

Resumen

El suelo es uno de los componentes principales de los agro-ecosistemas (capital natural), que junto a las demás formas de capital, brindan servicios ecológicos (SE) destinados a las necesidades y bienestar humanos.

La Región Semiárida Pampeana (RCP), en la Provincia de La Pampa, posee suelos poco desarrollados, recibe escasas lluvias y vientos de moderados a fuertes. Estas condiciones son propicias para el proceso de *erosión eólica potencial*, es decir la pérdida de suelo por acción del viento. Esta pérdida implica la reducción de la fertilidad física y química, con la consecuente reducción en el flujo de los SE. Las condiciones de manejo del suelo, definen la *erosión eólica actual*, la cual puede cuantificarse experimentalmente. Adicionalmente, se puede determinar la composición química de estos residuos.

El avance de la agricultura, la intensificación de los sistemas productivos y prácticas de laboreo tradicionales inapropiados, hacen de este fenómeno un **proceso irreversible**, cuando se supera valores umbrales considerados moderados. Se expresa en toneladas por hectárea (t/ha). El productor no considera entre sus costos de producción, los SE del suelo que esta utilizando, los que toma de un stock inicial y sobre los que tampoco existe un precio de mercado de referencia.

Una de las hipótesis de trabajo fue que las pérdidas por erosión actual, en rotaciones y en el ciclo de los cultivos agrícolas, pueden alcanzar niveles moderados a severos.

La incorporación en los costos directos de cultivos agrícolas, del nitrógeno (N) y fósforo (P) involucrados en el material erosionado, por su magnitud puede causar niveles de quebranto en el margen bruto (MB) final. El *costo de reemplazo* de estos nutrientes se lo denominó Indicador Ambiental (IA) y se estimó, monetariamente, a través de su equivalente en nutrientes de fertilizantes.

Otra hipótesis planteada, sugiere que es posible plantear actividades tecnológicamente superadoras, que reduzcan los niveles de erosión, mejoren el balance de algunos nutrientes esenciales y que se integren en un sistema productivo ambiental y económicamente sustentable.

Para estimar la tasa de erosión eólica, se utilizó el modelo empírico identificado en castellano con las siglas *EWEQ* (Wind Erosion Equation), el cual fue cargado con secuencias de cultivos reales (rotaciones), con longitud de tiempo variables y para 6 sitios de la estepa pampeana: 3 sitios de la denominada Subzona “Castex” (Castex Norte, Castex Sur-Santa Rosa y Castex Sur-Anguil); 2 sitios de la Subzona “Pico” (Pico Norte y Pico Sur) y 1 sitio de la Subzona “Guatrache”.

El modelo devuelve la tasa de erosión promedio anual de toda la rotación, como también la tasa de erosión del ciclo de cada cultivo agrícola (t/ha ciclo), aprovechando el detalle en las fecha precisas entre operaciones.

Con estos registros, se estimaron los costos directos de todos los ciclos disponibles de *trigo, girasol, soja y maíz*. Utilizando los precios de insumos y productos de Febrero de 2008, se calculó la incidencia del IA, en los costos directos y sus efectos en el MB final.

El plan de optimización se realizó para las condiciones agroclimáticas, dimensiones y caracterización de sistemas productivos del Sitio Castex Norte (Subzona “Castex”), a través de una matriz de programación lineal (PL). Se diseñaron previamente los planteos técnicos basados en tecnologías disponibles, los resultados económicos (MB) y el balance de N, P y carbono orgánico (CO) de cada actividad.

La tasa de erosión eólica estimada para cultivos en siembra convencional (SC) en la primera parte, fue un insumo directo de la matriz, utilizada como restricción ambiental. Las pérdidas de N y P involucradas por esta vía, formaron parte de los egresos, dentro del balance de nutrientes. Fue necesario simular en el EWEQ, aquellas alternativas tecnológicamente mejoradas, no disponibles entre los registros reales y donde predominó la siembra directa (SD) y estrategias de fertilización. También se estimaron los índices para algunos de los recursos forrajeros de la actividad ganadera (invernada). Se puso énfasis en las restricciones ambientales, mientras que desde lo técnico-agronómico no hubo limitaciones en las restricciones de capital de trabajo ni diferenciación en el tipo de suelo. Para esta segunda etapa, se utilizaron precios de insumos de 2006 y las cotizaciones del disponible 2007 para los productos.

Se detectaron menores tasas de erosión eólica en SD que en SC. En el Sitio Guatraché se redujo de 10,0 t/ha en una rotaciones en SC a 5,6 t/ha en SD (44% menos). También se redujo en más de un 50% entre ciclos de cultivos, dentro de una misma rotación, al utilizar SD. En todos los casos, significó un pasaje del *grado de erosión de moderado/severo a erosión ligera*. El costo de reemplazo del IA, fue variable entre cultivos, entre sistema de siembra (SD vs SC) e influenciado por el nivel de costos directos totales. En los cultivos conducidos en SC, con tasas de erosión eólica cercanas y levemente superiores a 8 t/ha ciclo, la participación del IA fue de 20 a 40 % en trigo; 15 a 25% en maíz; 20 a 35% en girasol y de 20 a 30% en soja. Con tasas de erosión 4 a 6 t/ha ciclo en SD, el IA tuvo una participación del 8% en maíz; del 8 a 16 % en trigo y del 8 a 21% en girasol.

Respecto al efecto sobre el *MB inicial*, solo se produjeron quebrantos cuando los rendimientos de trigo fueron inferiores a 1t/ha y **un caso de maíz, con una producción de 1,4 t/ha.**

Las actividades propuestas en la matriz de PL permitieron detectar déficits generalizados en el balance de nutrientes, en aquellos cultivos conducidos con esquemas tradicionales de manejo tecnológico y/o de escaso nivel de fertilización. Por el contrario, la actividad ganadera mostró todos los índices positivos. Sobre una explotación de 506 ha, la mejor solución de la matriz de PL quedó integrada por 143 ha de trigo en SC con aplicación de fertilizante apuntando a máximo rendimiento (*TrSCDMR*); 170 ha de maíz en SD y de alta producción (*MaSDAP*) y 193 ha de girasol en SD con fertilización de máxima respuesta (*GiSDFER*). Este sistema “agrícola” alcanzó el máximo margen bruto total (MBT) con una erosión eólica promedio anual de 4,9 t/ha. Los beneficios ambientales de la ganadería no se aprovecharon frente a un precio promedio de 2,70 \$/kg de carne. Sin embargo, los costos de sustitución indicaban que la invernada podía participar con un precio de 3,46 \$/kg de carne (+28%). Siendo un valor esperable dentro de la volatilidad de precios de la serie 2007/2008, se simuló un escenario “mixto,” donde la invernada participó con 245 ha, la misma alternativa de girasol en SD con 153 ha, y el mismo maíz de alta producción con 143 ha. Entre el sistema “agrícola” y el “mixto”, el MBT se redujo solo el 1% (\$ 390.660 vs. \$386.795 respectivamente).

Palabras clave: erosión eólica, servicios ecológicos, programación lineal, balance de nutrientes, nitrógeno, fósforo.

Abstract

Soil is one of the main components of agro-ecosystems (natural capital). Together with other forms of capital, provides ecological services (ES) for human needs and welfare.

The Semi-Arid Pampas Region (SPR) has poorly developed soils, receives little rain and moderate to strong winds. These conditions are favourable for the process known as *potential wind erosion*, namely the loss of soil by wind action. This loss implies a reduction of both physical and chemical fertility, with consequent reduction in the flow of those ES, mentioned above. The conditions of soil management, define the *current wind erosion*, which can be quantified experimentally. Additionally, chemical composition of these residues can be determined. It is expressed in tons per hectare (t/ha).

The advancement of agriculture, the intensification of production systems and traditional inappropriate tillage practices, generates an irreversible phenomenon, when it exceeds threshold values, considered moderate. Farmers do not consider among their production costs, the ES they are using, which they take from an initial stock. In addition, there is no price market reference.

One of the working hypothesis was that losses caused by *current wind erosion*, in both rotations and crops cycle, can achieve moderate to severe levels.

The incorporation into crops direct costs of nitrogen (N) and phosphorus (P) involved in the eroded material might produce actual gross margin (GM) losses. The *replacement cost* of these nutrients was named in this research as Environmental Index (EI) and it was considered, in money terms, through its equivalent in nutrients from fertilizer.

