FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

CALIBRACIÓN A CAMPO DE COLECTORES BSNE Y MWAC PARA LA MEDICIÓN DE EROSIÓN EÓLICA

LUCRECIA SOLEDAD VICENS

SANTA ROSA (LA PAMPA) ARGENTINA

2013

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de lngeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y la Facultad de Agronomía, durante el período comprendido entre el 15 de junio del 2012 y el 8 de agosto de 2013, bajo la dirección del Dr. MENDEZ, Mariano Javier y bajo la codirección de la MSc. AIMAR, Silvia Beatriz.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Mariano Mendez y a la MSc. Silvia Aimar por su colaboración y predisposición.

A los miembros de la Comisión de Tesina, por la revisión del manuscrito y las sugerencias efectuadas.

A mi familia, amigos/as por su apoyo.

08, Agosto de 2013 Lucrecia Soledad Vicens

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

La erosión eólica es un proceso mediante el cual se produce la remoción, selección y el transporte del material superficial por acción del viento. Se manifiesta con mayor intensidad en ambientes áridos y semiáridos. Las mediciones a campo resultan indispensables para conocer la intensidad del proceso erosivo y analizar las propiedades del material recolectado. Los métodos más precisos para medir la erosión eólica a campo es la instalación de colectores, los cuales atrapan el material transportado por el viento a través de diferentes mecanismos. Los colectores más difundidos a nivel mundial en estudios de erosión eólica son los Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC), ambos con el mismo principio de funcionamiento pero con diferente costo. Los MWAC presentan un costo 10 veces menor a los BSNE los cuales colectan mayor cantidad de material por tener una apertura más grande. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de recolección de los muestreadores BSNE y MWAC en condiciones de campo. Las mediciones de erosión eólica, con cada colector, se llevaron a cabo sobre un Haplustol éntico de la Región Semiárida Pampeana. La eficiencia relativa del MWAC respecto del BSNE (REW/B) fue de 244%. La misma aumentó con la altura, como consecuencia de una mayor velocidad del viento y un menor tamaño de partículas. El transporte de masa horizontal (HMT), calculado a partir de diferentes ecuaciones, resultó similar con ambos colectores, aunque las ecuaciones ajustaron mejor a los datos obtenidos con los BSNE. Por lo expuesto, se recomienda la utilización de colectores MWAC por ser más eficientes y económicos en su construcción.

ABSTRACT

Wind erosion is a process in which the removal, selecting and transporting of surface material occurs by the wind. It manifests with more intensity in arid and semiarid environments. For this reason, the field measurements are essential to know the intensity of the erosive process and to analyze the properties of the collected materials. The most accurate method to measure wind erosion in fields is by installing collectors, which trap windblown materials through different mechanisms. The most popular collectors are Big Spring number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC), both with the same operating principle but with different cost. MWAC costs 10 times less than the BSNE yet, this last one collects more material due to its bigger opening. This project aimed at evaluating the efficiency of the collectors BSNE and MWAC samplers in natural events. The wind erosion measurements, with each collector, were carried out on a Haplustol entic of the Semiarid Pampean Region. The relative efficiency of the MWAC in relation to BSNE (REW/B) was 244%. The efficiency increased with the height, as consequence of the higher wind speed and smaller pieces collected at that height. Despite using different equations, the horizontal mass transport (HMT) was similar with both collectors however, BSNE had a better adjustment. As a result, it is recommended MWAC collector because of its efficiency and economical construction.

INDICE

INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVO 4
HIPÓTESIS 4
MATERIALES Y MÉTODOS 5
Área de estudio 5
Ubicación 5
Climatología 6
Suelos 7
Características de la parcela de estudio 7
Trabajo de campo 8
Descripción de los Colectores 10
Colector 1: BSNE 9
Colector 2: MWAC 12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 17
CONCLUSIONES 24
BIBLIOGRAFÍA 25

INTRODUCCIÓN

La erosión eólica es definida como el proceso mediante el cual se produce la remoción, selección y el transporte del material superficial del suelo por acción del viento. Es un proceso geológico normal de la evolución del paisaje que se manifiesta con mayor intensidad en ambientes áridos y semiáridos. Sin embargo, su magnitud puede incrementarse drásticamente por la acción antrópica, produciendo fuertes perjuicios para el medioambiente (Buschiazzo & Aimar, 2003).

La erosión eólica provoca un efecto "in situ", donde ocurre el proceso erosivo, y otro "ex situ", en regiones aledañas. El primero está relacionado con la degradación del suelo y/o los cultivos o pasturas implantadas. La productividad del suelo se verá reducida por pérdidas de fertilidad física, como la reducción en la profundidad efectiva, cambio en la granulometría, degradación de la estructura y, también, por pérdidas de nutrientes y materia orgánica. Respecto de los cultivos, se produce una disminución en el rendimiento y reducción en la emergencia de plántulas. Los efectos en las regiones aledañas son aquellos que tienen lugar en ciudades donde la presencia de polvo atmosférico trae como consecuencia enfermedades respiratorias, polución ambiental e intransitabilidad de caminos, que resultan en pérdidas económicamente superiores a las que se producen en la zona rural (Buschiazzo & Aimar, 2003). Los suelos de los agroecosistemas de regiones áridas y semiáridas son más susceptibles a sufrir este tipo de degradación debido a las características climáticas y edáficas que los caracterizan (Panebianco, 2004). Por lo general, son suelos pocos desarrollados, de textura gruesa y poco estructurados. El clima de estas regiones se encuentra caracterizado por precipitaciones concentradas en períodos cortos de tiempo, vientos de gran intensidad coincidentes con periodos secos, altas temperaturas y altas tasas de evapotranspiración. Sumado a esto, la escasa cobertura vegetal y el uso de una tecnología no adecuada para la zona incrementan la peligrosidad de la erosión (Aimar *et al.*, 2003). Está comprobado que el manejo y las distintas prácticas de labranza pueden producir efectos diferentes en la cobertura vegetal y otros factores que influyen en la erosión eólica (contenido de humedad, estabilidad de los agregados, entre otros).

Las regiones áridas y semiáridas representan el 31% de la superficie terrestre mundial, correspondiendo a América del Sur 283 millones de hectáreas, de las cuales más del 50% se ubican en Argentina. Sólo la región semiárida abarca una superficie de 700.000 km^2. En estos ambientes, el clima es quien condiciona la producción agropecuaria, mediante la conjugación de varios factores: temperaturas, precipitaciones y vientos. En la

región semiárida pampeana, las precipitaciones se concentran principalmente entre los meses de octubre a marzo. Las fluctuaciones térmicas (diarias y estacionales) definen dos épocas bien diferenciadas, una cálida y otra fría. En época otoño-invernal se presentan meses de neutralidad o muy baja deficiencia hídrica. En tanto, el período primavera-verano es el de gran déficit de agua. Por lo tanto, si bien se detectan tormentas erosivas durante todo el año, los vientos de mayor intensidad se producen entre agosto y diciembre (Aimar *et al.*, 2003).

En la Argentina sólo se cuenta con estimaciones de la superficie afectada por erosión eólica y mediciones sobre los efectos que la misma ha producido en el suelo (Buschiazzo & Aimar, 2003). Por ejemplo, Torres & Fernandez (1996) determinaron que un 13% de la Puna Jujeña (aproximadamente 1.200.000 ha) se encuentra afectada por erosión eólica. En tanto, según estimaciones realizadas en La Pampa por Covas & Glave (1998), 565.000 ha de suelo están afectadas por erosión eólica, de las cuales 220.000 ha corresponden a erosión leve, 160.000 ha a erosión moderada, 75.000 ha a erosión severa y las 110.000 ha restantes a erosión grave (Aimar *et al.*, 2003). Buschiazo *et al.* (1999) comprobaron que la erosión eólica, medida a campo, en la Región Semiárida Pampeana Central fue fuertemente condicionada por la variabilidad en la dirección del viento. También se han cuantificado las tasas máximas de erosión ocurridas en suelos de La Pampa, se ha determinado el grado de error que produce la variación de la dirección del viento durante mediciones a campo y se han llevado a cabo ajustes metodológicos relacionados con diferentes cantidades de material recolectado a diferentes alturas (Buschiazzo & Aimar, 2003).

A pesar de la importancia de cuantificar las pérdidas que se producen por la erosión eólica, existen pocos trabajos donde se haya medido la erosión eólica a campo. De acuerdo con Buschiazzo & Aimar (2003), conocer el proceso de erosión eólica, cuantificarlo y realizar predicciones respecto a sus efectos, pueden ser los únicos caminos para conseguir un control adecuado y evitar la degradación de los suelos. Es por esto que, cuantificar el material transportado por el viento es esencial en el estudio y control de la erosión eólica. Estudios de erosión eólica efectuados con túneles de viento son importantes dado que se llevan a cabo en condiciones controladas y permiten entender los mecanismos del transporte de partículas por el viento. No obstante ello, efectuar ensayos a campo permite calcular las pérdidas de los suelos por eventos erosivos naturales, en forma independiente y también analizar cualitativamente el material erosionado. Esta información brinda conocimiento sobre el proceso, la intensidad y, de ésta forma, podrían establecerse pautas

de manejo que minimicen las pérdidas de suelo y la disminución de la productividad de los mismos.

