

**ORIENTACIÓN DE LA SIEMBRA DE GIRASOL:
EFECTOS SOBRE LA EROSIÓN EÓLICA Y EL RENDIMIENTO
DEL CULTIVO EN EL SEMIÁRIDO DE SAN LUIS**

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,

Área Ciencias del Suelo "Manejo y Conservación"

Paula Hurtado

Ingeniera Agrónoma – Universidad Nacional de La Plata - 2003

EEA INTA San Luis



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano

Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Daniel Eduardo Buschiazzo

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Sur)
Doctor en Ciencias Agrarias (Universität Hohenheim)

Consejero de Estudios

Miguel Angel Taboada

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)
Docteur Fonctionnement des Ecosystemes et Agrosystemes (Institut National
Polytechnique de Toulouse)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Daniel Eduardo Buschiazzo

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Sur)
Doctor en Ciencias Agrarias (Universität Hohenheim)

JURADO

Roberto Raúl Casas

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)
Magister Scientiae (Universidad Nacional de La Plata)

JURADO

José Manuel Cisneros

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Río Cuarto
Doctor - Universidad Politécnica de Madrid

Fecha de defensa de la tesis: 22 de Marzo de 2012

A mis padres Cristina⁽⁺⁾ y Martín.

por ser un ejemplo, por su protección y apoyo incondicional.

A mis hermanos Cecilia y Martín.

por la camaradería y las experiencias compartidas.

A mi hijo Simón.

A Quimey, por su fidelidad.

Agradecimientos

Escribir este apartado fue también una tarea difícil. Al principio sólo eran unos pocos nombres, luego al enumerar a todos aquellos que aportaron en la construcción de mí como persona y como profesional, se convirtió en una extensa lista. La cual contenía desde la primera maestra en la guardería hasta el último docente universitario, desde el amigo circunstancial como a los de toda la vida, desde mi familia de sangre como aquellas personas que las considero parte de ella por ser simplemente especiales (Juliana Riegel y los integrantes de las familias Meroni, Troncoso y Re). A las cuales, nunca destiné tiempo para reconocerles y ante instancias como estas, donde uno concluye una etapa en su vida, dimensiona el lugar que cada uno ocupó y lo importante que fueron.

Pero al acotarme a mi etapa de formación de posgrado, los agradecimientos son para:

- el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por haberme otorgado la oportunidad y provisto de los medios necesarios para realizar y concluir el posgrado,
- las autoridades de la gestión pasada y presente de la Estación Experimental Agropecuaria San Luis y de la Regional La Pampa-San Luis, por haber confiado en que cumpliría con el objetivo,
- mis directores Dr. Daniel Buschiazzo y Dr. Miguel Taboada, por su orientación y dedicación en mi formación, como así por sus valiosos consejos y atinadas correcciones,
- el Sr. Nicolás Nacht, propietario del establecimiento “El Corralito”, y al Ing. Agr. Pablo Nicolato, asesor del mismo, que dispusieron de las instalaciones, personal y maquinarias para llevar a cabo el ensayo,
- el técnico de laboratorio de suelos Sergio Sayavedra y al apoyo de campo Rubén Romero de la EEA INTA San Luis, que siempre colaboraron en la marcación y delimitación de los lotes, en la instalación y mantenimiento de los colectores, como así en los muestreos,
- el geólogo Carlos A. Peña Zubiato, quien sin mezquindad compartió sus conocimientos sobre los suelos de la provincia de San Luis, y
- los integrantes del Comité Evaluador, quienes son dignos de juzgar el trabajo y realizar las contribuciones pertinentes.

Declaración

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

ÍNDICE GENERAL

1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS	12
1.1 Introducción	13
1.2 Hipótesis	14
1.3 Objetivos generales	14
1.3.1 Objetivos específicos	14
1.4 Revisión bibliográfica	15
1.4.1 Erosión eólica en el mundo	15
1.4.2 Efectos de la erosión eólica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo	17
1.4.3 Efectos de la erosión eólica sobre los cultivos	18
1.4.4 Relación entre la erosión eólica y la humedad del suelo	19
1.4.5 Agente erosivo: el viento	21
1.4.6 Incidencia de la vegetación en el control de la erosión eólica	21
1.5 Factores que favorecen la erosión eólica en San Luis	22
2. MATERIALES Y METODOS	28
2.1 Área de estudio	28
2.1.1 Características	28
2.1.2 Ubicación	31
2.2 Registro climático	32
2.3 Diseño experimental y análisis estadístico	33
2.4 Tratamientos	34
2.5 Variables analizadas	35
2.5.1 Erosión eólica	35
2.5.1.i Colectores de partículas	35
2.5.1.ii Cálculo de la erosión eólica	37
2.5.2 Porcentaje de humedad del suelo	38
2.5.3 Componentes del rendimiento	38
2.5.3.i Densidad de plantas	39
2.5.3.ii Altura de plantas	39
2.5.3.iii Diámetro del capítulo	39
2.5.3.iv Rendimiento	39
2.5.3.v Peso de mil granos	40
2.5.3.vi Número de semillas por capítulo	40
3. RESULTADOS	41
3.1 Análisis de los vientos y de las tormentas	42
3.1.1 Campaña 2007-2008	42
3.1.2 Campaña 2008-2009	45
3.2 Humedad del suelo	48
3.3 Componentes del rendimiento del cultivo	51
3.3.1 Densidad de plantas	51
3.3.2 Altura de plantas	52
3.3.3 Diámetro del capítulo	53
3.3.4 Peso de mil granos	54
3.3.5 Número de semillas por capítulo	54
3.3.6 Rendimiento	55
3.4 Análisis conjunto de los componentes del rendimiento	56
3.5 Análisis del material erosionado por el viento	58
3.5.1 Erosión neta durante la campaña 2007-2008	58
3.5.2 Erosión neta durante la campaña 2008-2009	60

3.5.3 Tasa de erosión	63
4. DISCUSIÓN	65
4.1 Humedad del suelo	66
4.2 Componentes del rendimiento	66
4.3 La erosión eólica según los vientos y la orientación del cultivo	68
5. CONCLUSIONES	71
5.1 Conclusiones generales	72
5.2 Recomendaciones generales	73
BIBLIOGRAFIA	74

ÍNDICE DE TABLAS

1. ASPECTOS INTRODUCCIÓN	
1.1 Superficie y porcentaje de las tierras en la provincia de San Luis, clasificadas según su aptitud de uso	23
1.2 Evolución de la superficie cultivada con girasol en la provincia de San Luis, durante el periodo comprendido entre el 2004 y 2009	26
2. MATERIALES Y METODOS	
2.1 Descripción morfológica: Torripsmantes Usticos – Serie Batavia	28
2.2 Datos analíticos: Torripsmantes Usticos – Serie Batavia	29
3. RESULTADOS	
3.1 Campaña 2007-2008. Características de las tormentas en base a los vientos máximos mayores a $14,4 \text{ km h}^{-1}$	44
3.2 Campaña 2008-2008. Características de las tormentas en base a los vientos máximos mayores a $14,4 \text{ km h}^{-1}$	46
3.3 Precipitaciones y temperaturas medias mínima y media máxima del aire durante el crecimiento de girasol en la campaña 2007-2008	49
3.4 Precipitaciones y temperaturas medias mínima y media máxima del aire durante el crecimiento de girasol en la campaña 2008-2009	50
3.5 Análisis de densidad de plantas. Comparación de densidad de plantas entre los tratamientos de las campaña 2007-2008 y 2008-2009	51
3.6 Análisis de la altura de plantas. Comparación de la altura de plantas entre los tratamientos de las campaña 2007-2008 y 2008-2009	53
3.7 Análisis del diámetro de los capítulos sembrados NE-SW y N-S en el 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas	54
3.8 Análisis del peso de mil granos de los tratamientos sembrados NE-SW y N-S en el 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas	54
3.9 Análisis del número de semillas por capítulo de los tratamientos sembrados NE-SW y N-S en el 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas	55
3.10 Análisis del rendimiento del cultivo entre las campañas 2007-2008 vs. 2008-2008 y entre campañas	56
3.11 Resumen de las tendencias de los componentes del rendimiento de girasol sembrado con orientación NE-SW y N-S, en ambas campañas	57
3.12 Resumen de las tendencias entre las dos campañas de los componentes del rendimiento en ambos sentidos de siembra	57

ÍNDICE DE FIGURAS

1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS		
1.1	Distribución de las tierras en la provincia de San Luis según su capacidad de uso	24
1.2	Extensión y distribución de los pastizales pampeanos en la República Argentina, República del Uruguay y provincia de San Luis. Y localización del establecimiento de estudio	25
1.3	Evolución de los precios promedios mensuales de los cereales de cosecha más relevantes, desde el año 2002 al 2009	26
2. MATERIALES Y METODOS		
2.1	Comportamiento de las precipitaciones en Villa Mercedes desde 1903 hasta el 2009	30
2.2	Comportamiento de las precipitaciones en Batavia desde 1903 hasta el 2009	31
2.3	Localización de la zona de estudio en la República Argentina y provincia de San Luis Características del área de estudio	32
2.4	Estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 Wireles	32
2.5	Orientación de la siembra del cultivo de girasol: a) N-S, b) NE-SW	34
2.6	Colectores de partículas BSNE	36
2.7	Ubicación en altura de los colectores BSNE	36
2.8	Diagrama de distribución de los mástiles en la parcela	36
2.9	Instrumento utilizada para extraer muestras de suelo para determinar humedad en el suelo	38
2.10	Medición de los componentes del rendimiento: a) densidad, b) altura, c) diámetro del capítulo	39
2.11	Material cosechado y separación de semillas	40
3. RESULTADOS		
3.1	Dirección y frecuencia de los vientos máximos superiores a 14,4 km h ⁻¹ durante la campaña 2007-2008	42
3.2	Dirección y frecuencia de los vientos máximos superiores a 14,4 km h ⁻¹ durante la campaña 2008-2009	45
3.3	Contenidos de humedad del suelo dentro de los primeros 5 centímetros en el suelo con girasol orientado en dos sentidos, durante la campaña 2007-2008	49
3.4	Contenidos de humedad del suelo dentro de los primeros 5 centímetros en el suelo con girasol orientado en dos sentidos, durante la campaña 2008-2009	50
3.5	Campaña 2007-2008. Relación entre la pérdida de material en los lotes sembrados y los vientos máximos según su velocidad y sentido de circulación	59
3.6	Campaña 2008-2009. Relación entre la pérdida de material en los lotes sembrados y los vientos máximos según su velocidad y sentido de circulación	62
3.7	Tasa de erosión en cada tratamiento según el ángulo de incidencia de los vientos predominantes superior a 14,4 km h ⁻¹ con las líneas de siembra orientadas NE-SW y N-S	64

ABREVIATURAS

BSNE: Big Spring Number Eighth
EE: erosión eólica
TE: eficiencia de atrape
DDS: días después de la siembra

RESUMEN

La erosión eólica es un importante proceso de degradación de los suelos en la región semiárida de San Luis. En este estudio se comparó la eficiencia de la orientación N-S y NE-SW de siembra del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*), para controlar la erosión, el contenido de humedad del suelo y definir distintos componentes del rendimiento del cultivo.

Durante las campañas 2007-2008 y 2008-2009, se instalaron dos parcelas cuadradas de una hectárea cada una con los siguientes tratamientos: a) cultivo de girasol sembrado N-S, a 45° de la dirección predominante de los vientos, y b) con girasol sembrado NE-SW, en sentido paralelo a la dirección de los vientos predominantes. Se midió el material transportado utilizando colectores BSNE y, semanalmente, la humedad del suelo, la densidad y altura de plantas, el diámetro del capítulo, número de semillas por capítulo, el peso de los mil granos y el rendimiento. Los resultados indicaron que en el tratamiento N-S, la erosión, el diámetro del capítulo y el peso de mil granos fue superior que en la NE-SW en la primera campaña y en la segunda también lo fueron la humedad del suelo, la altura de las plantas y el rendimiento.

No se confirmó la hipótesis que planteaba que la erosión sería menor con el cultivo sembrado dirección N-S pero si se confirmó la que suponía que en ese tratamiento tanto la humedad del suelo como varios componentes del rendimiento serían favorecidos. Deberá confirmarse el efecto de esta tecnología sobre la erosión eólica, ya que las metodologías utilizadas en este estudio no fueron suficientemente precisas como para cuantificar este fenómeno.

Palabras Claves: Erosión eólica, Región Semiárida de San Luis, Orientación de la Siembra de Girasol.

ABSTRACT

Wind erosion is an important soil degradation process in the semiarid region of San Luis. In this study it was compared the efficiency of the sunflower (*Helianthus annuus L*) N-S and NE-SW sowing orientation on the control of wind soil erosion, soil water content, and crop development.

During 2007-2008 and 2008-2009, two 1-ha square plots were installed with the following treatments: a) sunflower cropping, which was sowed N-S, at 45° of the wind predominant direction, and d) Idem, but sowed NE-SW in the same direction of predominant winds. The transported soil material was captured and measured by BSNE collectors; soil water content, density and height of sunflower plants, diameter of the flowering head, number of seed per head, weight of one thousand grains and crop yield were all determined every week. The results indicated that in both campaigns the sunflower under the N-S sowing treatment performed better than the sunflower under the NE-SW sowing treatment in relation to erosion, diameter of the flowering head, and weight of one thousand grains. In the campaign 2008-2009, soil water content, height of plants and yield were also superior in the N-S sowing treatment than in the NE-SW treatment.

The hypothesis that the erosion would be minor in the N-S sowing treatment was not confirmed. On the other hand, the hypothesis that supposed that in that treatment soil water content and crop development components would be favoured was confirmed. The effect of this management over wind erosion needs to be confirmed; this is due to the fact that the methodology used in this study was not precise enough to quantify this process.

Key words: Wind Erosion, Semiarid of San Luis, Sunflower Sowing Orientation.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1- Introducción

El término “erosión” proviene del verbo latino “*erodere*”, significa roer y se refiere al desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de los agentes erosivos. La erosión eólica (EE), consiste en la remoción y el transporte del material de la superficie por el viento, que se inicia cuando la fuerza del viento en superficie supera a las fuerzas que mantienen estáticas a las partículas del suelo (Chepil y Woodruff 1963).

Se considera a la EE como uno de los procesos que más contribuye a la degradación de suelos de las regiones áridas y semiáridas del mundo (Gomes et al 2003), debido a sus efectos a corto plazo sobre la productividad y a largo plazo sobre la sostenibilidad del ecosistema (Zhao et. al. 2006). Los cuales se deben a la lenta reducción de la materia orgánica, el deterioro de la estructura del suelo, la disminución de la disponibilidad de nutrientes y de la capacidad de almacenamiento de agua.

Las causas básicas de la EE y sus fluctuaciones dependen de los cambios climáticos y el desequilibrio que se produce entre el clima, suelo y vegetación; asociadas al manejo uso de las tierras (Woodruff y Chepil 1956, Woodruff et. al. 1957, Chepil 1958, Chepil y Woodruff 1963). En sistemas frágiles como los semiáridos, en los cuales las pérdidas de nutrientes por el viento suelen ser diez veces mayores que las deposiciones eólicas por las tormentas de polvo (Li et. al. 2004), es muy importante la adopción de prácticas culturales, un uso y manejo racional y eficiente del suelo y el agua (Morgan 1996, Norman y Douglas 1996).

San Luis reúne todo los factores naturales claves para la ocurrencia de la erosión eólica: altas velocidades del viento, baja humedad relativa del aire y del suelo, alta heliofanía, precipitaciones escasas y estacionales con frecuentes períodos de sequía. También presencia de suelos poco evolucionados con bajos contenidos de materia orgánica y escaso desarrollo de estructura, y rala cobertura vegetal (Bennett 1939; Zingg 1953, Zingg 1954, Woodruff y Lyles 1967). Y fundamentalmente una gran variabilidad de las condiciones ambientales entre estaciones del año y entre años consecutivos, característico de las regiones áridas (Fairbridge y Finkl 1979).

Los pastizales del Río de la Plata, que se extendían desde Uruguay hasta el sur de San Luis y norte de La Pampa, han sido modificados profundamente con la introducción del ganado vacuno, ovino y equino durante el siglo XVI y la agricultura a fines del siglo XIX, llegando ha perderse más de 900.000 has. de pastizales naturales de la ecorregión pampeana entre el 1988 y 2002 (Miñarro et. al. 2008).

Conociendo los componentes y el mecanismo de la EE, los principios generales para su control consisten en reducir la fuerza erosiva del viento (Woodruff 1954, Woodruff y Chepil 1956, Woodruff et. al. 1957) y generar partículas resistentes a dichas fuerzas (Chepil 1956), tras la ejecución de cuatro instancias: atrapar las partículas en movimiento, consolidar o agregar las partículas atrapadas, reducir la superficie expuesta a los vientos dominantes y revegetar la superficie. En suelos cultivados es difícil cumplir con dichas etapas, por lo que el manejo y protección de la vegetación como así de los residuos en superficie es fundamental (Chepil y Woodruff 1963, Woodruff et al. 1972, Hagen 1994).

1.2- Hipótesis

En la llanura arenosa ondulada de la región central-sur de San Luis, los pastizales han sido reemplazados por cultivos de cosecha y la circulación predominante de los vientos máximos es del Noreste-Sudoeste (NE-SW). Debido a la topografía del terreno, no siempre es viable disponer el cultivo perpendicular a los vientos, por lo tanto se hipotetiza que la siembra de cultivo de girasol orientada NE-SW, paralela a los vientos, será menos eficiente para controlar la erosión eólica, intervenir en la evapotranspiración y permitir un mejor desarrollo del cultivo, que una siembra a 45°.

1.3- Objetivos generales:

Los objetivos generales de esta investigación fueron obtener información acerca de la magnitud de la erosión eólica en el centro sur de la provincia de San Luis, en condiciones contrastantes de dirección de siembra del cultivo de girasol, considerando que esta técnica de manejo es de fácil implementación y bajo costo.

1.3.1 Objetivos específicos:

- a) Determinar la dirección de los vientos erosivos en la zona de estudio.
- b) Determinar la cantidad de material erosionado en función de la orientación del cultivo con respecto a la dirección de los vientos de máxima intensidad predominantes.
- c) Evaluar el efecto de la orientación del cultivo con respecto a la dirección de los vientos de máxima intensidad predominantes sobre la evaporación del agua de los primeros centímetros del perfil del suelo.
- d) Evaluar el efecto de la orientación del cultivo con respecto a la dirección de los vientos de máxima intensidad predominantes sobre aspectos fenológicos, estructurales y de rendimiento del cultivo de girasol.

1.4- Revisión bibliográfica

1.4.1- Erosión eólica en el mundo

A pesar que la EE es un proceso natural, en varias zonas del mundo la misma se desencadenó tras la intervención del hombre en el equilibrio natural entre el clima, el suelo y la vegetación (Sears 1980, Liu 2007), siendo la destrucción de la vegetación y/o sus residuos una de las causas más importantes de la EE (Fryrear 1985, Zobeck 1991, Liu et. al. 2007).

El proceso erosivo no sólo se ve acelerado por la eliminación de la vegetación natural, la cual es capaz de absorber la energía del viento y de elevar la distancia desde la superficie a la altura cero de velocidad del viento (Siddoway et al. 1965, Bilbro y Fryrear 1994). Sino también por la introducción de cultivos de mayores requerimientos en el consumo de agua y nutrientes (Kopta 1999) y por la falta de adopción de técnicas conservacionistas que aseguren la estabilidad de los suelos. Todo esto hace suponer que en futuros períodos de sequía se producirían alteraciones en el suelo y el ecosistema en general (Collado 2003).

Chepil et al (1952) realizaron un estudio donde determinaron que suelos en zonas de secano recientemente roturados son más productivos, pero potencialmente más susceptibles a la EE, debido que las fuerzas cohesivas provenientes de las raíces de la vegetación natural son poco persistentes en el tiempo. La estabilidad de estos suelos roturados puede conservarse con el aporte de residuos orgánicos, que suelen ser abundantes en años con buenas condiciones climáticas y mermar durante los años secos, tornándose más vulnerables ante la erosión.

Las áreas cultivables, en el mundo, que responden a las condiciones edafoclimáticas propensas para la ocurrencia de EE se encuentran en el Norte y Sur de África, Sur y Este de Asia, Australia, extremo sur de América del Sur, como así las extensas planicies semi – áridas de Siberia, Canadá, Estados Unidos y la ex Unión Soviética (Robins 1960, Skidmore 1982).

La EE afecta el 11% de un total de 4.891 millones de hectáreas de tierras cultivadas y potencialmente cultivables del mundo. Argentina es el país de América latina con mayor superficie árida, semiárida y subhúmeda seca abarcando el 75% del territorio nacional, la cual es altamente susceptible a la EE, porque sus suelos evolucionaron sobre materiales de origen eólico (Buschiazzo et al. 1998b). Se estimó que entre 1957 y 1982, la superficie afectada por la EE aumentó a un promedio de 550.000 ha año⁻¹, pasando de 16.000.000 a 29.700.000 ha. (Casas 1988).

Cuando los suelos de las planicies de los Estados Unidos y de las praderas de Canadá, estaban cubiertos por vegetación natural la EE era escasa. Una vez que éstas fueron sobrepastoreadas, quemadas o reemplazadas, la pérdida de suelo por acción del viento se aceleró (Malin 1939, Chepil y Woodruff 1963, Sears 1980, Lyles 1985). Hagen y Woodruff (1973) durante la década del 50, analizaron el número de días con polvo en suspensión en distintos punto distribuidos dentro de las grandes planicies de EEUU con diferentes usos de suelo; solo en las dos estaciones de muestreo ubicadas en zonas no cultivadas encontraron que no hubo ni un día con polvo en suspensión.

Los primeros exploradores que cruzaron las planicies de Estados Unidos durante periodos húmedos las denominaban el océano de los pastizales, mientras que los que la atravesaron durante años secos la llamaban el gran desierto. Para 1931 tierras con pastizal tanto aptas como no aptas para cultivos había sido arado, debido a la colonización de la región que comenzó a partir de 1887.

Después de la aguda sequía de la década del 30, algunos productores decidieron reestablecer las praderas, mientras que muchos abandonaron sus campos porque sus tierras aradas habían perdido entre 5 a 30 centímetros de la capa superficial y los suelos arenosos se convirtieron en dunas de entre 6 a 9 metros de altura. En la década del 40, al restablecerse las precipitaciones, la EE era un problema local y de suelos desprotegidos. Nuevos colonizadores, con la idea que la sequía del 30 había sido un hecho desafortunado y que lo normal para la zona eran las precipitaciones estándares y las buenas cosechas, se asentaron arando las cientos de miles de hectáreas remanentes de praderas sobre suelo no aptos para cultivos, siendo azotados por otra sequía en la década del 50.

Investigadores concluyeron que 14 millones de hectáreas de las planicies de EEUU nunca deberían haber sido aradas y cultivadas porque no eran aptas debido a su delgado horizonte superficial, alto porcentaje de arena y escasos aportes de agua por la lluvia. Tierras de las cuales sólo se obtienen buenos rendimientos durante los años húmedos pero son un fracaso durante los periodos secos, y que si se las someten a sequía durante 2 o 3 años consecutivos, pierden la materia orgánica y la vegetación quedando expuestas a las fuerzas del viento (Soil Conservation Service 1961).