Another hypothesis suggests that it is possible to raise productive activities technologically enhanced that reduces the levels of erosion, improve the balance of some essential nutrients and can be integrated into a production system, environmentally and economically sustainable.

The empirical model Wind Erosion Equation (EWEQ) was used to estimate wind erosion rate. Its inputs were farmer's real data, including crops seasonal sequences (rotations). Records varied in lengths of time and came from six places in the Pampas Steppe: three places in the so-called *Sub-Zone "Castex"* (North Castex site, South-Castex- Santa Rosa site and South Castex-Anguil site), two in the *Sub-Zone "Pico"* (North Pico site and South Pico site) and one site of *Sub-Zone "Guatraché"*.

The model returns the average *annual erosion rate* of the entire rotation, and the *cycle crop erosion rate* (t/ha cycle). This last rate takes advantage of the detail in the precise date information between machinery operations, within the model.

These records, also allowed estimating direct costs of all the available crops cycles of: *wheat, sunflower, soybeans and corn*. Using inputs and commodities prices of February 2008, the incidence of EI in direct costs and its impact on the final GM, was calculated.

The optimization plan was carried out for agro-climatic conditions, farm size and production systems patterns of North Castex Site (*Sub-Zone "Castex"*), through a matrix of linear programming (LP). Previously, technical set up approaches were designed, based on available technology, also the economic performance (GM) and the balance of N, P and organic carbon (OC) of each activity.

The estimated wind erosion rate estimated for crops in the first part of the study and involving conventional tillage (CT) sowing system was a direct input for the matrix,

used as environmental constraints. The concentration of N and P involved in these losses, were part of discharges within the balance of nutrients. It was necessary to use the EWEQ, to simulate those alternatives technologically enhanced, with no records were available, and where no-tillage (NT) and fertilization strategies have been used. It was also estimated rates for some of the forage resources of livestock activity (fattening steers). Emphasis was placed on the environmental constraints, while no limitations were set from those technical-agronomic constraints such as working capital or differentiation in the type of soil. For this second stage is used pricing of inputs, 2006 and 2007 current prices of commodities.

Wind erosion rates resulted lower in NT than in CT. In Site Guatraché the index varied from 10.0 t/ha year⁻¹ in a CT rotation, to 5.6 t/ha year⁻¹ in NT rotation (44% less). It also declined by over 50% between cycles of crops, within a single rotation, by using NT. ***In all cases, it was an overtaking from a moderate/severe degree of erosion to light erosion rate.*** The replacement cost of EI, varied between crops, between sowing system (NT vs CT) and highly influenced by the level of total direct costs. Those crops conducted in CT, with wind erosion rates nearby and slightly higher than 8 t/ha cycle⁻¹, the EI share in costs was 20 to 40% in wheat, 15 to 25% in corn, 20 to 35% in sunflower and 20 to 30% in soybeans. With erosion rates of 4 to 6 t/ha cycle⁻¹, in NT cycle, the EI had an 8% share of corn costs, from 8 to 16% in wheat and from 8 to 21% in sunflower.

Concerning to the effect on *initial GM*, economic losses occurred only when the yields of wheat were lower than 1t/ha and in the case of corn, **one case was found when production reached 1,4 t/ha.**

The proposed activities in the matrix of LP helped to detect widespread deficits in the balance of nutrients in crops those conducted with traditional patterns of technological management and/or low levels of fertilization. By contrast, livestock activity showed all positive indexes. On a farm of 506 hectares, the best solution of the matrix of LP resulted in 143 ha of CT wheat with fertilizer application aimed at maximum performance (*TrSCDMR*); 170 ha of NT corn and high production (*MaSDAP*) and 193 ha of NT sunflower with the highest expected fertilization response (*GiSDFER*). This **"grain cropping system"** reached a maximum total gross margin (TGM) with an average annual wind erosion rate of 4.9 t/ha year⁻¹. The environmental benefits of livestock are not exploited, facing an average price of 2,70 \$/kg of live weight. However, the "shadow price" indicated that livestock activity might take part of the solution with a price of 3,46 \$/ kg of live weight (+28%). Since this was an expected value along 2007/2008 meat market prices series, it was simulated a **"crop and beefs mixed system"** where livestock participated with 245 ha, along with 153 ha of former NT sunflower alternative, and 143 ha of the same high production corn. When comparing the **"grain cropping"** and **"crop and beefs mixed"** systems, TGM decreased only 1% (\$ 390,660 vs. \$ 386,795, respectively).

Key words: wind erosion, ecological services, linear programming, balance of nutrients, nitrogen, phosphorus.

Incidencia económica de la degradación del suelo por erosión eólica. El caso de los sistemas productivos de la estepa pampeana semiárida

I. Introducción

El sector agropecuario organiza sus múltiples actividades en sistemas productivos que hacen uso de un determinado Ecosistema. Se entiende por Ecosistema al “**complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio abiótico, interactuando**” (Millennium Ecosystem Assessment-M.A-,2005a). Los Agro-ecosistemas constituyen el capital natural o de recursos naturales (RRNN), cuyos componentes fundamentales son: suelo, agua, minerales, fauna, flora y su diversidad genética y la atmósfera, los que a su vez proveen los llamados servicios ecológicos o ecosistémicos (SE). Otras formas de capital, o factores de producción son los equipos (utilizados para producir bienes y servicios finales), el capital humano o factor de trabajo y el capital intangible, referido a información y conocimientos almacenados en distintas formas (*). El capital natural se combina con las otras formas de capital para generar un *flujo de bienes y servicios*. Estos servicios transforman materiales primarios que finalmente se destinan al bienestar humano (Constanza, R. et al. 1997; Penna y Cristeche, 2008).

Se puede afirmar que los servicios ecológicos (SE) son “**beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, y son producidos por interacciones dentro del mismo**” (M.A. 2005a). La M.A. (2005b) propone una clasificación de los SE según su aporte al bienestar de la humanidad en aquellos de soporte, provisión, regulaciones y culturales. Los siguientes cuadros brindan un listado resumido y adaptado de los SE:¹

<p style="text-align: center;">SOPORTE</p> <ul style="list-style-type: none">• Ciclado de nutrientes• Formación de suelo• Producción primaria.• Biodiversidad	<p style="text-align: center;">PROVISION</p> <ul style="list-style-type: none">• Alimentos• Fibras• Agua dulce.• Madera
<p style="text-align: center;">REGULACIONES</p> <ul style="list-style-type: none">• Del clima, enfermedades, e inundaciones.• Secuestro de Carbono• Procesam. de residuos	<p style="text-align: center;">CULTURALES</p> <ul style="list-style-type: none">• Ecoturismo• Recreación• Estética• Espiritual

En una de las declaraciones de la M.A.(2005 b) se alerta respecto a que casi dos tercios de los SE que aporta la naturaleza para satisfacer las necesidades de la

¹ Para un listado mas detallado, consultar Penna y Cristeche, 2007.

(*) Generalmente, incorporado al factor trabajo calificado.

humanidad, están en franca disminución, degradando y agotando nuestro “capital natural”. El deterioro ambiental limita los sistemas de soporte para la vida de las especies en general. Sin caer en el desaliento, es necesario que todos los estamentos tengan en cuenta el “balance natural”, a la hora de tomar decisiones. La actividad humana actual y el desarrollo tecnológico actual pueden disponernos de una manera distante respecto a la naturaleza pero no se debe olvidar que “*dependemos completamente de los servicios que ella provee*”.

En este contexto, el sistema SUELO se constituye en uno de los componentes principales del mencionado capital natural del agro-ecosistema. Su granulometría (que define su clase textural), contenido de materia orgánica, tipo de estructura, espesor del perfil, capacidad de retención de agua, tipo de horizontes y profundidad del perfil, entre otras variables, definen la potencialidad productiva del suelo.

De acuerdo a esa potencialidad, definida por su fertilidad física y química, el suelo está en condiciones de brindar una serie de “servicios” que incluyen: agua, oxígeno y un conjunto de macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos, producto de la mineralización de la materia orgánica y de la meteorización del material parental.

✓ El primer *objetivo* de este trabajo es cuantificar la tasa de erosión eólica en distintos tipos de suelos (*Sitios*) y sistemas productivos de la RSP y dentro del material erosionado, estimar la pérdida de los nutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P). Determinar en forma indirecta el costo de estos nutrientes e incorporarlo a la estructura de costos de los principales cultivos de cosecha. A través de los efectos netos sobre los márgenes económicos, se espera determinar la sustentabilidad económica y ambiental de las mismas.

