

# Erosión Eólica En Zonas Productoras De Quinua En El Altiplano Boliviano

## Wind Erosion In Producing Areas Quinua The Bolivian Altiplano

Roberto Miranda Casas<sup>1</sup>, Soledad Calderon Condori<sup>2</sup>, Freddy Cadena<sup>2</sup>

Recibido: 12 de marzo 2016

Aceptado: 15 de octubre 2016

### Resumen

En Bolivia cerca del 40% de las tierras están afectadas por procesos de erosión asociados a factores como el agua, viento y manejo inadecuado de los suelos. Actualmente, la quinua es un cultivo que tiene demanda internacional incidiendo en la habilitación de nuevas tierras para su producción. La zona productora de quinua en el altiplano sur de Bolivia, se caracteriza por presentar un clima árido con fuertes vientos que influyen el arrastre de partículas con el consiguiente efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo del presente trabajo es cuantificar la cantidad de suelo erosionado por la acción de viento mediante la utilización de un colector Big Spring Number Eight (BSNE) desarrollado por Fryrear (1986). Este instrumento presenta tres colectores ubicados a 10 cm, 50 cm y 150 cm de altura desde la superficie del suelo. Se utilizaron tres colectores en un extremo y tres colectores en el otro de cada parcela, la distancia entre colectores fue de 10 metros, de esta manera el área de influencia de cada parcela fue de 4000 m<sup>2</sup>. Fueron identificados tres unidades de manejo a saber: parcela en descanso (barbecho), parcela de quinua abonada con estiércol de ganado camélido y parcela de quinua sin abonar. Para el suelo recogido en los colectores, se determinó el peso de suelo acumulado, nitrógeno total y materia orgánica. Los resultados muestran que existe un mayor movimiento de partículas en los primeros 10 cm del suelo esto

---

1 Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía–Proyecto AndesCrop

2 Técnico Proyecto AndesCrop, Facultad de Agronomía

se asocia al predominio del proceso de saltación. El mayor movimiento de las partículas de suelo se registró en las parcelas cultivadas (abonadas y sin abonar), mientras que la parcela en descanso presentó un menor movimiento de partículas de suelo, asociado a un mayor cubrimiento por parte de la cobertura vegetal nativa. El contenido de nitrógeno total fue mayor en el mes de mayo, pese a que la cantidad de suelo acumulado fue menor en este mes, en cuanto a la acumulación de la materia orgánica no hubo diferencias entre tratamientos.

**Palabras clave:** erosión eólica, zona semiárida, quinoa, tamaño partículas, degradación de suelo

## Abstract

In Bolivia, about 40% of the land is affected by erosion processes associated with factors such as water, wind and inadequate soil management. Nowadays, quinoa is a crop that has international demand, focusing on the habilitation of new lands for its production. The quinoa production zone in the southern Altiplano of Bolivia is characterized by an arid climate with strong winds that influence the trawling of particles with the consequent effect on the availability of nutrients in the soil. The objective of the present work is to quantify the amount of soil eroded by the wind action through the use of a Big Spring Number Eight (BSNE) collector developed by Fryrear (1986). This instrument has three collectors located at 10 cm, 50 cm and 150 cm high from the soil surface. Three collectors were used at one end and three collectors in the other of each plot, the distance between collectors was 10 meters, so the area of influence of each plot was 4000 m<sup>2</sup>. Three management units were identified: rest (fallow), quinoa plot fertilized with camelid cattle manure and quinoa plot without fertilizer. For the soil collected in the collectors, the weight of accumulated soil, total nitrogen and organic matter were determined. The results show that there is a greater movement of particles in the first 10 cm of the soil this is associated to the predominance of the process of saltation. The highest movement of soil particles was registered in the cultivated plots (fertilized and without fertilize), while the rest plot showed a smaller movement of soil particles, associated to a greater coverage by native vegetation cover. The total nitrogen content was higher in the month of May, although the amount of accumulated soil was lower in this month, as for the accumulation of organic matter there were no differences between treatments.