Para llevar a cabo estudios de campo es necesario contar con colectores de partículas. La elección de los colectores a utilizar dependerá del tipo de estudio a realizar, de la exactitud necesaria y de los recursos económicos disponibles. Existen distintos modelos que varían en tamaño, forma, eficiencia de recolección y tipo de material a cuantificar (Aimar *et al.*, 2003). Los muestreadores de material transportado por el viento se dividen en dos grandes grupos: los que tienen orificios horizontales para la toma de muestras (Pollet *et al.*, 1998) y los que tienen orificios verticales para la toma de muestras (Bagnold, 1941; Nickling & McKenna Neuman, 1997). Los muestreadores, además, pueden ser clasificados como activos o pasivos, de acuerdo a la forma en que el aire del interior del muestreador es expulsado. Los muestreadores pasivos son más populares porque son fáciles de usar y más económicos que los activos (Nickling & McKenna Neuman, 1997). También pueden ser fijos o móviles: los primeros se utilizan generalmente en el túnel de viento y están orientados en una sola dirección, mientras que los segundos son capaces de cambiar su dirección en respuesta a la dirección del viento (Dong *et al.*, 2004).

Los muestreadores pasivos más utilizados en estudios de campo a nivel mundial son los Big Spring Number Eight (BSNE) y los Modified Wilson and Cook (MWAC), siendo los primeros los únicos que se han utilizado hasta el presente en Argentina. Los muestreadores BSNE son de dimensiones mayores y tienen un costo de construcción más elevado debido a que están construidos con chapa galvanizada y se requiere de personal calificado para su construcción. Los muestreadores MWAC son más pequeños, están construidos con plástico y no se necesita de mano de obra especializada para su construcción. Es por esto que el costo de los MWAC puede ser más de 20 veces inferior al de los BSNE. El mayor costo de los BSNE, en relación al costo de los MWAC, y la necesidad de contar con mano de obra calificada para su construcción puede ser una de las razones por la cual las mediciones de erosión eólica a campo son escasas. Una alternativa son los muestreados MWAC, los cuales han sido calibrados en túnel de viento pero no en condiciones de campo (Goossens *et al.*, 2000). En condiciones de campo las características del movimiento del aire y del material transportado pueden diferir de manera significativa respecto a lo que ocurre en condiciones controladas.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de recolección de los colectores BSNE y MWAC en condiciones de campo.

Goossens *et al.* (2000) encontraron que, en condiciones controladas, a medida que aumenta la velocidad del viento y disminuye el tamaño de partículas se reduce la eficiencia de recolección de los BSNE mientras que la de los MWAC permanece constante.

En condiciones naturales a medida que aumenta la altura sobre la superficie del suelo, aumenta la velocidad del viento y disminuye el tamaño de las partículas transportadas. Es por esto que se planteó la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS

La eficiencia de recolección del material erosionado de los muestreadores MWAC respecto de los BSNE aumenta con la altura de muestreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada en el Departamento Capital de la provincia de La Pampa, perteneciendo a la Región Oriental y a la Sub-región de Planicies con tosca (Cano *et al*., 1980). Las coordenadas correspondientes al sitio de estudio son 36º 32´ 28.23" S y 64º 17´ 9.70" W (Figura 1a,b).

Esta Subregión tiene una leve inclinación de O a E. Sobre la base de las características del relieve se pueden diferenciar dos sectores: Norte y Sur. A este último sector pertenece el área de estudio y se caracteriza por la presencia de una costra calcárea difundida y una capa de ceniza volcánica prácticamente ausente en zonas agrícolas. El relieve es de lomas suaves (Cano *et al*., 1980).

Figura 1a: Ubicación del sitio de estudio en la provincia de La Pampa.

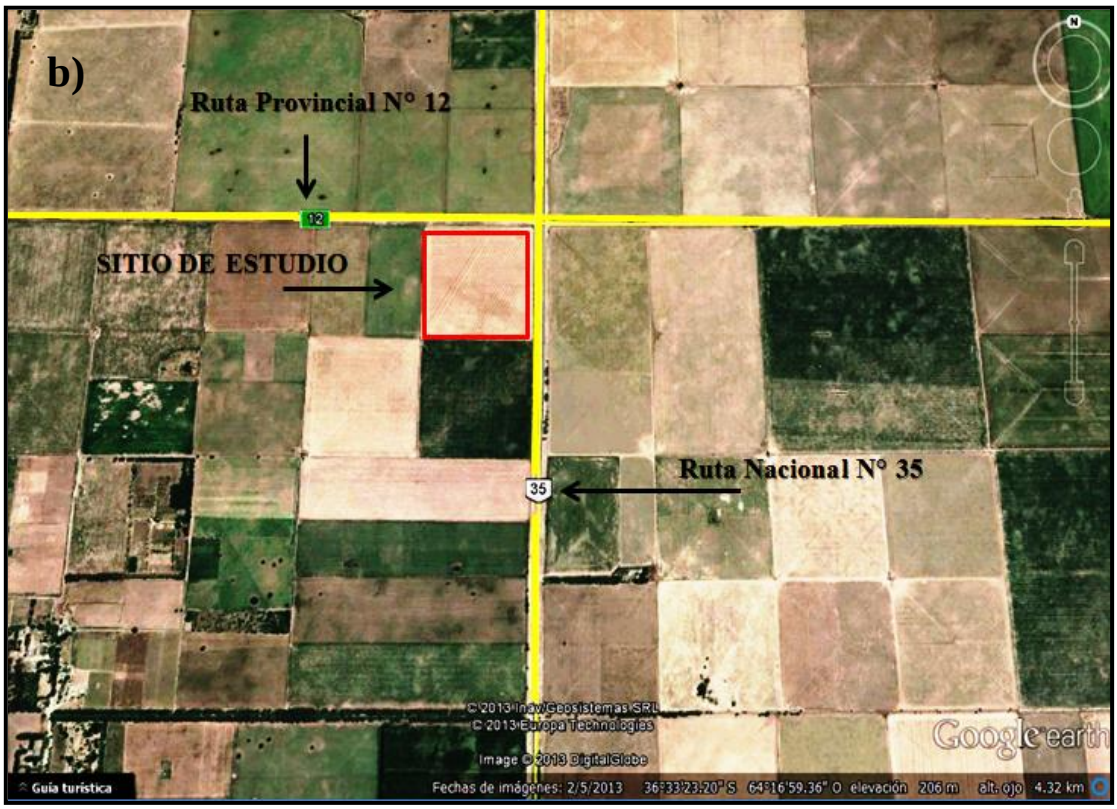

Figura 1b: Detalle de la parcela de estudio.

Climatología

El clima es templado, con una temperatura media anual que varía entre 14 y 16 ºC; alcanzando la amplitud térmica valores de 16 ºC. Para la Región Oriental las temperaturas medias de los meses de enero y julio son de 24 y 8 ºC, respectivamente. En esta sub-región, los vientos tienen un comportamiento similar al de toda la provincia, o sea una predominancia en las direcciones N-NE y S-SO. La velocidad es un poco mayor, sobre todo en la parte sur, teniendo un promedio anual de 10-12 km/h (Cano *et al.*, 1980).

Las precipitaciones alcanzan los 670 mm anuales y disminuyen de NE a SO, lo que se manifiesta en una deficiencia hídrica anual que va desde 160 mm, en la parte oriental, a casi 200 mm, en la occidental; respondiendo al aumento de la continentalidad hacia el oeste. Al este predomina un clima templado, donde las precipitaciones medias mensuales ocurren en el semestre estival (octubre/marzo); los meses de menores lluvias, en general, son junio, julio (en la parte meridional) y agosto, siendo éste ultimo el de menor media. En cuanto a las máximas, ocurren con mayor frecuencia en los meses de verano y otoño; y, las mínimas, en los de invierno (Cano *et al.*, 1980).

Tabla 1: Proporción de partículas de acuerdo a su tamaño

Tamaño de partículas(µm)	< 50	50 – 75	75 – 100	100 – 250	250 – 500	> 500	**DMG**
Proporción	7.1%	10.8%	15.8%	37.1%	17.1%	12.2%	131

(DMG: Diámetro medio del grano)

Suelos

Los suelos del área de estudio pertenecen a la unidad cartográfica de la planicie con tosca de Eduardo Castex y Winifreda; donde la tosca se encuentra en toda el área. En cuanto al material parental, se trata de sedimentos de origen eólico y de textura franco arenosa fina, con 12% de arcilla y 28% de limo, que descansan en discordancia sobre la tosca. Ésta aflora o se encuentra a una profundidad variable generalmente entre los 60 y 120 cm. Los suelos presentan un sencillo perfil del tipo A-AC-C-Tosca (Cano *et al.,* 1980).

La capa arable del suelo, es profunda, provista de materia orgánica y rica en nutrientes, bien estructurada y responde a las exigencias de un horizonte superficial mólico. Tiene régimen de humedad ústico y de temperatura térmica (Cano *et al.,* 1980).