✓ En segundo término, se espera generar un modelo de optimización, a través de una matriz de Programación Lineal (PL) y cuya función objetivo sea maximizar ingresos. La matriz estará integrada por actividades productivas con planteos tradicionales junto a otras alternativas tecnológicamente superadoras. Dentro de las restricciones principales, de la matriz, se utilizarán las tasas de erosión medidas previamente y el balance de nutrientes tales como N, P y carbono orgánico (CO). Las pérdidas de N y P asociadas a la erosión, son componentes del balance de dichos nutrientes. El objetivo específico de esta segunda etapa es realizar una propuesta superadora al diagnóstico inicial, mediante un sistema productivo de corto plazo, que reduzca los efectos de la erosión eólica, mejore el balance de nutrientes y al mismo tiempo maximice el beneficio económico.

Solamente unas 450 millones de ha en el planeta (3%) son aptas para el cultivo en secano sin limitaciones y de las cuales participa la Región Pampeana de Argentina junto con EEUU, Francia, Ucrania y China. Otro 20 % de la superficie posee aptitud moderada o marginal y requiere de manejos, inversiones en infraestructura y tratamiento especiales para ser utilizadas. La revolución verde de fines de los ´60 y principios de los ´70 y los avances en biotecnología de fines del siglo XX permitieron elevar la productividad y alimentar a 3,6 personas por cada ha cultivada. Sin embargo, crece la preocupación sobre consecuencias ambientales negativas, sobre todo contaminación, escasez de recursos hídricos y erosión del suelo. El concepto de una agricultura sustentable implica la capacidad del sistema de producir y perdurar indefinidamente, protegiendo e integrando los RRNN y el factor humano (productor) en el tiempo (Casas, 2002).

Según M.A. (2005 b) se han incorporado al cultivo más tierras desde 1950 que entre 1700 y 1850. En la actualidad, aproximadamente un 24% de la superficie terrestre

ha sido transformada a sistemas de cultivos. La actividad humana produce más nitrógeno -biológicamente utilizable- que lo producido por todos los procesos naturales combinados. Uno de los indicadores que marcan la intensificación agrícola se manifiesta en que más de la mitad del fertilizante nitrogenado se ha utilizado desde 1985 (considerando su primera manufactura en 1913).

La región bajo estudio corresponde a la estepa pampeana, en el noreste de la provincia de La Pampa, que posee condiciones agroclimáticas y de suelos propios de la Región Semiárida Pampeana (RSP). En general son suelos poco desarrollados, lluvias variables y escasas y vientos de moderados a fuertes, que determinan condiciones potencialmente severas de erosión eólica (**Buschiazzo y col. 2004**). La pérdida de suelo por acción del viento reduce su fertilidad física y química y la consecuente reducción en el flujo de SE antes mencionados.

Los efectos negativos de la erosión están ligados a la intensificación de los sistemas productivos y prácticas de laboreo tradicionales inapropiados. La trascendencia regional de este fenómeno consiste en que, *superado determinado valor umbral*, es un **proceso irreversible**, con consecuencias productivas y sociales de corto y largo plazo.

La unidad de análisis propuesta en este trabajo corresponde a la empresa agropecuaria de administración privada, donde el productor organiza su actividad basada en el beneficio obtenido por la venta de productos finales (granos, carne, leche, etc.) y sujeto a una estructura de costos. Los SE aportados por el suelo, se corresponden con un **valor de uso de tipo indirecto**, es decir servicios intermedios para “la obtención de productos finales” y que según la clasificación antes descripta, se ubican como *servicios de regulación y soporte* (**Penna y Cristeche, 2007**).

Normalmente, el productor no considera entre sus costos de producción los servicios edáficos que esta utilizando, los que toma de un stock inicial y sobre los que tampoco existe un precio de mercado de referencia. Sin embargo, en el largo plazo, si no son repuestos o el flujo de uso resulta con saldo negativo, respecto a su tasa de generación natural, la actividad no será sustentable económica ni ambientalmente. El proceso puede derivar, inclusive, en una externalidad negativa y en un costo social elevado. Desde esta **perspectiva “utilitarista”** se estima factible evaluar la incidencia en el uso de los SE de los suelos, a nivel de empresa agropecuaria, para distintos sistemas productivos y agro-ecosistemas.²

Hipótesis de trabajo: En este trabajo se eligió a la empresa agropecuaria como unidad de análisis y dentro de ella, el componente suelo como proveedor de los SE e indicador fundamental de la sustentabilidad de los sistemas productivos. Dentro de los SE, este estudio se limita a los nutrientes N y P del suelo. La forma en que los planteos productivos se organizan y gestionan está influida por cambios en los precios relativos, maximización de beneficios, resistencia al cambio frente a tecnologías no apropiadas, que debe contrastar con el manejo tradicional/familiar y las urgencias económicas y financieras. El productor hace uso de SE que no tienen una valoración de mercado, es decir no debe pagar por su uso, pero que eventualmente pueden implicar un costo social. Si el suelo se deteriora, es posible que en el mediano y largo plazo se vea comprometida su rentabilidad e inclusive el valor mismo de su explotación.

² Para una explicación del Paradigma “utilitarista”, utilizado en la evaluación económica de los SE, véase Penna y Cristeche, 2007.

Frente a condiciones limitantes de precipitaciones, suelos con textura predominante arenosa y franco-arenosas y vientos moderados a fuertes (superiores a los 10 km/h), la estepa pampeana enfrenta un grado de erosión eólica potencial (EEP) del tipo severa (>50-100 tn/ha año) (**Buschiazzo y col. 2004**). En el marco de la fragilidad ambiental de la región y la problemática de la erosión, se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- La región centro-este de la Pampa permite diferenciar zonas con características agroecológicas diferenciales, basadas en el tipo de suelos y variables climáticas contrastantes. Prácticas de laboreo degradativas, inadecuada rotación de cultivos o situaciones de monocultivos, el incremento de la agricultura y pastoreos intensivos, entre otras variables, determinan procesos de **erosión eólica actual** de nivel moderado a grave, que es posible cuantificar para cada una de estas zonas.
- La pérdida de macronutrientes del tipo N y P, dentro del material erosionado, es posible evaluarla económicamente y calcular su incidencia relativa en los costos de producción. El costo de reemplazo de estos nutrientes (costo privado) determina una reducción en los márgenes netos y aún quebrantos, para los principales cultivos agrícolas.
- Frente a planteos productivos tradicionales, que enfrentan procesos erosivos irreversibles y déficit de nutrientes, es posible la integración de actividades tecnológicamente superadoras en un plan de optimización sustentable, que maximice ingresos, pero que se ajuste a restricciones técnico-agronómicas y ambientales.

Dentro de la estructura del trabajo, en primer lugar se realiza una caracterización y descripción de las casi 3,4 millones de ha que conforman la llamada estepa pampeana, en el noreste de la provincia de La Pampa y de la dinámica en el uso del suelo que esta evidenciando toda la Región Pampeana (marco de referencia).

En el marco teórico se detalla la problemática de la erosión eólica, las implicancias físicas y químicas del fenómeno sobre las propiedades del suelo y en el punto III.3, se define el enfoque metodológico de las *dos etapas* que tendrá el trabajo en adelante:

- La incidencia de la pérdida de N y P dentro de los costos directos y el margen bruto en cultivos agrícolas y
- Un plan de optimización a través de una matriz de programación lineal, que maximice beneficios, pero sujeto a restricciones ambientales. Estas restricciones utilizan como insumo las tasas de erosión reales calculadas en la etapa anterior, como también las pérdidas de N y P involucradas, aunque como egresos en un balance general de estos nutrientes.

Para la primera etapa, los puntos IV.1 a IV 3 de la metodología, explican el modelo EWEQ, que es la base de estimación de la erosión eólica. El modelo fue aplicado a 6 sitios con datos reales de rotaciones y provenientes de 3 Subzonas Agroecológicas. Estas abarcan unas 2,7 millones de ha de la estepa descrita previamente.

En los puntos IV.4 al IV.7 se describe la estructura de la matriz de PL y la caracterización del único ambiente sobre el que se aplicó la matriz. Abundante información técnica y descriptiva de los sistemas productivos preponderantes, permitió

fundamentar los planteos técnicos de las actividades que formaron parte de la matriz y los balances de nutrientes resultantes.

