico en conjunto LS.

$$LS = (120/22.13)^{0.3} * 0.065 + 0.045 * s + 0.0065 * s^2$$

$$LS = 0.43$$

Factor C: este factor es el denominado factor de manejo del cultivo, y es adimensional. Según Revilla (2008) "reflejar los efectos del cultivo y las prácticas de manejo de la cubierta sobre las tasas de erosión, y es el factor empleado normalmente para comparar los impactos relativos de las opciones de gestión en los planes de conservación".

Este factor, es indicador del efecto protector que ejerce la cobertura del cultivo sobre la superficie del suelo, ya que el canopeo se transforma en una barrera que intercepta y disminuye el impacto de las gotas de lluvia, evitando su efecto degradativo, y por otro lado, el efecto positivo que tienen de los restos de vegetales que permanecen en el suelo, modificando de forma directa e indirecta las consecuencias de la escorrentía superficial.

Para el cálculo de C, Según Revilla (2008) refiere que, intervienen una serie de subfactores, lo que transforma a este parámetro en uno de los más complejos de estimar, entre ellos:

- uso previo de la tierra (PLU: Prior Land Use)
- cubierta aérea (CC: Canopy Cover)
- cubierta del suelo (SC: Surface Cover)
- rugosidad de la superficie (SR: Surface Roughness);
- humedad del suelo (SM: Soil Moisture).

Particularmente para el cálculo del factor C, se trabajarán con las estimaciones publicadas por Scotta y Gvozdenovich (2014) en el XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, que se hayan calculadas para condiciones en la provincia de Entre Ríos, tal cual se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Factores C para el modelo USLE. Fuente: INTA Adaptado de Scotta y Gvozdenovich (2014).

Cultivo	C	Cultivo	C
	Convencional (siempre a favor de la pendiente)		Siembra Directa
1 Trigo en rotación	0,0213	1 Maíz en rotación	0,10
2 Trigo continuo	0,0184	2 Trigo-Soja	0,0393
3 Lino continuo o rotación	0,045	3 Cultivo Cobertura/Maíz	0,0710
4 Girasol favor de pendiente, en rotación	0,290	4 Soja SD continuo	0,13
5 Soja continua, a 70 cm	0,412	5 Verdeo Invierno	0,08
6 Soja continua, a 35 cm	0,144	6 Campo Natural	0,02
7 Sorgo en rotación	0,251	7 Pradera Permanente año 0	0,0252
8 Soja en rotación con Mz o 5g	0,311	8 Pradera Permanente año 1	0,0134
9 Maíz continuo	0,273	9 Pradera Vieja (baja cobertura)	0,0584
10 Maíz en rotación	0,181		

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Adaptado de Scotta - Gvozdenovich, 2014

Según lo detallado, la parcela está sembrada bajo el sistema de siembra directa, con maíz en rotación, por lo tanto, el valor del factor C:

C=0.1

Factor P: este factor hace alusión a los valores de pérdida de suelo que se reflejan en una parcela que ha sido intervenida mediante alguna técnica para el manejo del relieve, en comparación a la parcela estándar cultivada en ladera y con 9% de pendiente.

Para el cálculo del factor P, se usaron los valores publicados por Wischmeyer y Smith (1978), adaptados localmente por Gvozdenovich, et al. (2015).

Cuadro 7: Valor para Factor P. Fuente: Gvozdenovich, et al. (2015).

VALOR P	
Sin terraza	1
Terraza sembrable 1-2%	0.6
Terraza sembrable 2.1-8%	0.5
Terraza no sembrable + siembra en contorno	0.4
Siembra en contorno, labranza convencional	0.5
Siembra en contorno, siembra directa	0.9

El cálculo estimado para P, en la parcela de estudios se corresponde a siembra en contorno, bajo el sistema de siembra directa, por lo cual:

$$P=0,9$$

Resumen de los valores para cada Factor para el cálculo la erosión hídrica en la parcela en condiciones de uso actual es de:

$$A=R*K*LS*C*P$$

$$A = 620MJ. mm/ha. h. año * 0,345T. ha. h /MJ. mm. ha * 0,42 * 0,1 * 0,9$$

$$A = 8,1 T. ha / año$$

Objetivo específico 3: Proponer estrategias de mitigación para la recuperación de suelos degradados por erosión hídrica.

Para el cumplimiento de este objetivo, se llevó a cabo el relevamiento de diferentes estrategias de mitigación que contribuyan a la recuperación del recurso suelo, no solamente evitando el incremento de los procesos erosivos que viene sufriendo la parcela, sino también propendiendo a la recuperación de los parámetros que fomentan y mejoran las condiciones fisicoquímicas del suelo y su biodiversidad.

La descripción detallada de cada una de estas prácticas y su factibilidad de aplicación se verá influenciada por diferentes factores, que se relacionan con la toma de decisiones de los productores.

Detallando:

Siembra directa: Labranza Mínima

La agricultura en casi la totalidad de la superficie de la cuenca, a excepción de aquellas destinadas al cultivo de arroz, se realiza bajo el sistema de siembra directa (no-tillage); para oleaginosas, donde predomina como principal cultivo la soja y en menor medida sorgo, y de cereales como el trigo y el maíz.