La primera mención de las tormentas de polvo ocurrida en las tierras cultivadas en el sur de Rusia datan de fines del siglo XIX, pero los primeros eventos erosivos fueron en los siglos XIII - XIV, cuando las tribus nómades se trasladaron a la región del Cáucaso. La difusión de los cultivos de cosecha en esa seca estepa europea de Rusia, expuesta a vientos extremadamente fuertes aumentó el área sometida a la EE como así la frecuencia y gravedad de las tormentas de polvo en el área; pasando de cinco tormentas de polvo anuales antes de 1930 a 29 durante los siguientes cuatro años. De un estudio de campo en la región a largo plazo (1950 -1990), se obtuvo que la pérdida total de suelo fue de 9.126 mil millones de Mg, los daños in situ fueron de diferentes clases, quedando el 60% de ese suelo suspendido en el aire produciendo problemas ambientales lejos de la fuente de polvo (Larionov et. al. 1999).

Cerca de 110 millones de personas viven en las praderas templadas de China, el impacto de su asentamiento fue la degradación del pastizal debido al sobrepastoreo, el cambio de uso de la tierra por la expansión agrícola, la urbanización e industria y la pérdida de biodiversidad por la extinción de hábitats naturales debido a la explotación minera y recurrentes incendios (Peng et. al. 2008). Factores que han acelerado el proceso erosivo y que el gobierno de China ha ejecutado por más de 50 años una gran inversión económica, social y científica para investigar e implementar programas que lo mitiguen. El Servicio de Conservación de Agua y Suelo de China, ha llevado a cabo muchos trabajos de medición de la erosión provocada por el viento los que mostraron que se pierden entre 10 y 80 Mg ha⁻¹ y en las zonas cultivables entre 10 y 20 Mg ha⁻¹ (Huanwen et. al. 2006). En el año 2000 y 2001, China invirtió 200 millones de dólares a fin de controlar la erosión que afecta las zonas de Beijing y Tianjin, y destinó \$ 700 millones de dólares en investigación para la década comprendida entre el año 2000 y 2010 (Chen y Cai 2003).

En Australia, la distribución actual de los pastizales y los bosques está muy fragmentada, y la composición de la capa superficial del suelo muy modificada debido a los 200 años del pastoreo de las pasturas nativas y exóticas por el ganado doméstico, como así el desmonte para la implantación de cultivo. A gran escala y con la incorporación de nuevas tecnologías como el riego y el reemplazo de los pastizales naturales por cultivos agrícola sigue constituyendo la mayor amenaza en regiones áridas y semiáridas de ese país (Gilfedder et. al. 2008).

En dicho país tras una gran sequía en 1983, durante una tormenta la región Mallee y Wimmera del departamento Victoria, perdió alrededor de 50.000 Mg de capa superficial del suelo, formando una nube de polvo de muchos kilómetros de diámetro y de 320 metros de profundidad cuando llegó a Melbourne. El 23 de Octubre de 2002, una tormenta azotó el este de Australia desde el estado de Victoria hasta el estado de Queensland, en la que se estimó que se transportó 48.500 Mg de sedimento, depositándose una gran proporción en el mar del Coral. En la gran tormenta llamada "el rojo amanecer" (red dawn) que afectó Sydney, el 23 de Septiembre de 2009, aproximadamente 75.000 Mg de polvo por hora se perdieron frente la costa norte de esta ciudad (datos suministrados por DustWach Australia).

El Sahara es la fuente más importante de polvo del suelo en todo el mundo, se estima que aporta al menos el 50% de la carga global de polvo atmosférico (Goudie y Middleton 2001). En África, tierras hasta por encima de los 3.000 metros de altura han sido convertidas en suelos agrícolas. El uso intensivo de las tierras, los incendios y el reemplazo casi en su totalidad del bosque de montaña, redujo la cubierta vegetal orófila (Wesche 2008), mientras que en Sudáfrica el 30% de los pastizales han sido sustituidos por cultivos (Carbutt et. al. 2008).

1.4.2- Efectos de la erosión eólica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo

La erosión eólica es un proceso complejo, no sólo por los múltiples factores que lo desencadenan sino por la imperceptible pérdida de suelo que normalmente conlleva. Es un proceso que si no es controlado se retroalimenta, pudiendo llegar a una instancia irreversible afectándose directa e indirectamente las propiedades físicas y químicas del sistema suelo.

Un suelo que se erosiona a lo largo del tiempo, pierde o reduce el espesor del horizonte superficial (Chepil et al. 1952; Lyles 1975). El transporte de material es un proceso no selectivo, los minerales, cualquiera sea su estado o forma, pueden perderse al ser trasladados por el viento incluyendo cambios texturales por el transporte de las fracciones finas (Daniel 1936, Buschiazzo y Taylor 1993, Delgado et. al. 1999, Zhao et. al. 2006).

La permanente remoción de suelo puede concluir al cabo de los años en el esqueleto infértil del suelo, habiéndose perdido las fracciones texturales finas que están enriquecidas en nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Daniel y Langham 1936, Lyles y Tatarko 1986, Zobeck et. al. 1989, Buschiazzo et al. 1991, Buschiazzo y Taylor 1993, Al-Sheikh et. al. 2005).

Zobeck y Bilbro (2001) compararon las propiedades de un suelo ubicado al oeste de Texas (EEUU) que durante 9 años fue severamente erosionado, el que no sólo perdió 10 centímetros de espesor (cerca de 1 millón de Mg), sino que incrementó el contenido de arenas clasificándose como un suelo areno-limoso mientras que el suelo del área de depósito se clasificó como limo-arenoso y fino areno limoso el de las zonas no erosionadas. Del cotejo analítico sólo encontraron que el contenido de fósforo era 60% mayor en el área de depósito y en las zonas no erosionadas en comparación con el suelo erosionado.

Los resultados de un experimento a campo realizado al este de Mongolia Interior entre el 2001 y el 2002 (Zhao et. al. 2006) demostraron que la degradación del suelo y el crecimiento vegetal fueron severamente afectados por la erosión eólica. En intensas tormentas sobre los suelos cultivados, el contenido de arcilla, la materia orgánica, el nitrógeno total, el fósforo y el porcentaje de humedad del suelo decrecieron significativamente 59,6%, 71,2%, 67,4%, 31,4%, y 51,8% respectivamente, incrementando el pH del suelo de 8,66 a 8,92.

En un estudio realizado en Hebei (China) y Mongolia Interior se halló que el nivel nutricional fue mayor en muestras recolectadas de los eventos erosivos, que de las obtenidas de la superficie del suelo. En el material erosionado se midió 3% de materia orgánica, 0,17% de nitrógeno total, 0,04% de fósforo total y 2% de potasio total. En las muestras superficiales (hasta 5 centímetros de profundidad), estos contenidos fueron de 1,3%, 0,1%, 0,14% y 1,83%, respectivamente (Gao et. al. 2006). Teniendo en cuenta que en China se erosionan anualmente entre 10-20 Mg ha⁻¹ de la zona cultivada, este material lleva consigo entre 0,3-0,6 Mg ha⁻¹ de materia orgánica, 0,016-0,032 Mg ha⁻¹ de nitrógeno total; manteniendo ese ritmo de erosión, el contenido de materia orgánica del suelo se reduce anualmente un 0,012% (Huanwen et. al. 2006).

1.4.3- Efectos de la erosión eólica sobre los cultivos

La EE remueve la capa de mayor fertilidad del suelo y, por ende, repercute disminuyendo la productividad de los cultivos (Daniel y Langham 1936, Stallings 1953, Piper 1989, Lyles 1975, Fryrear 1990, Sue y Zhao 2003). Zhao et. al. (2006) observó que la EE en un cultivo de maíz al este de Mongolia Interior, retrasó seis días el ciclo biológico, produjo mermas de 15% en el peso y la altura de las plantas, de 29% en el diámetro de los tallos, de 87,3% en la producción de biomasa aérea, de 47,9% en la radicular y de 96,5% en el rendimiento del cultivo.

Armbrust (1968, 1979, 1982, 1984) analizó el efecto de la EE sobre cultivos como el algodón, tabaco y sorgo, comprobando que afecta el peso seco, retrasa el inicio de la floración, con daños físicos y pérdida de ejemplares expuestos a tormentas de vientos. En un ensayo en invernáculo, las plántulas de soja toleraron una pérdida de suelo de hasta 6 gramos por centímetro durante 5 minutos, antes que su rendimiento se vea afectado significativamente (Armbrust 1972).

Tras sucesivos ensayos comparativos de cultivo de trigo a campo abierto y dentro de áreas protegidas por cortinas de viento, quedó demostrado que existe interacción entre la magnitud de la erosión y la expresión del cultivo por reducir la velocidad del viento y modificar el microclima (Skidmore 1976).

Aase y Siddoway (1974) concluyeron que en Montana (EEUU) las plantas de trigo protegidas, en las campañas 1971 y 1972, se desarrollaron más y tuvieron una mayor de producción de materia seca que en el lote testigo. Skidmore et. al. (1974) durante 3 años (1970-1972) en Kansas (EEUU) estudió la respuesta del trigo al microclima producido por las barreras de viento y encontró que las plantas protegidas en general fueron más altas y con un mayor índice de área foliar. Estas diferencias se incrementaron en aquellos años en que las condiciones ambientales fueron más críticas.

Amir Sajjadi (1986) determinó que la existencia de barreras rompeviento incrementó la densidad, la altura y el rendimiento del cultivo de algodón en Texas (EEUU). La influencia de las cortinas rompevientos dependió de la altura, el ancho y la orientación de las mismas con respecto a los vientos predominantes.

Silenzi et al. (1993), concluyeron que el rendimiento del trigo disminuyó al haberse erosionado un centímetro de suelo. Chepil et. al. (1952) hallaron en Kansas (EEUU) menor productividad y concentración de materia orgánica en tierras cultivadas que durante 19 años sufrieron el proceso de EE.

Durante 1997 y 1998, Zobeck y Bilbro (2001) al oeste de Texas (EEUU) compararon el rendimiento del algodón, sorgo forrajero y cáñamo indico entre un suelo afectado por 9 años a EE, el área de deposición y las zonas no erosionadas. Encontrando que en la parcela erosionada la producción de capullo fue un 34% menor y sus pesos 40% menos; el rendimiento del sorgo mermó un 58% y 83% en la primera y segunda campaña respectivamente y siendo el rendimiento del cáñamo un 40% menor.

1.4.4- Relación entre la erosión eólica y la humedad del suelo

La velocidad mínima requerida para movilizar las partículas del suelo se denomina velocidad umbral o crítica. El estado de agregación y estabilidad de los suelos están determinados, principalmente, por la textura, la materia orgánica y la humedad del suelo. La EE se intensifica tras una secuencia de años secos, siendo las condiciones cada vez más propensas y los suelos más erosionables a medida que pierden humedad (Zingg 1953, Chepil y Woodruff 1963, Hagen y Woodruff 1973).

Puede decirse que la textura, la mineralogía, la estructura y la composición química del suelo son constantes al menos en el corto plazo, mientras que el porcentaje de humedad es variable y la susceptibilidad del suelo a la erosión está íntimamente ligada con su contenido de humedad. Según Chepil y Woodruff (1963), la erodabilidad de los suelos disminuye en función del aumento de la humedad al cuadrado hasta un potencial de 1,5 MPa, umbral a partir del cual se detendría la erosión.

En suelos de textura gruesa, con partículas primarias débilmente cementadas, la EE se produce según el peso de las partículas (Chepil 1951), siendo la humedad del suelo es un importante factor de control de la EE por aumentar la densidad de las partículas, las fuerzas cohesivas, la tensión superficial (Hagen et. al. 1988) y en consecuencia elevando la velocidad umbral (Ravi et. al., 2006).

Existe una relación inversa entre la erodabilidad del suelo y su contenido hídrico (Chepil 1950; Chepil 1953, Chepil 1956, Zingg 1953), debido a la relación directa entre

las fuerzas de cohesión entre las partículas erodibles menores a 0,84 milímetros y el contenido hídrico (Zingg 1953, Chepil 1956, Chepil y Woodruff 1963). Como el contenido y almacenamiento en el suelo disminuye en presencia de viento (Zhao et. al. 2006), la humedad del suelo es variable y su efecto control frente al movimiento de las partículas por el viento también fluctúa, pero Chen et al (1996) sugieren que a partir de un 4% de humedad la pérdida de suelo por el viento se vuelve casi constante.

1.4.5- Agente erosivo: el viento

El viento es el desplazamiento horizontal de la masa de aire, provocado por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre. La formación de corrientes de aire se origina por las distintas temperaturas existentes entre la tierra y la atmósfera, y ante la desigual distribución del calentamiento solar y las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas. Las masas de aire más caliente tienden a subir y en su lugar se ubican masas de aire más densas y frías. Comúnmente, al hablar de viento nos referimos siempre a un movimiento horizontal o a la componente horizontal de una corriente atmosférica (Seoánez Calvo 2002).

El viento se define por su dirección y su fuerza o, más exactamente, por su velocidad. La dirección del viento, se refiere al sector geográfico concreto desde donde proviene el viento. La fuerza del viento se comenzó a estimar por su velocidad según la capacidad de mover los objetos que están al aire libre (árboles, banderas, humos, etc), a partir de la cual nace la escala de Beaufort (nombre del almirante que la estableció en 1806). En el sistema métrico la medida de la velocidad del viento son el metro por segundo (m s^{-1}) o kilómetros por hora (km h^{-1}) y sus equivalencias son $1 \text{ km h}^{-1} = 0.278 \text{ m s}^{-1}$ ó bien $3,6 \text{ km h}^{-1} = 1 \text{ m s}^{-1}$ (Willi 1987).

Los vientos dominantes, son los que soplan casi siempre proviniendo de un mismo sector. Estos hechos indican que existe una circulación general, sistemáticamente regulada de nuestra atmósfera. Cuando los vientos predominan en una sola dirección, una barrera correctamente orientada, disminuye las fuerzas de erosión del viento en más del 50% (Skidmore 1986, Skidmore y van Donk 2003).

El arrastre de las partículas sólidas por el viento depende estrechamente de la estructura del viento en la proximidad del suelo. El aire ejerce sobre la partícula en reposo tres tipos de presiones: a) una presión positiva sobre la parte situada frente a la dirección del viento y debida a la presión dinámica del fluido, b) una presión negativa sobre la parte opuesta a la dirección del viento y debida a las fuerzas de viscosidad (la suma de estas dos presiones, constituye el arrastre total dirigido paralelamente a la dirección media del viento) y c) una presión negativa que actúa sobre la parte superior de la partícula y es debida a que la diferencia del viento entre la base y la parte superior de la partícula, acompañada de una disminución de la presión estática. Su resultante es una fuerza dirigida hacia arriba, cuando esta fuerza es igual o superior al peso de las partículas del suelo, comienza la EE.

La fuerza y el arrastre total de partículas son función de la velocidad del viento y se comprende que exista para cada suelo una velocidad umbral del viento que inicie la EE, el cual depende de la dimensión de las partículas, de su densidad y de su cohesión.

Cuando las partículas están sueltas y secas la velocidad umbral requerida para iniciar el movimiento es de entre 14,4 a 20,88 km h⁻¹ a 30 centímetros del nivel del suelo (Chepil 1945a, Chepil 1945b, Chepil 1945c, Malina, 1941).

Wilson y Cooke (1980) y Fryrear y Saleh (1993) demostraron que para iniciar el movimiento de partículas arenosas en superficies de baja rugosidad se requieren velocidades de entre 18 a 25,2 km h⁻¹, mientras que para movilizar las partículas más finas sin protección alcanza con vientos de solo 3,6 km h⁻¹. La velocidad umbral para los suelos areno limosos de Rusia es de 28,8 km h⁻¹ mientras que para los arcillosos es de 50,4-54 km h⁻¹ (Larionov et. al. 1999). de Oro y Buschiazzo (2008) tras ensayos realizados en Santa Rosa (La Pampa) consideraron velocidades erosivas para los suelos del centro de la Argentina superiores a 24,12 km h⁻¹.

1.4.6- Incidencia de la vegetación en el control de la erosión eólica

La capacidad del viento para producir erosión depende de la energía del viento en la superficie del suelo (Lyles et. al. 1983), en suelos desnudos y secos se correlaciona con la velocidad del viento (Stout 2001).

El aumento de la rugosidad superficial del suelo sin cobertura, a través de la creación de camellones de siembra, cuanto más perpendiculares se disponen con respecto a la dirección predominante de los vientos, más efectivo será su control (Chepil y Milne 1941, Zingg et. al. 1952, Chepil y Woodruff 1963, Armbrust et. al. 1964, Castro 1983, Buschiazzo et. al. 1998a) por obstruir el paso del viento, reducir la velocidad del mismo y el impulso del flujo de aire (Skidmore y Hagen 1977).

En un suelo con cobertura, el gradiente de velocidad y la capacidad erosiva del viento dependerán de la características de la vegetación (altura y densidad, tipo de vegetación, productividad estacional y orientación) los que aumentan a medida que se alejan de la superficie del suelo (Yue et. al. 2006). Motivo por el cual se considera a la vegetación en una herramienta fundamental para interferir en el proceso eólico (Van Pelt y Zobeck 2004).

En base a mediciones realizadas, la velocidad del viento disminuye cuando las barreras se encuentran perpendiculares a los vientos predominantes y las velocidades aumentan a medida que varía el ángulo de incidencia del viento con respecto a la barrera (Zingg et. al. 1952, Schultz y Carlton 1959, Chepil et. al 1964, Seginer 1975, Castro 1983, Billiman Stunder y Arya 1988, Skidmore y Hagen 1973, Skidmore y Hagen 1977, Yeh et. al 2010).

Las barreras orientadas en forma perpendicular a los vientos predominantes, tienen un mayor control de la EE por disminuir la distancia recorrida por el viento y elevar la altura cero del mismo cuando la dirección de los mismos es simple y constante (Skidmore y Woodruff 1968, Zobeck 1991, de Oro y Buschiazzo 2008). El resguardo que proveen las barreras no sólo depende de las características de la cobertura vegetal y de su orientación, sino también en del predominio de las fuerzas erosivas de los vientos en los momentos erosivos (Skidmore 1965).

Cuando la barrera viva es una vegetación permanente, crea una condición estable y -se ha comprobado- que frecuentemente incrementa los rendimientos de los cultivos (Zingg 1954, Morgan 1996). Esta vegetación reduce las pérdidas de suelo al protegerlo de la acción desecante del viento por disminuir la evapotranspiración al reducir su velocidad y la irradiación solar a nivel del suelo, merma la pérdida de los nutrientes y reducen el daño físico que pueden causar las partículas en movimiento por saltación a las plantas (Skidmore y Hagen 1977, Black y Aese 1988, Morgan 1996, Liu et. al. 2006).

La efectividad de protección del canopeo de la densidad, logrando un resguardo completo cuando el cultivo alcanza a cubrir en forma homogénea un 40% de la superficie del suelo; si quedan zonas ralas, las fuerzas del viento llegan a la superficie del suelo y pueden transportar material. Un mismo cultivo con igual porcentaje de cobertura protege en diferente medida al suelo, según su distribución espacial y la orientación con respecto al viento (Funk y Frielinghaus 1998).

La eficiencia de las franjas de cultivo que actúan como barreras rompevientos, está supeditada a su altura, ancho, densidad, homogeneidad y orientación. En general la eficiencia de atrape (TE) es menor al 100%, siendo aún menos efectivas aquellas de poca altura y bajo número de hileras frente a vientos fuertes (Hagen et. al. 1972).

En San Diego (EEUU) se midió la velocidad del viento en un cultivo de espárragos orientado en forma paralela (0°), ángulo agudo (45°) y perpendicular (90°) al sentido de circulación del viento. Se determinó que la disminución de la velocidad del viento aumentaba cuanto más perpendicular estaba el cultivo al sentido del viento, y que aún se reducía más cuando se realizaba una inter-siembra con algún cultivo de rápido crecimiento, siendo avena la utilizada en ese estudio (Schultz y Carlton 1959).

Yue et. al. (2006) concluyó que la vegetación tiene una función predominante en la reducción de la velocidad del viento y provisión de resistencia al suelo, tras un ensayo realizado en un suelo arenoso del sur de Beijing. En él se compararon tres situaciones de estudio: un suelo con vegetación natural rala, uno cultivado y uno arenoso de origen eólico, resultando en ese orden ser mayor la rugosidad y superior la disminución de la velocidad del viento.

1.5- Factores que favorecen la erosión eólica en San Luis

La provincia de San Luis tiene una superficie total de 76.748 km^2 , el 64% de su superficie pertenece a la región árida y el 36% a la región semiárida (Peña Zubiate et. al. 2003). Según las condiciones edafo-climáticas, se estimó que el 50,8% (39.022 km^2) es netamente susceptible a la EE y un 30,3% susceptible a la erosión hídrica y eólica (Peña Zubiate et. al. 1985).

Los problemas de EE en la provincia son de larga data, durante la década del '40 para su control, fue introducido al país el pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Gramínea forrajera de origen africano, que ha tenido una rápida aceptación, principalmente en la región semiárida central del país y desde el centro hacia el sur de la provincia de San

Luis, por su calidad forrajera, por su gran capacidad para prosperar en suelos pobres en fertilidad y por su aptitud para consolidar los suelos erosionables de textura gruesa, además de incorporar considerable cantidad de materia orgánica y mejorar la estructura del suelo (Covas 1974, Demmi 1987, Covas 1991).

Pero los suelos de San Luis no han sido una excepción a la abrupta intervención del hombre en el equilibrio del sistema, reemplazando las pasturas y pastizales por el avance de la frontera agrícola. En la provincia de San Luis la superficie sembrada con cultivos de cosecha en el transcurso de un siglo (1888 a 1996-97) aumentó 34 veces (de 19.869 a 675.000 hectáreas) (CNA 1937, Dir. Gral. de Planeamiento Est. y Censos 1992a, Dir. Gral. de Planeamiento Est. y Censos 1992b, FUNiF 1999) y según el CNA del 2002 se alcanzó a 950.000 hectáreas.

Los suelos de la provincia de San Luis poseen poco desarrollo genético (secuencia de horizontes: A-AC-C o AC-C), son de textura gruesa, débilmente estructurados, poseen escasa materia orgánica desde la superficie, son excesivamente drenados, de rápida permeabilidad y poseen baja capacidad de retención hídrica. La retención de agua de la Serie Villa Mercedes (Haplustol éntico) es de 116 mm m⁻¹ (Saenz 2009), encontrándose en suelos destinados a cultivos, tanto en siembra directa como convencional, valores mínimos de humedad del 1,1 % dentro de los primeros 20 centímetros de suelo (datos inéditos proporcionados por Saenz C. y Gomez Hermida V.)

Según la evaluación de la capacidad de uso de las tierras (Kliengebiel y Montgomery 1961) de la provincia de San Luis se determinó que sólo el 7,03% son suelos arables (clase IV), del 91,33% de suelos no arables y con vocación pastoril, el 23,87% son suelos clase VI, un 67,46% clase VII y el 1,6% corresponden a áreas con fines recreativos o áreas protegidas (clase VIII) (Peña Zubiarte et. al. 2003) (Tabla 1.1).

Tabla N° 1.1. Superficie y porcentaje de las tierras en la provincia de San Luis, clasificadas según su aptitud de uso.