En función del ordenamiento anterior, la primer parte de los resultados muestra la incidencia de la erosión en los costos directos y el margen bruto, según sitios y cultivos, mientras que los puntos V.2 y V.3 presentan las actividades desarrolladas para la matriz de PL y las soluciones óptimas alcanzadas.

Dentro de las conclusiones se remarcan los resultados que ponen en evidencia el problema de la erosión eólica pero también, propuestas tecnológicas disponibles para enfrentarla. Se discute que tipo de información adicional y líneas de investigación pueden enriquecer este tipo de estudios y se valoriza el componente interdisciplinario que dio robustez a la metodología utilizada.

II. Marco de referencia

II.1. Caracterización de la zona de estudio

Los sistemas productivos predominantes, prácticas tecnológicas, porcentaje de la superficie sembrada y el tipo y uso del suelo, son algunas de las variables que permitieron agrupar áreas de relativa homogeneidad agroecológica, para luego realizar mejores precisiones sobre las actividades que se desarrollan sobre cada uno de estas unidades, frente a sus potencialidades y riesgos.

El área de interés para el presente trabajo, identificada como la “estepa pampeana”, comprende las regiones geomorfológicas denominadas “*Planicie con tosca*” y “*Planicie Medanososa*”. (INTA y col., 1981). Ambas que se corresponden con las denominadas *Zonas II* y *V*, respectivamente, denominación propuesta por la Red de Información Agroeconómica de la Región Pampeana (RIAP), del INTA y cuyos límites departamentales se observan en la Figura 1. Ambas Zonas cubren una superficie de **3.417.037 ha**.

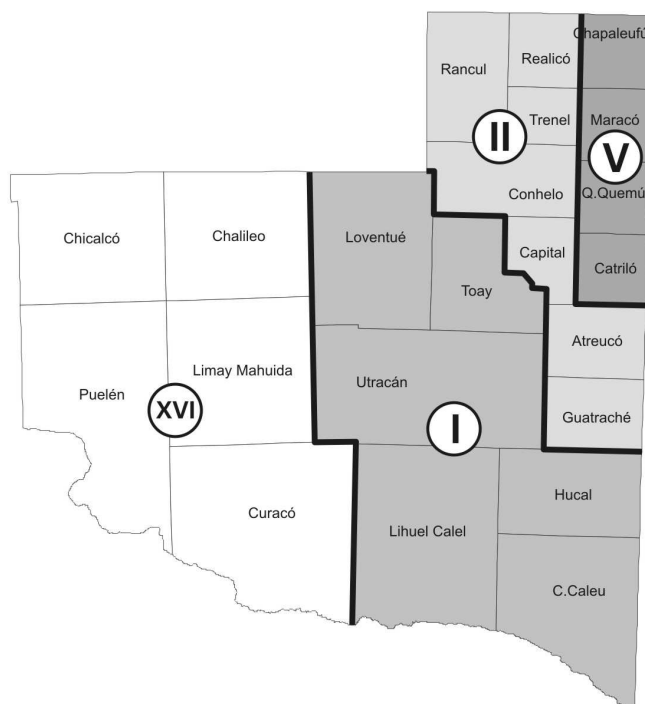


Figura 1: Zonas Agroecológicas en La Pampa.

Las características climáticas y edáficas, los tipos fisonómicos y de estructura de la vegetación, los sistemas productivos predominantes y el avance del desmonte, fueron tomados en cuenta para definir *Subzonas*, dentro de cada Zona; como la mínima unidad geográfica para el análisis de información (Figura 2). La cobertura de las Subzonas trascienden los Departamentos y sus límites se ajustan a la fracción censal (INDEC). Al código de la Subzona y para facilitar su identificación, se le ha agregado el nombre de una localidad o paraje que se juzga representativo del ambiente de referencia³.

³ Una subdivisión con mayor detalle se puede consultar en **Lorda, H.O. y Bellini Saibene, Y.** <http://www.inta.gov.ar/pro/radar/info/documentos/zonasagroecologicas/282.htm>

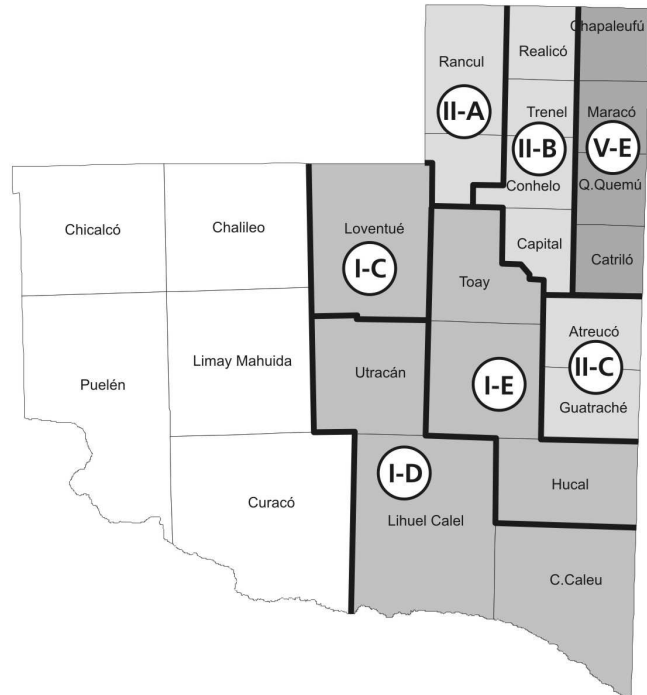


Figura 2: Subzonas Agroecol6gicas de La Pampa

La Zona II (“Planicie con Tosca”), comprende los Departamentos Rancul, Realic6, Trenel, Conelono, Capital, Atreuc6 y Guatrach6, con una superficie total de 2.398.202 ha. Esta Zona se ubica en el centro-norte de la Provincia de La Pampa, limitado hacia el norte con C6rdoba y extendi6ndose en el sur, hasta el l6mite con la provincia de Buenos Aires. La caracter6stica central que delimita esta Zona es la presencia de un manto de tosca sobre el que se deposit6 un manto de suelo arenoso determinando, en general, un perfil poco profundo. Sin embargo, al contar con una considerable extensi6n en sentido N-S pone de manifiesto diferencias clim6ticas dentro de ella. La informaci6n disponible para el presente estudio, provienen de dos Subzonas:

Subzona II-B “Eduardo Castex”: comprende la mitad este del Departamento Conelono y los Departamentos Realic6, Trenel, y Capital, con una superficie total de **1.043.741 ha**. En general es una planicie uniforme, muy suavemente ondulada y con un espesor del perfil variable (0,4 a 2,0 m). Los suelos son de textura franco-arenosa, sobre manto de tosca y se clasifican como Haplustol entico, franco grueso, mixta t6rmica. Las limitaciones son sequ6as estacionales, drenaje natural excesivo, poca profundidad efectiva y erosi6n moderada. Existen diferencias norte-sur en esta Subzona.

En los suelos de 6rea norte (Realic6-Trenel) la capa superficial es profunda, bien provista de MO y estructurada, bajo r6gimen 6stico. Es posible encontrar una capa de ceniza volc6nica y aproximadamente a los 60 cm, un paleo suelo (suelo sepultado). Se distingue una fase somera (50 cm) y se estima que el 50% posee hasta 1,5 m de profundidad. Hacia el sur de la subzona (Eduardo Castex-Winifreda-Santa Rosa) la tosca esta presente en toda el 6rea (60-120 cm).

El norte posee inviernos m6s benignos con una temperatura de 8 6C para el mes m6s fr6o y de 25 6C para el mes m6s caliente y un atraso de 15 d6as para la fecha de primera y 6ltima helada. Estos factores hacen que en el sur se produzcan perdidas

recurrentes de cultivos como trigo y obliga al atraso en las fechas de siembra y/o selección cuidadosa de variedades e híbridos. Como en toda la provincia, la dirección predominante de los vientos es N-NE a S-SW, pero en el sur la velocidad es algo superior, con 10-12 km/hora.