Las limitaciones son: poca profundidad efectiva, drenaje natural excesivo, sequías estacionales, erosión eólica moderada y leve peligro de erosión hídrica. El suelo dominante es un Haplustol éntico (tosca a los 50-150 cm) (Cano *et al.,* 1980).

Características de la parcela de estudio

El suelo del área de estudio es un Haplustol éntico, cuya capa superficial (o capa arable) es franca arenosa fina. Presenta un horizonte A, de 28 centímetros de espesor, que contiene 1,25% de materia orgánica, 13,2% de arcilla, 70,5% de arena, 16,3% de limo y pH de 6. La tabla 1 muestra la distribución del tamaño del grano en seco (obtenido por tamizado en seco de una muestra < a 2 mm), y el diámetro medio del grano. Como puede observarse en la tabla, la mayor proporción de partículas corresponde a la fracción de arena. Es importante destacar que la susceptibilidad que presenta un suelo a la erosión eólica está estrechamente relacionada con su textura. En general, a mayores contenidos de limo y arcilla en el suelo, mayores son los contenidos de agregados estables y menor es la erodabilidad del suelo. Por el contrario, un alto contenido de arena limita la formación de agregados y los suelos son altamente erodibles. La arcilla favorece la formación de agregados más resistentes a la abrasión. (Rostagno *et al.,* 2004).

Trabajo de campo

En una parcela cuadrada de 100 m de lado (1 ha) se instalaron en la diagonal NE-SO cinco pares de mástiles con 30 m de distancia entre cada par y 1m distancia entre cada mástil (Figura 2a). En uno de los mástiles se instalaron 5 colectores BSNE y en el otro, 5 colectores MWAC a 13.5; 22; 35; 50 y 150 cm de altura. Se evaluaron un total de 14 tormentas, entre el 04 de diciembre de 2008 y el 02 de diciembre de 2009. En cada una de ellas, se colocaron un total de 25 colectores BSNE y 25 colectores MWAC; 5 colectores de cada clase para cada una de las alturas evaluadas (Figura 2 a y b). El material recogido, después de cada tormenta, se pesó con una balanza de precisión (0,0001 g de precisión). Durante el tiempo que duró el estudio, el suelo de la parcela fue mantenido sin cobertura vegetal y mínima rugosidad, por medio de labores efectuadas frecuentemente con rastra de disco.

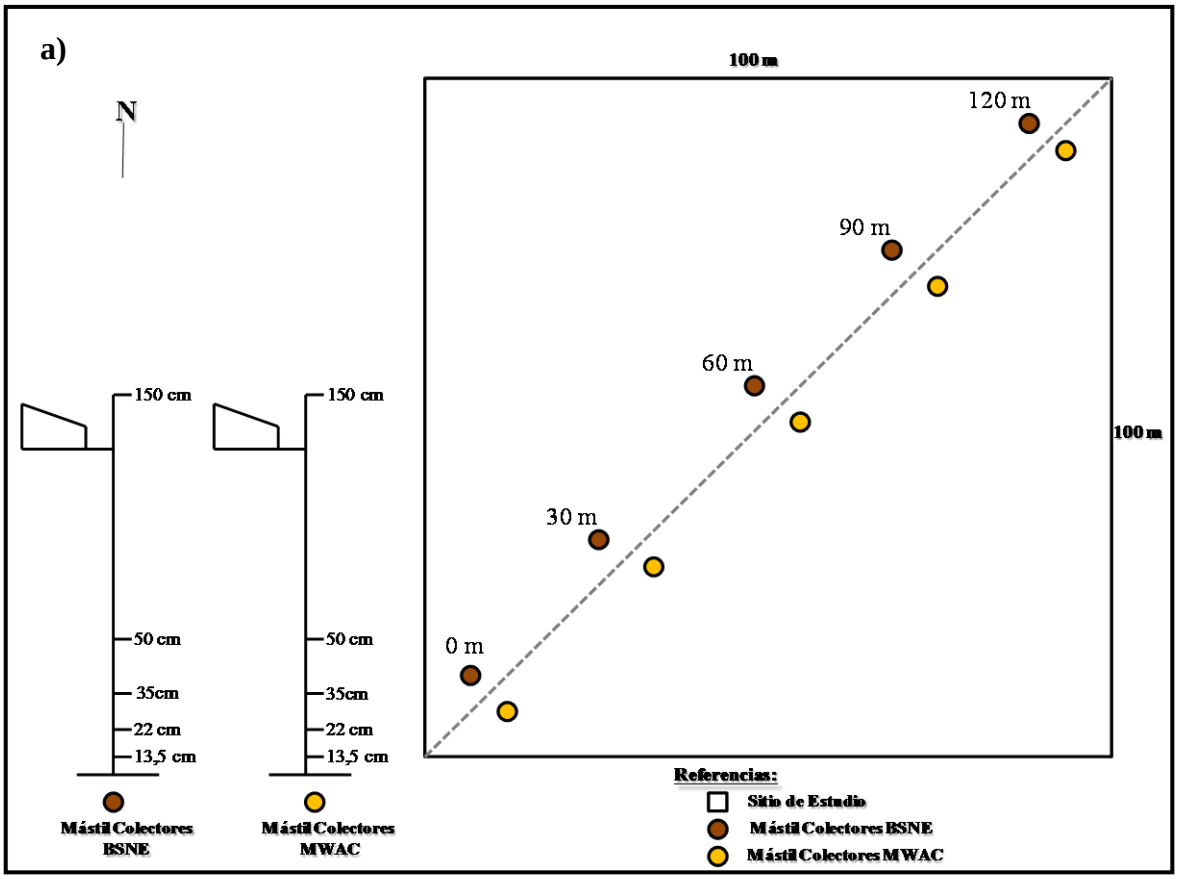

Figura 2a: Diagrama de ubicación de los mástiles con colectores BSNE y MWAC en la parcela de estudio.

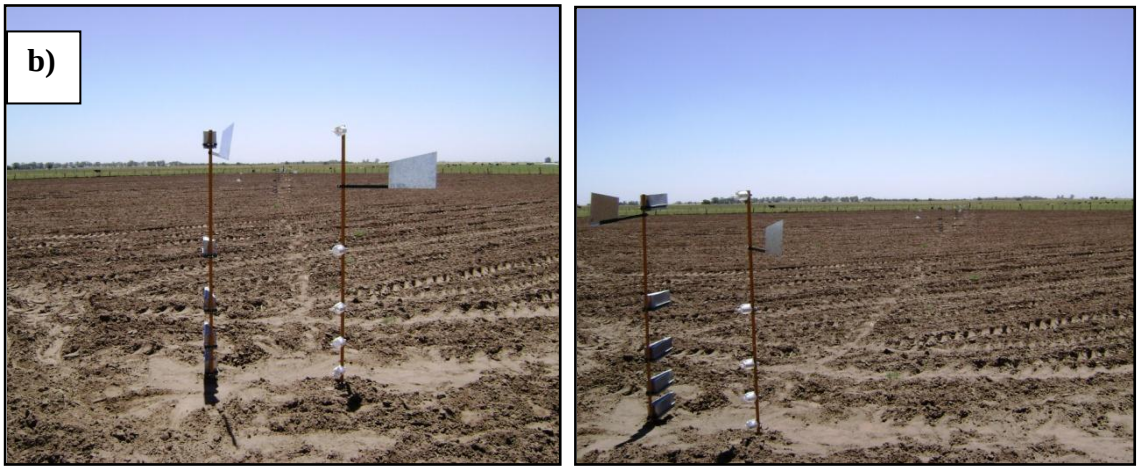

Figura 2b: Mástiles en parcela de estudio.

Descripción de los Colectores

Colector 1: BSNE

El muestreador BSNE fue desarrollado, en 1986, por D.W. Fryrear. Originalmente, se diseñó para recoger polvo del aire; pero, en la actualidad, se utiliza con frecuencia para evaluar las pérdidas de suelo por erosión eólica a nivel de predio (Goossens *et al*., 2000). Son construidos con metal galvanizado y constan de dos partes: una bandeja inferior, donde se colecta la muestra, y otra que se acopla por encima de la anterior (Figura 3a); ambas formadas por mallas de 0,3 y 1 mm de diámetro, respectivamente y de forma trapezoidal. El material entra por una abertura en forma rectangular, de aproximadamente 2 cm de ancho por 5 cm de alto, que se encuentra en la parte superior de la base menor del trapecio. Una vez que la corriente con el material entra al muestreador, la velocidad del viento es reducida por la forma del mismo y al chocar con la superficie opuesta, el polvo cae, a través de la malla, a la bandeja colectora, saliendo el aire por la malla superior. La base de malla de 1 mm de abertura tiene por función reducir el movimiento del material depositado, sin la cual podrían producirse pérdidas del polvo más fino o desagregación adicional del material colectado (Figura 3b). Cada muestreador es colocado en un soporte fijado a un mástil que tiene una veleta. El mástil gira sobre un hierro inserto en el suelo (Figura 3c). Estos muetreadores pueden ser utilizados desde los 13,5 cm de altura y fueron ensayados en túnel de viento con distintas velocidades de viento, tipo de material y rugosidad de la superficie, comprobándose que poseen una efectividad de recolección entre

85% y 95% (Fryrear, 1986; Shao *et al.*, 1993). Construir un mástil al que se le adosan 5 muestreadores BSNE tiene un costo de $2000, aproximadamente.