Para la última campaña de cosecha fina 2022/2023, la SAGyP estimó que alrededor del 73% de la superficie del Departamento Tala se encuentra bajo siembra directa, en comparación a la media para provincia de Entre Ríos, que presenta valores en torno al 81%.

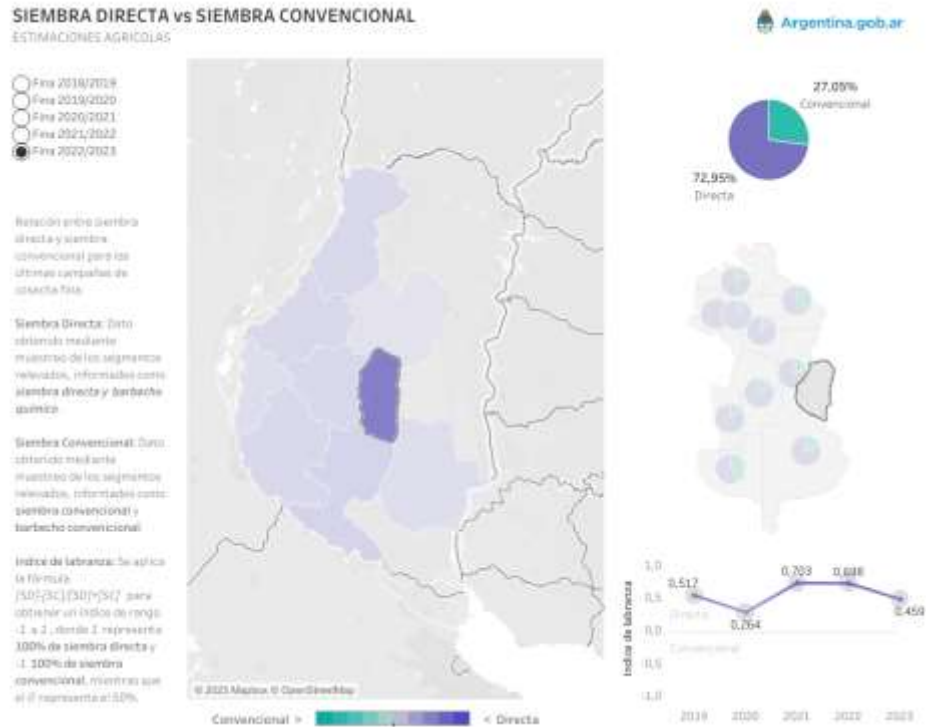


Figura 4: Siembra directa vs. Siembra convencional para el Departamento Tala, Entre Ríos. Fuente: Estimaciones agrícolas SAGyP.

La siembra directa conforma un sistema de producción de cultivos, sus técnicas y tecnologías, que implican la no remoción de suelos, lo que preserva la estabilidad estructural de los agregados, la prevalencia de la microbiota que habita en los primeros centímetros de su superficie y además evita la pérdida de materia orgánica por oxidación, promoviendo el secuestro de carbono en los primeros 0 a 10 centímetros del suelo.

Otro efecto significativo de la siembra directa, es el aporte de los restos de cosecha al suelo, generando un mulching, que permite que las gotas de lluvia no impacten de manera directa sobre la superficie del suelo, evitando la ruptura de los agregados, su posterior traslado y pérdida por escorrentía. Además, existe un activo aporte de materia orgánica, lo que favorece a la actividad microbiana en superficie y la mineralización de los restos de cosecha.

En el caso puntual de la parcela objeto de estudio del presente trabajo, podemos observar que, la aplicación de la técnica de siembra directa para el cultivo de maíz en la campaña en curso, por sí sola y como una práctica de conservación de suelo, no es suficiente para disminuir la erosión hídrica. En el registro fotográfico, que se presenta a continuación, puede observarse la presencia de una erosión laminar en la media-loma, generando el vuelco de plantas y su pérdida, debido a la escorrentía superficial que se genera. El rastrojo, que oficia de cubierta protectora de este suelo, se encuentra prácticamente inexistente, por el efecto de la escorrentía.



Figura 5: Maíz en siembra directa.

Por lo tanto, es de clara evidencia que existe un factor de mayor preponderancia, que favorece el proceso de pérdida de suelo, más allá de la adopción de la tecnología de la siembra directa, que por sí sola, no puede morigerar los efectos de degradativos que la erosión produce sobre el suelo.



Figura 6: Maíz en siembra directa. Evidencia de erosión hídrica: planchado de suelo, vuelco de plantas.

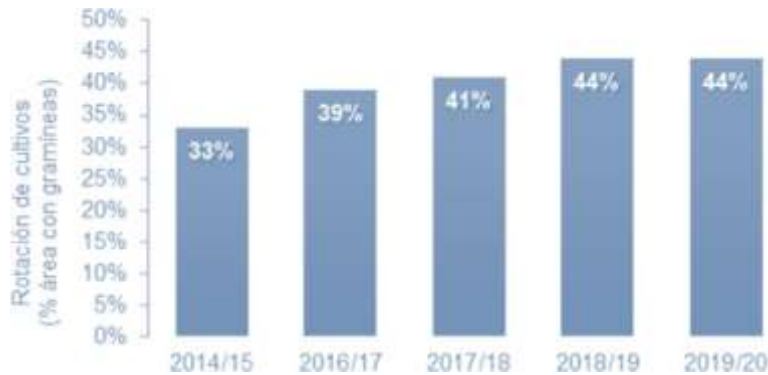
Este factor, que cobra significativa importancia en la contribución a la erosión hídrica es, la pendiente de la parcela.