El 51 % de los sistemas productivos son mixtos (agrícola-ganaderos), siendo el 70% de las explotaciones menores a las 500 ha. La actividad con especies menores (cerdos y ovinos) es reducida y se restringe principalmente a los estratos de superficie inferiores a las 300 ha. En cuanto a la agricultura, se realiza tanto el trigo como los cultivos de cosecha gruesa, si bien el primero es preponderante. Los sistemas ganaderos llegan al 38,5% y los tamaños más frecuentes son menores a las 300 ha. Solo en el 8% de los casos hay predominancia agrícola, donde la mayoría posee una superficie menor a las 500 ha. En estos sistemas predomina el trigo, seguido de los granos gruesos. La actividad tambo tiene una participación del 25%, aunque casi el 80% de ellos no alcanza el nivel comercial (Caviglia y col., 2007). En el Anexo 1 se presentan los criterios de clasificación de los sistemas productivos y un mayor detalle de los resultados de este trabajo, tanto para esta Subzona como para las descriptas a continuación⁴.

Subzona II-C “Guatrache”: comprende los Departamentos Atreucó y Guatraché, en el sur de la Provincia de La Pampa, con una superficie de **698.602 ha.** y que desde el enfoque fisiográfico, se corresponde con una “*planicie de mesetas y valles con tosca*”. Es la subzona que posee las mayores limitantes para la producción agrícola. El período libre de heladas es de 180 días con mínimos de -14°C y heladas en el mes de febrero. Precipitaciones de 600 mm que sumado a vientos de 10-11 km/h desde Agosto a Diciembre, además de la acción erosiva, agravan el déficit hídrico por aumento de la evapotranspiración. Las áreas de mesetas planas, tienen una textura franco-arenosa muy fina, proclive a procesos erosivos, con 16% arcilla y 32 % de limo, sobre un manto de tosca de menos de 1 metro, que puede aflorar. Son suelos clasificados como Calciustol petrocalcico, franca gruesa, mixta, con drenaje natural excesiva y baja capacidad de retención de humedad. Presencia de calcáreo en el perfil.

Los sistemas con predominancia *ganadera* alcanzan el 35%, observándose una concentración del 74% en superficies menores a las 500 ha. Los sistemas *mixtos* representan el 34 % de los productores, con el 71% de las explotaciones inferiores a las 500 ha. En cuanto a la agricultura, el trigo se presenta en el 70% de los casos y solo parecen cultivos de cosecha gruesa en los establecimientos de mayor superficie. El *tambo* representa el 25 % de las explotaciones de la Subzona, ubicándose el 81 % en superficies menores a 150 ha, no alcanzando la gran mayoría una escala comercial. Los establecimientos con predominio agrícola llega al 6%, siendo el 97% de las unidades inferiores a 500 ha y con predominio del cultivo de trigo.

La Zona V (“Planicie Medanosa”) forma parte de la extensa llanura pampeana y desde el NE de La Pampa, posee continuidad con las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fé. La nomenclatura “arenosa” hace referencia a un suelo de textura arenoso o franco arenoso, sin límites en profundidad. El paisaje característico de esta zona corresponde a planicies extendidas, onduladas, con acceso variable a napa freática, por parte de los cultivos. Para la provincia de La Pampa representa la zona de mayor potencial productivo, con suelos simples pero con buena disponibilidad de materia orgánica en superficie.

⁴ Para mayor información sobre índices productivos y organización general de la empresa agropecuaria consultar **Lorda y col.(2001)**.

Subzona V-E “General Pico”: En la provincia de La Pampa, los Departamentos Chapaleufú, Maracó, Quemu-Quemu y Catriló conforman una única Subzona, con una superficie de **1.018.835 ha**. Predominan suelos con textura arenosa-franco, sin limitantes en la profundidad del perfil (> a 1,5 m). El norte de esta subzona esta favorecido por un régimen pluviométrico mayor (750mm vs. 650 mm) y de 20 a 25 días más en el período libre de heladas. Sin embargo, los vientos predominantes de N-NE y S-SW que superan los 14km/h (Gral. Pico), sobre suelos excesivamente drenados y baja retención de humedad, en condiciones de excesivo laboreo y pastoreos intensivos, puede desencadenar procesos de erosión eólica severos. Hacia el sur (Catriló-Quemú Quemú), se presenta un régimen hídrico y térmico inferior, pero con una velocidad del viento promedio anual de 10 km/ha. El problema de la erosión eólica radica en la intensidad de la agricultura, sobre todo de verano, considerando que los mayores vientos se producen en primavera-verano.

En esta Subzona hay un fuerte predominio de los *sistemas mixtos*, con el 47% de las unidades. Se destaca que el rango de análisis supera las 2000 ha, con la mayoría de las explotaciones por encima de las 200 cabezas (77%). En el componente agrícola predominan los cultivos de cosecha gruesa. Le siguen en importancia los *sistemas ganaderos* que reúnen al 39% de los establecimientos. El escaso suelo agrícola se destina a cultivos de verano, aunque el trigo también está presente en menor número de establecimientos. No es frecuente la presencia de ambos dentro del mismo establecimiento. Los establecimientos *agrícolas* tienen una representatividad del 8%. El tamaño más frecuente se encuentra por debajo de las 700 ha, reuniendo el 87% de las unidades. En la actividad agrícola se combina los cultivos de verano y el trigo, con presencia de ambos en el mismo establecimiento. Hay solo 70 establecimientos (5%) dedicado al *tambo* en esta Subzona, con el 80% de las unidades inferiores a 500 ha. Más allá de la consideración del tamaño, casi el 90% de las explotaciones poseen nivel comercial y buena productividad. El 10% de los tambos realiza agricultura de cosecha gruesa con destino al propio consumo.

Se encuentra disponible mayor detalle sobre información agroclimática, tipo de suelo y vegetación en **INTA y col. (1981) y Casagrande (1998)**. La cartografía de los recursos naturales, sumado a variables agronómicas y eco-fisiológicas se integraron en un sistema de información geográfica (SIG) que dio origen a un mapa de aptitud potencial de uso de los suelos (**Roberto y col. 1998**).

II.2. El avance de la agricultura en la Región Pampeana

La generalización del proceso agrícola argentino se produce desde 1885, con el advenimiento de las primeras colonias de agricultores y la llegada del ferrocarril. El censo de 1914 muestra nuevos incrementos de la superficie cultivada, destacándose un mayor incremento proporcional en La Pampa y el sur de Córdoba. Este proceso se detiene hacia 1930 al alcanzar una frontera productiva donde, precisamente, la erosión eólica es uno de los factores que frena su expansión. La erosión de los suelos se desencadenó por el uso intensivo del arado de rejas, la roturación de pastizales, los desmontes, el monocultivo y la coincidencia de períodos de sequía en la década del '30. Este período de sobreuso, que se extendió hasta la década de '40, se considera como de “descarga ecológica”. A partir de la década del '50 comienza un período de recarga ecológica con la incorporación de la ganadería en sistemas mixtos, sustitución de cultivos de cosecha por alfalfa, pasto llorón y la forestación. La integración de estas actividades permitió controlar el proceso degradativo, causado principalmente por la

disminución de la materia orgánica, la estructura y el nitrógeno exportado por los granos. A principios de los años ´60 se cuenta con la contribución institucional del INTA, Facultades de Agronomía y la AACREA, entre otros. (Viglizzo, 1994).

Según **Viglizzo y col. (1991)** desde mediados de la década del ´60 se ha producido una segunda ola (la primera correspondió al primer tercio del siglo XX ya mencionada), con el incremento de la superficie ocupada por cultivos de cosecha, tendencia que se prolongará en el tiempo. Esto se debe, entre otras causas, a la mejor rentabilidad de la producción de granos frente a la ganadería, al desarrollo tecnológico (nuevas maquinarias, germoplasmas con mayor potencial de rendimiento, uso intensivo de plaguicidas, entre otros) y a los ciclos climáticos favorables, particularmente con mayor cantidad de precipitaciones (**Casagrande y col. 1996**). **Casas (1998)** menciona, además, el empleo de maquinaria pesada y de alta capacidad operativa y una tasa de extracción de nutrientes superior a la reposición vía fertilizantes. **Fernández y col. (2005)** analiza el incremento de la superficie agrícola, principalmente de girasol y soja, fenómeno que implicó una importante reducción de los aportes de residuos orgánicos y la consecuente degradación de los suelos.