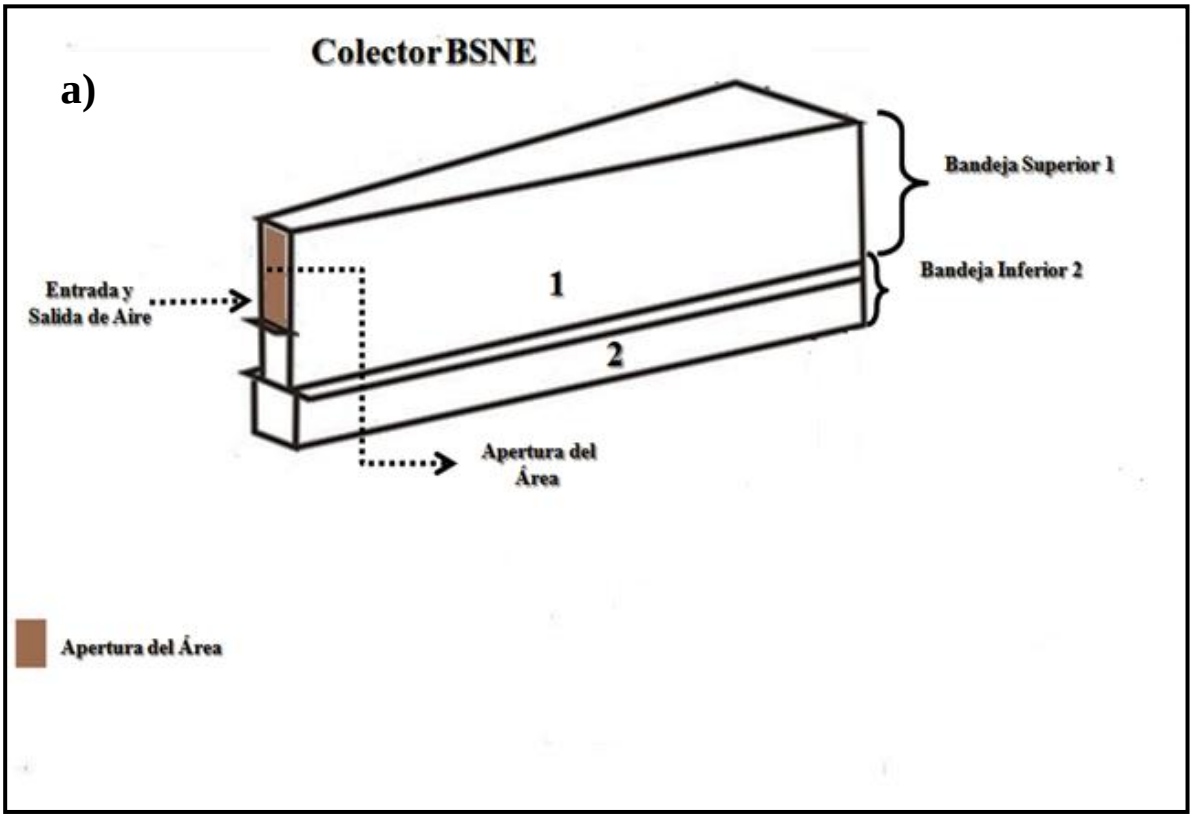

Figura 3a: Partes del colector BSNE

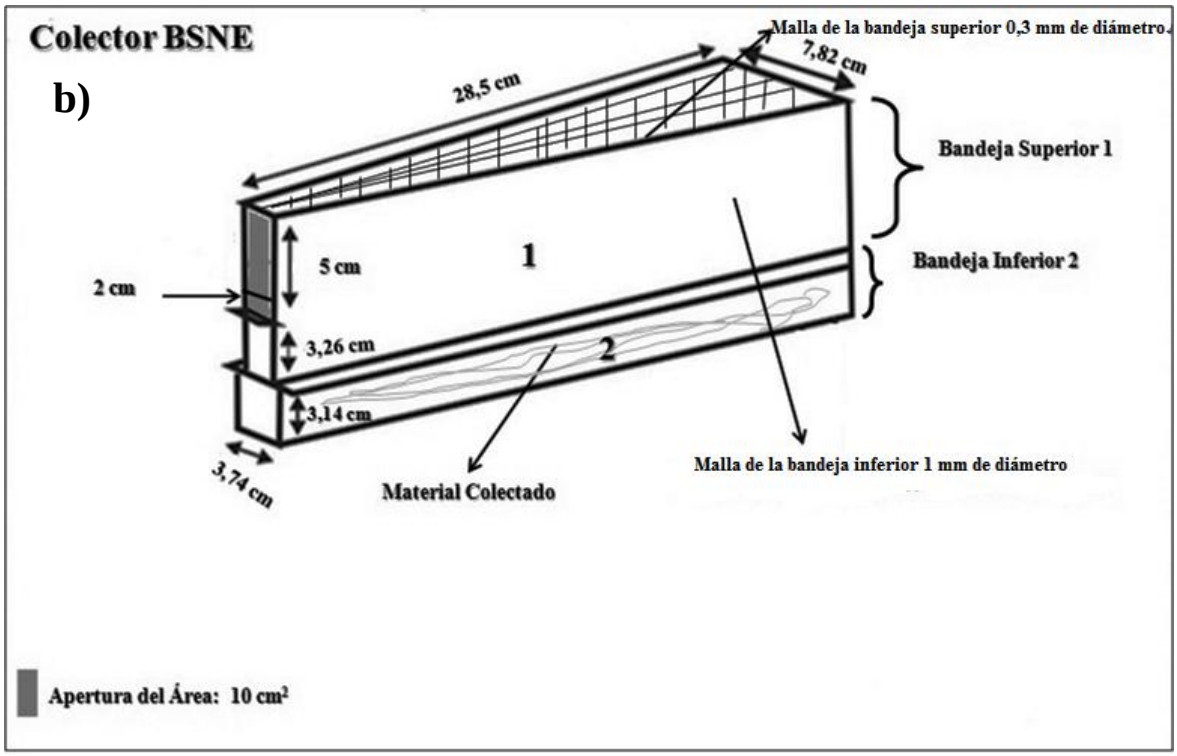

Figura 3b: Dimensiones del colector BSNE

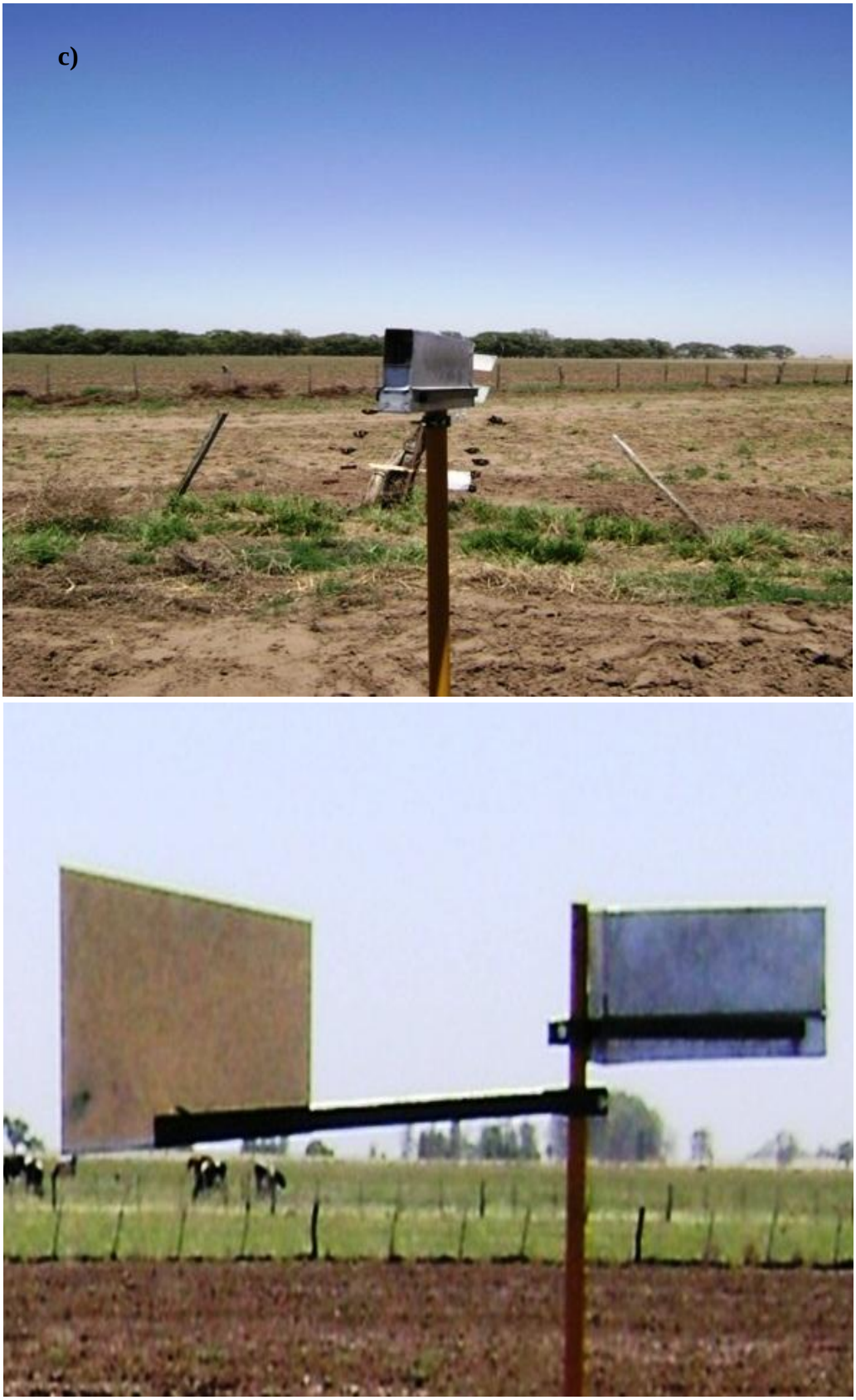

Figura 3c: Colector BSNE visto de frente y perfil en parcela de estudio

Colector 2: MWAC

El muestreador MWAC fue desarrollado por Wilson y Cooke, en 1980. Consiste en una botella de plástico que actúa como una cámara de sedimentación, a la que se han añadido un tubo de entrada y un tubo de salida; ambos de vidrio, de 1,25 mm de espesor, con un diámetro interior de 7,5 mm y un diámetro exterior de 10 mm (Figura 4a y b). La botella está instalada verticalmente, con el tubo de entrada orientado al viento. El material ingresa en la botella y se deposita debido a la caída de presión creada por la diferencia de diámetro entre la botella y los tubos de entrada y salida. Se colocan varias botellas en diferentes niveles en un mástil con una veleta (Figura 4c y d). El concepto original fue posteriormente modificado por Kuntze *et al.* (1990), que ajusta la botella a una posición horizontal. Goossens *et al.* (2000), utilizando como referencia un muestreador isocinético en un estudio en túnel de viento, determinaron que la eficiencia de recolección para MWAC fue entre 110% y 120%. Construir un mástil al cual se le adosan 5 muestreadores MWAC tiene un costo de $250 aproximadamente; es decir, el 75% menos que el costo de un mástil con colectores BSNE.

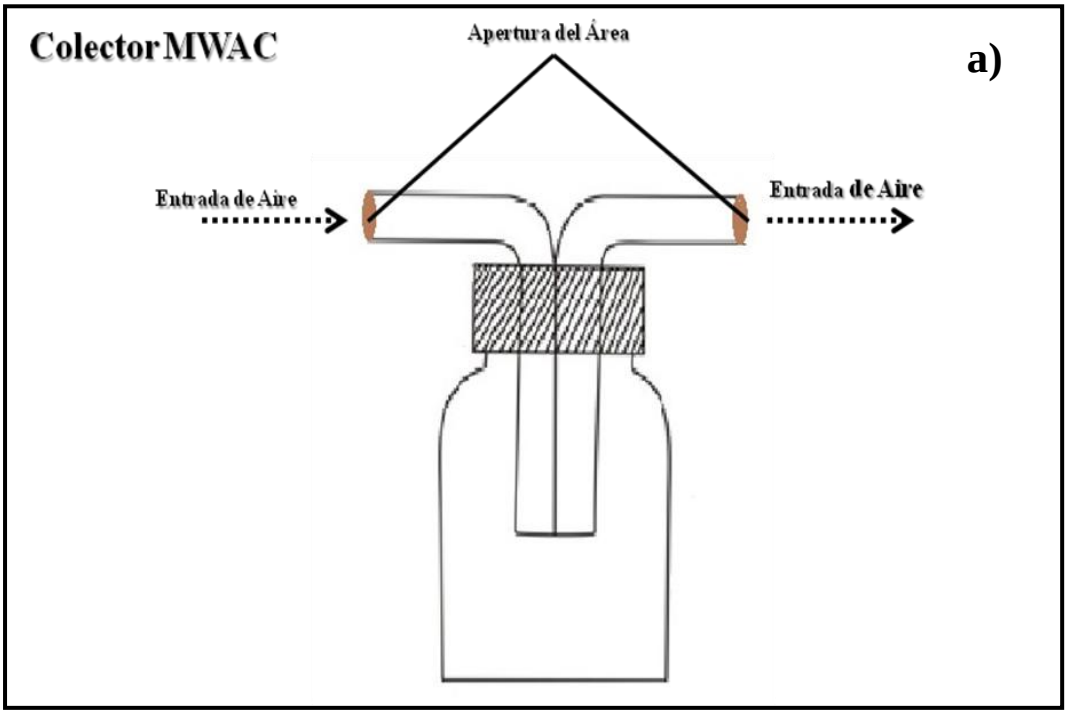

Figura 4a: Partes del colector MWAC

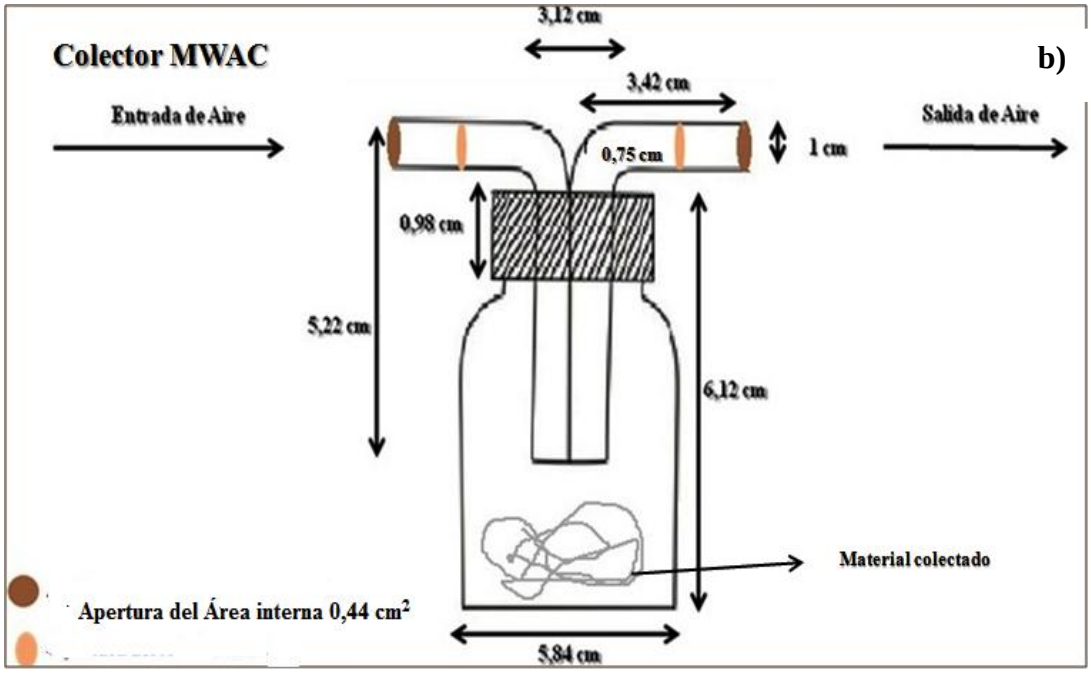

Figura 4b: Dimensiones del colector MWAC

Figura 4 c: Colector MWAC visto de perfil en parcela es estudio

Figura 4d: Colector MWAC visto de frente en parcela es estudio