Rotación de cultivos: Mejorando la Fertilidad de Suelo y su estructura.

La rotación de cultivos, está reconocida como una buena práctica agrícola, que incluye la participación de gramíneas y leguminosas en los planteos agrícolas, y a que aporta múltiples beneficios a los ambientes productivos, mejorando los contenidos de materia orgánica, retención de agua, infiltración en el perfil del suelo y un mejor balance de carbono, que contribuye al mantenimiento de la estructura del suelo, evitando la erosión y degradación del recurso.

Según un informe de la Bolsa de Cereales de la República Argentina, la incorporación de gramíneas en los planteos productivos como alternativa de rotación se ha incrementado los últimos 5 años, lo que permitió el desplazamiento de la soja hacia otros cultivos como trigo o maíz.

Cuadro 8: Evolución de la participación de gramíneas y oleaginosas. FUENTE: PAS. Bolsa de Cereales



Si bien esta tendencia, positiva vinculada a la rotación de cultivos, es algo beneficioso para el sistema suelo-planta, no debemos minimizar las razones que han llevado a este cambio de tendencia y que están íntimamente relacionada con cuestiones impositivas y económicas que hacen a la toma de decisiones de los productores en nuestro país.

Para el caso puntual de la parcela, propiedad de la Asociación Educacionista, en las cláusulas de los contratos de arrendamiento se establece que aquellas superficies que se destinan a agricultura, deben realizar el planteo de rotaciones de gramíneas y oleaginosas, e incluso para parcelas que presentan limitantes moderadas, se deberá plantear una rotación con pasturas perennes, transformado el ciclo de la misma, en agrícola-ganadera.

Cuando se establecen las secuencias de cultivos a implantar en cada parcela, el productor puede conocer de antemano, como los factores relacionados con el cultivo y sus tecnologías asociadas modificarán las pérdidas de erosión de suelo en forma teórica, por lo tanto, generamos en ellos, la capacidad de crear escenarios con fines más proteccionistas del recurso, por lo tanto, planificar en función de la seguridad alimentaria, y contribución a la mitigación del cambio climático.

El uso de la fórmula para el cálculo de pérdida de suelo de la RUSLE, es nuevamente, una herramienta que nos permite estimarla, y en base a ello, establecer las secuencias de cultivos que resulten económicamente viable y generen un menor impacto en la pérdida del suelo.

Cultivos de cobertura: Prevención de erosión hídrica, control de malezas reduciendo uso agro-químico, fijación de nitrógeno y la captura de carbono.

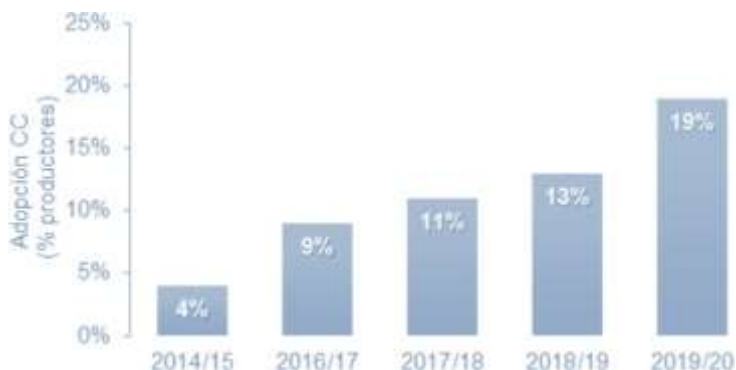
Los cultivos de cobertura, son cultivos que se realizan entre otros cultivos denominados de renta, con el propósito de generar cobertura del suelo, impidiendo la erosión hídrica. También se los han denominado cultivos de servicio en relación a los servicios eco sistémicos que estos proveen, dentro de los que destacan, la captura de carbono, a porte de nitrógeno y control de malezas (Gastan,2022).

La inclusión de cultivos de cobertura en la rotación agrícola es una de las Buenas Prácticas que ha presentado una significativa adopción en gran parte del territorio argentino.

Según un relevamiento de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, esta práctica alcanza a casi el 20% del total de productores argentinos, cifra que se quintuplicó respecto de 2014/2015(ReTAA2021).

Según Caviglia (2013) en Entre Ríos, los cultivos de cobertura buscan: aprovechar el agua disponible en el período de barbecho (almacenamiento), proteger el suelo de la erosión y contribuir con el aporte de materia orgánica.

Cuadro 9. Evolución de productores que realizó cultivos de cobertura en Argentina. Fuente: ReTAA, Bolsa de Cereales. Año2021.