La Provincia de La Pampa ha seguido esta misma tendencia respecto al incremento en la superficie agrícola, especialmente los cultivos de cosecha gruesa, especialmente en el área cultivable de su estepa, sobre aproximadamente 3 millones de hectáreas de la estepa pampeana (**Figura 3**). **La cosecha fina, representada por el trigo pan, ha mantenido relativamente estable su superficie, disminuyendo su ocupación frente a la competencia de la gruesa, como también debido a condiciones climáticas desfavorables de las últimas campañas.**

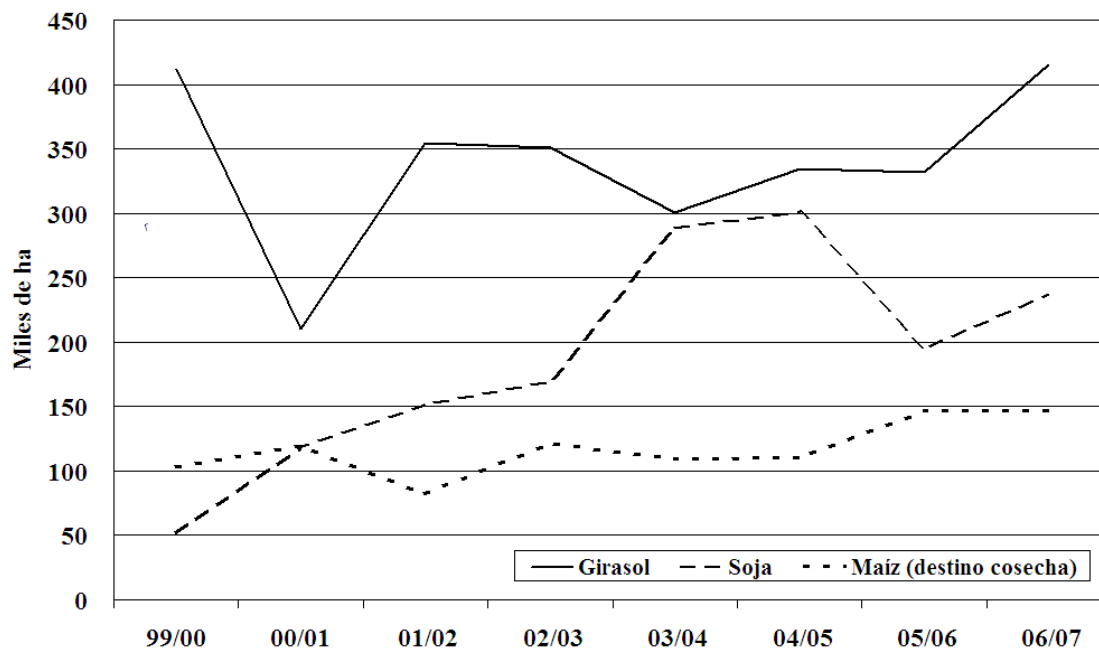


Figura 3: Superficie sembrada de los principales cultivos de cosecha gruesa, en la estepa de La Pampa (Zonas II y V).

Las condiciones agro-ecológicas del este pampeano la transformó en una región “girasolera” a partir de la década del ´80, alcanzando una superficie superior a las 300 mil hectáreas. La superficie de maíz con destino a cosecha mantiene cierta estabilidad y

se estima en aproximadamente 100 mil hectáreas. Cabe aclarar que la superficie total de este cultivo es superior, pero las condiciones agroclimáticas resultan marginales para su desarrollo y que gran parte del mismo se siembra estratégicamente como “doble propósito” o para el consumo forrajero directo o ensilado. El gran avance agrícola se produjo de la mano del cultivo de soja que desde una participación ocasional a fines de la década del '90, alcanzó los valores del tradicional cultivo de girasol e inclusive lo superó ampliamente a las zonas más productivas del NE de La Pampa. Este incremento se produce en desmedro de pasturas perennes y otros cultivos anuales. En la Figura 4 se muestra la evolución del total de la superficie sembrada con cultivos de cosecha gruesa (discriminados en el gráfico anterior), sumada la reaparición regional del sorgo granífero y nuevos cultivos como el maní. En la [estepa pampeana](#) y liderada por la soja, la superficie agrícola se ha incrementado en más del 30%, [considerando el período comprendido entre la campaña 1999/2000 a la 2006/2007](#) (adaptado de **Lorda y col. 2003** y **Daitsch y col. 2007**).

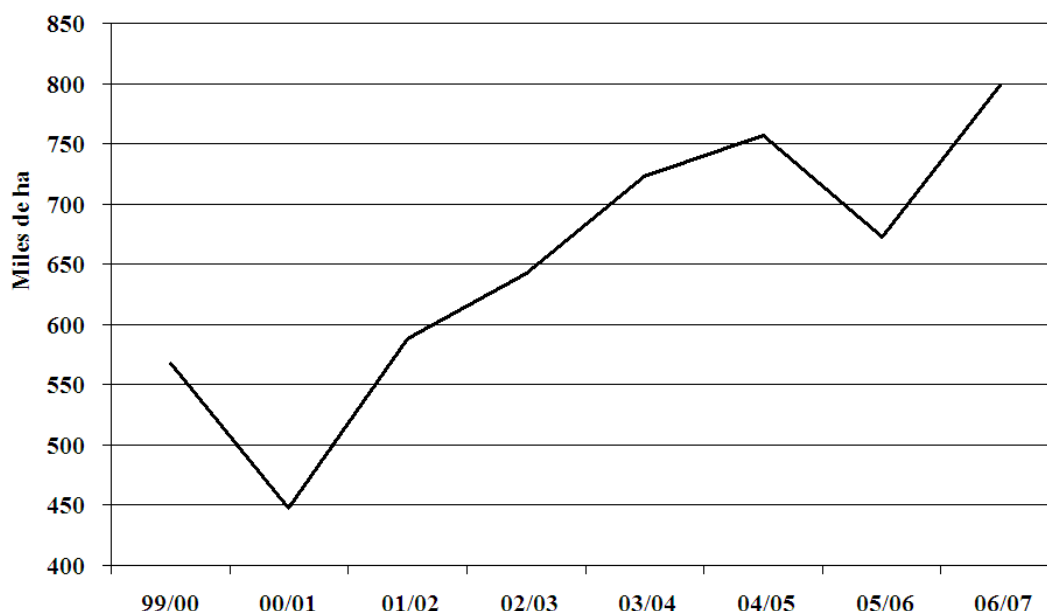


Figura 4: Superficie sembrada total de cultivos de cosecha gruesa en la estepa de La Pampa (Zonas II y V).

III. Marco teórico

III.1. La erosión eólica en la Región Semiárida Pampeana (RSP)

El proceso de agriculturización señalado, produjo la degradación de los suelos con pérdida paulatina de la fertilidad física y química de los mismos. Uno de los aspectos graves de esta intensificación lo constituye las erosiones hídrica y eólica que se estima abarcan un 20% de las tierras productivas argentinas. Según datos del Instituto de Suelos del INTA (1990) la superficie afectada por erosión eólica en la Argentina abarca una 28 millones de ha (**Casas, 2002**).

Una primera referencia de esta problemática son las recomendaciones realizadas por la entonces EEA Guatraché, en el sur de La Pampa, (**Molin, 1918 mencionado por Casas, 2002**) sobre como evitar la doble arada en la siembra de trigo y así evitar las “voladuras”. Posteriormente se afianzaron los conceptos de crear rugosidad en la superficie del suelo para impedir el desplazamiento de las partículas y mantener abundante cobertura vegetal para aumentar la infiltración de agua.

En la década del '80 se fomentaron prácticas como la labranza vertical (arado cincel, cultivadores, rastras), reducción de labranzas, rotaciones y cobertura de restos vegetales. Estos conceptos sobre “calidad de suelo” como integridad funcional, derivaron en la investigación y desarrollo de la siembra directa (SD), que para fines de los años '90 supero en Argentina, las 10 millones de ha. Este sistema posee una alta eficiencia en el control de la erosión, manteniendo en superficie abundante cobertura aportada por los rastrojos de los cultivos que favorecen la infiltración y reducir los procesos de erosión tanto hídrica como eólica (**Casas, 2002**). Sin embargo, para los suelos de la RSP, la intensificación agrícola, las rotaciones no planificadas y las altas cargas ganaderas, que reducen los residuos y cobertura vegetal, atentan contra los beneficios potenciales de esta practica.