Clase			Superficie		Uso	
			%	ha		
Tierras arables	IV	suelos con limitaciones muy severas y requieren prácticas de manejo y conservación	7.03	539.369	Adecuados para algunos cultivos de cosecha	
	Tierras no arables	VI	suelos con un alto riesgo de erosión y sequía	23.87	1.831.972	Aceptan la implantación de pasturas, especies anuales invernales y estivales.
		VII	suelos con muy grandes limitaciones	67.46	5.177.469	Aprovechamiento pastoril, forestación.
	VIII	áreas improductivas	1.6	125.963.	Exclusivo para la recreación, reserva natural, fines estéticos	

Como pudo observarse en la Tabla 1.1, a pesar que la mayor parte de las tierras de San Luis pertenecen a la clase VII, ya en el año 2002 se registraron unas 950.000 ha cultivadas siendo apenas unas 539.369 ha las que poseían vocación para cultivos de cosecha, consiguientemente para ese entonces estaban siendo sobreexplotadas unas 410.631 ha. En la Figura 1.1 se observa una representación esquemática de la distribución de las tierras según fueron clasificadas.

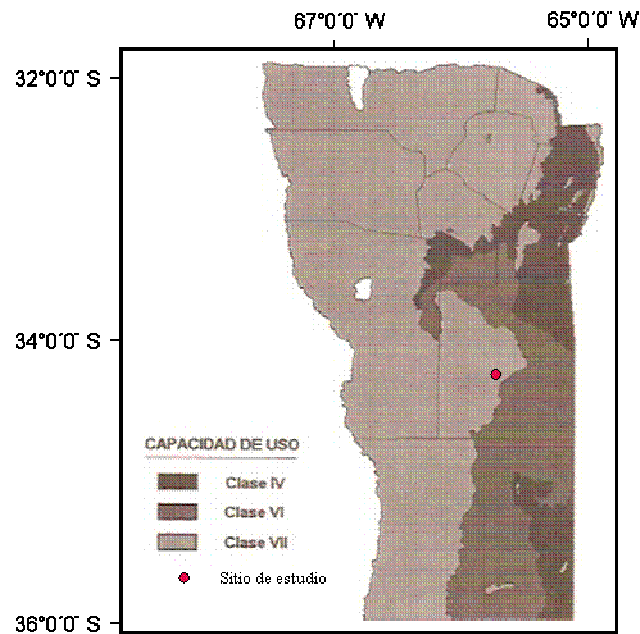


Figura N° 1.1. Distribución de las tierras en la provincia de San Luis según su capacidad de uso (Peña Zubiarte et. al. 2003).

Históricamente, la principal producción agropecuaria provincial ha sido la ganadería bovina sobre los pastizales pampeanos semiáridos, ubicados en el centro sur de la provincia abarcando una superficie total de 20.290,34 km² (Figura 1.2). A fines de siglo XIX estas tierras sufren un intenso proceso de conversión, decreciendo su superficie un 24,4% entre los años 1973 y 2007 (Demaría 2008) coincidiendo con una tendencia creciente en la incorporación y expansión de la agricultura (Manazza 2007).

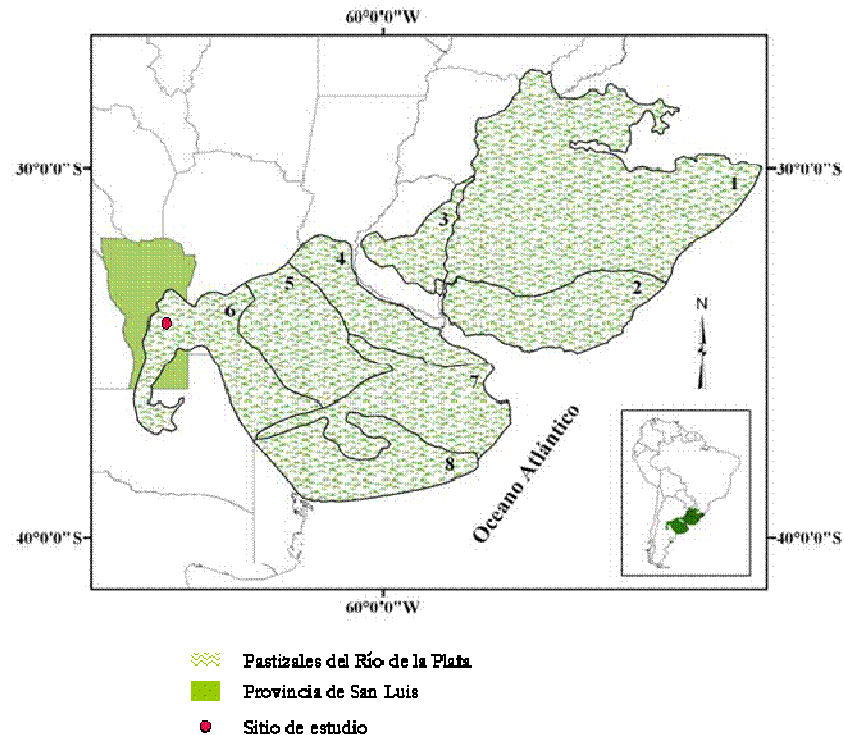


Figura N° 1.2. Extensión y distribución de los pastizales pampeanos en la República Argentina, República del Uruguay y provincia de San Luis y localización del sitio de estudio. Fuente: Demaría 2008.

La franja semiárida central de San Luis puede considerarse como un ecotono de transición entre la zona húmeda con intensa explotación agropecuaria, y la zona árida de cría sobre pasturas y/o pastizales. Algunos estudios consideran a estos ecotonos como fuentes generadoras de tormentas de polvo, debido que las labranzas y el manejo de los suelos disturban la estructura del mismo reduciendo su estabilidad estructural (Chepil et. al. 1952).

Esta franja central de la provincia con aptitud ganadera, en condiciones climáticas favorables, disponibilidad de tierras vírgenes a bajos precios, la posibilidad de arrendamiento, buenas cosechas por varios años consecutivos y las alzas en las cotizaciones de los cereales; incentivaron el reemplazo de pastizales naturales por cultivos y la sobreexplotación de los pastizales remanentes. Chepil (1955) asentó que un suelo proveniente de un pastizal que se convierte en un suelo cultivable, tiene grandes probabilidades de ser afectado por la EE, particularmente en los casos que las labranzas, prácticas culturales y secuencia de cultivos no sean las adecuadas.

El incremento de las precipitaciones en más de 90 milímetros al sudeste y hasta más de 150 milímetros al noroeste de las precipitaciones en la provincia de San Luis en el siglo XX (SMN 1960, Echeverría y Kall 1990, Bertón y Echeverría 1999, Bertón y Echeverría 2000), ha estimulado a la agricultura en la zona semiárida, pasando a ser la actividad principal y no la complementaria de la ganadería. El aumento de superficie destinada a la agricultura fue principalmente de los cereales de cosecha gruesa como ser soja, maíz y girasol (Manazza et. al. 2010).

Manazza (2007) destaca que en la provincia de San Luis no sólo aumentó la superficie dedicada a la agricultura de cosecha, sino que en el período comprendido entre 1988 y 2007, se observó que del total de la superficie sembrada con cultivos de cosecha anuales hubo una sustitución de los cereales por oleaginosas, los que aumentaron del 12,5% al 56,7%.

La siembra de girasol, del 2004 al 2007, aumentó cerca del 45% (Tabla 1.2), impulsada por su diferencial de precio respecto de los restantes cultivos (Figura 1.3). En las campañas sucesivas, la reversión de esta tendencia se explica por la disminución del diferencial de precio y la alta intensidad de los daños ocasionados por las aves. Las continuas alzas en las cotizaciones de este cereal e instauración de un efectivo control de las aves, convertirá al girasol en un cultivo muy promisorio.

Tabla N° 1.2. Evolución de la superficie cultivada con girasol en la provincia de San Luis, durante el periodo comprendido entre el 2004 y 2009. Fuente: RIAN San Luis UE y DT Villa Mercedes.

Girasol – Provincia de San Luis			
Campaña	Área Sembrada	Rendimiento	Sup del total de ha sembradas
	(ha)	(Mg ha ⁻¹)	(%)
2004/05	75000	18	33,85
2005/06	75000	0,8	28,19
2006/07	88000	2	32,27
2007/08	107000	1,9	28,9
2008/09	78000	1,9	24,48
2009/10	28100	1,5	9,92

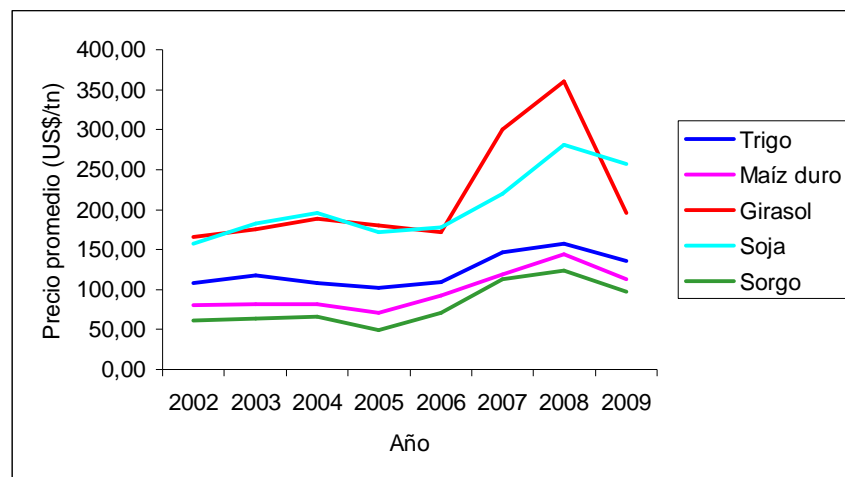


Figura N° 1.3. Evolución de los precios promedio mensuales de los cereales de cosecha más relevantes, desde el año 2002 al 2009. Fuente: la Cámara Arbitral de Cereales de Rosario.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Área de estudio

2.1.1- Características

El área de estudio se ubica en el centro este de la provincia de San Luis, dentro del departamento Gral. Pedernera, región en la cual es significativa la producción agropecuaria en relación a la producción provincial. Comprende aproximadamente el 80% de la superficie total implantada provincial, con el 77,5% destinado a forrajes (pasto llorón, centeno, alfalfa y maíz forrajero) y el 22,5% restante a cereales de cosecha y oleaginosas (Manaza 2007).

Es una llanura arenosa ondulada de ambientes medianos de origen natural y antrópico, algunos aún activos y el resto fijados naturalmente. Son depósitos arenosos recientes, que cubren suelos originados a partir de un sedimento eólico de color pardo con abundante carbonato de calcio. Esta franja delimita el sector hasta el cual es posible realizar cultivos de secano.

Los suelos se clasificaron como Torripsamments Usticos, el contenido de arenas es de 85,6%, son suelos excesivamente drenados, de permeabilidad muy rápida como también escasa capacidad de retención hídrica en el perfil. Las constantes hídricas no fueron determinadas pero con el modelo SPAW (Saxton y Rawls 2006) en base a la textura y el contenido de materia orgánica, se estimó que estos suelos poseen una capacidad de campo de 14,48%, un punto de marchitez permanente de 6,39%, agua disponible de 0,06 cm cm⁻¹, conductividad hidráulica saturada de 115,01 mm hora⁻¹ y densidad aparente de 1,42 g cm⁻³.

Las características morfológicas y analíticas de los suelos de la zona de estudio fueron extraídas de las Cartas de Suelos de la Provincia de San Luis y se detallan en las Tablas 2.1 y 2.2 (Peña Zubiarte y d'Hiriart 1992).

Tabla 2.1. Descripción morfológica: Torripsamments Usticos – Serie Batavia

Horizonte	Características
AC	0-15 cm. pardo (10YR5/3) en seco y pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; arenoso franco fino; bloques subangulares medios débiles rompen a grano simple; suelto, muy friable, no plástico, no adhesivo; raíces abundantes; límite inferior gradual.
C	16-110 cm. pardo pálido (10YR6/3) en seco y pardo a pardo oscuro (10YR4/3) en húmedo; arenoso fino; sin estructura, grano simple; suelto muy friable, no plástico, no adhesivo, raíces comunes.

Tabla 2.2. Datos analíticos: Torripsmantes Usticos – Serie Batavia

Horizonte	AC	C
Profundidad (cm)	0-15	16-110
Materia orgánica (%)	0,60	0,14
Carbono orgánico (%)	0,35	0,08
Nitrógeno total (%)	0,055	0,025
Relación C/N	6,00	3,00
Arcilla < 2 μ (%)	4,32	3,33
Limo, 2-20 μ (%)	3,76	2,5
Limo, 20-50 μ (%)	10,04	5,9
Arena muy fina, 50-74 μ (%)	7,39	7,33
Arena muy fina, 74-100 μ (%)	14,71	22,61
Arena fina, 100-250 μ (%)	58,57	56,43
Arena media, 250-500 μ (%)	3,51	2,98,1,4
Arena gruesa, 500-1000 μ (%)	1,46	0,02
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)		
Gravilla, > 2mm (%)		
Carbonato de calcio (%)	0,19	0,36
Eq de humedad (%)	11,99	10,03
pH en pasta	6,20	7,30
pH en agua (1:2,5)	6,80	7,60
pH ClK (1:2,5)	5,80	7,00
Resistencia (dS/m)	11.772	9.320
Ca ⁺⁺	3,40	
Mg ⁺⁺	1,71	
Na ⁺	0,06	0,08
K ⁺	0,76	1,35
H ⁺	1,00	
Suma de bases (meq/100 grs)	5,93	

% agua de saturación	26,79	21,75
CIC (meq/100 grs)	6,40	7,13
Saturación con bases (%)	93,00	

El régimen de temperatura indica que la región posee un clima templado con características de marcada continentalidad con una temperatura media anual de 16 °C, registrándose las mayores amplitudes térmicas medias del país. Las precipitaciones son estivales, rondando los 600 mm anuales con un balance hídrico negativo durante todo el año (Thornthwaite y Mather 1957), siendo más marcado durante el verano. Las heladas son de regular intensidad ocurriendo entre mayo hasta fines de septiembre.

En la zona de estudio no se encontraron registros climáticos históricos para realizar un previo estudio de los vientos, pero si se obtuvo un registro pluviométrico desde el 1900 hasta la fecha en la EEA Villa Mercedes y del establecimiento "El Águila" perteneciente al productor Sr. Juan Ecurra de Batavia; 110 km al norte y 60 km al sur respectivamente de la ubicación de los ensayos. En ambos sitios (Figura 2.1 y 2.2), a pesar de la ocurrencia de ciclos húmedos y secos, hay un paulatino incremento de las precipitaciones en la ciudad de Villa Mercedes y Batavia. La dirección de los vientos predominantes, se obtuvo, a través de consultas a los productores de la zona.

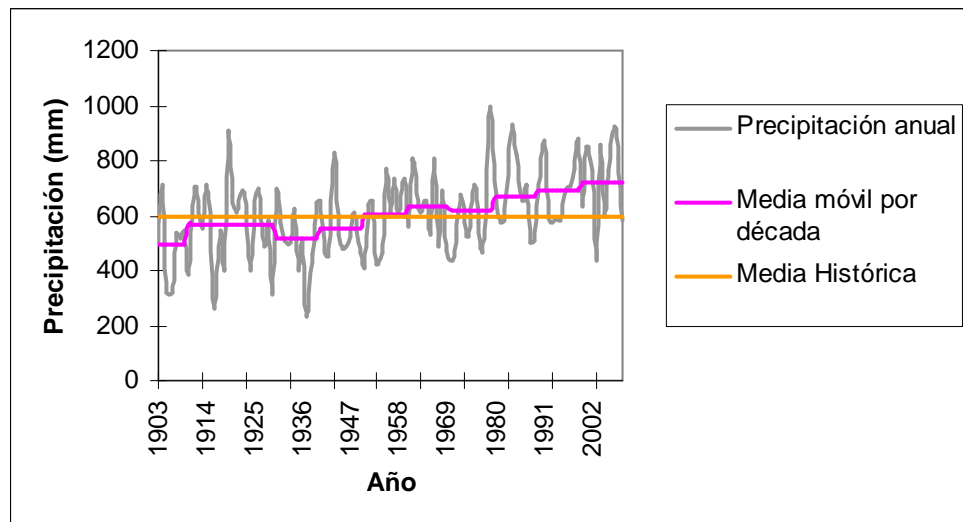


Figura N° 2.1. Comportamiento de las precipitaciones en Villa Mercedes desde 1903 hasta el 2009.

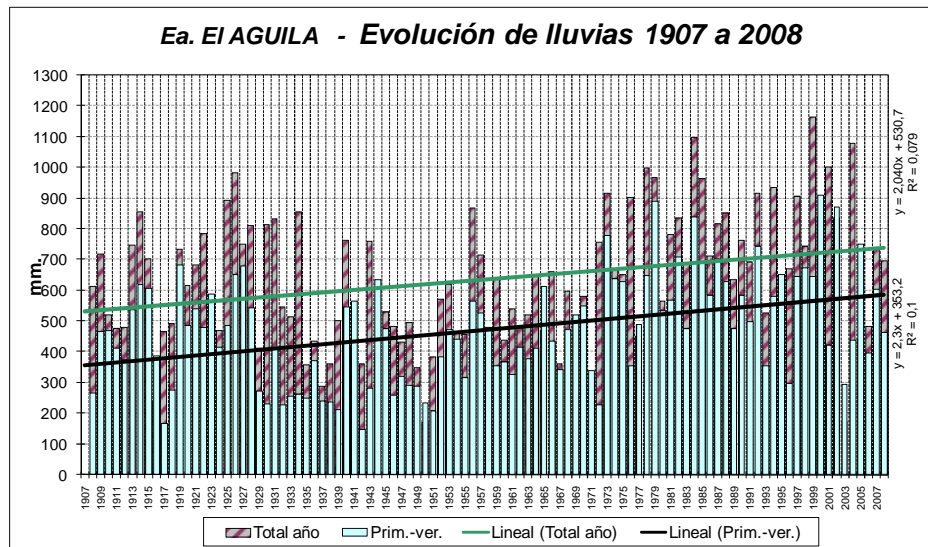


Figura N° 2.2. Comportamiento de las precipitaciones en Batavia desde 1903 hasta el 2009. Fuente: gráfico proporcionado por el Ing. Agr. Alejandro Datwiler, encargado del establecimiento "El Águila".

La vegetación natural está caracterizada por la presencia de isletas de chañar (*Geoffroea decorticans*) en la loma de los médanos rodeadas de un pajonal compuesto por flechilla (*Stipa tenuis*), paja blanca (*Stipa eriostachya*) y pata de gallo (*Eutachys retusa*) entre las especies perennes. Como especies anuales predominan roseta (*Cenchrus auciflorus*) y cebadilla (*Bromus brevis*) (Peña Zubiarte et. al. 1998).

Mientras que al oeste de la región los pajonales están formados por cortadera chica (*Pappophrum pappiferum*), paja amarga (*Elyonurus muticus*), paja blanca (*Stipa tenuissima*) y en las zonas degradadas aparecen los olivillares (*Hyalis argentea*) como especie colonizadora en una sucesión secundaria, pudiendo estar acompañada con isletas de chañar y caldenes aislados (Peña Zubiarte et. al. 1998).

2.1.2- Ubicación

Los ensayos fueron realizados en dos campañas consecutivas (2007-2008 y 2008-2009) en el establecimiento "El Corralito", ubicado a 34° 24' 02.43" latitud sur y 65° 36' 40.98" longitud oeste (Figura 2.3). Originalmente en dicho campo se realizaba cría e invernada sobre pastizales naturales y pasturas implantadas, pero a partir de fines de la década del 1990 se incorporó agricultura de cosecha, desplazando el engorde del ganado vacuno, debiéndose realizar fuera del predio.

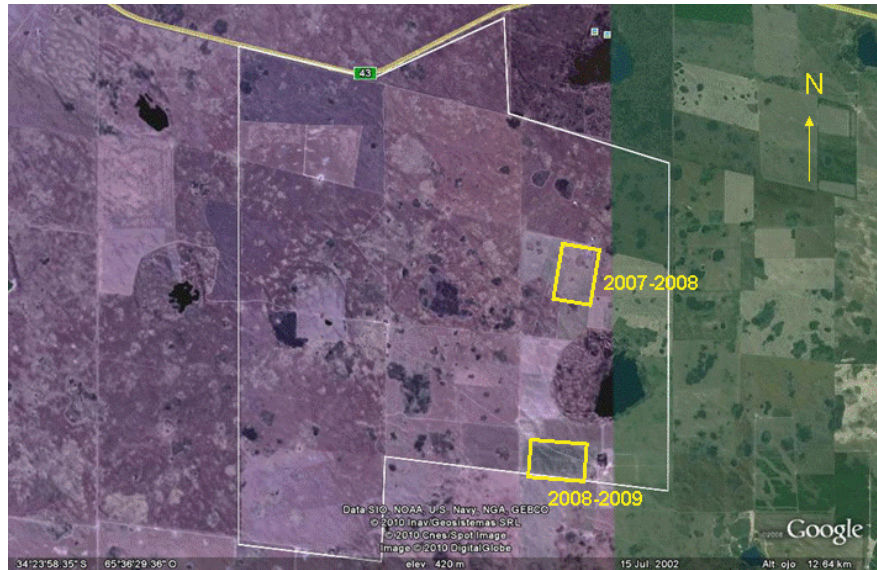


Figura N° 2.3. Ubicación de los ensayos dentro del establecimiento El Corralito.

2.2. Registro climático

Para el cálculo de la EE es fundamental un registro de las condiciones ambientales por lo que se instaló una estación meteorológica automática DAVIS Vantage Pro 2 Wireles (Figura 2.4), la cual registró las variables climáticas a 2 metros de altura en una frecuencia de 15 minutos.

Los rangos de medición para la velocidad del viento varían entre 3 a 241 km h⁻¹ con una precisión de +/- 5%, la dirección del viento desde 16 rumbos entre los 0° y 360° con una precisión +/- 3°, la pluviometría de 0 a 9999 mm/d y la temperatura entre -40 y 65 °C con una precisión de +/- 0,5°.



Figura N° 2.4. Estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 Wireless.

De cada evento erosivo se determinó:

- a) la duración del mismo en horas (desde la hora de instalación de los colectores hasta la hora de retiro de los mismos para recolectar el material depositado en los mismos),
- b) la velocidad media de los vientos máximos registrados en kilómetros por hora (km h^{-1}),
- c) la dirección predominante de los vientos medios máximo, o sea, el origen del viento máximo que más ocurrió entre el comienzo y fin de cada tormenta,
- d) la velocidad y dirección del viento máximo registrado dentro de cada evento.
- e) el porcentaje de vientos ocurridos en las direcciones de siembras (% NE-SW + SW-NE y % N-S + S-N).

Para tener una visión más amplia de las condiciones climáticas en la que se desarrolló el cultivo se determinaron las precipitaciones y las temperaturas ambientales medias mínimas y máximas entre muestreo y muestreo.

2.3- Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) para evaluar la respuesta de las variables erosión eólica, humedad del suelo, densidad de plantas, altura de plantas, diámetro del capítulo, rendimiento, peso de mil granos y número de semillas por capítulo.