Del análisis de los datos obtenidos por Gastan (2022), para dos ciudades de Entre Ríos, encontraron que el 66% de los productores encuestados en Concepción del Uruguay y el 78% de los productores de la ciudad de Paraná, identificaron como factor de importancia la adopción del cultivo de cobertura en su explotación agropecuaria para el control de malezas y valores similares fueron obtenidos también, al identificar como importante el uso de cultivos de cobertura para control de la erosión.

Otra identificación surgida del relevamiento realizado por Gastán (2022), muestra que la principal barrera en la adopción de este tipo de tecnología, es su costo y, en segundo lugar, la falta de conocimiento respecto de esta tecnología.

De la propuesta de especies seleccionadas para cultivos de cobertura, se destacan ampliamente en la región las gramíneas: Avena sp., Lolium multiflorum, Triticum sp., Secale cereale, y en menor medida leguminosas como Vicia sp., Trifolium alexandrinum y Trifolium pratense.

Tomando esta tabla como modelo, y analizando las características deseables para la mejora de los parámetros edáficos de la parcela degradada, se establece un ranqueo, que permite seleccionar la variedad a implantar, mediante la sumatoria total de los puntos obtenidos. Por último, se agregó una columna que ponderará la adaptación de cada especie a las condiciones particulares de la parcela como, por ejemplo, tipos de suelos arenosos, arcillosos, más o menos profundos, etc.

Para ello se estiman los siguientes valores: 0 (nulo), 1 (malo), 2 (bueno), 3 (muy bueno), 4 (excelente).

Cuadro 10: Características de diferentes especies usadas como cobertura. Adaptado de Clark, 2012.

	Nombre Vulgar	Nombre Científico	Eficacia N antierosión	Eficacia N en suelo	Referencia N estructural)	Mejora del suelo (MOJ)	Control de la erosión	Control de malezas	Adaptación a la parcela	BIOMASA
gramíneas	Avena	<i>Avena sativa</i>	0	3	2	3	4	3	15	
	Raigrás	<i>Lolium multiflorum</i>	0	3	3	3	3	3	15	
	Certero	<i>Secale cereale</i>	0	4	4	4	4	3	19	
leguminosas	Trébol alexandrino	<i>Trifolium alexandrinum</i>	4	3	3	3	4	4	21	
	Vicia	<i>Vicia sp.</i>	4	1	3	2	2	4	16	
	Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	3	2	3	2	3	3	16	
	Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	4	1	2	3	3	3	16	
	Trébol de olor	<i>Melilotus officinalis</i>	4	1	4	3	3	3	18	

En particular ensayaremos la performance del *Trifolium alexandrinum* para la campaña 2024, ya que la planificación de las rotaciones y labores en la parcela ya fueron realizadas con antelación a la intervención del presente trabajo.

En esta variedad encontramos una muy buena protección del suelo contra la erosión, una excelente captura biológica de nitrógeno, seguida por una muy buena fijación del mismo en el suelo y un muy buen control de malezas. Como otro dato de importancia, surgido de los ensayos de Rodríguez (2019-2020-2021) en la Agencia de Extensión de San Salvador, este cultivo presenta una excelente performance en suelos con horizontes subsuperficiales arcillosos, como los B2t.



Figura 7: Ensayo de cultivo de cobertura de *Trifolium alexandrinum*. Fuente:



Figura 8: Ensayo de cultivo de cobertura. Maíz sobre restos de *Trifolium alexandrinum*. Fuente: Ing. Agr. Héctor Rodríguez, campo Fundación PROARROZ.

Sistematización de tierras: Definición de las Medidas Estructurales y no Estructurales para el control de escorrentía.

La sistematización de tierras es una práctica agronómica utilizada para controlar la velocidad y el volumen de la escorrentía, a nivel del paisaje o cuenca, a través de un sistema de terrazas que evacúa el exceso de agua superficial (Wilson et al. 2020).

Como lo describe Scotta y colaboradores, 1989: "el punto de vista de partida para el control de la erosión hídrica se basa en la ingeniería de la conservación, para continuar simultánea o posteriormente con el mejoramiento de las condiciones físicas y de fertilidad de la capa arable" (Scotta y colaboradores, 1989: PAG5).

Según Feldkamp, "en lotes que se encuentran en producción agrícola, el control de la erosión se realiza principalmente de dos maneras: reduciendo el impacto de la gota de lluvia, aumentando la infiltración e impidiendo que el agua que corre pendiente abajo alcance velocidad erosiva".

En el primer caso, la elección de las labranzas y el impacto que estas van a producir en la estabilidad estructural de los suelos definirán la capacidad de infiltración, mientras que, la construcción de canales y terrazas promueve que el agua superficial sea captada y evacuada evitando que arrastre partículas de suelo pendiente abajo.

Del análisis de cada una de las estrategias de mitigación de la erosión, tanto, la siembra directa en conjunto con la rotación de cultivos, no han resultado

significativas para detener el avance de los procesos erosivos generados por la escorrentía superficial.

En acuerdo con los arrendatarios, se implementaron obras de ingeniería de canales y terrazas para lograr el acortamiento de la pendiente del lote, responsable en gran medida de los procesos erosivos. La sistematización previó la construcción de terrazas sembrables entre 2-8% de pendiente, con canales recolectores, cuyo dimensionamiento fue calculado por los técnicos especialistas.