Para caracterizar las condiciones del suelo durante la medición, se tomaron muestras de los primeros 2,5 cm, (al momento de instalar los colectores en la parcela de estudio) de algunas de las tormentas analizadas, para la determinación del contenido de agua gravimétrico (secada a 105 °C). La cobertura del suelo con malas hierbas y agregados no erosionables se determinó utilizando fotografías digitales de la superficie del suelo, sobre las cuales se procedió al recuento de puntos en los que las malas hierbas o los agregados no erosionables. Para el recuento de puntos, a las fotografías digitales se les practicó una cuadrícula de 4 x 4 cm y en los puntos de intersección de la cuadrícula se contaron los puntos con cobertura. También se tomaron muestras de humedad del suelo a fin de caracterizar las condiciones del ensayo.

En el centro de la parcela se instaló una estación meteorológica automática (Davis Vantage Pro), a fin de registrar la velocidad y dirección del viento, la temperatura, las precipitaciones y la humedad. Estos parámetros fueron utilizados para caracterizar las condiciones climáticas al momento del ensayo (Tabla 2). El valor del viento se calculó a través de la siguiente fórmula: Ecuación 1 -Eq. [1]-):

$$W = \sum_{i=1}^{N} U_2 \left(U_2 - U_t\right)^2 \qquad \text{Eq. [1]}$$

Donde: W es el valor del viento; U_2, la velocidad del viento a 2 m de altura, expresado en m.s^{-1}; y, U_t, la velocidad del viento umbral a 2 m de altura, expresada en m.s^{-1}

Para cada colector se calculó el flujo horizontal de masa (HMF) con la ecuación 2:

$$HMF = \frac{mc}{abc} \qquad \text{Eq. [2]}$$

Donde ***mc*** es el material colectado por cada colector, expresado en (g) y ***abc*** es la abertura del colector (cm^2).