**Keywords:** wind erosion, semi-arid zone, quinoa, particle size, soil degradation

## 1. Introducción

El incremento de la erosión (eólica, hídrica), disminuye la capacidad productiva del suelo, ya sea por la pérdida de partículas, nutrientes o por la deposición de sedimentos que pueden afectar algunos procesos como el intercambio de gases entre el suelo y la troposfera. Estos impactos, se traducen en pérdidas económicas y elevados costos de recuperación del suelo, especialmente en países de desarrollo [1]. Los suelos de ecosistemas áridos y semiáridos son propensos a sufrir erosión eólica debido a su origen (acumulación de arena en

superficie), condiciones climáticas secas, acción del viento y condiciones de manejo del suelo inapropiadas que resultan en la degradación de este recurso [2]. Los suelos bajo cultivo de quinua en el I intersalar de Uyuni, Altiplano Sur con precipitaciones menores a 250 mm anuales [3], caracterizado por la presencia de suelos de textura franco arenosa, areno francosa gruesa con bajos contenidos de materia orgánica, los mismos oscilan entre valores de 0,78 a 0,90% [4], lo que determina su fragilidad cuando no están bajo cobertura vegetal [5].

En estas zonas se produce el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa*), la misma es un pseudo cereal originario de los Andes, alimento vegetal que proporcionaría los diez aminoácidos esenciales para la alimentación humana. La creciente demanda de los mercados mundiales y las posibilidades de la labranza mecanizada promovieron un aumento del área cultivada [6]. La erosión por el viento y/o el agua en la zona de estudio es común a toda la región, degradando la estructura del suelo ocasionando limitaciones físicas y químicas [7]. Afectando los rendimientos del cultivo de quinua a menos de 500 kg de grano por hectárea [8]. Los precios del mercado internacional (3000 USD por tonelada) incrementaron el área cultivada de 48 mil hectáreas para la década de los 80 a 200 mil hectáreas para el año 2012 [9]. El modelo agrícola corresponde a una agricultura itinerante, donde los terrenos en barbecho “descanso” se dejan sin cobertura vegetal por periodos que oscilan entre los 2 y 3 años, durante este periodo de descanso se recurre a nuevas áreas de cultivo afectando la cobertura vegetal nativa [10]. Estas prácticas dejan al terreno a expensas de la actividad de los vientos, produciéndose procesos severos de erosión eólica [11].

La erosión eólica es un proceso que se da en regiones con precipitaciones pluviales inferiores a 200 mm anuales, ligada a la pérdida de productividad de suelos agrícolas [12][13]. Para el centro de Argentina velocidades del viento mayores a  $6,7 \text{ m s}^{-1}$  (velocidad umbral) son consideradas erosivas [14]. La erosión eólica es un proceso por el cual el material superficial de los suelos es removido y transportado por el viento, este problema se agrava en condiciones de donde predominan material fino, suelto y seco, en áreas extensas con superficies poco rugosas, desprovistas de cobertura vegetal, en condiciones de fuertes vientos, este fenómeno se ha constituido en un grave problema ambiental en muchas regiones del mundo [15]. Las partículas removidas por el viento, pueden ser transportadas mediante tres mecanismos diferentes: saltación, rodadura y suspensión. El modo en el que son transportadas las partículas, dependerá de

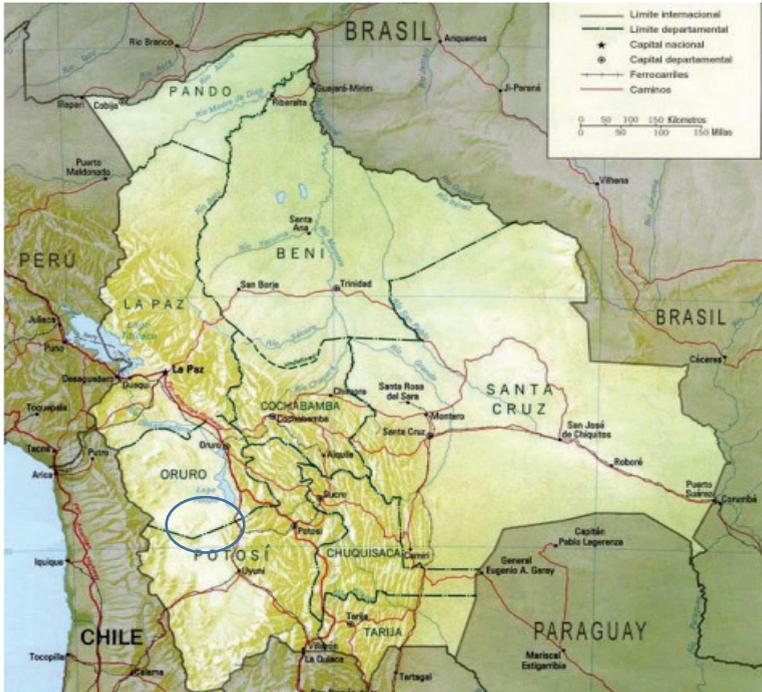
sus propiedades aerodinámicas (tamaño, forma y densidad) y de la capacidad de transporte del viento según su turbulencia, viscosidad y densidad <sup>[16]</sup>.