Además, adicionalmente se realizó el cálculo de pérdida de suelo por RUSLE, aplicando este nuevo parámetro de manejo modificado dentro de la ecuación (Factor P), y de esta forma poder cuantificar los efectos de la medida a implementar.

Para el cálculo del factor P, se usaron los valores publicados por Wischmeyer y Smith (1978), adaptados localmente por Gvozdenovich, et al. (2015).

Cuadro 7: Valor para Factor P. Fuente: Gvozdenovich, et al. (2015)

VALOR P	
Sin terraza	1
Terraza sembrable 1-2%	0.6
Terraza sembrable 2.1-8%	0.5
Terraza no sembrable + siembra en contorno	0.4
Siembra en contorno, labranza convencional	0.5
Siembra en contorno, siembra directa	0.9

Tomando el valor establecido para terrazas sembrables entre 2-8% de pendiente el valor estimado es:

$$P=0,5$$

Detallando:

$$A=R*K*LS*C*P$$

$$A = 620MJ. mm/ha. h. año * 0,345T. ha. h /MJ. Mm. ha * 0,42 * 0,1 * 0,5$$

$$A = 4,5 T. ha / año$$

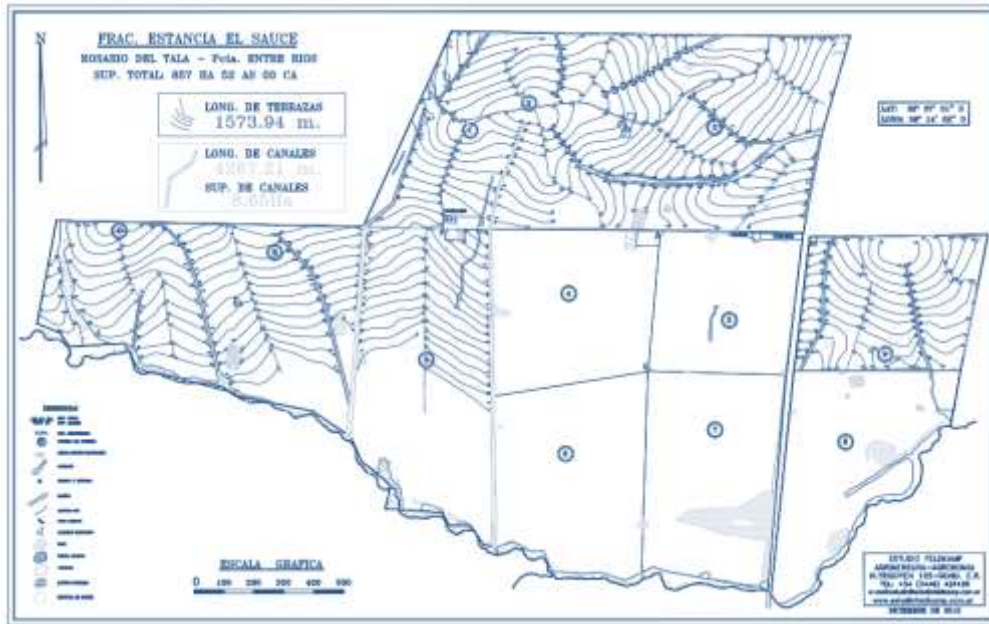


Figura 9: Diseño de terrazas y canales. Parcela Campo el Sauce. Fuente: AELF- Estudio Feldkamp.

Los potreros a nivel de subdivisión de parcelas que forman parte de la intervención serán los identificados con número 1, 2 y 3, ubicados al norte de la misma.

Para ello se planteó el diseño de terrazas, que dividen la cuenca en paños. Cada paño, representa el área de captación, donde el agua es retenida y el exceso como agua de escurrimiento es conducida hacia los canales evacuadores. La delimitación de cada paño, se corresponde con una terraza en la parte superior del terreno y otra terraza en la parte inferior. Otra condición posible es que, en el límite superior se encuentre una divisoria de aguas y en la inferior una terraza. En este caso particular, se optó por la construcción de terrazas paralelas.

El diseño y dimensionamiento de los canales de los lotes 1, 2 y 3 se detalla a continuación:

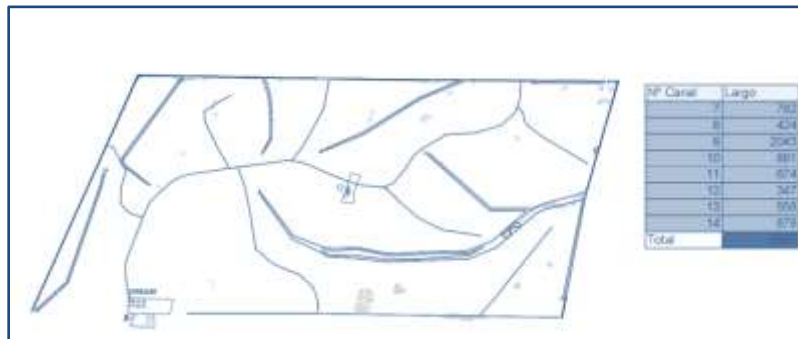


Figura 10: Diseño de canales. Parcela Campo el Sauce. Fuente: AELF- Estudio Feldkamp.