A partir del HMF se calculó para cada par de colectores la eficiencia relativa a partir de la ecuación 3:

$$RE_{W/B} = \left(\frac{HMF_M}{HMF_B}\right) x\,100 \qquad \text{Eq. [3]}$$

Donde REW/B es la eficiencia relativa de los MWAC en relación a los BSNE (%), HMFM es el flujo de masa horizontal de MWACs (g.cm^{-2}) y HMFB es el flujo horizontal de masa de BSNEs (g.cm^{-2}).

Tabla 2: Características de humedad del suelo y de las tormentas analizadas.

	Humedad (%)	Cober. del suelo (%)	Vel. media del viento (m.s^{-1})	Vel. media máx. del viento (m s^{-1})	Duración (minutos)
04/12/2008[a]	4	49,2	6,36	9,4	134
10/12/2008	5,3	25,7	-	-	-
01/04/2009[b]	-	-	2,7	4	1260
06/04/2009[b]	-	-	2,6	4	600
14/04/2009[b]	-	27,8	2,7	4	780
22/04/2009[b]	1,4	-	2,9	4	540
04/06/2009[b]	5,2	29,1	2,6	3,1	360
12/06/2009[b]	3,2	20,2	2,8	4	960
26/06/2009[c]	5	18,3	7,5	10,3	1430
01/07/2009[c]	2,8	15	2,3	4	330
23/10/2009	-	-	3,25	-	-
26/10/2009	-	-	4,16	-	-
12/11/2009[b]	-	-	2,24	9,4	960
02/12/2009[c]	-	-	6,02	9,35	1440

[a] Estación meteorológica que registra cada 1 minuto.
[b] Estación meteorológica que registra cada 60 minutos.
[c] Estación meteorológica que registra cada 5 minutos.

Se comparó la eficiencia relativa de los colectores a diferentes alturas para determinar si el tamaño de partícula (las partículas más finas son transportadas a mayores alturas) afecta de manera diferente la eficiencia de cada colector.

Para cada mástil y cada tipo de colectores se calculó el transporte horizontal de masa (HMT: cantidad de suelo que pasa por unidad de área de un plano horizontal definido entre dos alturas) utilizando diferentes ecuaciones:

$$f(z) = \sigma\, e^{-\beta / z}$$ Eq. [4.a] Exponencial

$$f(z) = \sigma\, z^{-\beta}$$ Eq. [4.b] Poder

$$\ln f(z) = f_0 + \sigma \ln z$$ Eq. [4.c] Logarítmica

$$f(z) = f_0 (1 + z/\sigma)^{-\beta}$$ Eq. [4.d] Racional

Donde, $f(z)$ es el flujo horizontal de masa (HMF), f_0 es el HMF sobre la superficie del suelo, z es la altura y σ y β son los coeficientes de las ecuaciones. Integrando en función de la altura cada una de las ecuaciones anteriores se calculó el transporte horizontal de masa para cada mástil y tipo de colectores.

Se compararon los ajustes de cada ecuación [Eq. 4. (a.b.c.d)] a cada tipo de colectores para determinar si los MWAC generan un perfil de material erosionado en función de la altura diferente al de BSNE.

El HMFM, HMFB y el HMT de las muestras utilizadas y las ecuaciones se correlacionaron con el programa de análisis de regresión lineal de Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de las muestras recogidas por los dos tipos de colectores se encontró que las muestras capturadas por el colector BSNE variaron entre 0,82 y 30 g; mientras que, las del colector MWAC entre 0,25 y 3,93 g. La mayor cantidad de material recogido por el colector BSNE se debió a que en este muestreador el área de la abertura es 22,4 veces mayor respecto de la abertura del MWAC. Los BSNE son colectores más apropiados para estudios que requieran análisis de la calidad del material erosionado, porque pueden colectar mayor cantidad de material. Los análisis de textura, nutrientes y mineralogía, entre otros, requieren la recolección de varios gramos de muestra.

Al analizar el flujo de masa horizontal (HMF) se encontró que el HMF de BSNE (HMFB) varió entre 0,00023 y 2,6 $g.cm^{-2}$, mientras que el HMF del MWAC (HMFM) varió entre 0,00021 y 6,5 $g.cm^{-2}$. Estos resultados muestran que la cantidad de material colectado por unidad de superficie de la abertura del colector es mayor en MWAC respecto de BSNE.

A fin de obtener la eficiencia relativa de los colectores analizados para cada altura y posición de los colectores en todas las tormentas, se relacionaron los HMFB con los HMFM. Las rectas de regresión muestran que existe una relación lineal altamente significativa entre el HMFM y el HMFB cuando todas las alturas de muestreo fueron consideradas de manera conjunta. La pendiente de la recta muestra que, en promedio, el HMFM fue 2,44 veces mayor que HMFB, lo que indica que la eficiencia relativa del MWAC relacionada con el BSNE (REW/B) fue de 244% (Figura 5).

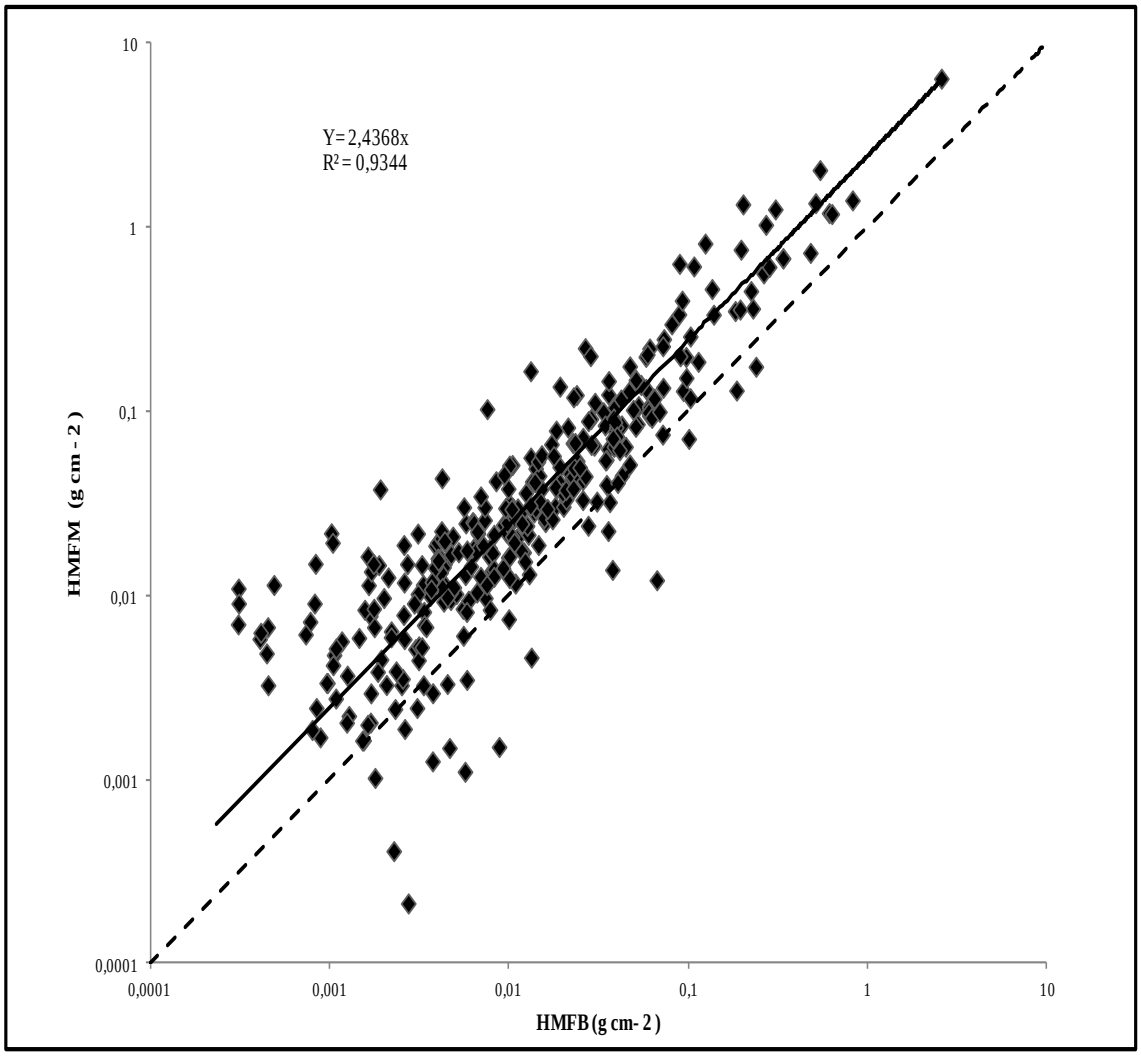

Figura 5: Relación entre el flujo de masa horizontal de BSNE (HMFB) y el flujo de masa horizontal de MWAC (HMFM). La línea de puntos representa el ajuste 1:1, la línea sólida representa la de recta de regresión.