El control de la erosión eólica en la RSP radica en incorporar prácticas de manejo que tiendan a disminuir la distancia recorrida por las partículas transportadas por el viento. Esto se logra aumentando la rugosidad superficial y la mayor cobertura vegetal, que permiten elevar la velocidad cero del viento sobre la superficie. Paralelamente, se debe potenciar la presencia de agregados mayores de 0,84 mm, cuya formación esta relacionada positivamente al contenido de materia orgánica (MO) y carbonatos del suelo (**Buschiazzo y col., 2000**).

La erosión eólica es un “*proceso donde se produce la pérdida de los componentes texturales más finos del suelo, que superado ciertos valores críticos, difícilmente pueda revertirse*”. Se modifican de esta manera las propiedades iniciales del suelo, como el contenido de MO (**Buschiazzo y Taylor, 1993**).

Buschiazzo y col. (2004) desarrollaron mapas donde cuantificaron la erosión eólica potencial y actual (EEP y EEA) de casi 27 millones de hectáreas, de gran parte de la región semiárida y subhúmeda argentina y correspondientes a las provincias de La Pampa, San Luis, Córdoba y Buenos Aires.

La EEP se define en función de la erosionabilidad potencial de un suelo (I') y el componente climático (“C”). El primero depende de información básica del suelo, que permite calcular el porcentaje de agregados mayores a 0,84 mm. El factor “C” esta se calcula con series históricas de datos de lluvias, temperatura y velocidad de viento. La EEA incorpora la acción del laboreo sobre las áreas cultivadas, y los coeficientes de rugosidad que la misma genera (**Buschiazzo y col., 2004**). Estos autores confeccionaron

mapas de la RSP que muestran la distribución geográfica de ambos tipos de erosión y que a su vez fue clasificada en los rangos, que se describen en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1: Grados de erosión potencial y actual (Buschiazzo y col. 2004)

Grado de Erosión	EEP (tn/ha/año)	EEA (tn/ha/año)
Ligera	0-20	0-8
Moderada	+20-50	+8-12
Severa	+50-100	+12-20
Grave	+100-150	+20-30
Muy grave	+150	+30

El sector de estos mapas, que se corresponde con la RSP, predomina la EEP severa con más de 11 millones de ha (42,4% de la superficie de la mencionada región) que, teniendo en cuenta la escala pequeña utilizada, abarca desde sitios con suelos arenosos, pocas lluvias y vientos moderados, en el oeste (La Pampa y San Luis), hasta suelos limosos, mayores precipitaciones y vientos moderados a fuertes, en el centro-este (La Pampa-Buenos Aires). Respecto a la estepa pampeana, la EEA severa (+12-20 tn/ha/año) se presenta en una franja desde al extremo sur de Córdoba, gran parte del centro-sur de La Pampa, para terminar en el sur bonaerense, con una superficie superior a los 3 millones de ha (12,7 % del total). La EEA grave y muy grave (+20-30 y +30 tn/ha/año, respectivamente), que se distribuye en todas las provincias mencionadas y representa el 30% de la superficie, involucra la franja este de La Pampa, donde pasa de un EEP severa a una EEA grave.

Para los resultados de erosión eólica de este trabajo se hará referencia a una *tasa anual umbral de 8 t/ha*. En función de la textura de los suelos de la RSP, este valor se considera como límite permisible, por sobre el cual el proceso erosivo se torna irreversible y negativo para la “salud” del suelo.

III.2. Pérdidas de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) por efecto de la erosión y balance de nutrientes

Ambos elementos están relacionados a las partículas finas del suelo (orgánicas e inorgánicas) las cuales son las más susceptibles a la erosión eólica. El P es provisto a las plantas, mayoritariamente, desde la fracción inorgánica del suelo mientras que el N esta asociado a partículas y agregados de mediano tamaño y en estrecha relación con la materia orgánica (MO) del suelo. Los estudios sobre degradación de suelos en la región Pampeana coinciden en la importancia de la MO en las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo. Actúa como reserva y genera el mecanismo de flujo de nutrientes en general. Para los tipos de suelos de la RSP, **Buschiazzo y col. (1991)** encontraron relaciones positivas entre el componente limo+arcilla y el contenido de MO del suelo. Cuando aumenta la proporción de materiales finos también lo hace la retención de agua, se genera mayor actividad de biológica, etc. La **Figura 5** representa una simplificación de esta relación, puesto que esta tendencia puede variar de acuerdo al manejo del suelo, la granulometría específica del mismo y los contenidos iniciales de MO.

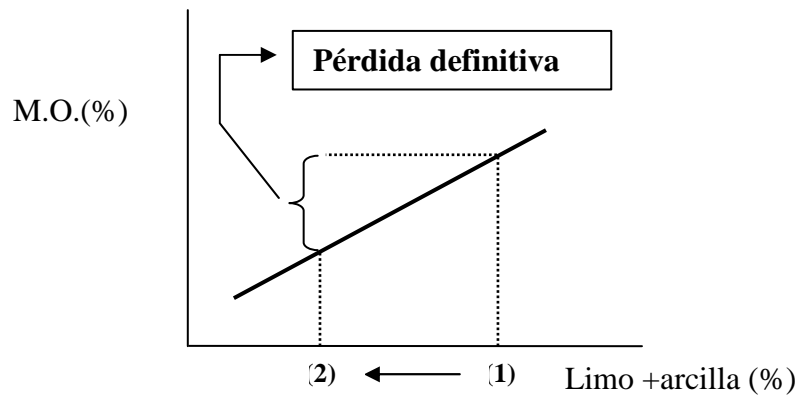


Figura 5: Relación MO vs limo+arcilla para suelos de la RSP (Extractado de Buschiazzo, 2006)

Según la figura anterior, el proceso de erosión eólica determina el paso de una condición inicial (1) a una condición (2), donde se produce la pérdida de limo y arcilla, constituyentes de la fracción fina del suelo. Esta pérdida no solo implica un menor espesor del perfil, que involucra a la porción de suelo más productiva, sino que impedirá recuperar los niveles potenciales de MO. La imposibilidad del suelo de recuperar la proporción granulométrica inicial determina un proceso irreversible, que reduce su capacidad de retener la MO y producto de su disminución, también se afectan las propiedades que aporta este factor, mencionadas anteriormente. Las condiciones iniciales del suelo no se recuperan con el agregado de nutrientes y enmiendas.

Buschiazzo y col (2006 c) estudiaron la cantidad y calidad del material erosionado, en suelos de la RSP, recolectado a diferentes alturas. Se compararon distintos cultivos y sistemas de siembra y años con diferentes condiciones climáticas. La velocidad del viento es la variable que define la proporción de estos elementos en el sedimento recolectado. Si bien el contenido relativo de ambos elementos aumenta con la altura, en años con más viento (> 15 km/h) la concentración de N en altura puede aumentar hasta siete veces respecto al contenido en el suelo debido a que los agregados más grandes y pesados son más ricos en N. Por el contrario, en años con menor velocidad del viento (10 km/h) se erosiona mayor cantidad relativa de P que N. El enriquecimiento de P en altura llega hasta un 90% (38 mg/kg vs. 73 mg/kg) mientras que el N es solo del 20% (0,15% vs.0,18%). En todos los casos y condiciones, el enriquecimiento medido a escasa altura, aumenta a casi el doble respecto a la concentración inicial en la capa superficial del suelo.

Desde el punto de vista productivo y económico, la producción granaria argentina está alcanzando las 100 millones de toneladas, mientras que la fertilización, si bien ha crecido significativamente, no alcanza a las 2 millones de toneladas, por lo que los balances de nutrientes son negativos y conduce al agotamiento indefectible de la MO (**Casas, 2002**). Los fertilizantes utilizados (cuando las condiciones climáticas y de pecios relativos lo permiten) para alcanzar determinados rendimientos o aprovechar el potencial ambiental y genético disponible, se comercializan en un mercado donde el precio se constituye en el valor de intercambio y el productor debe afrontar un costo para su adquisición. Se estima que se repone entre 20-25% del N; 40-45% del P y menos del 1% del potasio (K) extraído por los cultivos. Estos resultados implican pérdidas millonarias en términos del desbalance de nutrientes (**García, 2003**).

En términos económicos, en un estudio realizado por **Flores y Saradon (2005)** a través de la Universidad de La Plata, estimaron que los costo de reposición de los nutrientes perdidos por soja, trigo y maíz durante 30 años (1979-1999), alcanzó a 1825 \$/ha para el cultivo de soja, 697 \$/ha para el trigo y 1461 \$/ha para el maíz. Estos valores representaron el 20,6%, 20,0% y 18,7% respectivamente, de los márgenes brutos promedios de la década del '80 y '90, a pesos constantes.