La construcción de las mismas, requirió del uso de herramientas como arados que generaron los movimientos de suelo necesarios para generar la concavidad de la superficie del suelo, posteriormente, el mismo se compacta con rolos en varias pasadas. Estos canales, serán los encargados de la recolección del agua de escorrentía hacia las áreas que se corresponden con depresiones naturales del terreno, como cursos de agua, arroyos, riachos, etc. Es importante reconocer que, al inicio de la obra de construcción, las terrazas no se encuentran conectadas al canal evacuador para poder conducir el agua precipitada, ya que primero debe lograrse la completa estabilización del mismo, mediante empastado con especies vegetales. Este proceso tiene una duración de al menos unos 8 meses, donde inicia con la selección de variedades de gramíneas y leguminosas, anuales y perennes que se siembran al voleo, se fertilizan y dan lugar a la cobertura del canal. Posteriormente, otras especies de gramíneas y arbustos realizan una colonización secundaria. Es crítico definir que, si el proceso no se realiza de forma correcta, el canal se transforma en área de captación que ofrece nula o insignificante resistencia a la escorrentía, por lo cual suele erosionarse significativamente (generación de cárcavas).



Figura 11: Inicio de construcción de canales evacuadores. Fuente: AELF-Berardo Agropecuaria.

Objetivo Específico 4: Establecer el consenso entre diferentes actores para ensayar las medidas de Mitigación propuesta en la parcela perteneciente a la Asociación Educacionista la Fraternidad, afectadas por erosión hídrica.

Establecer consensos y acuerdos en lo que respecta a este objetivo significó un trabajo interdisciplinario con un abordaje múltiple, por lo cual en primer lugar se identificó a los actores involucrados.

El trabajo interdisciplinario se desarrolló entre quienes forman parte de la Asociación Educacionista La Fraternidad y su órgano ejecutivo el Honorable Consejo Directivo, la Empresa arrendataria Berardo Agropecuaria S.R.L. (su propietario y los técnicos de campo), consultores privados (especialistas en sistematización de suelos) y personal técnico de INTA, que, si bien no trabajó como actor necesario, brindó datos de ensayos locales como insumos para el presente trabajo.

Para ello, generamos reuniones de participación activa con los arrendatarios, y los profesionales que conforman la Comisión del campo El Sauce (designados por el HCD), para reconocimiento de las tecnologías, horizontes del panorama productivo anual y los parámetros de conservación para la sostenibilidad de los recursos.

Se trabajaron sobre los siguientes ejes:

- Cuidado estructural del suelo: siembra directa.
- Cobertura del suelo: cultivos de cobertura.
- Rotaciones: variedades, esquemas, costos, variables asociadas.
- Sistematización de tierras: diseño, costos, implementación.

De estos ejes trabajados, se lograron identificar los parámetros más relevantes de las categorías, y que hacen a la implementación positiva o la no implementación de estas tecnologías.



Figura 12: Resumen de ejes trabajados en reuniones con arrendatarios. Fuente: elaboración propia.

El consenso se logra en base al análisis colaborativo, las restricciones y obligaciones que cada una de las entidades representadas.

La AELF, debe velar por la preservación del patrimonio, como propietaria del recurso y administradora, por lo cual arbitrará dentro de sus capacidades técnicas, administrativas, legales y económicas, las acciones necesarias para prevenir el deterioro y mitigar los efectos de pérdida de suelo que se hayan generado. Por ello reconoce a cuenta propia, los costos de las obras de sistematización necesarias.

El arrendatario deberá cumplir con las cláusulas contractuales, donde se fija la obligación de rotaciones bajo el sistema de siembra directa. Por otra parte, se establecen acuerdos de libre acción respecto a la selección de las variedades o especies utilizadas en el manejo rotativo, así como la factibilidad de realización de

cultivos de cobertura, desde el punto de vista técnico y logístico del manejo y los factores variables del clima y mercados (ya quien pone en juego su patrimonio económico es el arrendatario).

Cada uno de estos acuerdos han quedado reflejados, por cuestiones legales propias de la relación locatario- locador, en el contrato de arrendamiento generado entre las partes, y que además está sujeto a confidencialidad.

CONSIDERACIONES FINALES

A partir del presente trabajo y de su análisis es posible reconocer que las prácticas que sean seleccionadas y tomadas como solución aislada para la mitigación de la erosión, tendrá un efecto nulo en la conservación del recurso, como sucede con la siembra directa y queda evidenciado en el registro fotográfico del presente trabajo.

En futuros trabajos pueden abordarse los efectos de la variación de prácticas en siembra directa, como el uso de cultivos intercalados, y cuantificar los impactos en los parámetros de conservación, como M.O., pH y fósforo disponible y en la mitigación de la erosión.

También, como fuente de próximas evaluaciones abordar el efecto de la variación de la práctica de sistematización de tierras, incorporando terrazas no sembrables (corredores biológicos), y su aporte a los servicios ecosistémicos.