Las partículas de suelo transportadas por rodadura forman parte de un proceso pasivo de erosión, de relativa baja magnitud, de corto recorrido y con poca influencia destructiva <sup>[16]</sup>. Estas partículas pueden producir abrasión, desgastando los agregados del suelo u otros elementos como rocas transformándose en partículas o agregados más pequeños al ser transportados por saltación incrementando su poder destructivo <sup>[17]</sup>. Las partículas que se movilizan por saltación, permanecen relativamente cerca de la superficie del suelo, generalmente a menos de 30 cm, su tamaño varía entre 0,05 - 0,50 mm (arenas muy finas a arena media) <sup>[18]</sup>. La velocidad crítica del viento varía de acuerdo al tamaño de las partículas. Las partículas movilizadas por saltación impactan en el suelo y transfieren un momento de salto a las que se encuentran en la superficie. En general el 60% del material se moviliza por saltación a una altura menor de 5 cm, 90% a una altura menor a 30 cm y sólo un 1% supera el metro de altura <sup>[17]</sup>. Según este mismo autor, el proceso de transporte por suspensión es el más visible, describiendo el movimiento de las partículas más pequeñas (< 0,2 mm de diámetro) a gran altura y por distancias muy largas. Las partículas más finas pueden permanecer suspendidas en el aire durante largos periodos de tiempo, la mayor expresión de este proceso son las tormentas de polvo las cuales a pesar de movilizar grandes volúmenes de suelo, no superan el 15 % de las pérdidas totales de suelo por erosión eólica <sup>[18]</sup>. Este trabajo busca cuantificar la erosión del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de uso común en la zona del sur de Bolivia, monitoreando el movimiento de la materia orgánica y el nitrógeno debido a la acción del viento en parcelas en descanso sin cultivo, parcela de quinua con abonamiento y parcela de quinua sin abonamiento), a tres alturas de la superficie del suelo (10, 50 y 150 cm).

## **2. Material y métodos**

### **2.1 Zona de Estudio**

Este trabajo de investigación fue llevado a cabo en la comunidad de Saytoco, Provincia Ladislao Cabrera, Municipio de Salinas de Garci Mendoza, Departamento de Oruro, Bolivia. Coordenadas 19°45'19" de Latitud Sur y 67°41'13" de Longitud Oeste a 3880 msnm (Figura 1).

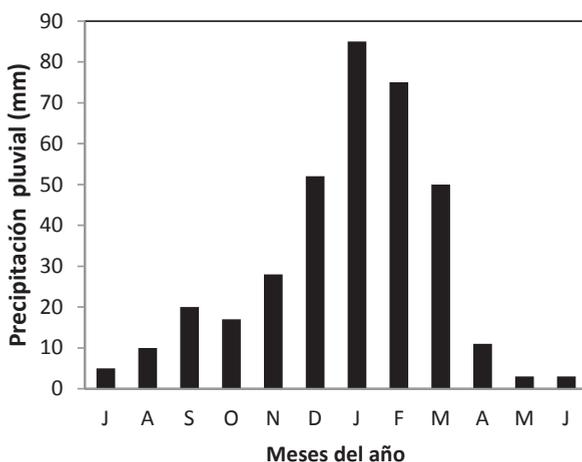
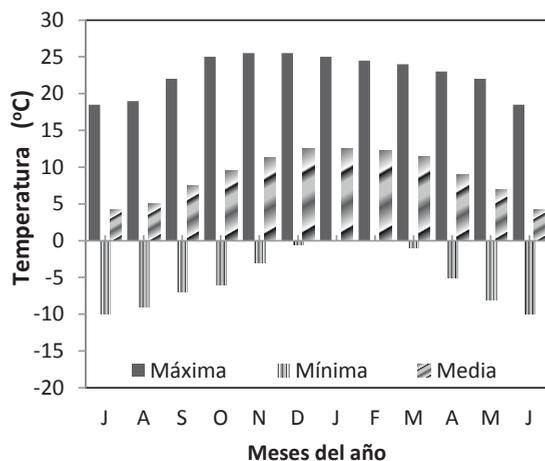


**FIGURA 1.** UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN EN EL ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA.