Los tratamientos quedaron definidos en las unidades experimentales de una hectárea cada uno. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ik} = \mu + e_i + \varepsilon_{ik} \quad i=1, 2 \quad k= 1, 2, \dots, n$$

Y_{ik} : ik-ésima observación de la variable respuesta y

μ : media general

e_i : efecto del i-ésimo tratamiento (línea de siembra paralela y a 45° de la circulación de los vientos máximos predominantes)

ε_{ik} : error experimental

Cada evento erosivo se consideró como una repetición para el análisis estadístico y para las variables restantes se realizaron 6 repeticiones en cada muestreo. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza simple empleando InfoStat

(2010), comparando las medias con la prueba de T con un valor de significancia $\alpha = 0,1$; una alta probabilidad por tratarse de un ensayo a campo.

2.4- Tratamientos

La medición de la erosión a campo se realizó en dos parcelas cuadradas de una hectárea cada una, en las cuales se desarrollaron los siguientes tratamientos (Figura 2.5):

- a) parcela con cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) sembrado con orientación N-S, a 45° de la dirección predominante de los vientos;
- y
- b) parcela con cultivo de girasol sembrado con orientación NE-SW, en sentido paralelo (0°) a la dirección de los vientos predominantes.

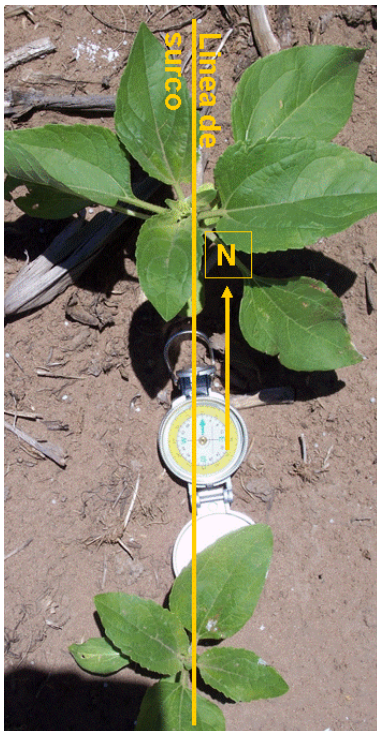


Figura N° 2.5.a. Lote sembrado con cultivo de girasol orientado N-S.

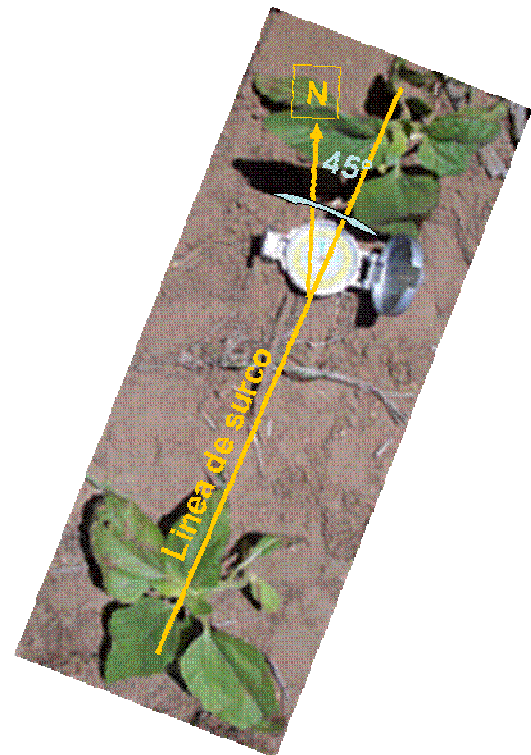


Figura N° 2.5.b. Lote sembrado con cultivo de girasol orientado NE-SW.

La vegetación de los lotes que entraron al sistema agrícola fue roturada con rastra y desde la primera siembra siempre se realizaron en forma directa. La siembra del girasol en la primera campaña se realizó el 3 de diciembre de 2007 y en la segunda el 6 de diciembre de 2008. La sembradora de siembra directa se reguló para depositar las semillas a una distancia de 50 centímetros entre plantas y 72 centímetros entre surcos.

2.5- Variables analizadas

2.5.1- Erosión Eólica

2.5.1.i- Colectores de partículas

Las mediciones se realizaron desde la siembra hasta que el peso del material recolectado fue inferior a 0,02 gramos por efecto protector de la canopia.

Como no está determinada la velocidad umbral para los suelos de estudio y dentro de la fracción mineral más del 50% corresponde a arena fina y en base a los estudios de diversos autores (Chepil 1945a, Chepil 1945b, Chepil 1945c, Malina, 1941, Wilson y Cooke 1980, Fryrear y Saleh 1993, de Oro y Buschiazzi 2008) se muestrearon tormentas con velocidades del viento superiores a los 4 m s^{-1} o $14,4 \text{ km h}^{-1}$. La duración de cada evento erosivo se calculó sumando las horas en las que se produjeron vientos superiores a dicha velocidad. Según Panebianco y Buschiazzi (2010) para el análisis del material transportado, la velocidad máxima de los vientos es el mejor indicador de la erosión que otras velocidades.

Para recolectar el material erosionado en cada parcela se utilizaron colectores Big Spring Number Eighth (BSNE) (Fryrear 1986), los cuales captan partículas movilizadas principalmente por saltación (Fryrear y Saleh 1993). Son de metal galvanizado y constan de dos partes: una bandeja inferior donde se colecta la muestra y otra por encima cuyas caras superior e inferior están formadas por mallas de 0,3 y 1 milímetro de diámetro respectivamente (Figura 2.6). Las mismas tienen la función de retener el material grueso indeseable, no producido por erosión del suelo (restos de vegetales, insectos u otras sustancias).

Los colectores vistos en planta, tienen la forma de un trapecio. En la parte superior se encuentra una abertura rectangular de 2 centímetros de ancho por 5 centímetros de largo, ubicada en la base menor del trapecio. Por esta hendidura ingresa el flujo de aire que entra al colector, sufre una disminución de su velocidad por chocar con la cara opuesta y el material transportado cae a través de las mallas a la bandeja inferior. El flujo de aire es desviado hacia la malla superior, por donde sale.



Figura N° 2.6. Colectores de partículas BSNE.

En un mástil que tiene adosada una veleta para orientar al conjunto según la dirección del viento (Fryrear 1986), se instalaron tres colectores a 13.5, 50 y 150 centímetros de altura (Figura 2.7). En cada lote se ubicaron cuatro juegos de colectores, dispuestos en la mitad de cada lateral de la parcela, orientados a los puntos cardinales (Figura 2.8).

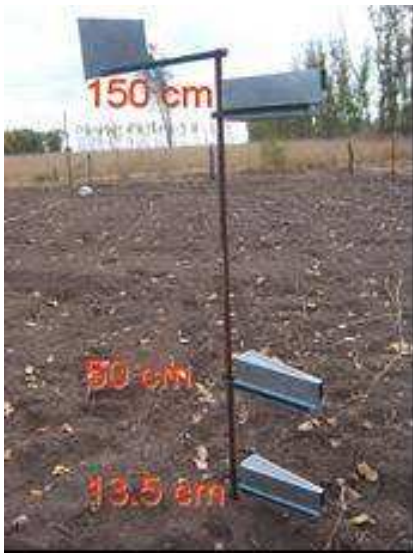


Figura N° 2.7. Ubicación en altura de los colectores BSNE.

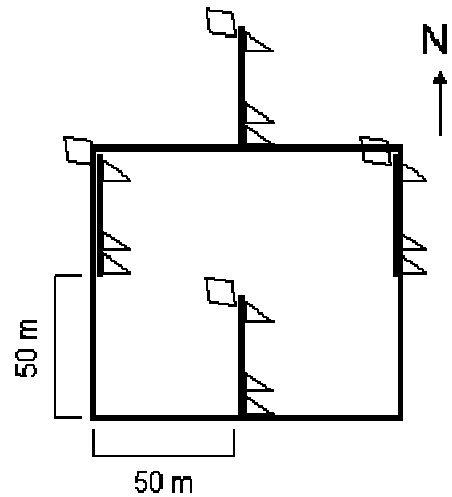


Figura N° 2.8. Diagrama de distribución de los mástiles en la parcela.

2.5.1.ii- Cálculo de erosión eólica

Se intentó recolectar el material transportado por el viento cada 24 horas o en períodos más cortos en el caso de producirse tormentas en lapsos menores de tiempo (pulsos de erosión). El material acumulado en cada colector, se trasvasó con sumo cuidado en frascos tarados y se pesaron a la cuarta cifra decimal con balanza analítica.

Con los datos de los pesos del material colectado por el conjunto de colectores, la velocidad y dirección del viento predominante durante la tormenta se calculó la cantidad de material transportado por unidad de superficie (Stout y Zobeck 1996). Computó que se realiza en etapas: primero integrando la curva de mejor ajuste entre la cantidad de material y la altura en cada punto de muestro, y luego calculando la cantidad de material erosionado en unidades de superficie, obtenido de la diferencia entre el material entrante y el saliente de cada lote.

La secuencia de cálculos para determinar las cantidades de material erosionado fue la siguiente:

a- Flujo de masa horizontal [$f_{(z)}$]

El material recogido de cada colector se corrigió según la ecuación de Stout y Zobeck (1996) [1], la cual describe la masa en función de la altura de cada punto de recolección.

$$f_{(z)} \text{ (kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{)} = \int_0^z [1+(z/\sigma)]^{-2} \quad [1]$$

En la cual $f_{(z)}$ es el flujo de masa horizontal ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) a la altura z , f_0 el flujo de masa horizontal a nivel de superficie del suelo ($z = 0$), σ escala paramétrica de altura.

b- Flujo de masa vertical [Q]

El total de flujo de masa que pasó por cada grupo de colectores durante cada evento erosivo ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$), se obtuvo integrando la ecuación [1] con respecto a la altura (z), entre 0 y 1,5 metros según la siguiente ecuación [2]

$$Q \text{ (kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{)} = \int_0^\infty f_{(z)} dz = f_0 \sigma [(z/\sigma)/1+(z/\sigma)]_0^\infty = f_0 \sigma \quad [2]$$

c- Erosión absoluta o neta por unidad de superficie (Q_n)

Las pérdidas netas de material en cada evento erosivo se estimaron realizando la diferencia entre el material transportado a barlovento y a sotavento de los colectores ubicados en los laterales del lote. Lo que permite calcular la cantidad de material que se transportó por metro cuadrado (kg m^{-2}), valor que dividido por 10 (producto de la división por 1000 para transformar kg en Mg y de la multiplicación por 100 para llevar de 1 a 100 m de ancho del lote) se convierte a Mg ha^{-1} .

Si el resultado de la diferencia entre el material entrante y saliente del lote da un valor positivo (+) indica que la parcela perdió material, en cambio si el resultado es negativo (-) revela que el lote no se erosionó, recibiendo material arrastrado por el viento a su paso.

d- Tasa de erosión (Q_c)

Como las tormentas de viento difieren en su duración y velocidades medias máxima es conveniente calcular de la tasa de erosión, que consiste en corregir la erosión neta de cada tormenta por un factor que resulta del producto del tiempo que transcurrió entre el inicio y fin de cada evento, y a la velocidad media máxima del viento ocurrido [ecuación 3]:

$$Q_c (\text{Mg ha}^{-1} \text{ km}^{-1}) = Q_n (\text{Mg ha}^{-1}) / \text{duración (h)} * \text{vel}_{\text{media max}} (\text{km h}^{-1}) \quad [3]$$

2.5.2- Porcentaje de humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó semanalmente, de un muestreo compuesto de la capa superficial del suelo (hasta 5 centímetros de profundidad) (Figura 2.9), y secando en estufa a 105 °C hasta peso constante.



Figura 2.9. Instrumento utilizado para extraer muestras de suelo para determinar humedad en el suelo.

El porcentaje de humedad se obtiene a través de la ecuación [3]:

$$[3] \%H = \left(\frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss} - T} \right) * 100$$

Psh: Peso suelo húmedo
 Pss: Peso suelo seco
 T: Tara

2.5.3- Componentes del rendimiento

Durante todo el ciclo del cultivo, se llevó un registro semanal de los siguientes componentes del rendimiento: densidad de plantas, altura y una vez finalizado el ciclo del cultivo el diámetro de capítulo, rendimiento, el peso de 1000 granos y el número de semillas por capítulo. Todas estas determinaciones se realizaron al azar, seleccionando plantas de una superficie de 1 m².

2.5.3.i- Densidad de plantas (Figura 2.10.a): se contabilizó el número de plantas en un metro cuadrado tomados al azar, para determinar la pérdida de ejemplares por sepultamiento o vuelco.

2.5.3.ii- Altura de las plantas (Figura 2.10.b): midiendo la altura de individuos dentro de un metro cuadrado, tomados al azar dentro de los lotes cultivados.

2.5.3.iii- Diámetro del capítulo: la medición se realizó una vez maduro el cultivo próximo a cosecharse (Figura 2.10.c) de ejemplares tomados al azar dentro de cada lote cultivado.



Figura 2.10.a.
Cuantificación de plantas por metro cuadrado.



Figura 2.10.b. Medición de la altura de plantas en centímetros.

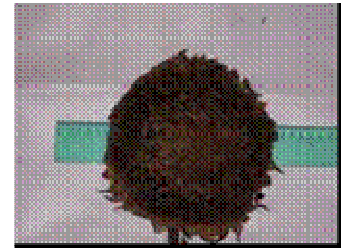


Figura 2.10.c. Medición del diámetro del capítulo en centímetros.

Una vez cosechado y trillado, se determinó el rendimiento, el peso de 1000 granos y el número de semillas por capítulo.

2.5.3.iv- Rendimiento: se tomaron muestras de 100 gramos del material trillado (Figura 2.11.a), se separó el grano de la materia seca (Figura 2.11.b), con una balanza analítica se determinó el peso de las semillas contenidas en las muestras. Calculándose el rendimiento por hectárea tras una regla de tres simple:

En 100 grs material trillado * m^{-2} \longrightarrow X grs de semillas

En el peso total de la muestra trillada * m^{-2} \longrightarrow X grs de semillas/ m^2 * 10 = X kg/ha



Figura 2.11.a. Material trillado.



Figura 2.11.b. Separación de las semillas de la materia seca.

2.5.3.v- Peso de los mil granos: una vez pesadas las submuestras de 100 granos, al promedio se lo multiplicó por 10 para obtener el peso en gramos.

2.5.3.vi- Número de semillas por capítulo: se obtiene tras realizar el cociente entre peso de las semillas que contiene los capítulos y el peso de 1 semilla.

a) peso de 1 semilla: se obtuvo tras la siguiente cuenta

$$\text{Peso 1 semilla (gr)} = \text{peso en gramos } 1000 \text{ granos} / 1000 \text{ granos}$$

b) peso de las semillas por capítulo: se calcula al dividir el peso de la muestra trillada por el número de plantas correspondiente al metro cuadrado.

$$\text{Peso de las semillas/capítulo (gr)} = \text{gramos de la muestra trillada} / \text{nro plantas}$$

CAPITULO 3

RESULTADOS

3.1- Análisis de los vientos y de las tormentas

3.1.1- Campaña 2007-2008

Los vientos de máxima velocidad, en la campaña 2007-2008, tuvieron una dirección predominante del NE-E (Figura 3.1); sólo un 6,5% y un 8,3% de los vientos provinieron del S y del N respectivamente, en contraste con un 15,2% del ENE, 16, 2% del E y 21,6 % del NE.

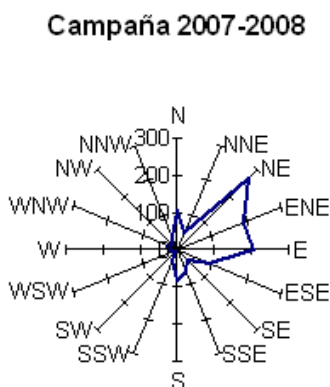


Figura 3.1. Dirección y frecuencia de los vientos máximos superiores a $14,4 \text{ km h}^{-1}$ durante la campaña 2007-2008.

En las Tablas 3.1 y 3.2 se describen los eventos erosivos de cada campaña, detallando la duración, velocidad media máxima y la dirección de los vientos medios máximos. Como la dirección de los vientos es cambiante constantemente dentro de un mismo evento erosivo, a su vez, se calculó el porcentaje de vientos ocurridos en las direcciones de las orientaciones de siembras (NE-SW + SW-NE y N-S + S-N).

En la campaña 2007-2008, la velocidad media de los vientos máximos registrados fluctuó entre $18,4$ y 27 km h^{-1} , siendo notoria la circulación de los vientos del NE y E. Los vientos máximos registrados variaron entre $22,3$ y $56,2 \text{ km h}^{-1}$, sin tener un sentido de circulación preferencial. También se observa que en la tormenta del 17 de Diciembre el viento medio máximo predominante fue de 3 puntos cardinales distintos NNE, NE y SSW y en la tormenta del 29 de Diciembre la dirección del viento medio máximo predominante fue de dos sentidos W y WSW, esto conlleva que el cálculo de la pérdida neta de material sea diferente y resulte distinto (Tabla 3.1).

En las cuatro primeras tormentas medidas durante la campaña 2007-2008, el viento circuló en sentido NE-SW, incidiendo en sentido paralelo en uno de los tratamientos y a 45° del otro. En la tormenta del 12 y 14 de Diciembre, la circulación de los vientos máximos fue SSE, el 17 de Diciembre provino del NNE, NE y SSW y el 18 de Diciembre del E. En todas las tormentas fue parejo el porcentaje de vientos con

sentido NE-SW/SW-NE (entre 20,7 y 35%), en cambio fue muy variable el porcentaje N-S/S-N variando de 6,8% a 57% (Tabla 3.1).

Al analizar las tormentas del 20, 21, 22 de Diciembre y 3 de Enero, que tuvieron una circulación de los vientos medios máximos predominante del viento del E, o sea que formaron un ángulo de 45° con el tratamiento NE-SW y 90° con el N-S, en las cuales la dirección del viento máximo fue del N, SE, NE y ESE respectivamente. En la tormenta del 20 y 21 de Diciembre el porcentaje de los vientos N-S/S-N fue de 30 y 18%, siendo superiores a las NE-SW/SW-NE (14,2 y 1,1%), el 22 de Diciembre el porcentaje fue parejo y el 3 de Enero la frecuencia de vientos NE-SW/SW-NE superó ampliamente las del N-S/S-N (Tablas 3.1).

En la tormenta del 28 de Diciembre y 2 de Enero, en las cuales el tratamiento N-S estuvo paralelo a los vientos medios máximos predominantes y el lote NE-SW formó un ángulo de 45° , la velocidad promedio en ambos casos fue de las más bajas, 18,4 y 19,8 km h^{-1} , la velocidades máximas fueron de 22,3 km h^{-1} del N y 33,8 km h^{-1} del SSE, hubo un gran porcentaje de vientos N-S/S-N (39,4 y 53,9%) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Campaña 2007-2008. Características de las tormentas en base a los vientos máximos mayores a $14,4 \text{ km}^*\text{h}^{-1}$.

Fecha	Duración (h)	Vel. Media Max. (kmh^{-1})	Dir. Pred.	Vel. Máx. (kmh^{-1})	Dir. Vel. Máx	Vientos Máx. N-S (%)	Vientos Máx. NE-SW (%)
12/12/2007	22	24,5	NE	56,2	SSE	22,6	33,3
14/12/2007	45	27	NE	43,6	SSE	16,9	33,9
17/12/2007	14	19,8	NE	27,4	NNE, NE y SSW	6,8	20,7
18/12/2007	29	22	NE	30,6	E	57	35
20/12/2007	10	22,7	E	33,8	N	30	14,2
21/12/2007	23:45	22	E	35,3	SE	18,3	1,1
22/12/2007	24	25,2	E	44,6	NE	12,2	14,3
28/12/2007	09:15	18,4	N	22,3	N	39,4	13,1
29/12/2007	03:15	24,5	W y WSW	48,3	WNW	0	7,7
02/01/2008	09:15	19,8	N	33,8	SSE	53,9	7,7
03/01/2008	21	23,4	E	35,3	ESE	3,4	21,3

Vel. Media Max: velocidad máxima promedio del total de vientos mayores a $14,4 \text{ km}^*\text{h}^{-1}$ ocurridos durante esa tormenta.

Dir. Pred.: sentido de circulación predominante del viento medio máximo durante esa tormenta.

Vel. Máx.: velocidad máxima ocurrida durante esa tormenta.

Dir. Vel. Máx.: sentido de circulación del viento de máxima velocidad durante esa tormenta.

% Máx. N-S: porcentaje de los vientos de máxima velocidad con dirección N-S y S-N ocurridos durante la tormenta.

% Máx. NE-SW: porcentaje de los vientos de máxima velocidad con dirección NE-SW y SW-NE ocurridos durante la tormenta.

En síntesis, la circulación y velocidades de los vientos de esta primera campaña no fueron simples, siendo:

- a) muy variables las velocidades,
- b) el sentido de circulación del viento fue predominantemente del sector E variando entre N y S y raramente del W,
- c) escasos los eventos erosivos en los que coincidió el origen del viento medio máximo predominante y el viento máximo registrado,
- d) cuando el sentido de circulación del viento medio máximo predominante fue NE-SW o N-S, el porcentaje de vientos con esas respectivas orientaciones superó a la otra, y
- e) cuando la circulación del viento medio máximo predominante no coincidió con alguno de los sentidos de siembra (NE-SW o N-S), en general el porcentaje de vientos N-S fue superior al porcentaje de vientos NE-SW.

3.1.2- Campaña 2008-2009

En la campaña 2008-2009 también predominó la circulación de los vientos de máximas velocidades del NE (28,2%), un 12,4% provinieron del E, 11,8% del N y sólo 4,6% del S (Figura 3.2).

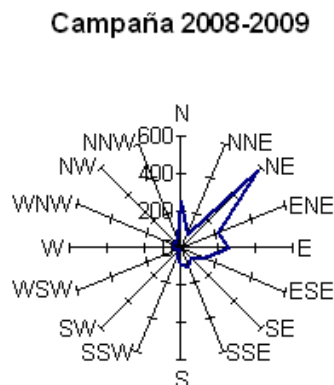


Figura 3.2. Dirección y frecuencia de los vientos máximos superiores a 14,4 km h⁻¹ durante la campaña 2008-2009.

Las velocidades medias de los vientos máximos de este período variaron entre los 16,6 y 29,2 km h⁻¹ con una circulación predominante del NE y E. Las velocidades máximas oscilaron entre 19,4 y 65,9 km h⁻¹ y sus direcciones fueron variadas. Durante esta campaña hubo dos tormentas, el 20 y el 23 de Diciembre, en las cuales los vientos medios máximos predominantes fueron del ENE, NE y ESE como así del NE y E. Solamente el 22 de Enero se registraron dos sentidos de origen del viento máximo (NE y W) (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Campaña 2008-2009. Características de las tormentas en base a los vientos máximos mayores a 14,4 km*h⁻¹.