El trabajo colaborativo entre los actores que inciden en la toma de decisiones: propietarios, arrendatarios y asistentes técnicos, es trascendental para la promoción, adopción e implementación de medidas para mitigar los efectos que la pérdida de suelo produce sobre los agroecosistemas y que promueven la contaminación, el deterioro de los recursos suelo y agua, atentan contra la seguridad alimentaria y su impacto sobre el éxodo rural.

La información técnica disponible para los productores, se transforma en una herramienta sumamente necesaria para la toma de decisiones, por lo cual, las capacitaciones y asesoramiento son de vital importancia para potenciar y hacer un aprovechamiento satisfactorio de esta metodología. Sin embargo, es importante señalar, que esta es una propuesta metodológica, no requiere de un productor altamente tecnificado ni con especial formación, lo que lo hace sumamente sencilla de aplicar para la toma de decisiones.

Por último, y debido a los plazos establecidos para la presentación y cierre del presente trabajo, no hemos podido cuantificar los parámetros de referencia de calidad de suelo por tratarse de variables biológicas que evolucionan en la complejidad del tiempo, tales como la materia orgánica, pH y el fósforo disponible, ya que la construcción y estabilización de las terrazas, sumado al efecto de la siembra directa, y el uso de cultivos de cobertura exceden la campaña 2023-2024, no obstante, los mismos se encuentran descriptos dentro de la metodología de trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A partir del presente trabajo se ha logrado establecer una base metodológica que permita el relevamiento de la información de su parcela, la cuantificación de las pérdidas de suelo bajo el manejo actual y posteriormente su recalcuulo mediante la variación de los factores asociados a la identificación de las tecnologías disponibles; siembra directa, rotaciones, cultivos de cobertura y la sistematización de tierras como estrategias de mitigación de las pérdidas por erosión, y sus impactos en el ambiente, la seguridad alimentaria y el éxodo rural que posteriormente son corroborados con la mejora de los parámetros de calidad de suelo.

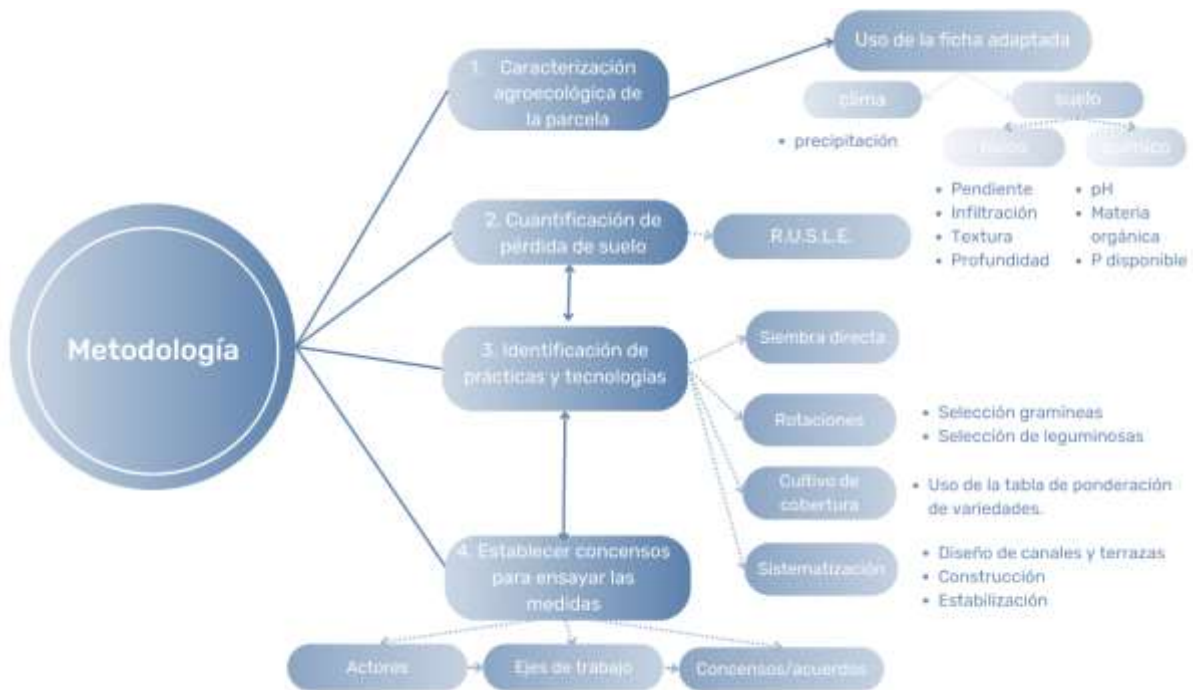


Figura 13: Resumen de la metodología propuesta. Fuente: elaboración propia.

Esta metodología está descrita a modo referencial para próximos estudios y es adaptable a diferentes condiciones de parcelas y las variables que son tomadas como insumo se encuentran disponibles para los productores y son de acceso público, lo que permite un amplio uso de la misma.

Es importante reconocer que, debido a la naturaleza de los parámetros o inputs que son tomados en cuenta para la elaboración de cada una de las etapas de esta metodología, y su gran susceptibilidad a mutar en el tiempo; debido al cambio climático (inputs ambientales), decisiones políticas, sociales, nuevas tecnologías y avances científicos, la misma, no presentará significativos impactos, por lo cual su vigencia en el tiempo podría ser uno de los motivos importantes para su selección y aplicación.