ADAPTADO DE GARCÍA, TABOADA E YUCRA (2008) [19].

IMAGEN A COLOR DISPONIBLE EN [HTTP://WWW.PASCUALBRAVO.EDU.CO/CINTEX/INDEX.PHP/CINTEX/ISSUE/ARCHIVE](http://www.pascualbravo.edu.co/cintex/index.php/cintex/issue/archive)

El clima en el sur del altiplano andino se caracteriza por ser árido con dos periodos de precipitación (bimodal), con una larga temporada seca (Abril a Noviembre) y dos temporadas húmedas que ocurren en los meses de diciembre a marzo (Figura 2). La temperatura mínima llega a -12 grados centígrados en los meses de junio y julio que no coincide con el desarrollo del cultivo y la temperatura máxima de 20 °C, con variaciones de 3°C entre mañana y tarde. Las heladas suelen ocurrir en ocho de los 12 meses del año, y las lluvias estacionales entre tres a cuatro meses con fluctuaciones anuales bien marcadas [20]. El invierno es frío y seco, con vientos muy intensos los cuales son comunes durante casi todo el año, alcanzando velocidades superiores a 25 m s<sup>-1</sup> (90 km h<sup>-1</sup>) dirección predominante sur-este. Las permanentes ausencias de nubes ocasionan pérdidas por irradiación durante el día mientras que en la noche se presenta un rápido enfriamiento con temperaturas inferiores a 0°C [8].



**FIGURA 2.** TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA COMUNIDAD DE SAYTOCO – ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA <sup>[8]</sup>.

Los suelos, según el sistema de clasificación de la soil taxonomy a nivel de Suborden, corresponden a ustorthents <sup>[21]</sup>, Las características del suelo en la zona de estudio se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN PARCELAS CON DIFERENTE MANEJO – COMUNIDAD DE SAYTOCO – ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA. (LABORATORIO DE SUELOS – IBTEN).**

Parcela	Arena	Limo	Arcilla	Textura	pH (1;2,5)	CE (1;2,5)	MO	Nt	P
	Porcentaje				KCl	KCl (μS)	Porcentaje	ppm	
PD	80	13	7	Areno francoso	7,7	44,6	0,34	0,02	1,19
PSA	79	14	7	Areno francoso	7,4	42,5	0,34	0,02	1,73
PCA	79	14	7	Areno francoso	7,5	41,1	0,27	0,02	0,96

PD: PARCELA EN DESCANSO; PSA: PARCELA SIN FERTILIZAR; PCA: PARCELA FERTILIZADA; MO: MATERIA ORGÁNICA; NT: NITRÓGENO TOTAL; P: FÓSFORO.