Fecha	Duración (h)	Vel. Media Max. (kmh ⁻¹)	Dir. Pred.	Vel. Máx. (kmh ⁻¹)	Dir. Vel. Máx.	Vientos Máx. N-S (%)	Vientos Máx. NE-SW (%)
19/12/2008	18:45	22,7	E	59,5	SSW	33,4	20,3
20/12/2008	4	16,6	NE, ENE y ESE	19,4	ESE	0	25
21-12-08m	17:45	26,6	N	40,3	SW	50,8	11,5
21-12-08t	4	29,2	E	35,3	NE	0	5,9
23/12/2008	13:30	24,5	NE y E	33,8	E	0	36,4
25/12/2008	13:15	20,2	E	35,3	SE	7,3	21
26-12-08m	05:45	20,2	SSE	24,2	SSE	17,4	0
26-12-08t	5	18,4	NE	25,9	N	21,1	52,1
28/12/2008	14:30	24,1	SSE	46,8	WSW	11,4	6,5
31/12/2008	27:45:00	23,4	NE	65,9	NNW	16	34,5
03/01/2009	47	23,0	E	38,5	ENE	0	7,9
06/01/2009	36	22,3	NE	41,7	WSW	14	34,1
09/01/2009	10	18,0	N	32,0	NNE	27,5	17,5
12/01/2009	39:45:00	28,0	NE	48,2	NE	25,2	39,6
16/01/2009	26:30:00	19,8	E	40,3	S	11,7	15,3
22/01/2009	50:45:00	20,2	NE	32,0	NE y W	23	37,06
24/01/2009	03:45	16,2	NE	25,9	NNW	33,3	44,4

Vel. Media Max: velocidad máxima promedio del total de vientos mayores a 14,4 km*h⁻¹ ocurridos durante esa tormenta.

Dir. Pred.: sentido de circulación predominante del viento medio máximo durante esa tormenta.

Vel. Máx.: velocidad máxima ocurrida durante esa tormenta.

Dir. Vel. Máx.: sentido de circulación del viento de máxima velocidad durante esa tormenta.

% Máx. N-S: porcentaje de los vientos de máxima velocidad con dirección N-S y S-N ocurridos durante la tormenta.

% Máx. NE-SW: porcentaje de los vientos de máxima velocidad con dirección NE-SW y SW-NE ocurridos durante la tormenta.

Las tormentas en las cuales el viento circuló en sentido NE-SW, incidiendo en sentido paralelo en uno de los tratamientos y a 45° del otro, fueron las del 20, 23, 26, 31 de Diciembre, 6, 12, 22 y 24 de Enero. Los vientos máximos correspondientes fueron del ESE, E, N, NNE, WSW, NE, NE y W y por último NNW. El porcentaje de vientos N-S/S-N fueron 0, 0, 21,1, 16, 14, 25,2, 23 y 33,3 (Tabla 3.2).

Las tormentas del 20 y 23 de Diciembre, fueron las que tuvieron vientos medios máximos predominantes de distintos puntos cardinales, esto implica que según la dirección del viento que se considere al momento de realizar el cálculo de la erosión el resultado será diferente. Los vientos medios máximos y máximos de la tormenta del 20 de Diciembre, fueron los de menor velocidad (16,6 y 19,4 km h⁻¹), y los del 23 de Diciembre ambas velocidades fueron medias (24,5 y 33,8 km h⁻¹).

Continuando con las tormentas que el viento provino del NE, se evidencia (Tabla 3.2):

- la velocidad media máxima de la tormenta del 26 de Diciembre por la tarde, fue baja de 18,4 km h⁻¹, la velocidad máxima fue de 25,9 km h⁻¹ proviniendo del N, un 20 % de los vientos tuvo una circulación N-S/S-N y del NE-SW/SW-NE del 52,1%.
- las tormentas del 31 de Diciembre y 24 de Enero, coinciden en el sentido del viento medio máximo predominante y sentido del viento máximo (NNW). En la tormenta del 31 a pesar que el viento máximo (circulación casi paralela a N-S) fue de 65,9 km h⁻¹ hubo un 34,5% de vientos del NE-SW/SW-NE y 16% del N-S/S-N. En la tormenta del 24 de Enero la velocidad máxima fue de 25,9 km h⁻¹ pero la ocurrencia de vientos del NE-SW/SW-NE casi se mantuvo (44,4%) y se duplicó las del N-S/S-N (33,3%).
- en la tormenta del 6 de Enero, la velocidad máxima fue una de las más altas (41,8 km h⁻¹) y se produjo el doble de frecuencia de vientos NE-SW/SW-NE (34,1%) que los del N-S/S-N (14%).
- las tormentas del 12 y 22 de Enero, tienen en común que el viento máximo provino del NE y una la frecuencia de vientos NE-SW/SW-NE fue superior a las del N-S/S-N. Correspondiendo 25,2 % N-S y 39,6 NE-SW a la tormenta del 12 y 23% y 37,06% a la tormenta del 22 de Enero.

Al analizar las tormentas del 19, 21, 23, 25 de Diciembre, 3 y 16 de Enero, tuvieron una circulación del viento del E, formando un ángulo de 45° con el tratamiento NE-SW y 90° con el N-S, resultaron que (Tabla 3.2):

- en la tormentas del 19 de Diciembre, el porcentaje de vientos N-S/S-N fue de 33,4% y del 20% los NE-SW/SW-NE. La velocidad máxima con sentido SSW, casi paralela a N-S, fue de 16,5 km h⁻¹.
- Las tormentas del 21 de Diciembre por la mañana y 3 de Enero en las cuales la circulación de las velocidades máximas son del NE y próxima, ENE, de altas velocidades 35,3 y 38,5 km h⁻¹. y sin haber ocurrido vientos N-S/S-N.

- El 23 de Diciembre predominaron dos direcciones de vientos medios máximos, NE y E, la circulación NE ya fue analizada del viento máximo fue del E habiendo una frecuencia de 36,4% de vientos NE-SW/SW-NE y ninguna N-S/S-N.
- El 16 de Enero el viento máximo fue de 40,3 km h⁻¹ del S y un parejo porcentaje de vientos del NE-SW/SW-NE y N-S/S-N (15,3 y 11, 7).

Las tormentas del 21 de Diciembre y 9 de Enero, el lote N-S estuvo paralelo a los vientos medios máximos predominantes y el lote NE-SW formó un ángulo de 45°. El 21 de Diciembre el 50,8% de los vientos fueron del N-S/S-N y la velocidad máxima de 40,3 km h⁻¹ del SW. El 9 de Enero el viento máximo fue del NNE y hay cierta diferencia en la frecuencia de vientos SW/SW-NE y N-S/S-N (17,5% y 27,5%) (Tabla 3.2).

En resumen, al igual que en la campaña 2007-2008, la circulación y velocidades de los vientos de la campaña 2008-2009 tampoco fueron simples: la amplitud de velocidades del viento tanto media máxima calculada como en las máximas registradas fue grande; sólo en algunos eventos erosivos coincidió el origen del viento medio máximo predominante y el viento máximo registrado. Mientras el sentido de circulación del viento medio máximo predominante fue NE-SW o N-S, el porcentaje de vientos con esas orientaciones superó a la otra; cuando el sentido de circulación del viento medio máximo predominante no coincidió con ninguno de los sentidos de siembra (NE-SW o N-S), en general, el porcentaje de vientos N-S superó al porcentaje de vientos NE-SW y por último el sentido de circulación del viento también fue del sector E variando entre N y S pero en esta campaña se registró un mayor número de vientos máximos provenientes del sector W.

3.2- Humedad del suelo

El porcentaje de humedad, durante la campaña 2007-2008, fluctuó entre 1,7% y 11,9% para el girasol orientado NE-SW y de 1,3% a 11,9% para el girasol sembrado N-S. En general, no existieron diferencias entre ambos sentidos de orientación del cultivo, excepto en los muestreos realizados a los 7 y 39 días de la siembra (DDS), en el cual la humedad en el lote N-S fue significativamente mayor que la del NE-SW.

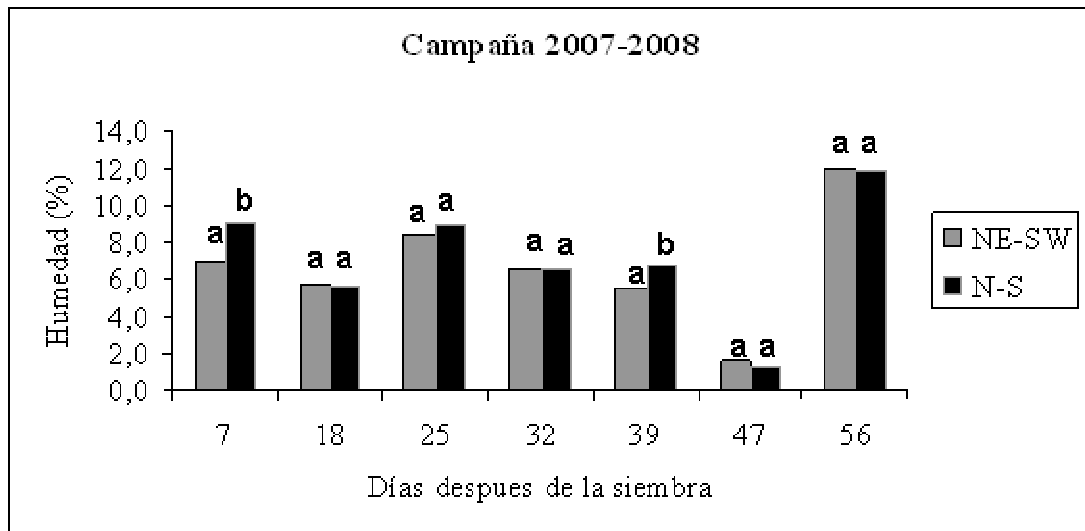


Figura 3.3. Contenidos de humedad del suelo de los primeros 5 cm del perfil, con girasol sembrado en dos sentidos, durante la campaña 2007-2008.

En la Tabla 3.3 se detalla los milímetros caídos entre los muestreos y a cuantos días posteriores a la fecha de siembra ocurrieron las precipitaciones. La precipitación total durante el periodo de muestreo en la campaña 2007-2008 fue de 124 mm, concentrándose en la mitad del ciclo del cultivo. En todos los casos las precipitaciones duraron menos de 24 horas.

Tabla 3.3. Precipitaciones (ppt) y temperaturas medias mínima y media máxima del aire durante el crecimiento de girasol en campaña 2007-2008.

Muestreo (DDS)	Campaña 2007-2008						
	0-7	8-18	19-25	26-32	33-39	40-47	48-56
Ppt (mm)	8,88	9,37	44,67	24,1	17,25	1	18,79
Ppt (DDS)	6	10	23	28	38	46	52
temp media min (°C)	22,4	23,4	22,6	24,4	22,8	23,6	21,8
temp media max (°C)	23,0	23,9	23,0	24,9	23,4	24,0	22,2

En la campaña 2008-2009, la humedad del suelo en el tratamiento NE-SW varió de 0,4% a 6,3%, siendo en la mayoría de los muestreos significativamente menor a la humedad del tratamiento N-S que varió entre 0,5 y a 9%. Una excepción fue el muestreo realizado a los 42 días de la siembra, en el cual no se encontraron diferencias entre ambos sentidos de siembra (Figura 3.4). La disminución de humedad fue progresiva en el tiempo, en coincidencia con el incremento progresivo de la extracción de agua por parte del cultivo.

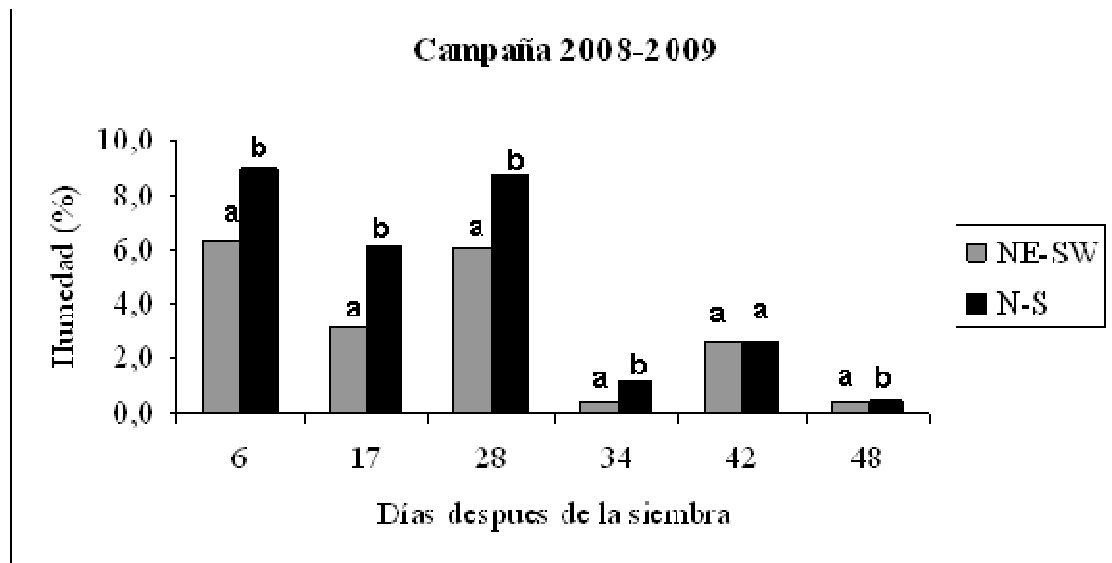


Figura 3.4. Contenidos de humedad del suelo de los primeros 5 cm del perfil con girasol sembrado en dos sentidos, durante la campaña 2008-2009.

Tabla 3.4. Precipitaciones (Ppt) y temperaturas medias mínima y media máxima del aire durante el crecimiento de girasol en la campaña 2008-2009.

Campaña 2008-2009							
Muestreo (DDS)	0-6	7-17	18-28	29-34	35-42	43-48	
Ppt (mm)	42,1	54,2	31,2	0,5	14,7	5,8	
Ppt (DDS)	2, 3 y 5	7, 11, 14 y 15	21 y 26	31	37 y 39	43 y 47	
Temp media min (°C)	20,6	22,0	22,1	22,1	23,0	22,8	
Temp media max (°C)	20,9	22,4	22,5	22,5	23,4	23,3	

En la campaña 2008-2009 llovieron 148,5 mm, a penas 24,5 mm más que la campaña anterior siendo más copiosas al inicio del ciclo y distribuidas de manera más uniformemente en el tiempo (Tabla 3.4), o sea, realizando aportes de agua al suelo en forma más constante y próximos al momento del muestreo.

De los resultados obtenidos es importante destacar que durante la segunda campaña la humedad del suelo fue mayor en el lote N-S durante casi todo el ciclo en comparación con el lote NE-SW, mientras que en la campaña 2007-2008 solo en dos muestreos. Coincidentemente el tratamiento NE-SW en la segunda campaña se erosionó en mayor medida que el tratamiento N-S y los componentes del rendimiento en la misma se expresaron mejor en tratamiento N-S.

No se puede adjudicar los resultados obtenidos en ambas campañas al efecto año, ni a la precipitación total, ni a la distribución de las precipitaciones, porque de ser así no se deberían haber encontrado diferencias de humedad entre los tratamiento, por lo que hay indicios de un efecto de la orientación del cultivo.

3.3- Componentes del rendimiento del cultivo

3.3.1- Densidad de plantas

En ninguna de las dos campañas se notaron diferencias en la densidad de plantas entre ambas orientaciones del siembra cultivo. Al inicio de las mediciones el número de plantas fue menor como consecuencia de la emergencia desuniforme debido que el terreno desperejo impidió una siembra homogénea, tanto en profundidad como espacial, lo que se aprecia en la variación del número de plantas a lo largo del ciclo.

En ambas campañas en el primer muestreo, realizado a los 7 días después de la siembra (DDS), en ambos tratamiento el promedio de plántulas emergidas por metro cuadrado fue de 3, mientras que en los sucesivos muestreos la densidad fluctuó entre 4 y 7 pl m⁻². Tampoco se encontraron plantas sepultadas al inicio del cultivo, ni volcadas por los vientos durante todo el ciclo (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Análisis de densidad de plantas. Comparación de densidad de plantas entre los tratamientos de las campaña 2007-2008 y 2008-2009.

Muestreo	Tratamiento	Campaña			
		2007-2008		2008-2009	
		Densidad Media (pl/m ²)± DE	* o ns	Densidad Media (pl/m ²)± DE	* o ns
1	NE-SW	2,7 ± 1,0	>0,99 ns	2,7 ± 1,0	0,56 ns
	N-S	2,7 ± 1,5		3,0 ± 0,9	
2	NE-SW	5,7 ± 1,6	0,31 ns	4,7 ± 0,8	0,45 ns
	N-S	4,8 ± 1,0		5,0 ± 0,6	
3	NE-SW	5,3 ± 1,5	0,63 ns	6,7 ± 1,2	>0,99 ns
	N-S	5,7 ± 0,5		6,7 ± 1,4	
4	NE-SW	5,3 ± 1,2	0,62 ns	6,0 ± 0,9	>0,99 ns
	N-S	5,7 ± 1,0		6,0 ± 1,1	
5	NE-SW	4,0 ± 1,1	>0,99 ns	5,3 ± 0,5	0,29 ns
	N-S	4,0 ± 1,4		5,7 ± 0,5	
6	NE-SW	4,0 ± 1,1	0,60 ns	4,8 ± 0,8	>0,99 ns
	N-S	3,7 ± 1,0		4,8 ± 0,8	
7	NE-SW	4,5 ± 1,4	0,82 ns	5,2 ± 0,8	>0,99 ns
	N-S	4,3 ± 1,0		5,2 ± 0,8	

La densidad de plantas por metro cuadrado en ambas campañas para los dos tratamientos, fue en promedio de 5 plantas por metro cuadrado, pero la distribución de las plantas en los lotes fue desuniforme. Esto se debió a que, a pesar de regularse la sembradora para que deposite las semillas a 2,5 centímetros por debajo de la superficie del suelo y una distancia entre ellas de 50 centímetros, no se logró mantener la densidad de siembra constante por la interferencia que ejercieron la alta cantidad de restos radiculares y la disparidad en el tamaño de los agregados que resultaron de la roturación del pastizal.

3.3.2- Altura de plantas

En la campaña 2007-2008, el crecimiento en altura de las plantas fue parejo en ambos tratamientos, alcanzando el cultivo una altura final promedio de 110 cm, sin encontrarse diferencias significativas entre ambos sentidos de siembra.

En la campaña 2008-2009, el crecimiento de las plantas en ambos tratamientos fue gradual y constante, logrando una altura final promedio de 140 cm el lote NE-SW y 165 cm el lote N-S y solamente se encontraron diferencias significativas en el tercer y último muestreo (Tabla 3.6).

El cultivo en ambos tratamientos, alcanzó una mayor altura en la campaña 2008-2009 que en la 2007-2008, lo que sería producto de una mejor distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

Tabla 3.6. Análisis de la altura de plantas. Comparación de la altura de plantas entre los tratamientos de las campaña 2007-2008 y 2008-2009.

Muestreo	Trat	Campaña			
		2007-2008		2008-2009	
		Altura Media (cm)± DE	* o ns	Altura Media (cm)± DE	* o ns
1	NE-SW	2,3 ± 0,69	0,19 ns	2,3 ± 0,7	0,18 ns
	N-S	2,9 ± 0,92		2,9 ± 0,9	
2	NE-SW	5,3 ± 1,99	0,95 ns	7,3 ± 1,2	0,78 ns
	N-S	5,35 ± 2,42		7,2 ± 0,8	
3	NE-SW	18,5 ± 6,5	0,56 ns	14,0 ± 0,9	<0,0001*
	N-S	16,7 ± 3,67		20,7 ± 2,0	
4	NE-SW	50,5 ± 6,9	0,28 ns	30,8 ± 6,7	0,43 ns
	N-S	46,7 ± 4,5		34,5 ± 8,8	
5	NE-SW	51,1 ± 17,19	0,85 ns	67,5 ± 12,0	0,17 ns
	N-S	53 ± 15,5		75,5 ± 3,9	
6	NE-SW	89 ± 17,05	0,80 ns	103,7 ± 10,2	0,41 ns
	N-S	86,8 ± 11,44		107,7 ± 4,5	
7	NE-SW	111,7 ± 16,8	0,84 ns	140,3 ± 11,2	0,001*
	N-S	113,1 ± 4,96		165 ± 7,72	
Promedio	NE-SW	110		140	
	N-S	110		165	

La altura de las plantas de girasol aumenta por definirse un mayor número de hojas entre los 20 a 25 días después de la siembra o como respuesta a la competencia intraespecífica por espacio, radiación, agua y nutrimentos ocasionada por el aumento en la densidad.

Resultando la densidad similar en los tratamientos en ambas campañas, descartamos que haya habido competencia entre los ejemplares. Las temperaturas medias mínimas y máximas, han sido muy parecidas en ambas campañas pero la distribución de lluvias fue mejor y las precipitaciones fueron superiores al inicio del cultivo en la campaña 2008-2009 que en la 2007-2008. Por lo se deduce que las mejores condiciones ambientales en la segunda campaña han fomentado la formación de un mayor número de hojas que en la primer campaña, variable que no se midió.

3.3.3- Diámetros de capítulos

El diámetro de los capítulos del cultivo orientado N-S fue superior al sembrado NE-SW en ambas campañas, lo que denota una respuesta a la orientación de siembra. Coincidiendo con los resultados de mayor la humedad, plantas de mayor altura en el tratamiento N-S en la segunda campaña.

Opuestamente a la altura del cultivo, el diámetro fue mayor en la campaña 2007-2008 en ambos sentidos de siembra que en la 2008-2009 (Tabla 3.7). El capítulo de girasol comienza gestarse desde los 22 días hasta los 55 días, período en el cual las

precipitaciones fueron superiores en la primera campaña, lo que no implica que posteriormente todas las flores cuajen y lleguen a la madurez.

Tabla 3.7. Análisis del diámetro de los capítulos del tratamiento sembrado NE-SW y N-S durante la campaña 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas.

Tratamiento	Campaña				
	2007-2008		2008-2009		2007/08 vs. 2008/09
	Diámetro medio (cm) ± D.E	* o ns	Diámetro medio (cm) ± D.E	* o ns	* o ns
NE-SW	15,4 ± 3,4	0,001*	12,2 ± 2,9	0,0008*	0,0001*
N-S	18,3 ± 3,7		14,5 ± 2,5		<0,0001*

3.3.4- Peso de mil granos (PMG)

Tanto en la campaña 2007-2008 como en la 2008-2009 (Tabla 3.8) el peso de mil granos fue superior en los tratamientos N-S (64g y 50 g respectivamente) al NE-SW (57g y 45 g respectivamente). Estos resultados y los ya analizados de las otras variables del rendimiento, indican que la orientación de siembra N-S generó un ambiente más favorable para el cultivo. En cambio, el PMG, en forma semejante al diámetro, en ambos tratamientos fue superior en la primer campaña con relación a la segunda.

Tabla 3.8. Análisis del peso de mil granos de los tratamientos sembrados NE-SW y N-S en el 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas.

Tratamiento	Campaña				
	2007-2008		2008-2009		2007/08 vs. 2008/09
	PMG medio (gr) ± D.E	* o ns	PMG medio (gr) ± D.E	* o ns	* o ns
NE-SW	56,9 ± 4,1	0,03 *	45,1 ± 5,1	0,04 *	0,0006 *
N-S	64,3 ± 5,9		49,9 ± 2,8		0,0009 *

3.3.5- Número de semillas por capítulo

La Tabla 3.9 muestra que, en ambas campañas, a pesar de haber sido mayor el diámetro de los capítulos de las plantas en los lotes sembrados N-S, no existieron diferencias en el número de semillas entre tratamientos. De los resultados hasta ahora analizados de los componentes del rendimiento todo indica que la orientación de siembra N-S favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo (diámetro y PMG en la campaña 2007-2008). Y más variables del rendimiento respondieron mejor a la orientación del cultivo cuando las condiciones ambientales fueron benévolas, como en la campaña 2008-2009 en la cual exceptuando el número de semillas por capítulo, las restantes fueron superiores en el tratamiento sembrado de N a S.