Como recomendación del presente trabajo, sería de importancia que las estrategias descritas, puedan ser ensayadas en parcelas demostrativas establecidas, donde los productores y técnicos puedan obtener la información relevada en el seguimiento y evolución de las mismas, aquella obtenida del ensayo de la variación de las técnicas propuestas y los resultados de cuantificar su impacto en la mitigación de la erosión y por qué no, explorar la oportunidad de analizar otras emergentes, como el mantenimiento de la biodiversidad mediante servicios ecosistémicos y su contribución a desacelerar el cambio climático.

LITERATURA CITADA

Gonzales; Marbán; Conti; 2014. Capítulo 4.2: Reacción del suelo en Conti, M. y Giuffre, L. Edafología: Bases y aplicaciones ambientales argentinas. (2daed.,p.297). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Caviglia, Octavio & Novelli, Leonardo & Gregorutti, Viviana & Van Opstal, Natalia & Melchiori, Ricardo. (2013). Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos.

FAO.2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome. 100pp.Licence:CC BY-NC-SA3.0IGO.

FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)–Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

Gastan, D. 2022. Adopción de la Tecnología de Cultivos de Servicio en Entre Ríos y su relación con la sustentabilidad. Tesis de Maestría. Universidad de Concepción del Uruguay, Hochschule Neubrandenburg. Repositorio Institucional UCU.

GeoINTA. 2011. “Carta de Suelos de Entre Ríos.” 2011. Disponible en:<http://www.geointa.inta.gob.ar/2014/04/22/cartas-de-suelos-de-entre-rios/>.

Gobierno de Entre Ríos, Ministerio de Producción, Turismo y Desarrollo Económico. Estrategia Provincial para el Sector Agroalimentario EPSA. Diciembre 2021.

Gvozdenovich J.y Papparotti O. 2010. Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la Erosión Hídrica. Disponible en :
<http://inta.gob.ar/documentos/variacion-del-rendimiento-del-cultivo-de-soja-debido-a-la-erosionhidrica>

Gvozdenovich, J.J. & Barbagelata, Pedro & López, Gustavo. 2015. INTA-USLE/RUSLE Versión 2.0 Manual del Usuario INTA-USLE Software de Erosión Hídrica INTA-USLE/RUSLE Versión 2.0. 0.13140/RG.2.2.21870.72009.

Gvozdenovich, J; P Barbagelata & G López. 2015. Erosión Hídrica - USLE/RUSLE Argentina - INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. Disponible en: <http://www.inta.gob.ar/parana>.

INTA CIRN. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Proyecto PNUD 85/019. Buenos Aires, Argentina. Tomo I, 731 p.

INTA.1992. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3760-22, Chillar.

INTA. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina/

Gaitán J. Editado por Juan Gaitán, María Fabiana Navarro, Patricia Carfagno, Leonardo Tenti Vuegen. – 1ª. ed. – Buenos Aires. Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-857-4.

INTA. 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina Marcelo G. Wilson[et al.]. – 1º ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-826-0.

PASOLAC 2000. Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. 1a. ed. San Salvador, El Salvador. 222p.

Brihet, J. Gayo, S. Regeiro, D. (2021). Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada: Cultivos de Cobertura. Informe Mensual N°42. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. ISSN 2591-4871. Disponible en: <https://www.bolsadecereales.com>

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). (Vol.703) Washington, DC: US Government Printing Office.

Sasal, M.C.; Wilson, M.G.; Bedendo, D.J. y G. Schulz. 2015. Capítulo Provincia de Entre Ríos. En: El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina (Casas, R. y G. Albarracín, eds.). PROSA, FECIC, INTA.111-120.

Viglizzo, E.F., Lértora, F.A., Pordomingo, A.J., Bernardos, J., Roberto, Z.E., Del Valle, H. (2001). Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina .Agriculture, Ecosystems &

Environment 81, 65-81.

Walkley & Black- Mebius. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Am. Soc. of Agr. Inc.; Soil Sc. Soc. of Am. Inc. Wisconsin. USA. 1143 pp.

Wilson, M.; Maggi, A.; Castiglioni, M.; Gabioud, E.& Sasal, M. 2020. Conservation of Ecosystem Services in Argiudolls of Argentina. Agriculture.10.10.3390/agriculture10120649.

Wischmeier, W.H.; C. B. Johnson, & B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation. Oct/71:189-191.

ANEXO I

CROMNOGRAMA

TAREA	E N E R O	F E B R E R O	M A R Z O	A B R I L	M A Y O	J U N I O	J U L I O	A G O S T O	SEP T I E M B R E	O C T U B R E	NO V I E M B R E	DI C I E M B R E
Finalización del Proyecto del TFG												
Aprobación del proyecto por el profesorado y coordinación de Maestría												
Presentación del seminario (en aula virtual) del Proyecto del TFG												
Organización y análisis de la información												
Elaboración de resultados												
Redacción del documento.												
Revisión y aprobación del documento												
Presentación del seminario final del TFG (aula virtual)												
Incorporación de correcciones, reproducción y distribución del documento.												