Al analizar cada altura por separado (Figura 6) se encontró que la relación entre el HMF de ambos colectores fue lineal ($p<0.001$), pero la pendiente de la recta fue diferente para cada altura. Las pendientes de las rectas muestran que, a excepción de la altura 13,5 cm, el valor de la pendiente (que indica la REW/B) aumentó con la altura. Esto refleja que la REW/B aumentó con la altura de muestreo.

La mayor cantidad de material atrapado por el MWAC en relación al BSNE a mayor altura se debe a la presión de estancamiento que se genera a la entrada del colector y al menor tamaño de partículas transportadas a mayores alturas. Se sabe que la velocidad del viento aumenta con la altura y la presión de estancamiento se incrementa con la velocidad del viento en BSNE y se mantiene constante en MWAC (Goossens *et al.*, 2000).

En los colectores BSNE la velocidad del viento disminuye a medida que la masa de aire entra al colector, como consecuencia de que el área del colector aumenta por su forma trapezoidal. Esta caída en la velocidad genera una presión a la entrada del colector conocida como presión de estancamiento que es responsable de la pérdida de partículas pequeñas. Las partículas más grandes tienen mayor masa y mayor inercia lo cual les permite evitar la presión de estancamiento y entrar al cuerpo del colector. Las partículas pequeñas tienen menos masa y poca inercia lo que las hace más sensibles a las variaciones en el flujo de aire. Es por esto que las partículas pequeñas siguen las líneas de la corriente del viento y en gran medida el flujo alrededor del colector en lugar de entrar al muestreador (Goossens & Offer, 2000). En los colectores MWAC la presión de estancamiento a la entrada del colector es menor respecto de los BSNE (Goossens *et al.*, 2000), siendo esta la razón por la cual la REW/B aumenta con la altura. Éstos resultados coinciden con estudios anteriores conducidos en túnel de viento, donde han demostrado que la eficiencia de BSNE aumenta, mientras que la eficiencia de MWAC es constante cuando aumenta el tamaño de partículas (Fryrear, 1986; Goossens *et al.*, 2000).

Goossens *et al.* (2000) también encontraron que las diferencias entre las eficiencias de BSNE y MWAC fueron mayores en túnel de viento que en condiciones de campo. A pesar de esto, se considera que las diferencias son consecuencia de que en condiciones de campo el flujo del aire es mucho menos estable, el transporte de arena se produce principalmente por ráfagas de alta velocidad del viento, y el flujo de sedimentos difiere, incluso cuando el espacio del muestreador está restringido a pocos centímetros. Esto último, puede ser una de las causas de porqué la REW/B fue alta a la altura de 13,5 cm.

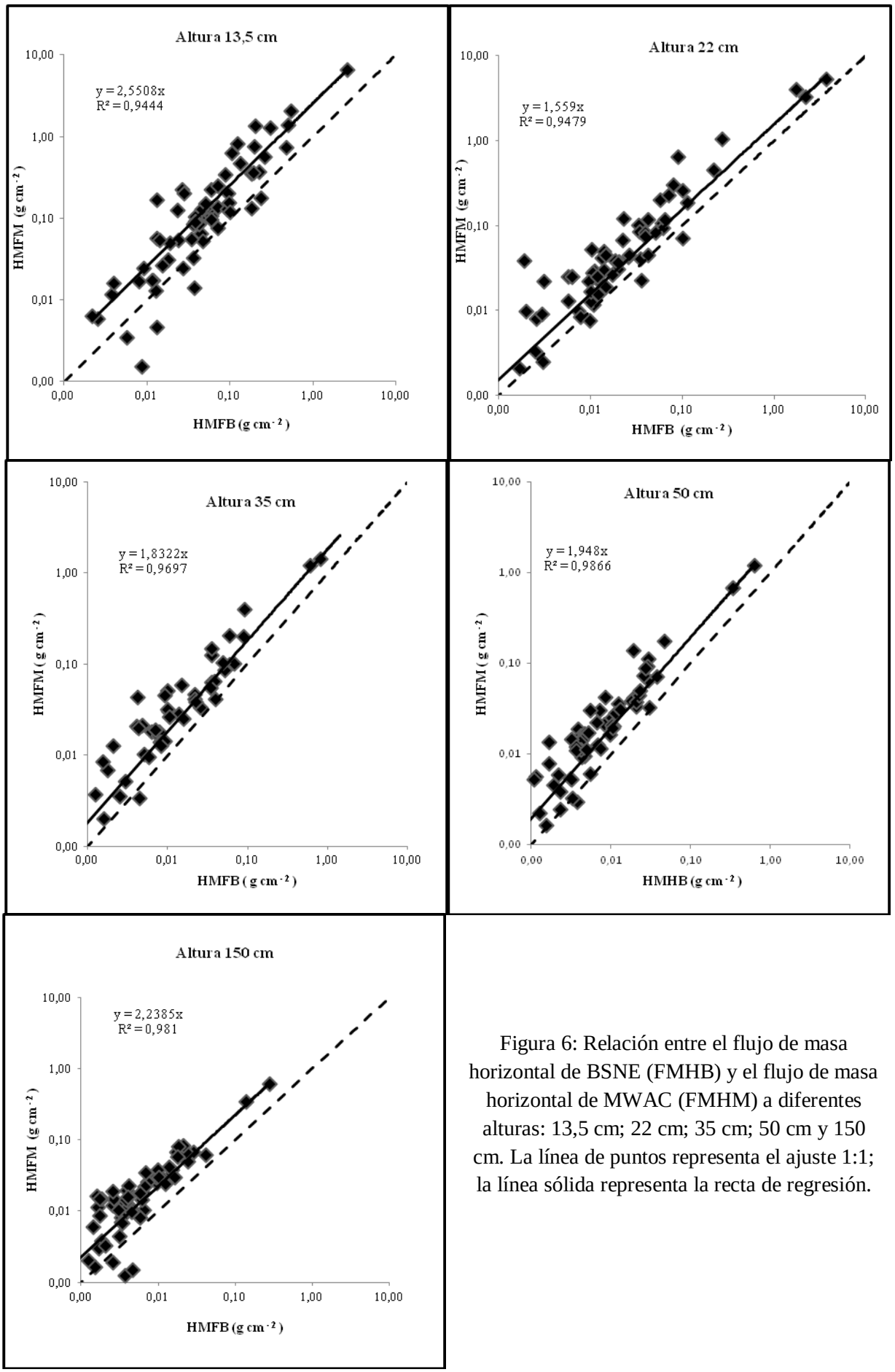

Figura 6: Relación entre el flujo de masa horizontal de BSNE (FMHB) y el flujo de masa horizontal de MWAC (FMHM) a diferentes alturas: 13,5 cm; 22 cm; 35 cm; 50 cm y 150 cm. La línea de puntos representa el ajuste 1:1; la línea sólida representa la recta de regresión.

Al analizar el ajuste del perfil de flujo de masa (HMF) para determinar el transporte horizontal de masa (HMT) con las distintas ecuaciones utilizadas en éste estudio, se encontró que el orden y la secuencia de las ecuaciones para cada tipo de muestreador era el mismo (Tabla 3). Al mismo tiempo, se observa también que los coeficientes R^2 del muestreador BSNE son mayores que los de MWAC, lo que indica que las ecuaciones utilizadas se ajustan mejor al colector BSNE.

Tabla 3: Promedio ajustado y números significativos para el flujo de masa horizontal de muestreados BSNE y MWAC.

	Eq. 4-a BSNE	Eq. 4-b	Eq. 4-c	Eq. 4-d
Promedio ajustado (R^2)	0.92	0.85	0.72	0.47
Número significativo ajuste (p< 0.001)	41	28	9	0
Número significativo ajuste (p< 0.005)	5	17	18	5
Sin ajuste	4	5	23	45
	Eq. 4-a MWAC	**Eq. 4-b**	**Eq. 4-c**	**Eq. 4-d**
Promedio ajustado (R^2)	0.81	0.72	0.62	0.40
Número significativo ajuste (p< 0.001)	33	19	5	0
Número significativo ajuste (p< 0.005)	4	20	12	3
Sin ajuste	13	11	33	47

Eq. 4-a Exponencial;
Eq. 4-b Poder;
Eq: 4-c logarítmica;
Eq. 4-d Racional.

El transporte de masa horizontal de MWAC (HMTM), calculado con distintas ecuaciones (Eq 4. a-b-c-d), resultó ser mayor que el HMTB y varió entre 2,1 a 2,53 veces (Figura 7). Se observa también, que se establecen relaciones parecidas a las encontradas entre el HMFM y HMFB (REW/B = 2,44). Estos resultados muestran que el HMT de los colectores MWAC y BSNE pueden ser comparados, si el mismo fue calculado a partir del HMF corregido por la eficiencia relativa de cada colector y con la misma ecuación. De las

ecuaciones analizadas, la logarítmica es la que presenta la relación más parecida, seguida por la ecuación racional, la potencial y la exponencial, respectivamente. Sin embargo, las ecuaciones exponencial y potencial presentaron los mejores ajustes mientras que las otras dos ecuaciones presentaron peores ajustes y un número importante de ajustes no significativos. Es por esto que se recomienda el uso de las ecuaciones exponenciales o potenciales.