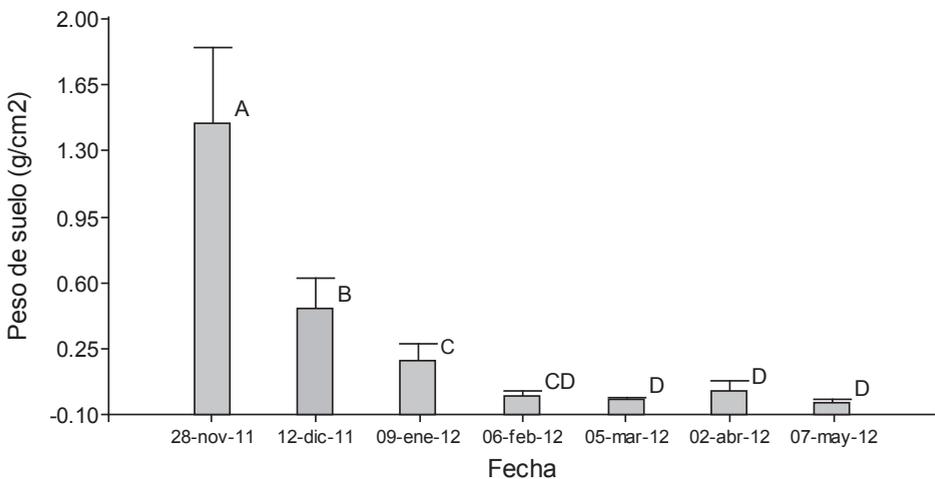
## 2.2 Instrumentación y tratamientos

Para cuantificar el movimiento y deposición del suelo, se utilizó un colector Big Spring Number Eight (BSNE) propuesto por Fryrear (1986) [22], el cual es un muestreador isocinético que atrapa el material erosionado trasladado por el viento. El BSNE presenta una abertura vertical de 2 cm de ancho y 5 cm de alto con una malla de acoplamiento No 60 en la parte superior, la cual permite la salida del viento atrapando el material particulado sólido. Los colectores se ubicaron a 10, 50 y 150 cm de altura de la superficie del suelo. Se instalaron 18 dispositivos, los cuales fueron distribuidos en tres tipos de suelo bajo tres diferentes unidades de manejo a saber: 1) parcela en descanso de cuatro años (PD), terreno donde se cultivó quinua hace cuatro años antes de la implementación de los colectores y con presencia de vegetación local como *Festuca orthophyla* y especies anuales como *Bouteloa simplex*; 2) parcela de quinua con abonamiento de estiércol de camélido en una dosis de cuatro toneladas por hectárea, la misma fue colocada siete meses antes de la siembra de la quinua (PCA) y 3) parcela de quinua sin abonamiento orgánico (PSA). Los colectores se dispusieron a dos extremos de la parcela (entrada y salida), sin embargo, la dirección, velocidad e intensidad de los vientos no es uniforme lo que no permite realizar una medición más exacta. La distancia entre colectores fue de 10 metros, mientras que la distancia entre los dos extremos fue de 100 metros, por tanto la superficie de cada parcela fue aproximadamente de 4000 m<sup>2</sup>. Las mediciones o lectura de peso del suelo, fueron realizadas en siete fechas cada 15 días aproximadamente (28 de noviembre

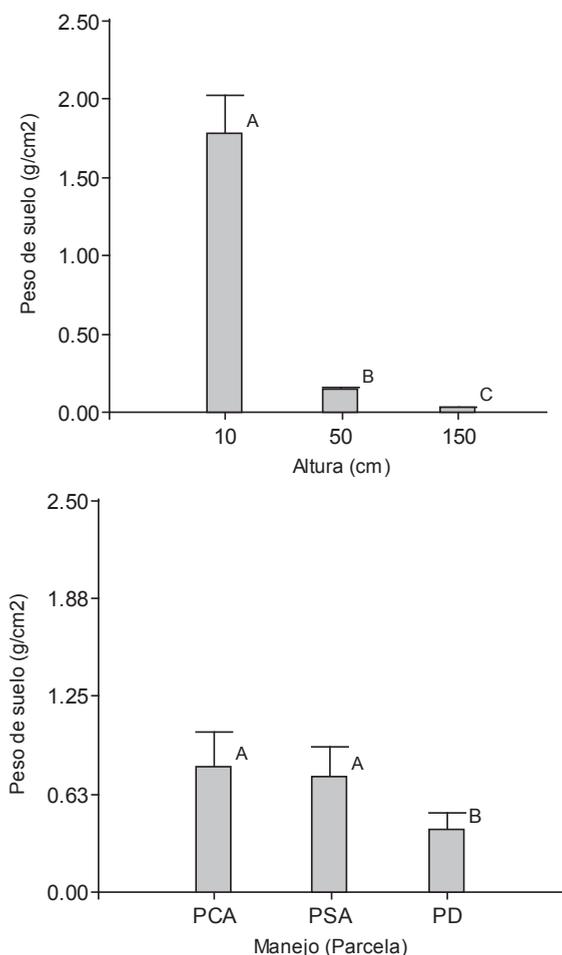
2011 hasta el 7 de mayo del 2012). De los dispositivos se evaluó la cantidad de suelo atrapado o depositado en los colectores, así como el contenido de nitrógeno total y de materia orgánica en este suelo. Para la interpretación de los datos se utilizó el programa Infostat.