Sin embargo, existieron diferencias entre las campañas, siendo el número de semillas por capítulo tanto en el tratamiento N-S como en el NE-SW del 2008-2009 superiores a las de 2007-2008, comportamiento similar al que presentaron la altura del cultivo y el rendimiento.

El número de flores por capítulo (potenciales granos por capítulo) se definen entre los 20-25 DDS a 35-40 DDS, período en el cual las precipitaciones fueron superiores en la primera campaña, mientras que el desarrollo y maduración de los frutos, se produce desde los 55 días hasta la maduración de los mismos. El diámetro del capítulo como la cantidad de flores es muy dependiente del ambiente (densidad, disponibilidad de nutrientes, agua) y del genotipo. El girasol tiene una gran compensación en cuanto a tamaño de grano en caso de que hubiera pocos granos cuajados y luego las condiciones fueran buenas durante el llenado (relación fuente-destino).

Tabla 3.9. Análisis del número de semillas por capítulo de los tratamientos sembrados NE-SW y N-S en el 2007-2008 y 2008-2009 y entre campañas.

Tratamiento	Campaña				2007/08 vs. 2008/09
	2007-2008		2008-2009		
	Nro granos medio \pm D.E	* o ns	Nro granos medio \pm D.E	* o ns	* o ns
NE-SW	1037,7 \pm 92,9	0,6 ns	1267,3 \pm 340,4	0,12 ns	0,1 *
N-S	976,3 \pm 254,7		1485,2 \pm 117,2		0,003 *

3.3.6- Rendimiento

En la campaña 2007-2008 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de orientación del cultivo en el lote NE-SW, en promedio fueron de 2910 kg ha⁻¹ y en el N-S 2805 kg ha⁻¹. Sin embargo, en la campaña 2008-2009 el rendimiento del lote N-S fue de 3673 kg ha⁻¹, significativamente superior al del NE-SW que sólo alcanzó 2488 kg ha⁻¹ (Tabla 3.10). El rendimiento del cultivo sembrado N-S en 2008-2009 fue superior al 2007-2008, en cambio en el tratamiento NE-SW no hubo diferencias entre campañas.

Hasta ahora los resultados de los componentes del rendimiento de ambas campañas indican que la orientación del cultivo N-S ha sido la más conveniente para el desarrollo del cultivo, respuestas que se hacen más evidentes con condiciones ambientales más favorables para el cultivo.

Tabla 3.10. Análisis del rendimiento del cultivo entre las campañas 2007-2008 vs. 2008-2008 y entre campañas.

Tratamiento	Campaña				
	2007-2008		2008-2009		2007/08 vs. 2008/09
	Rendimiento medio (kg/ha) ± D.E	* o ns	Rendimiento medio (kg/ha) ± D.E	* o ns	* o ns
NE-SW	2912,8 ± 307,1	0,71 ns	2487,9 ± 685,7	0,001 *	0,15 ns
N-S	2804,6 ± 690,7		3673,8 ± 431,9		0,01 *

3.4- Análisis conjunto de los componentes del rendimiento

La densidad promedio fue de 5 plantas por metro cuadrado, variando entre 3 y 7 plantas por metro cuadrado; la desuniformidad espacial de la siembra se debió por la irregularidad del terreno como producto de la rotura del pastizal. La producción de biomasa se correlaciona directamente con la densidad de plantas pero no siempre una mayor producción de biomasa corresponde a un incremento en el dosel vegetal y a un mayor rendimiento.

En general la altura de las plantas de girasol aumenta por definirse un mayor número de hojas entre los 20 a 25 días después de la siembra, ó, como respuesta a la competencia intraespecífica por espacio, radiación, agua y nutrientes ocasionada por el aumento en la densidad. Siendo la densidad similar en ambos tratamientos y en ambas campañas y a pesar que no se midieron los entrenudos ni se contaron el número de hojas, las mayores precipitaciones al inicio del cultivo en la campaña 2008-2009 hace suponer que en la segunda campaña la mayor altura alcanzada por el cultivo en ambos tratamientos se debió a la mayor producción de hojas (Tablas 3.11 y 3.12) ya que no existe una evidencia clara de la influencia de la orientación de siembra del cultivo sobre la variable en cuestion.

Un aumento del índice del área foliar (IAF) en etapas tempranas, no quita que posteriores stress hídricos (en la etapa de post floración) provoquen la disminución de la superficie transpiratoria por un marchitamiento precoz, reduciendo así el período de la tasa de fotoasimilados y por ende el rendimiento.

Tabla 3.11. Resumen de las tendencias de los componentes del rendimiento de girasol sembrado con orientación NE-SW y N-S, en ambas campañas.

Campaña	Tratamiento	Densidad	Altura	Diámetro	Peso 1000 granos	Nro. de semillas por capítulo	Rendimiento
2007-2008	NE-SW vs. N-S			<	<		
2008-2009	NE-SW vs. N-S		<	<	<		<

Tabla 3.12. Resumen de las tendencias entre las dos campañas de los componentes del rendimiento en ambos sentidos de siembra.

Tratamiento	Campaña	Densidad	Altura	Diámetro	Peso 1000 granos	Nro. de semillas por capítulo	Rendimiento
NE-SW	2007-2008 vs. 2008-2009		<	>	>	<	
N-S	2007-2008 vs. 2008-2009		<	>	>	<	<

Con respecto a los componentes del rendimiento durante la campaña 2007-2008 el diámetro del capítulo y el peso de mil granos fueron significativamente superior en el lote sembrado N-S, en la campaña 2008-2009 también lo fue el peso de mil granos y el rendimiento en dicho tratamiento. El diámetro en ambos tratamientos resultó de mayor tamaño durante la primera campaña porque las precipitaciones fueron más abundantes en el período en que el mismo se desarrolla en comparación con la segunda campaña.

En ambos tratamientos, el rendimiento como el número de semillas por capítulo también resultaron ser superiores en la segunda campaña pero no así el peso de mil granos que fueron mayores en la primera campaña. Es claro que en la campaña 2007-2008 los granos lograron un mayor peso al haber menos destinos finales, en cambio en la campaña 2008-2009 al aumentar el número de granos los fotoasimilados debieron distribuirse entre un mayor número de granos ya formados.

A pesar que no en todos los componentes del rendimiento hubo diferencias entre los tratamientos, los resultados indican que el cultivo orientado N-S tuvo mejores condiciones para su crecimiento y desarrollo que el NE-SW, lo cual fue más evidente en la segunda campaña en la que las condiciones ambientales fueron más benévolas para el cultivo.

En ningún lote, ni en ninguna de las campañas, se observaron vuelco, sepultura ni daños físicos a simple vista de las plantas debido/producto a la abrasión por el material transportado. Tampoco hubo diferencias en la evolución del cultivo, periodos: emergencia, etapas vegetativas y aparición de botón floral, etapas que solamente eran observadas.

3.5- Análisis del material erosionado por el viento

3.5.1- Erosión neta durante la campaña 2007-2008

La Figura 3.5 muestra que el lote N-S presentó mayor erosión que el NE-SW. La erosión neta en el tratamiento sembrado NE-SW comprendió entre ganar desde 3,83 Mg ha⁻¹ hasta perder 5,51 Mg ha⁻¹ resultando con una ganancia de 5,68 Mg ha⁻¹. Las ganancias del tratamiento N-S fue de 4,32 Mg ha⁻¹ y las pérdidas alcanzaron hasta los 44,23 Mg ha⁻¹, resultando que en total este lote se erosionó 89,35 Mg ha⁻¹.

En las cuatro primeras tormentas medidas de la campaña 2007-2008 el viento medio máximo circuló en sentido NE-SW, incidiendo paralelamente a uno de los tratamientos y a 45° del otro, el tratamiento N-S se erosionó en tres de ellas, perdió 2,84, 25,35 y 0,07 Mg ha⁻¹ respectivamente y mientras que en la tercer tormenta ganó 4,32 Mg ha⁻¹. El lote NE-SW sólo se erosionó en el segundo evento erosivo, perdiendo 5,51 Mg ha⁻¹ en comparación a los aportes recibidos de 3,83, 3,75 y 1,82 Mg ha⁻¹ (Figura 3.6).

Al analizar las tormentas del 20, 21, 22 de Diciembre y 3 de Enero, que tuvieron una circulación del viento medio máximo predominantemente del E, formando un ángulo de 45° con el tratamiento NE-SW y 90° con el N-S, el lote sembrado NE-SW se erosionó 0,05, 0,77 y 0,35 Mg ha⁻¹ en la tormenta del 20, 21 y 22 de Diciembre mientras que en la del 3 de Enero ganó 0,14 Mg ha⁻¹. El tratamiento N-S, en las tormentas mencionadas se erosionó perdiendo 0,11, 2,64, 0,99 y 44,23 Mg ha⁻¹ (Figura 3.6).

En las tormentas del 28 de Diciembre y 2 de Enero, en las cuales el lote N-S estuvo paralelo a los vientos medios máximos predominantes y el lote NE-SW formó un ángulo de 45°, el sentido de siembra NE-SW ganó 3,79 Mg ha⁻¹ mientras que perdió 0,91 Mg ha⁻¹, el tratamiento N-S se erosionó en ambos casos 4,1 y 0,73 Mg ha⁻¹ (Figura 3.5).

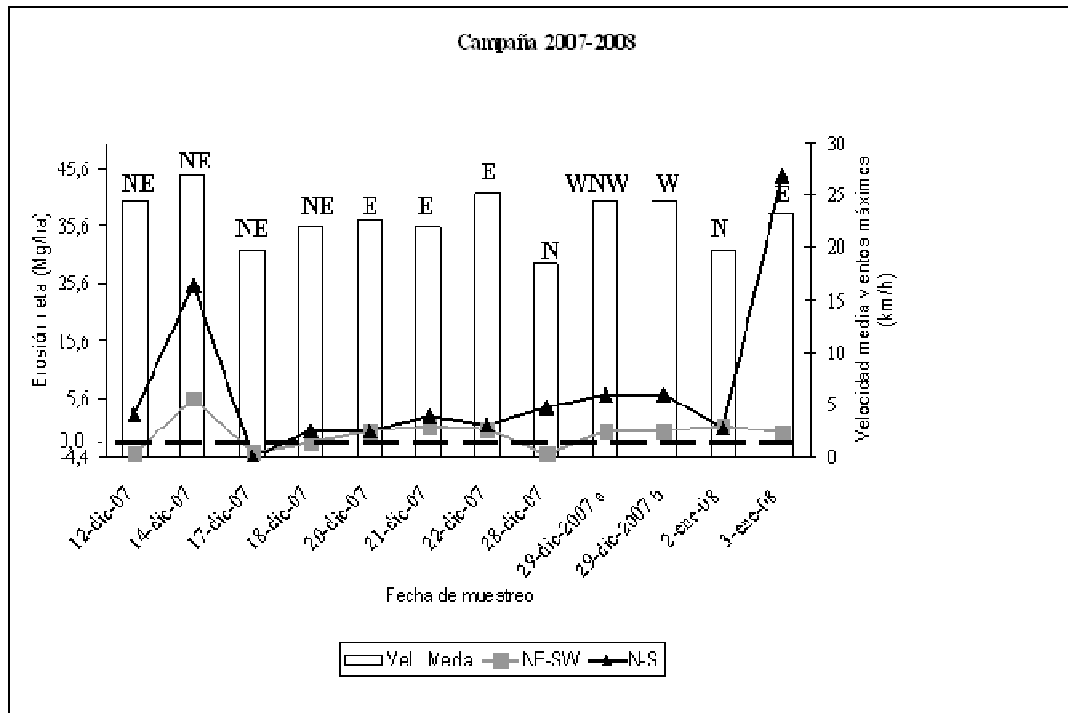


Figura 3.5. Campaña 2007-2008. Relación entre la pérdida de material en los lotes sembrados y los vientos máximos según su velocidad y sentido de circulación. Valores positivos indican pérdida de material y negativos ganancias. Las letras sobre las barras indican la dirección predominante del viento.

Era de esperar que el tratamiento NE-SW se erosionara más intensamente que el tratamiento N-S, considerando que la dirección predominante de los vientos máximos fue del NE (Figura 3.1) y en general no hubo diferencias en el control de la evaporación de la humedad del suelo entre tratamientos. Sin embargo, en el balance final entre las entradas y salidas de material de las parcelas, el lote sembrado N-S perdió $89,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el tratamiento NE-SW resultó ganando $5,68 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Efectos que no se pueden adjudicar a diferencias en la cobertura vegetal, dado que el crecimiento y la cobertura del suelo por el canopeo del cultivo fue parejo en ambos sentidos de siembra. Indudablemente, estas tendencias fueron provocadas por los vientos, planteando las dudas si los vientos con circulación N-S resultan ser los vientos erosivos a pesar de no ser los predominantes, ó bien, que los vientos provenientes del NE-SW a pesar de ser los vientos erosivos por provenir de zonas más agriculturizadas transportan gran cantidad de material en suspensión el cual es depositado en su trayecto.

De los resultados obtenidos durante los eventos erosivos, se destaca que:

a) cuando el viento medio máximo predominante fue del N, alto porcentaje de vientos N-S/S-N y/o la dirección del viento máximo también con dicho origen, ambos lotes se erosionaron.

b) cuando la dirección del viento medio máximo predominante fue del E y mientras el porcentaje de vientos N-S/S-N superó al porcentaje de vientos NE-SW/SW-NE, ambos

lotes tendieron a erosionarse siendo más intensa la pérdida de material en el tratamiento N-S. A medida que el porcentaje de vientos N-S/S-N disminuyeron y se equipararon con el porcentaje de vientos NE-SW/SW-NE, las erosiones mermaron hasta incluso los tratamientos recibir material cuando el porcentaje de vientos NE-SW/SW-NE fue superior al N-S/S-N.

c) en los eventos en los cuales el viento medio máximo predominante fue del NE y el viento máximo provino del NE o hubo un alto porcentaje de vientos NE-SW/SW-NE, ambos sentidos de siembra recibieron material.

d) mientras que el viento medio máximo tuvo un origen distinto al NE y N, la influencia del porcentaje de vientos fue notoria ya que mientras fueron altos el porcentaje de vientos del NE-SW alguno de los tratamientos tendió a ganar material y a medida que estos vientos disminuyeron las ganancias mermaron y aumentaron las erosiones.

Según el material recolectado y los cálculos efectuados, el tratamiento N-S se erosionó $93,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ y en él se depositó $4,32 \text{ Mg ha}^{-1}$, resultando una erosión neta de $89,35 \text{ Mg ha}^{-1}$. Si la densidad aparente del suelo estimada fue de $1,42 \text{ Mg m}^{-3}$, dicho lote perdió $0,63 \text{ cm ha}^{-1}$ de suelo como resultado de la resta entre los $0,66 \text{ cm ha}^{-1}$ de suelo erosionados y los $0,03 \text{ cm ha}^{-1}$ de material recibido del entorno.

En el caso del tratamiento NE-SW, las pérdidas alcanzaron los $7,67 \text{ Mg ha}^{-1}$, mientras que las ganancias fueron de $13,34 \text{ Mg ha}^{-1}$, resultando que el lote ganó $5,68 \text{ Mg ha}^{-1}$, lo que equivale a $0,39 \text{ cm ha}^{-1}$ más de suelo entre los $0,93 \text{ cm ha}^{-1}$ que recibió y los $0,54 \text{ cm}$ que perdió.

Siendo esta la primera vez que se mide la erosión eólica a campo y sin haber antecedentes de valores normales o de rangos de erosión para la zona, las erosiones de $25,35$ y $44,23 \text{ Mg ha}^{-1}$ ocurridas el 14 de Diciembre de 2007 y 3 de Enero de 2008 en el tratamiento N-S, son dudosas por su alto valor a pesar que se utilizó el mismo instrumental, la misma metodología de cálculo que el resto de los resultados obtenidos.

3.5.2- Erosión neta durante la campaña 2008-2009

Durante la campaña 2008-2009 sucedió lo esperado, habiendo una menor pérdida de humedad del suelo en el lote N-S y un predominio de los vientos medios máximos del NE, la erosión del lote NE-SW alcanzó a $113,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ mientras que la del lote N-S fue de $88,59 \text{ Mg ha}^{-1}$, erosiones obtenidas sin considerarse las tormentas del 20 y 23 de diciembre por tener más de un viento predominante. Los resultados de las tormentas en las que el viento circuló del NE, los siguientes:

- el 20 de Diciembre el lote NE-SW perdió $0,08$ y el lote N-S $1,51 \text{ Mg ha}^{-1}$. De igual manera, el 23 de Diciembre, el tratamiento NE-SW se erosionó $0,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el lote N-S ganó $0,32 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- el lote NE-SW ganó $8,09 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el N-S $4,02$ durante la tormenta del 26 de Diciembre (t).
- comparando las tormentas del 31 de Diciembre y 24 de Enero, ambas coinciden en el sentido del viento predominante y en el sentido del viento

máximo (NNW), resultando que el 31 de Diciembre el lote NE-SW perdió $8,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el N-S tuvo una ganancia de $0,01 \text{ Mg ha}^{-1}$; mientras que el 24 de Enero, el lote NE-SW ganó $2,11 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el NE-SW tuvo una erosión de $0,17 \text{ Mg ha}^{-1}$.

- la tormenta del 6 de Enero, el tratamiento NE-SW se erosionó $0,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el N-S tuvo un aporte de $0,77 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- las tormentas del 12 y 22 de Enero, tienen en común que el viento máximo provino del NE, los tratamientos N-S se erosionaron un $4,48$ y $1,18 \text{ Mg ha}^{-1}$ y los tratamientos NE-SW ganó $0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $0,49 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Al analizar las tormentas con fechas del 19, 21 (t), 23, 25 de Diciembre, 3 y 16 de Enero, que tuvieron una circulación del viento del E, formando un ángulo de 45° con el tratamiento NE-SW y 90° con el N-S, se obtuvieron los siguientes resultados:

- en la tormentas del 19 de Diciembre, el tratamiento NE-SW se erosionó $109,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ mientras que el tratamiento N-S ganó $53,33 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- las tormentas del 21 de Diciembre (t) y 3 de enero en las cuales la circulación de las velocidades máximas fueron del NE y ENE, con altas velocidades máximas ($35,28$ y $38,52 \text{ km h}^{-1}$ respectivamente), en ambos eventos el lote NE-SW ganó, respectivamente $6,01$ y $1,32 \text{ Mg ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento N-S tuvo mínimas pérdidas: $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ y pequeñas ganancias de $0,23 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- la tormenta del 23 de Diciembre produjo datos que podrían no ser confiables debido que predominaron dos direcciones de vientos (NE y E), la circulación NE ya fue analizada y calculando la erosión según el sentido del viento de E a W, resultó que ambos tratamientos ganaron material, el NE-SW $0,44$ y el N-S $0,15 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- en la tormenta del 25 de Diciembre el tratamiento NE-SW perdió $0,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el N-S ganó $3,36 \text{ Mg ha}^{-1}$.
- el 16 de Enero el lote N-S ganó $0,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ y el NE-SW perdió $0,47 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Las tormentas del 21 de Diciembre (m) y 9 de Enero los vientos predominantes soplaron paralelos al lote N-S y el lote NE-SW formó un ángulo de 45° . El 21 de Diciembre (m) la erosión del tratamiento N-S fue la máxima registrada ($142,25 \text{ Mg ha}^{-1}$) y de $3,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ para el NE-SW. Al revés del 9 de Enero, en que el lote NE-SW ganó $0,03$ y el N-S se erosionó $3,43 \text{ Mg ha}^{-1}$.

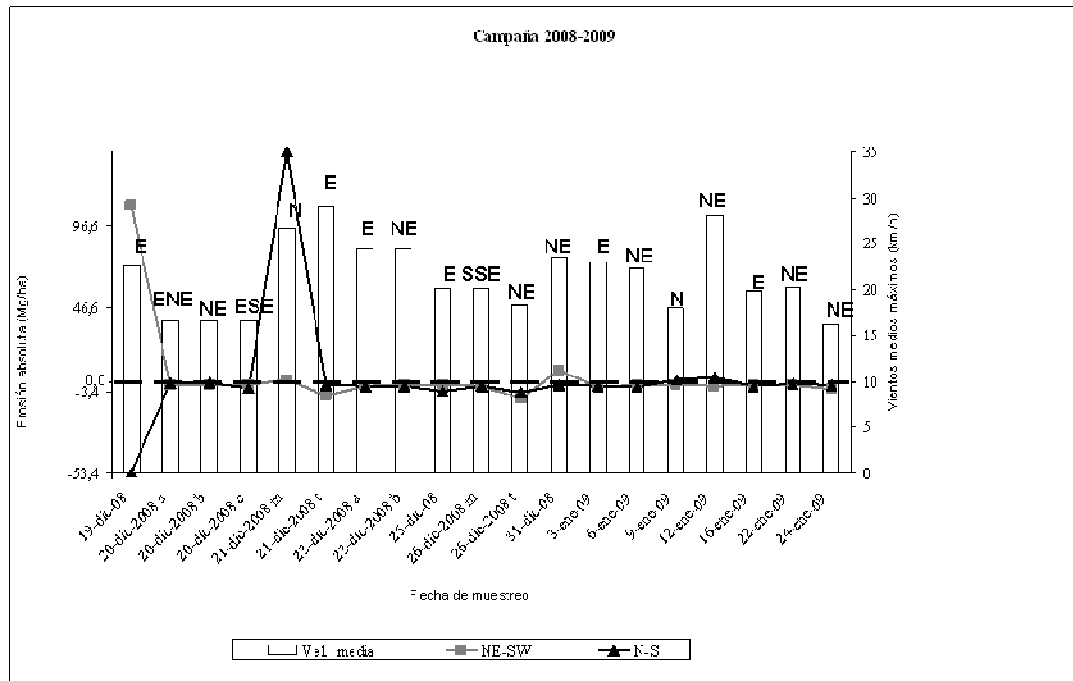


Figura 3.6. Campaña 2008-2009. Relación entre la pérdida de material en los lotes sembrados y los vientos máximos según su velocidad y sentido de circulación. Valores positivos indican pérdida de material y negativos ganancias. Las letras sobre las barras indican la dirección predominante del viento.

Analizando cada una de las tormentas en forma individual, se comprobó un comportamiento similar a la campaña anterior:

- cuando la dirección predominante de los vientos medios máximos fueron del N y superando los porcentaje de vientos N-S/S-N al NE-SW/SW-NE, la erosión en la parcela sembrada N-S superó a la de lote sembrado NE-SW.
- en los eventos erosivos en los cuales la dirección de los vientos medios máximos predominante fueron del E, mientras el porcentaje de viento del N-S/S-N fueron superiores a los del NE-SW/SW-NE y los primeros fueron disminuyendo la erosión también lo hizo hasta incluso llegar a producirse ganancias de material en las parcelas.
- cuando el viento medio máximo predominante sopló del NE, el balance y entrada de material en los tratamientos dependió de la combinación dirección del viento máximo y porcentaje de vientos. Mientras estos últimos fueron paralelos a la dirección de siembra NE-SW, la erosión fue baja en los tratamientos.
- cuando la dirección del viento medio máximo tuvo un origen diferente al N o NE, a medida que el porcentaje de vientos NE-SW/SW-NW disminuyeron y se equipararon con los del N-S, ambos sentidos de siembra tendieron a erosionarse.