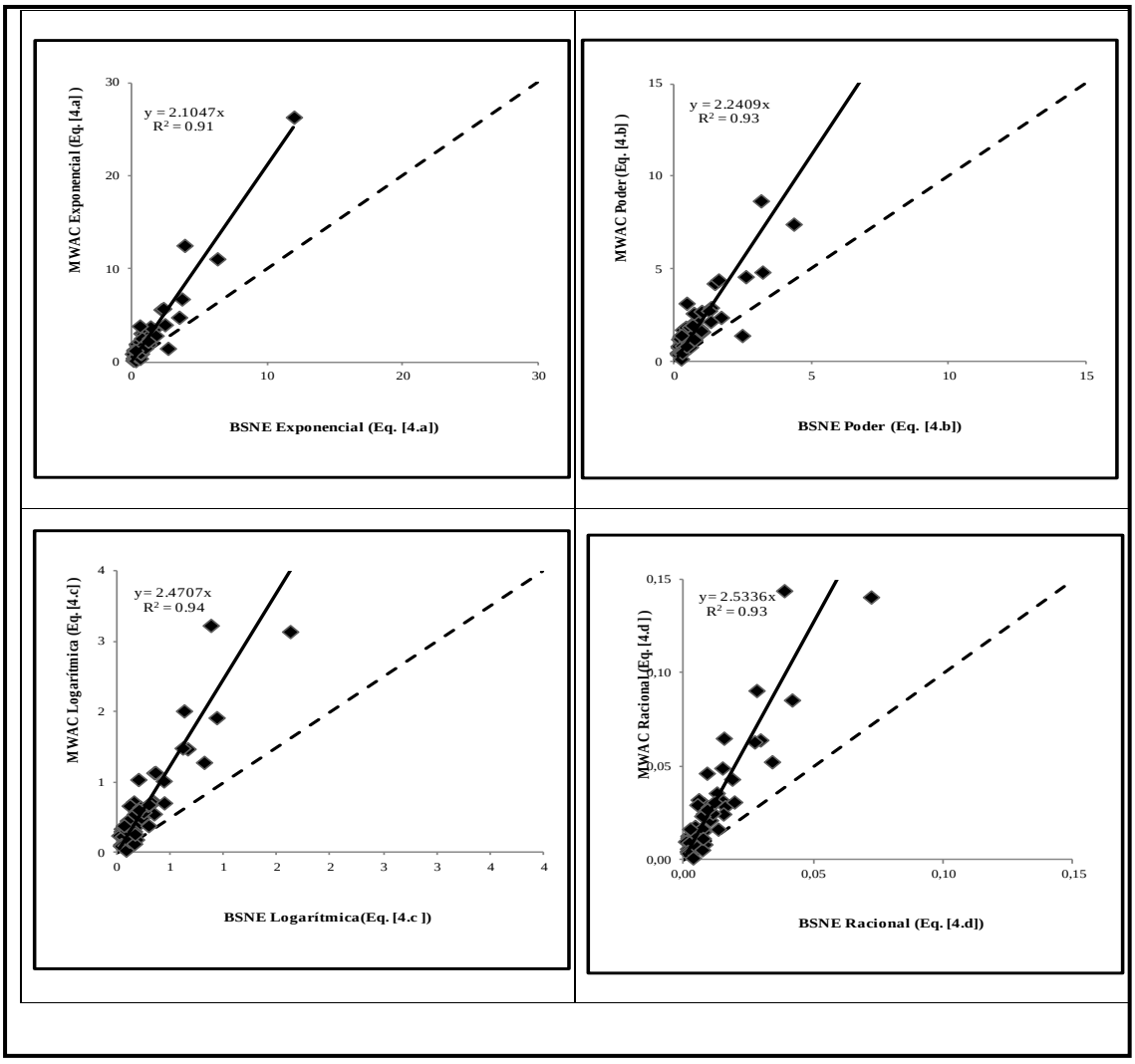

Figura 7: Comparación del flujo de masa de transporte HMT de los colectores BSNE y MWAC calculados con Eq. Exponencial; Eq. Potencial; Eq. Logarítmica y Eq. Racional. La línea de puntos representa la relación 1:1, la línea sólida representa la recta de regresión.

Como se observa en la figura 7 el HMTM ajustó de forma lineal y altamente significativa con el HMTM, cuando el HMT fue calculado con la misma ecuación. Estos resultados indican que el HMTB y el HMTM pueden ser comparados siempre y cuando se

hayan calculados con la misma ecuación y el HMF se haya corregido de acuerdo a la eficiencia relativa.

CONCLUSIONES

La comparación de las mediciones a campo entre los muestreadores BSNE y MWAC, demostró que los muestreadores MWAC son más eficientes que los muestreadores BSNE. La eficiencia relativa de los MWAC relacionada con los BSNE (REW/B) aumenta con la altura, como consecuencia de una mayor velocidad del viento y un menor tamaño de partículas, por lo que se acepta la hipótesis planteada en este trabajo.

El HMT calculado con las diferentes ecuaciones para el colector BSNE y MWAC resultó similar. Al mismo tiempo, todas las ecuaciones analizadas presentaron un mejor ajuste al flujo de masa horizontal del colector BSNE.

Debido a que la eficiencia del colector MWAC es mayor y el costo más bajo, se recomienda el empleo de este tipo de colector para futuros estudios de medición de erosión eólica.

BIBLIOGRAFÍA

Aimar, S.B., D.E. Buschiazzo & N. Peinemann. 2003. Cuantificaciones de la erosión eólica en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central Argentina (RSPC). Cuantificación de material erosionado. En: Viento, suelo y plantas. Editores Golberg y Kin. Ediciones INTA. Pp. 35-44.

Bagnold, R.A. 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes Methuen, London. Pp 265.

Buschiazzo, D.E. & S.B. Aimar. 2003. Erosión eólica: Procesos y Predicción. En: Viento, suelo y plantas. Editores Golberg y Kin. Ediciones INTA. Pp. 21-34.

Buschiazzo, D.E., T. Zobeck & S.B. Aimar. 1999. Wind erosion in loess soils of the Semiarid Argentinian Pampas. Soil Sci. 164: 133-138.

Cano, E. 1980. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. INTA, Gobierno de La Pampa, UNLPam y Subsecretaría de Cultura. 1ª Edición. Buenos Aires, Argentina. Pp 493.

Covas, D.S. & A.E. Glave. 1988. Erosión. Provincia de La Pampa. En: El deterioro del ambiente en la Argentina. Fundación para la educación, la ciencia y la cultura FECIC Pp. 109-114.

Dong, Z., H. Sun & A. Zhao. 2004. WITSEG sampler: a segmented sand sampler for wind tunnel test. Geomorphology. 59: 119-129.

Fryrear, D.W. 1986. A fiel dust sampler. J. Soil Water Conserv. 41: 117-120.

Goossens, D., Z. Offer & G. London. 2000. Field wind erosion measurements with Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC) samplers. Geomorphology. 35: 233-252.

Goossens, D. & Z. Offer. 2000. Wind tunnel and field calibration of aeolian dust samplers. Atmospheric Environment. 34: 1043-1057.

Kuntze, H., R. Beinhauer & G. Tetzlaff. 1990. Quantification of Soil Erosion by Wind: I. Final Report of the BMFT project. Project No. 0339058 A, B, C. Institute of Meteorology and Climatology, University of Hannover, Germany. (in German).

Nickling, W.G. & C. McKenna Neuman. 1997. Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap. Geomorphology. 18: 333-345.

Panebianco, J.E. 2004. Desarrollo de Modelos Matemáticos para predecir la erosión eólica en suelos de la región Pampeana Argentina. Universidad Nacional de la Pampa. http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/tesinas/PANEBIANCOJuanEsteban.pdf

Pollet, I., D. Gabries & W. Cornelis. 1998. The catch efficiency of a windblown sand collector: a wind tunnel study. Pedologie Themata. 5: 75-78.

Rostagno, C.M, H.F. Del Valle & D. Buschiazzo. 2004. http:/www.centap.edu.ar/pdf/LaErosiónEólica.pdf. La erosión eólica. En: Peligrosidad geológica en Argentina. (Cap 22). M.A. Gonzalez y N.J. Bejerman. Editores. En CD-Rom.

Shao, Y., G.H. McTainsh, J.F. Leys & M.R. Raupach. 1993. Efficiencies of sediment samplers for wind erosion measurement. Australian Journal of Soil Research. 31: 519-532.

Torres, E.G. & G. Fernández. 1996. Erosión actual de los suelos de la Puna de Jujuy, Argentina. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa. La Pampa. Pp. 219.

Wilson, S.J. & R.U. Cooke. 1980. Wind erosion. In: Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C. (Eds.), Soil Erosion. Wiley, Chichester. Pp. 217-251.