Las pérdidas de macronutrientes, producto de la erosión eólica pueden incorporarse como un “egreso” dentro del balance de nutrientes y, eventualmente, agravar la situación antes descripta. Cabe reiterar que estas pérdidas son graduales, muchas veces no percibidas, por ende subestimado y menos aún valorado económicamente. A nivel de ensayos experimentales se ha detectado que las pérdidas por erosión eólica, medidas en función del balance de nutrientes, pueden representar una disminución del 25% del margen bruto inicial de un cultivo. Además, en 10 años las pérdidas sucesivas de perfil de suelo podrían hacer perder un 20% del valor comercial de la tierra y hasta un 25% de su productividad (**Buschiazzo y col, 2000**). En un trabajo de **Zanotti y col (1997)** referido a la extracción histórica de N y P por parte de los principales cultivos de cosecha de La Pampa, concluyen que el 25% de la disminución de estos nutrientes en el suelo, tomando como base de comparación con suelos vírgenes, se debe a la erosión eólica.

Es importante enfatizar que los macronutrientes N y P y los minerales en general son reestablecidos al suelo en su forma natural, a través de la tasa de mineralización de la materia orgánica, propia de cada suelo, y los efectos climáticos sobre el material parental (**Valenciano y col. 2002**). En el corto plazo, el productor no enfrenta “restricciones” de tipo monetarias, temporales o de disponibilidad como para asignarles un valor de intercambio a estos SE, aunque se produce una evidente disminución en el stock de nutrientes, con las consecuencias que esto ocasiona en los niveles productivos futuros. La erosión eólica produce la pérdida de suelo fértil y junto a él la de nutrientes que en el largo plazo se transforma un valor social total eventualmente elevado y que no se refleja en un mercado (**Farber y col. 2002**).

Las evaluaciones del trabajo están orientadas hacia sistemas productivos con manejo y rotaciones de cultivos diferentes, en una serie de años prolongada y dentro de áreas agroecológicamente homogéneas. Entre los métodos de valuación económica de los SE, se propone utilizar los *Costos de Reemplazo-Replacement Cost-* (**Cristeche y Penna, 2007**), es decir la posibilidad de reemplazar y valorar los macronutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P), perdidos por efecto de la erosión eólica, analizados como *flujo* dentro del ciclo productivo (campana) de los principales cultivos de cosecha y en un período de rotación determinado.

III.3. Sistema de costeo y matriz de Programación Lineal (PL)

El sistema de costeo elegido es el denominado Margen Bruto (MB), que consiste en obtener la diferencia entre el *ingreso neto (IN)* y *los costos directos (CD)* de producción. En estos costos se valoriza los insumos directos utilizados y la mano de obra *involucrada* en dicho proceso (**Durán y col. 2005**).

Antes de incorporar el factor ambiental en la ecuación, el MB queda expresado de la siguiente forma:

$$\boxed{MB\ inicial\ (\$/ha) = IN\ (\$/ha) - CD\ (\$/ha)}$$

Donde:

IN = Ingreso Bruto (IB) – gastos de comercialización

CD= Costos Directos

El IB se calcula multiplicando el rendimiento del cultivo (t/ha) por el precio FAS (\$/t).

Los CD incluyen:

$$\boxed{\text{costos de implantación} + \text{costos de protección} + \text{costo de cosecha}}$$

El costo de reemplazo de N y P, producto de la erosión, se identifica en este trabajo como INDICADOR AMBIENTAL (IA). Este costo se suma a los CD y su eventual incremento permite obtener el *MB neto de IA*:

$$\boxed{MB \text{ neto de IA } (\$/ha) = IN (\$/ha) - \{CD(\$/ha) + \text{costo reemplazo N y P } (\$/ha)\}}$$

Los resultados provistos por el modelo de erosión eólica y su impacto económico sobre los principales cultivos agrícolas, sirven como un primer diagnóstico para detectar si las prácticas tecnológicas, rotaciones y actividades productivas que se llevan adelante en la estepa pampeana, son factibles de mejorar y reorientarse desde el punto de vista del mejor manejo de los recursos naturales. El trabajo previo con datos reales de 6 sitios, en cada subzona agroecológica, permite acceder a información adicional que enriquece la caracterización de los sistemas productivos:

- Aptitud productiva y cultivos predominantes;
- Tipo y características de suelo;
- Organización de la mano de obra: familiar vs. contratada;
- Maquinaria: propia, contratada (proporción);
- Uso actual: agrícola (% cada cultivo); mixto o ganadero;
- Suplementación; etc.

El objetivo de desarrollar una matriz de PL es redefinir las actividades productivas actuales, conducidas mayoritariamente con prácticas de manejo tradicionales y paralelamente, generar propuestas mejoradas o alternativas no convencionales. Para ello se propone hacer uso de resultados de la experimentación acumulada regionalmente, que apunta a preservar el mejor uso de los recursos, con énfasis en el suelo y los SE que el mismo provee (**Quiroga y col. 2005; Alvarez y col. 2005; Fernandez y col. 2005**). [Una descripción conceptual de la programación de PL y de la estructura de la matriz, se desarrollan más adelante en el punto IV.4.](#)

En términos generales, todas las alternativas incluyen el análisis de:

- Tipo y longitud de barbechos.
- Disponibilidad de humedad a la siembra.
- Sistema de siembra.
- Disponibilidad de nutrientes a la siembra.
- Niveles de fertilización: testigos, dosis de diagnóstico o “económicas” y criterios de reposición de nutrientes (balances positivos).
- Efecto de cultivos antecesores: cobertura de residuos, aporte de MO, etc.
- Doble cultivo: efecto de la cobertura y fertilización sobre el cultivo posterior (efectos de interacción).

Todas las actividades deben responder a restricciones técnico-agronómicas y ambientales y generen una propuesta productiva que...“*preserven y/o mejoren la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental y la calidad de los recursos renovables y no renovables, donde se destaca el suelo como recurso finito no renovable*” (García, 2003).

La función objetivo de la matriz, se orienta a maximizar ingresos, en términos de margen bruto total de la empresa (MBT), combinando actividades que sean superadoras tecnológica y productivamente y que aseguren la sustentabilidad ambiental del sistema productivo. La propuesta intenta alcanzar una solución óptima y se transforma en un modelo de optimización de corto plazo.

Para aplicar el modelo EWEQ fue necesario **analizar** datos de campo provenientes de áreas con condiciones agro-ecológicas diferentes y series de tiempo lo más largas posibles. De esta forma, fue posible incluir procesos tecnológicos y manejos de cultivos contrastantes. Por otro lado, la matriz de programación lineal (PL) quedó conformado por más de 15 actividades, lo que implicó recopilar y analizar trabajos de investigación y experiencias regionales para dar sustento a los planteos técnicos de las mismas. Estas circunstancias determinaron que en este trabajo se tuviera que profundizar en aspectos técnico-agronómicos, para poder realizar los análisis económicos propuestos como objetivos.

Finalmente, este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto específico de INTA “**Evaluación de impacto de los servicios ambientales en los sistema de producción y las externalidades asociadas: los casos de las ecorregiones pampeana y chaqueña**” (INTA AEES 1732, 2006). El objetivo principal del proyecto es “contribuir a la sustentabilidad agropecuaria mediante la valoración económica de los servicios ecológicos”. La estrategia del proyecto es abordar la temática desde tres niveles de análisis: 1) los SE en la empresa agropecuaria; 2) externalidades a nivel de cuencas (efectos en las actividades económicas, comerciales, de contaminación, etc.) y 3) instrumentos institucionales (legales, impositivos, crediticios, de extensión, etc.). También dieron sustento al marco de referencia y al relevamiento de información, el proyecto específico de INTA “**Economía de los sistemas de producción: caracterización y prospectiva**” (INTA AEES 1731, 2006) y de la RIAN (Red de Información Agropecuaria Nacional) del INTA.

I. Introducción	1
II. Marco de referencia	6
II.1. Caracterización de la zona de estudio	6
II.2. El avance de la agricultura en la Región Pampeana	9
III. Marco teórico	12
III.1. La erosión eólica en la Región Semiárida Pampeana (RSP)	12
III.2. Pérdidas de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) por efecto de la erosión y balance de nutrientes	13
III.3. Sistema de costeo y matriz de Programación Lineal (PL).....	15