Los resultados de la campaña 2008-2009 coinciden con los obtenidos en la campaña anterior. Los resultados dejan en claro que la erosión eólica dependió de la combinación del sentido, frecuencia y velocidad de los vientos y la disposición del cultivo respecto a estos. Y se surgen las dudas si los vientos medios máximos con

sentido circulación N-S son más erosivos que los NE-SW, ó si estos últimos transportan gran cantidad de material en suspensión por provenir de zonas mucho más agriculturizadas y el cual se va depositando a medida que transitan hacia el oeste.

En esta campaña, el tratamiento N-S las pérdidas alcanzaron los 151,56 Mg ha⁻¹ equivaliendo a 1,06 cm ha⁻¹, siendo las ganancias de 62,97 Mg ha⁻¹, o un aporte de 0,4 cm ha⁻¹ de suelo. En el tratamiento NE-SW, la erosión fue de 123,01 Mg ha⁻¹, equivaliendo a que el lote perdió 0,87 cm ha⁻¹ mientras que tuvo unos 9,77 Mg ha⁻¹ de aporte de material, lo que equivale a una capa de 0,006 cm ha⁻¹.

Siendo estas las primeras mediciones de erosión eólica a campo y desconociéndose el comportamiento de la erosión en la zona, los elevados pesos de material transportado de 53,33, 109,48 y 142,25 Mg ha⁻¹ son resultados dudosos. Aunque en esta campaña dichos movimientos de material ocurrieron en tormentas en las cuales las velocidades máximas del viento fueron de 59,5 y 65, 9 km ha⁻¹, siendo las velocidades máximas más altas registradas por la estación meteorológica.

3.5.3.- Tasa de erosión (TE)

Este parámetro refleja la erosión ocurrida por unidad de tiempo. En la Figura 3.7 se observa que en la primer campaña, media de la TE fue superior en el tratamiento N-S cuando el viento influyó sobre cada lote a 0°, 45° y 90° con respecto a las direcciones de siembra.

En la segunda campañas la TE del tratamiento NE-SW fue superior al tratamiento N-S, siendo pequeña la diferencia de pérdida de material entre los lotes. Estos resultados son producto de la combinación de velocidades, frecuencias y sentidos de circulación de los vientos, como se explicó en el punto anterior. Volviéndose a plantear el dilema si realmente los vientos N-S a pesar de no ser los predominantes son los erosivos o si los vientos NE-SW realizan aportes de material que trasladan de las zonas más agriculturizadas al este de la zona de ensayo.

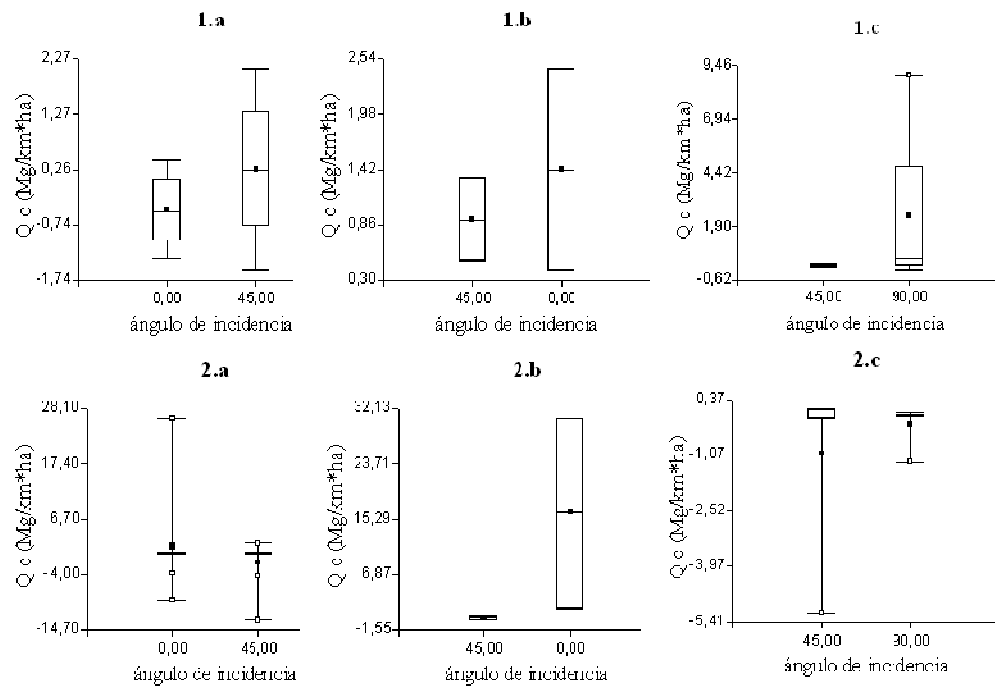


Fig 3.7. Tasa de erosión en cada tratamiento según el ángulo de incidencia de los vientos predominantes superior a $14,4 \text{ km h}^{-1}$ con las líneas de siembra orientadas NE-SW y N-S: a) 0° y 45° , b) 45° y 0° y c) 45° y 90° durante la 1) campaña 2007-2008 y 2) campaña 2008-2009.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN

4.1- Humedad del suelo

Durante la segunda campaña fue significativamente superior el porcentaje de humedad del suelo en el tratamiento N-S, sin ser tan evidente durante la primera campaña. Coincidente con estos contenidos de humedad, durante la campaña 2007-2008 el tratamiento N-S se erosionó más que el NE-SW y en la campaña 2008-2009 la erosión fue mayor en el tratamiento NE-SW que en el N-S.

Reducir la velocidad del viento implica reducir la evaporación y su efecto es más notorio cuando existe un alto el déficit de presión de vapor. Incluso una barrera reduce más la evaporación en un ambiente con velocidades de vientos relativamente bajas ($7,2 \text{ km h}^{-1}$) y bajas humedades relativas, que en un ambiente con humedad relativa alta y velocidades de viento de $21,6 \text{ km h}^{-1}$ con humedad relativa baja (Skidmore y Hagen 1977). Esta podría ser una explicación por la cual el tratamiento N-S, en ambas campañas, tendió a conservar más humedad superficial, ya que las velocidades medias máximas de los vientos con sentido N-S, en general, fueron de menor velocidad que vientos con otras direcciones.

Los resultados del seguimiento de humedad del suelo en los primeros 5 centímetros de profundidad, no se le pueden atribuir a la precipitación total, ni a la distribución de las precipitaciones, porque de ser así no se deberían haber encontrado diferencias de humedad entre los tratamiento, por lo que hay indicios de un efecto de la orientación del cultivo.

4.2- Componentes del rendimiento

El objetivo del seguimiento del stand de plantas fue detectar pérdidas por sepultamiento o por vuelco, sin haberse encontrado evidencias de ninguna de estas dos situaciones. La densidad de plantas por metro cuadrado en ambas campañas para los dos tratamientos, fue en promedio de 5 plantas por metro cuadrado, pero la distribución de las plantas en los lotes fue desuniforme.

La desuniformidad resultó debido que a pesar de haberse regulado la sembradora para que deposite las semillas a 2,5 centímetros por debajo de la superficie del suelo y una distancia entre ellas de 50 centímetros, no se logró mantener la densidad de siembra constante por la interferencia que ejercieron la alta cantidad de restos radiculares y la disparidad en el tamaño de los agregados que resultaron de la roturación del pastizal. La distribución irregular del cultivo permitió que en zonas ralas el viento haya llegado a la superficie del suelo y transportado material (Funk y Frielinghaus 1998).

La altura de las plantas de girasol aumenta por definirse un mayor número de hojas entre los 20 a 25 días después de la siembra o como respuesta a la competencia intraespecífica por espacio, radiación, agua y nutrientes ocasionada por el aumento en la densidad. Las condiciones ambientales en este período influyen en el dosel vegetal; sin embargo el logro de una mayor altura no depende de un mayor número de hojas sino un alargamiento de los entre nudos (Bellido 2003, Pereyra Irujo et. al. 2005).

En este ensayo, no se encontraron diferencias significativas en la altura del cultivo entre los tratamientos en cada campaña pero si entre campañas. Tanto que la altura del cultivo y el contenido de humedad del suelo hayan resultado superior en la campaña 2008-2009 que en la campaña 2007-2008 en el tratamiento N-S, son indicios que la orientación del cultivo influyó en dichas variables.

Siendo la densidad de plantas por superficie similar en ambos tratamientos y en ambas campañas, y a pesar que no se midieron los entrenudos ni se contaron el número de hojas, las mayores precipitaciones al inicio del cultivo en la campaña 2008-2009 hacen suponer que en la segunda campaña la mayor altura del cultivo en ambos tratamientos, con respecto a la primera, se debió a la mayor producción de hojas.

Fryrear et. al. (1975), mediante un ensayo realizado con túnel de viento, encontró que los daños producidos por la erosión eólica reducen la densidad, el ritmo de crecimiento y la altura de las plantas de las arvejas, pimientos, zanahorias y algodón tras afectar su actividad metabólica y fisiológica, pero el girasol, las cebollas y una variedad de porotos resultaron ser levemente resistentes al daño por erosión. En cambio el ritmo de crecimiento y la altura de plantas de los zapallos y del girasol, aumento después de exponerlos a 5 minutos de tormentas de vientos, lo que indico que pequeños daños físicos estimulan el desarrollo de estos dos cultivos. En este ensayo no se detectaron daños físicos, pero no se realizaron observaciones de manera minuciosa, pudiendo haber habido daños imperceptibles a simple vista.

Con respecto a los componentes del rendimiento, en el tratamiento N-S, durante la campaña 2007-2008, el diámetro de capítulos y el peso de mil granos fueron significativamente superiores como también lo fueron la altura y el rendimiento en dicho tratamiento en la campaña 2008-2009. Estos resultados indican que la orientación N-S permitió al cultivo un mejor desarrollo, viendose aun más favorecido cuando las condiciones ambientales fueron propicias como el caso de la campaña 2008-2009.

El diámetro de capítulos en ambos tratamientos resultó de mayor tamaño durante la primera campaña porque las precipitaciones fueron más abundantes entre los 22 a 55 días después de la siembra, período en el se produce el desarrollo del mismo, en comparación con la segunda campaña.

Las flores por capítulo son los granos potenciales. Mientras las condiciones ambientales sean favorables existe la posibilidad de que un mayor número de flores cuajen y los granos lleguen a madurez fisiológica (Bellido 2003).

En este ensayo sólo se tomaron muestras de la humedad del suelo mientras hubo erosión eólica, es decir hasta que la cantidad de material pesado en los colectores fueron inferiores a 0,02 g. Esto motivó que no se hiciera un seguimiento completo de la variación de la humedad del suelo desde la siembra hasta la cosecha del cultivo. Entre los 45 y 60 días después de la siembra, período de cuajado y comienzo del llenado de granos, las precipitaciones fueron similares en ambas campañas. Considerando esto el mayor rendimiento y peso de mil granos en el tratamiento N-S durante las campañas, reafirma que la siembra en este sentido fue beneficioso para el cultivo.

No todos los componentes del rendimiento presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, los resultados indican que el cultivo orientado N-S tuvo mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo que el sembrado NE-SW, lo cual fue más

evidente en la segunda campaña en la que las condiciones ambientales fueron más favorables para el cultivo.

4.3- La erosión eólica según los vientos y la orientación del cultivo

Los resultados de los cálculos del material transportado deberían responder a una relación inversa al contenido de humedad del suelo. En la campaña 2007-2008 la erosión fue superior en el tratamiento N-S, mientras que solo en dos muestreos la humedad del suelo fue mayor en ese tratamiento. Durante la campaña 2008-2009, la humedad del suelo fue significativamente superior en el lote cultivado N-S y este tratamiento se erosionó en menor cantidad que el tratamiento NE-SW aunque la pérdida de material fue considerable.

Durante la campaña 2007-2008, el tratamiento N-S se erosionó más que el sembrado en dirección NE-SW a pesar que en solo dos de las once tormentas evaluadas el viento predominó del N. En la campaña 2008-2009, de las diecisiete tormentas analizadas, se registraron dos tormentas con viento predominante del N y dos con sentido de circulación muy próximo al N (del SSE) siendo las pérdidas totales de material superior en el tratamiento sembrado en dirección NE-SW y la erosión del lote sembrado N-S a pesar de haber sido menor fueron cuantiosas.

En los eventos erosivos en ambas campañas se repitió el siguiente comportamiento:

- a) mientras el viento máximo predominante circulo en forma paralela a las direcciones de siembra N-S la erosión en el tratamientos N-S superó a la del NE-SW.
- b) mientras en un evento erosivo, el viento máximo predominante y el porcentaje de vientos y/o el viento máximo registrado fueron del N, ambos tratamientos tendieron a erosionarse.
- c) mientras en un evento erosivo, el viento máximo predominante y el porcentaje de vientos y/o el viento máximo registrado fueron del NE, ambos tratamientos tendieron a ganar material.
- d) cuando la dirección de los vientos medios máximo predominante fue del E, mientras que el porcentaje de viento del N-S/S-N superó a los del NE-SW/SW-NE, la erosión en general fue más intensa en el tratamiento N-S. A medida que el porcentaje de vientos N-S/S-N fueron disminuyendo la erosión también mermó en ambos tratamientos y hasta inclusive llegaron a tener ganancias.

Al desconocer las características de los vientos de la zona y por los resultados obtenidos, surgen las incógnitas si realmente los vientos máximos predominantes (NE) son los erosivos, ó, si a pesar de ser los vientos erosivos pero por provenir de zonas más agriculturizadas, contienen mucho material en suspensión que en el balance de entrada y salida, termina siendo mayor la cantidad de material que aportan en su trayecto que el que recogen en el mismo.

En el caso que los vientos NE sean provisosores de material a medida que circulan hacia el oeste, la orientación de siembra a 45° (N-S) no fue la conveniente ya que en el tratamiento N-S se depositó menor cantidad de material.

La relación de porcentajes de vientos del N-S/S-N con NE-SW/SW-NE fue un componente clave cuando el viento medio predominante fue del E y NE, debido que al relacionarse el sentido de circulación de los vientos con el transporte de material, se observó que con altos porcentajes de vientos con sentido N-S/S-N existió erosión en ambos tratamientos. En cambio, cuando el porcentaje de los vientos NE-SW/SW-NE fueron superiores, se dieron 3 situaciones a) la erosión fue mínima en ambos tratamientos, b) el lote N-S tuvo mínimas pérdidas y el lote NE-SW ganancias y c) ambas direcciones de siembra ganaron material durante las tormentas. Tendencias que fue más difícil de percibir en la campaña 2008-2009, probablemente por el mayor contenido de humedad del suelo en el tratamiento N-S y el mayor porcentaje de vientos NE-SW/SW-NE registrados en la mayoría de las tormentas durante dicha campaña.

Es sabido que orientar barreras rompevientos en forma perpendicular a los vientos predominantes no garantiza que los vientos que ocurran en forma paralela a la barrera vegetal tengan la mínima fuerza de erosión. En este ensayo no se determinó previamente la fuerza de los vientos del NE ni del N, por lo que puede que las direcciones de siembras del cultivo no sean eficientes por las características de los vientos. Se considera que la orientación más adecuada de una barrera será aquella tras considerar la magnitud y dirección de los vientos paralelos y perpendiculares (Skidmore 1965, Skidmore y Woodruff 1968, Skidmore y Hagen 1977) cuestión que no fue analizada por falta de registros climáticos en la zona de estudio.

Las características de los vientos son muy importantes, en un estudio realizado por Skidmore y Hagen (1977), determinaron que cuando predominan fuerzas erosivas bajas, la orientación de la barrera es prácticamente ineficiente para controlar la erosión. En Bismark, (Dakota del Norte, EEUU) la fuerza de los vientos fueron débiles y no se encontraron diferencias entre una barrera orientada a 0°, 45° y 90°, pero si lo hicieron en Great Falls (Montana, EEUU) donde los vientos fueron de mayor magnitud. Por lo tanto una barrera orientada en forma perpendicular a los vientos predominantes, será mucho más eficiente ante fuerzas de vientos erosivos fuertes que débiles. Lo que reafirma la importancia de conocer las características de los vientos para orientar la barrera de manera que logre la mayor eficiencia en el control de la erosión.

Una incertidumbre que permanece en este estudio, se refiere al cálculo exacto de la erosión eólica, debido que para esto el parámetro fundamental es la determinación exacta de la dirección predominante del viento erosivo en cada tormenta. Una fuente de error frecuente en este cálculo es la variación de la dirección a lo largo de un período de medición (Buschiazzo et al. 1998b). A pesar que cada evento erosivo tuvo una dirección predominante de viento medio máximo, la circulación del viento fluctuó constantemente y por ende también varió zona protegida según la procedencia en relación a la orientación de la cortina rompe viento (Gandemer 1981).

La imposibilidad de determinar con mayor precisión el momento en que ocurrió la erosión dentro de cada período de medición no permitió identificar con exactitud las velocidades y las direcciones de los vientos erosionantes. De hecho, se consideraron dirección y velocidad de los vientos de aquellos momentos en los cuales la velocidad del viento fue superior a la velocidad umbral establecido. Es posible que en

condiciones de suelos húmedos, aun con velocidades de vientos elevadas, no se haya producido erosión. De haber contado con el equipamiento adecuado para determinar exactamente estas variables, por ejemplo un Sensit, que permite determinar exactamente el momento en que existió erosión, ya que mide la cantidad de golpes de partículas mayores a 200 μm por medio de pulsos eléctricos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1- Conclusiones generales

El objetivo de este trabajo fue analizar la eficiencia de una técnica de manejo, de fácil y bajo costo de implementación como es la siembra de un cultivo con cierto ángulo con respecto a la dirección predominante de los vientos máximos, para controlar la erosión eólica y generar un microclima favorable para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

De los resultados obtenidos se pudo concluir que:

- No se confirma totalmente la hipótesis que planteaba que la erosión sería menor con el cultivo sembrado con mayor ángulo con respecto a la dirección predominante de los vientos (dirección N-S). Dicha orientación de siembra presentó mayor pérdida de material en la primer campaña y menor en la segunda, que el tratamiento sembrado NE-SW. A pesar que en la segunda campaña la erosión fue menor, la pérdida de suelo en el tratamiento N-S fue cuantiosa. Los vientos con circulación N-S o S-N, a pesar de no ser los de circulación predominante, parecerían tener una importante fuerza erosiva. Explicación que no pudo ser aseverada totalmente por la imposibilidad de analizar adecuadamente la velocidad y la dirección del viento durante el período erosivo.
- El material transportado desde o hacia los lotes de ensayo, no sólo dependió del porcentaje de vientos erosivos sino de su combinación con la dirección y velocidad del viento predominante y del viento máximo con respecto a la barrera vegetal. Mientras predominaron los vientos con circulación N-S/S-N, se produjo erosión en ambos tratamientos; a medida que éstos disminuyeron y aumentaron los del NE-SW/SW-NE, la erosión en ambos tratamientos mermó y hasta incluso tuvieron aportes de material de sectores externos al lote de medición.
- Existieron ganancias de material en las parcelas cuando los vientos provinieron del NE. Podría ser que estos vientos a pesar de ser vientos erosivos, realicen aportes por su gran concentración de partículas en suspensión debido a que antes de llegar al área de estudio recorren zonas al este que están más agriculturizadas y las partículas pueden ser transportadas por el viento por varios kilómetros.
- Se confirmó la hipótesis que suponía que tanto la humedad del suelo como varios componentes del rendimiento (altura, diámetro, rendimiento y peso de mil granos) serían favorecidos cuando el cultivo de girasol se orientara en sentido N-S.

5.2- Recomendaciones generales

Esta primera investigación sobre erosión eólica en la provincia de San Luis, demuestra que una técnica simple, con cero costos, como es la siembra del cultivo en ángulo agudo a la dirección de los vientos predominantes mejora varios componentes del rendimiento.

Deberá confirmarse si esta tecnología también permite controlar la erosión eólica, debiéndose utilizar metodologías más precisas para lograrlo, teniendo en cuenta la necesidad de:

determinar la velocidad umbral de los vientos,

realizar un análisis de las características de los vientos para elegir las orientaciones de siembras más adecuadas según las fuerzas erosivas de los vientos en cada sitio,

instalar un tercer tratamiento orientado en un sentido en el cual la circulación de vientos sea ínfima y esté perpendicular a los vientos predominantes (orientada NW-SE), para determinar si el material erosionado mantiene el mismo comportamiento según la circulación de los vientos del N y NE,

llevar a cabo el ensayo en las instalaciones de la EEA San Luis para facilitar el muestreo y toma decisiones,

descartar influencias ambientales sobre el comportamiento del cultivo, realizando un seguimiento de las condiciones ambientales y del porcentaje de humedad del suelo durante todo el ciclo del cultivo y con muestreos a mayores profundidades,

y

la instalación de un Sensit para registrar con precisión el origen del viento y poder lograr una cuantificación del material erosionado con mayor exactitud.

BIBLIOGRAFÍA

- Aase, J. K. y F. H. Siddoway. 1974. Tall wheatgrass barriers and winter wheat response. *Agr. Meteorol.* 13:321-338.
- Al-Sheikh A., Delgado J. A., Barbarick K., Sparks R., Dillon M., Qian Y. y Cardon G. 2005. Effects of potato–grain rotations on soil erosion, carbon dynamics and properties of rangeland sandy soils. *Soil & Tillage Research*, 81: 227–238
- Amir Sajjadi, B. S. 1986. Erosion protection: for cotton: assessment of weeping lovegrass. Tesis magister. Texas Tech University, EEUU.
- Armbrust, D. V. 1968. Windblown soil abrasive injury to cotton plants. *Agronomy Journal*, 60: 622-625.
- Armbrust, D. V. 1972. Recovery and nutrient conten of sandblaste soybean seedlings. *Agronomy Journal*, 64: 707-708.
- Armbrust. D. V. 1979. Wind and sandblast-damage to tobacco plants at various growth stages. *Tobacco Science*, 23: 117-119.
- Armbrust. D. V. 1982. Physiological Responses to Wind and Sandblast Damage by Grain Sorghum Plants. *Agronomy Journal*, 74: 133-135.
- Armbrust, D. V. 1984. Wind and sandblast injury to field crops. *Agronomy Journal*, 76(6): 991-993.
- Armbrust, D.V., Chepil, W.S. y Siddoway, F. H. 1964. Effects of ridges on erosion of soil by wind. *Soil Science Society of America Proceedings*, 28(4): 557-560.
- Bellido, L. L. 2003. Girasol. Pp: 557-680 en *Cultivos Industriales*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Bertón, J. A. y Echeverría, J. C. 1999. Cambio Climático global en San Luis: Régimen pluviométrico. VII Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo. UNSL, San Luis. 48 - 50.
- Bennett, H. H. 1939. *Soil Conservation*. McGraw-Hill Book Company, New York. Pp: 993.
- Bertón, J. A. y Echeverría, J. C. 2000. Las lluvias extienden las zonas productivas. En: *El Diario de la República*, San Luis, Argentina. Enero 3, 2000. Sec. Villa Mercedes, pp: 4-5.
- Bilbro J. D. y Fryrear, D. W. 1994. Wind Erosion losses as related to plant silhouette and soil cover. *Agronomy Journal*, 86: 550-553.
- Billiman Stunder, B. J. y Arya, S. P. S. 1988. Windbreak effectiveness for storage pile fugitive dust control: a wind tunnel study. *JAPCA* 38: 135-143.
- Black, A. L. y Aase, J. K. 1988. The use of perennial herbaceous barriers for water conservation and the protection of soils and crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22/23: 135-148.
- Buschiazzo, D. E., Aimar S. B. y Zobeck T. M. 1998b. Wind Erosion in Loess Soils of the Semiarid Argentinian Pampas. XVI Int. Congress Soil Science, Montpellier. Francia.

- Buschiazzo, D.E.; Quiroga, A.R. y Stahr, K. 1991. Patterns of organic matter distribution in soils of the semiarid argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 154: 437-441.
- Buschiazzo, D. E. y Taylor V. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la región Semiárida Pampeana Argentina. *Ciencias del Suelo*, 10:46-53.
- Buschiazzo, D. E., Zanotti, N, Mirassón H., Zappa, M. y Abascal, S. 1998a. Incidencia económica de la erosión eólica en sistemas de labranza en la región semiárida. Pp: 319-325 en Panigatti, J. L., Buschiazzo, D. y Marelli, H (eds.). *Siembra directa II*. Editorial Hemisferio Sur.
- Casas, R. 1988. Los procesos de degradación y la conservación de suelos. *Revista Materiales*, 4: 68-72.
- Carbutt, C., Tau, M. y Stephens, A. 2008. Temperate grassland region: south África. En *Life in a Working Landscape: Towards a Conservation Strategy for the World's Temperate Grasslands*. The World Temperate Grasslands Conservation Initiative Workshop. Hohhot, China June 28-29. pp: 22-37.
- Castro, J. M. 1983. Manual para la recuperación de áreas erosionadas en la Patagonia. INTA EEA Trelew.
- Censo Nacional Agropecuario. 1937. Agricultura. Ministerio de Agricultura. República Argentina.
- Censo Nacional Agropecuario. 2002. Agricultura. Ministerio de Agricultura. República Argentina.
- Chen, Y. y Cai, Q. 2003. Dust storm as an environmental problem in North China. *Environmental Management*, 32 (4): 413-417.
- Chen, W., Zhibao, D., Zhenshan, L. y Zuotao, Y. 1996. Wind tunnel test of the influence of moisture on the erodibility of loessial sandy loam soils by wind. *Journal of Arid Environments*, 34: 391-402.
- Chepil, W. S. 1945a. Dynamics of wind erosion. I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.* 60: 305.
- Chepil, W. S. 1945b. Dynamics of wind erosion: II. Initiation of soil movement. *Soil Sci.* 60: 397-411.
- Chepil, W. S. 1945c. Dynamics of wind erosion: III. The transport capacity of the wind. *Soil Sci.* 60: 475-480.
- Chepil, W. S. 1950. Properties of soil which influence wind erosion: I. *Soil Science*, 69: 149-162.
- Chepil, W. S. 1951. Properties of Soil Which Influence Wind Erosion: III. Effect of Apparent Density on Erodibility. *Soil Science*, 71 (2): 141-154.
- Chepil, W. S. 1953. Factors that influence clod structure and erodibility of soils by wind: II. Water stable structure. *Soil Science*, 77: 389-399.
- Chepil, W. S. 1955. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind. IV. Sand, silt and clay. *Soil Science*, 80: 155-162.
- Chepil, W. S. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. *Soil Science Society of America Proceedings*, 20(2): 288-292.

- Chepil, W. S. 1958. Soil conditions that influence wind erosion. USDA Tech. Bulletin 1185.
- Chepil, W. S., Englehorn, C. L. y Zingg, A. W. 1952. The effect of cultivation on erodibility of soils by wind. Soil Science Society of America Proceedings, 16(1): 19-21.
- Chepil, W. S. y Milne, R. A. 1941. Wind erosion of soil in relation to roughness of surface. Soil Science, 52: 417-133.
- Chepil, W. S., Siddoway F. H. y Armbrust D. V. 1964. In the Great Plains: Prevailing Wind Erosion Direction. Journal of Soil and Water Conservation, 19 (2): 67-70.
- Chepil, W. S. y Woodruff, N. P. 1963. The physics of wind erosion and its control. Adv. in Agron. 15: 211-302.
- Collado, A. D. 2003. Teledetección y estudios sobre desertificación en San Luis. Pp: 159-178 en Aguilera, M. O. y Panigatti, J. L. (eds.). Con las metas claras. Ediciones INTA.
- Covas, G. 1974. Los pastos sudafricanos en relación a la forrajicultura en La Pampa, con especial referencia al pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Simposio sobre pasto llorón en la Provincia de La Pampa. Colegio de Ingenieros Agrónomos. Santa Rosa. La Pampa.
- Covas, G. 1991. Introducción del pasto llorón en la República Argentina. En: Fernández, O., Brevedan, R. y Gargano A (eds). El pasto llorón, su biología y manejo. CERZOS y Dep. de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Daniel, H. A. 1936. Physical changes in soils of the Southern High Plains due to cropping and wind erosion. Journal of the American Society of Agronomy, 28(7): 570-580.
- Daniel, H. A. y Langham, W. H. 1936. The effect of wind erosion and cultivation on the total nitrogen and organic matter content of soils in the southern High Plains. Journal of the American Society of Agronomy, 28(8):587-596.
- Delgado, J. A., Sparks R. T., Follett R. F., Sharkoff J. L. y Riggenbach R. R. 1999. Use of winter cover crops to conserve soil and water quality in the San Luis Valley of South Central Colorado. Pp: 125-142 en Lal R. (eds.) Soil Quality and Soil Erosion. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Demaría M. R. 2008. Cambios en la cobertura de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis (Argentina), y su relación con variables climáticas y ambientales. Análisis multitemporal mediante teledetección y SIG. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá, España.
- Demmi M. A. 1987. Efecto de las prácticas culturales sobre algunas propiedades edáficas de los suelos del centro – este de la provincia de San Luis. Tesis magíster. Universidad Nacional del Sur.
- de Oro, L y Buschiazzo, D. E. 2009. Threshold wind velocity as index of soil susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions. Land Degradation & Development, 20: 14–21.

- Dirección General de Planeamiento Estadística y Censos. 1992 a. Atlas estadístico 1992 Provincia de San Luis. Gobierno de la provincia de San Luis.
- Dirección General de Planeamiento Estadística y Censos. 1992 b. Censo Nacional Agropecuario 1988. Gobierno de la provincia de San Luis.
- Echeverría, J. C. y Kall, G. F. 1990. Las lluvias en Villa Mercedes (S. L.). Información Técnica N° 113. INTA Centro Regional La Pampa – San Luis. EEA San Luis.
- Fairbridge, R. W. y Finkl, C. W. 1979. Physics, Chemistry, Biology, Fertility and Technology. Pp: 608-615 in Fairbridge, R. W. y Finkl, C. W. (eds.) Encyclopedia of Soil Science. Editorial Dowden, Hutchinson & Ross.
- Fryrear, D. W. 1985. Soil cover and wind erosion. Transactions of the ASAE, 28(3): 781–784.
- Fryrear, D. W. 1986. A field dust sampler. J. Soil Water Conservation, 41: 117-120.
- Fryrear, D. W. 1990. Wind erosion: mechanics, prediction, and control. Adv. In Soil Science, 13: 187-199.
- Fryrear, D.W., Armbrust, D. V. y Downes, J. D. 1975. Plant response to wind erosion damage. In: 30th Annual Meeting of the Soil Conservation Society of America, San Antonio, TX.
- Fryrear, D. W. y Saleh, A. 1993. Field wind erosion: vertical distribution. Soil Science, 155: 294-300.
- FUNIF. 1999. Mapa productivo provincial. Pp: 173 Tomo I. Caracterización productiva de la provincia de San Luis.
- Funk, R. y Frielinghaus M. 1998. Influence of sugar beet and corn on wind erosion. En: Proceedings of the International Workshop on Technical aspects and use of wind tunnels for wind-erosion control; Combined effect of wind and water on erosion processes. November 17-18, Ghent, Belgium, I.C.E. Special Report No. 1998/1, 53-64.
- Gandemer, J. 1981. The aerodynamic characteristics of windbreaks, resulting in empirical design rules. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn, 7: 15.
- Gao H., Zonglu Y. y Zhangrui F. X. 2006. The Benefits of Conservation Tillage on the Resource & Environment. Pp: 65-72 en Conservation Agriculture Technology and Application Department of Agricultural Mechanization Management, Ministry of Agriculture, China.
- Gilfedder, L., Williams, D., Lunt, I., Carter, O., Morgan, J. y McDougall, K. 2008. Temperate grassland region: southeastern Australia. En Life in a Working Landscape: Towards a Conservation Strategy for the World's Temperate Grasslands. The World Temperate Grasslands Conservation Initiative Workshop. Hohhot, China June 28-29. pp: 108-117.
- Gomes, L., Arrúe, J. L., López, M. V., Sterk, G., Richard, D., Gracia, R., Sabre, M., Gaudichet, A. y Frangi, J. P. 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. Soil Science Catena 52: 235–256.
- Goudie, A. S. y Middleton, N. J. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. Earth Science 56: 179–204.

- Hagen, L. J. 1994. Wind erosion in the United States. *Roczniki Akademii Rolniczejw Poznaniu – CCLX*: 22-32.
- Hagen, L. J., Skidmore E. L. y Dickerson, J. D. 1972. Designing narrow strip barrier systems to control wind erosion *Journal of Soil and Water Conservation*, 27 (6): 269-272.
- Hagen, L. J., Skidmore, E. L. y Layton, J. B. 1988. Wind Erosion Abrasion: Effects of Aggregate Moisture. *Transactions of the ASAE*, Vol. 31(3): 725-728.
- Hagen, L. J. y Woodruff, N. P. 1973. Air pollution from dust storms in the Great Plains. *Atmospheric Environment*, Vol. 7, pp. 323-332.
- Huanwen G., Yao Zonglu Y., Zhangrui F.X. 2006. The Benefits of Conservation Tillage on the Resource & Environment. Pp: 65-72 en *Conservation Agriculture Technology and Application Department of Agricultural Mechanization Management, Ministry of Agriculture, China*.
- Klingebiel, A. A y Montgomery, P. H. 1961. Land Capability Classification. U.S.D.A. Soil Conservation Service. *Agronomy Handbook N° 210*. Whashington, D. C.
- Kopta, F. 1999. Capítulo 6. De: Problemática ambiental con especial referencia a la Provincia de Córdoba – Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo – ACUDE. Edición auspiciada por UNESCO y financiada por la Embajada Real de los Países Bajos. 203 págs. Córdoba, Argentina. ISBN: 987-9202-12-0.
- Larionov, G. A., Skidmore, E. L. y Kiryukhina, Z. P. 1999. Wind erosion in Russia: Spreading and quantitative assessment. En Skidmore, E. L. y Tatarko, J. (eds), *Wind Erosion - Proceedings of an International Symposium/Workshop*, Manhattan, Kansas. United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Wind Erosion Research Unit, Kansas State University.
- Li, F. R., Zhao, L. Y., Zhang, H., Zhang, T. H. y Shirato, Y. 2004. Wind erosion and airborne dust deposition in farmland during spring in Horqin Sandy Land of eastern Inner Mongolia, China. *Soil and Tillage Research*, 75(2): 121-130.
- Liu L.-Y., Li, X.-Y, Shia., P.-J., Gao S.-Y., Wang J.-H., Ta W.-Q., Song Y., Liu M.-X., Wang Z. y Xiao B.-L. 2007. Wind erodibility of major soils in the farming-pastoral ecotone of China. *Journal of Arid Environments*, 68(4): 611-623.
- Liu, M., Wang J., Yana P., Liu L., Ge Y., Li X., Hu X., Song Y., y Wang L. 2006. Wind tunnel simulation of ridge-tillage effects on soil erosion from cropland. *Soil and Tillage Research*, 90(1-2): 242-249.
- Lyles L. 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *J. Soil and Water Conservation*, 30(6): 279-283.
- Lyles L. 1985. Predicting and controlling wind erosion. *Agric. Hist.*, 59(2): 205-214.
- Lyles, L. L., Hagen, L. J. y Skidmore, E. L. 1983. Soil conservation: principles of wind erosion. Pp: 177-188. En H. E. Dregne y W. W. Willis (ed) *Dryland Agriculture*. ASA. Madison, WI.

- Lyles, L. y Tatarko, J. 1986. Wind erosion effects on soil texture and organic matter. *Journal of soil and water conservation*, 41(3): 191-193.
- Malin, J. C. 1939. Dust Storms, 1850-1860. *Kansas Historical Quarterly*, 14 (2): 129 - 133.
- Malina, F. J. 1941. Recent developments in the dynamics of wind erosion. *Am. Geophys. Union Trans*, 262-284.
- Manazza, F. 2007. San Luis en Cifras (inédito).
- Manazza, F., Garay J., Belgrano Rawson A., Bonatti R., Díaz J., Bernasconi H. y Rivarola R. 2010. Análisis de los costos de producción y márgenes brutos de los principales productos agropecuarios de la provincia de San Luis, por regiones. 2º Informe Trimestral. EEA INTA San Luis.
- Manual de Conservación de Suelos. 1973. Servicio de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de los EUA. Editorial Limusa. Wiley, S. A. México.
- Miñarro, F., Martínez, U., Bilenca, D., Olmos, F. 2008. Río de la Plata Grasslands (Argentina, Uruguay and Brazil). En *Life in a Working Landscape: Towards a Conservation Strategy for the World's Temperate Grasslands. The World Temperate Grasslands Conservation Initiative Workshop*. Hohhot, China June 28-29. pp: 160-171.
- Morgan R. P. C. 1996. Manejo de los cultivos y la vegetación. Pp: 211-242 en *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa Madrid. ISBN: 84-7114-679-7.
- Norman D. y Douglas M. 1996. Introducción. Pp: 1-18 en *Desarrollo de Sistemas agrícolas y conservación de suelo*. Editorial FAO, Roma. ISBN: 92-5-303448-3.
- Noy-Meyer I. 1973. Desert ecosystem: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51.
- Panebianco, J. E. y Buschiazzi, D. E. 2010. Effects of wind data temporal resolution on wind erosion prediction with RWEQ. *ICAR VII Abstracts*, Santa Rosa, Argentina.
- Peng, L., Ning, W. y Tao, L. 2008. Temperate grassland region: China. En *Life in a Working Landscape: Towards a Conservation Strategy for the World's Temperate Grasslands. The World Temperate Grasslands Conservation Initiative Workshop*. Hohhot, China June 28-29. pp: 38-45.
- Pereyra Irujo, G. A., Aguirrezábal, L. A. N., Feingold, S., Dosio, G. A. A. y Álvarez, D. 2005. Estrés hídrico y crecimiento foliar en girasol. *Actas Tercer congreso Argentino de Girasol*, Buenos Aires, Argentina.
- Peña Zubiarte, C. y d'Hiriart A. 1985. Erosión Eólica e hídrica en San Luis. *IDIA 433-436: 40-46*. INTA, B.A.
- Peña Zubiarte, C. y d'Hiriart A. Carta de Suelos de la República Argentina: Hoja Buena Esperanza. Esc 1:100000. INTA San Luis y Gobierno de la provincia de San Luis. 1992.

- Peña Zubiarte, C., Anderson, D. L., Demmi, M. A., Saenz, J. L. y d'Hiriart A. Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis. INTA San Luis, SAGyP y Gobierno de la provincia de San Luis 1998.
- Peña Zubiarte, C., d'Hiriart A. y Cortés, M. 2003. Potencial productivo de las tierras de San Luis. Pp: 25-37 en Aguilera, M. O. y Panigatti, J. L. (eds.) Con las metas claras. Ediciones INTA.
- Piper, S. 1989. Estimating the off-site benefits from a reduction in wind erosion and the optimal level of wind erosion control: An application in New Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(4): 334-339.
- Ravi, S., Zobeck, T. M., Over, T. M., Okin, G. y D'odorico, P. 2006. On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion. *Sedimentology*, 53(3): 597-609.
- Rivoiro C. y Rivarola R. 2010. Informe Mensual Septiembre. MAGyP y RIAN San Luis UE y DT Villa Mercedes.
- Robins. J. S. y Staff of Land and Water Development Division - Agricultural Engineering of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1960. Soil erosion by wind and measures for its control on agricultural lands. FAO Agricultural Development Paper 71.
- Saenz, C. 2009. El riego complementario en relación a la agricultura en el este de San Luis. En Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luis. Ediciones INTA ISSN 0327-425X. Pp: 39.
- Saxton K. E. y Rawls W. J. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1569-1578.
- Schultz, H. B. y Carlton A. B. 1959. Field windbreaks for row crops: Inter-row plantings of grain in white asparagus fields gave protection against wind erosion during tests on peat soil. *California Agriculture*, 13(11): 5-6.
- Sears, P. B. 1980. Desert on March. Norman, University of Oklahoma Press. Science Technology and Human Values. Vol 5. ISBN 0-8061-1667-6.
- Seginer, I. 1975. Flow around a windbreak in oblique wind. *Boudary - Layer Meteorology*, 9(2): 133-141.
- Seoáñez Calvo M. 2002. Los vientos. Pp: 281-302 en Seoáñez Calvo M (eds.). Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-035-9.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1960. Atlas climático de la República Argentina. Buenos Aires.
- Siddoway, F. H., Chepil W. S. y Armbrust, D. V. 1965. Effect of kind, mount, and placement of residue on wind erosion control. *Transactions of the ASAE*, 8(3): 327- 331.
- Silenzi, J. C., Bravo, O. A., Echeverría, N. E. y Grossi, T. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre la productividad de un suelo. Actas XIV Congreso Argentino de Suelos. Mendoza.
- Skidmore, E. L. 1965. Assessing wind erosion forces: directions and relative magnitudes. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29(5): 587-590.

- Skidmore, E. L. 1976. Barrier induced microclimate and its influence on growth and yield of winter wheat. In: Tinus, R.W. (ed). Shelterbelts on the Great Plains, Denver. University of Montana Press, Great Plains Agricultural Council Publication 78: 57-63.
- Skidmore, E. L. 1982. Soil and water Management and conservation: wind erosion. Pp: 371–399 en Kilmer V. J. (eds). Handbook of Soils and Climate in Agriculture. CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida.
- Skidmore, E. L. 1986. Wind erosion control. Pp: 209-218 en Reidel D. (eds). Wind erosion climatic erosivity. *Climate Change*, 9: 195-208.
- Skidmore, E. L y Hagen, L. J. 1973. Potencial evaporation as influenced by barrier-induced microclimate. *Ecological Studies* 4: 237-244.
- Skidmore, E. L. y Hagen L. J. 1977. Reducing Wind Erosion with Barriers. *Transactions of the ASAE*, 20 (5): 911-915.
- Skidmore, E. L., Hagen L. J., Naylor D. G., y Teare, I. D. 1974. Winter wheat response to barrier-induced microclimate. *Agron. Jour.* 61:501-505.
- Skidmore E. L. y van Donk S. J. 2003. Soil Erosion and Conservation. Pp: 227-260 en Benbi D.K. y Nieder R. (eds). Handbook of Processes and Modeling in the Soil-Plant System. Food Product Press and The Haworth References Press
- Skidmore E. L. y Woodruff, N. P. 1968. Wind erosion forces in the United States and their use in predicting soil loss. *USDA Agriculture Handbook*, 346.
- Stallings, J. H. 1953. Wind erosion control. Soil Conservation Service, USDA., USDA-SCS TP 115.
- Stout, J. E. 2001. Dust and environment in the Southern High Plains of North America. *J. Arid Environ.*, 47: 425–441.
- Stout J. E. y Zobeck, T. M. 1996. The Wolfforth field experiment: a wind erosion study. *Soil Science*, 161: 616-632.
- Sue, Y. Z. y Zhao, H. L. 2003. Losses of soil organic carbon and nitrogen and their mechanisms in the desertification process of farmlands in Horqin sandy land. *Agric. Sci. China*, 2 (8): 890–897.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. C. W. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Elmer, N. J., USA.
- United States. Soil Conservation Service. 1961. Facts about wind erosion and dust storms on the Great Plains. USDA panfleto 394
- Van Pelt, R. S. y Zobeck, T. M. 2004. Effects of polyacrylamide, cover crop residue management on wind erosion. 2004. 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane, July 2004.
- Wesche, K. 2008. Temperate grassland region ecuatorial África. En *Life in a Working Landscape: Towards a Conservation Strategy for the World's Temperate Grasslands*. The World Temperate Grasslands Conservation Initiative Workshop. Hohhot, China June 28-29. pp: 3-21.
- Willi, E. 1987. Meteorología para aviadores. Curso para pilotos, navegantes y Agentes técnicos de explotación. Editorial: Paraninfo - Madrid.

- Wilson, S. J. y Cooke, R. U. 1980. Wind erosion. Pp: 217-251 en Soil Erosion. Kirkby, M. j. y Morgan, R. P. (eds.). J. Wiley y Sons Ltd. Nueva York.
- Woodruff, N. P. 1954. Shelterbelt and surface barrier effects on wind velocities, evaporation, house heating, and snowdrifting. Kansas Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 77.
- Woodruff, N. P. y Chepil, W. S. 1956. Implementes for wind erosion control. *Agronomy Engeniering*, 37: 751-754, 758.
- Woodruff, N. P. y Chepil, W. S. y Lynch, R. D. 1957. Emergency chiselling to control wind erosion. Kansas Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin 90.
- Woodruff, N. P. y Lyles, L. 1967. Tillage and land modification to control wind erosion. *Tillage for Greater Crop Produccion*, 11/12: 63-67, 70.
- Woodruff, N. P., Lyles, L., Siddoway, F. H. y Fryrear, D. W. 1972. How to control wind erosion. Rev. Ed. USDA Agric. Inf. Bulletin 354.
- Yeh, C-P, Tsai C-H. y Yang R-Y. 2010. An investigation into the sheltering performance of porous windbreaks under various wind directions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 98(10-11): 520-532.
- Yue D., Liu Y.G, Wang., Li H. y Cui, W. 2006. Physical principle of wind erosion on sandy land surface in southern Beijing. *J Geographical Sciences*, 16(4): 487-494.
- Zhao, H., Zhou, R., Zhang, T. y Zhao, X. 2006. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China. *Soil & Tillage Research*, 87: 175-185.
- Zingg, A.W. 1953. Speculations on climate as a factor in the wind erosion problem of the Great Plains. *Trans. Kans. Academy of Sci*, 56: 371-377.
- Zingg, A. W. 1954. The wind erosion problem in the Great Plains. *Trans. Am. Geophys. Union*, 35: 252-258.
- Zingg A. W., Woodruff N. P. y Englehorn C. L. 1952. Effect of wind-row orientation on erodibility of land in sorghum stubble. *Agronomy Journal*, 44: 227-230.
- Zobeck, T. M., Fryrear, D. W. y Pettit, R. D. 1989. Management effects of wind-eroded sediment and plant nutrients. *Journal of Soil & Water Conservation*, 44: 160-163.
- Zobeck, T. M., 1991. Soil properties affecting wind erosion. *Journal of Soil & Water Conservation*, 46 (2): 112-118.
- Zobeck, T. M. y Bilbro, J. D. 2001. Crop productivity and surface soil properties of severely wind-eroded soil. Pp: 617-622 en Stott, D. E., Mohtar, R. H. y Steinhardt, G. C. (eds). *Sustaining the global farm*. International Soil Conservation Organization Conference.