### 3. Resultados y discusión

El mes de octubre y noviembre del 2011 se presentaron precipitaciones de 8,8 y 6,6 mm, con una velocidad media del viento de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  ( $9,3 \text{ km h}^{-1}$ ). Las lluvias fueron mayores en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo con valores de 55, 91, 95 y 48 mm respectivamente, lo que ocasionó la formación de costras sobre el suelo evitando el transporte de las partículas en superficie por acción del viento, fenómeno favorecido por la disminución de la velocidad del viento ( $1,2 \text{ m s}^{-1}$ ). Para el mes de abril la precipitación pluvial llegó a 8 mm, mes que coincide con la cosecha de la quinua. El mayor movimiento de suelo se presentó en los meses de noviembre y diciembre del 2011, disminuyendo para los meses de enero a mayo. Al parecer, las lluvias de los meses de enero y febrero asentaron el suelo y la velocidad del viento para estos meses no sobrepasó los  $3 \text{ m s}^{-1}$ , lo que explicaría la menor cantidad de suelo erosionado (Figura 3).



**FIGURA 3.** MOVIMIENTO DEL SUELO POR EFECTO DEL VIENTO  
(MEDIA DE LAS TRES UNIDADES DE MANEJO Y TRES ALTURAS DE RECOLECCIÓN DEL SUELO  
(VALORES NEGATIVOS IMPLICAN ACUMULACIÓN DE SUELO).



**FIGURA 4.** ACUMULACIÓN DE SUELO POR EFECTO DEL VIENTO A DIFERENTES ALTURAS Y DIFERENTE MANEJO EN LA COMUNIDAD DE SAYTOCO – ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA.

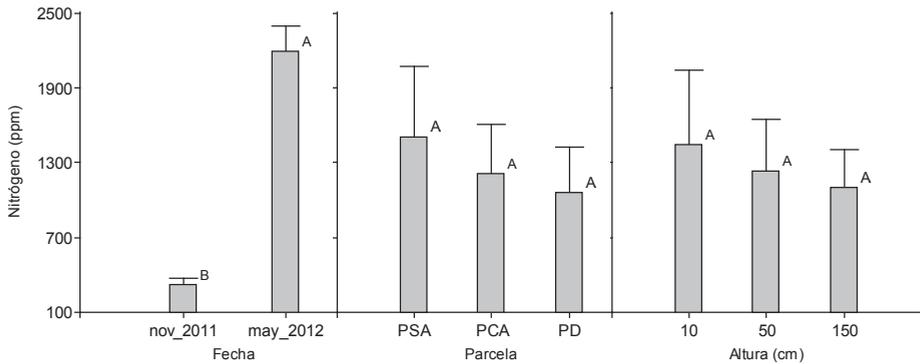
Hubo mayor movimiento del suelo en los primeros 10 cm de altura (Figura 4), asociado al movimiento de las partículas por proceso de saltación, disminuyendo el volumen de partículas transportadas en suspensión, un comportamiento similar es reportado por Buchiazzo [16]. El citado autor reporta un mayor movimiento de partículas por saltación, la misma se da en suelos poco evolucionados y/o baja cobertura vegetal. Asimismo, Chepil [23] encontró que el 55% - 72% del movimiento del suelo se da por saltación, un 3% a 38% por suspensión, y 7% a 25% está en la superficie (ro-

dadura). Un movimiento total del suelo se produce dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo, cambiando continuamente el modo de transporte de las partículas, a medida que la velocidad del viento fluctúa y modifica la rugosidad de la superficie del suelo. Con respecto al manejo del suelo, las parcelas cultivadas con quinoa fueron las que presentaron mayor movimiento de suelo, no habiendo diferencias entre la parcela con adición de abono con respecto a la parcela sin abonamiento. La parcela que no fue removida (parcela en descanso), presentó menor movimiento de suelo, ello se explica por la mayor cobertura vegetal debido a la presencia de vegetación natural como la *Festuca orthophylla*, *Bouteloa simplex*, *Distichilis humilis* entre otros, al respecto Orsag menciona que los pobladores incrementan los procesos erosivos debido a la extracción de la tola (*Parestrephya lepidophylla*), y las gramíneas de estrato (*Festucas*), para habilitarlos como áreas de cultivo, disminuyendo de esa manera la cobertura vegetal y por tanto favoreciendo la susceptibilidad a la erosión [24]. En un estudio realizado por Quelca [25], en el altiplano norte en suelos franco arenosos y con el uso de varillas, encontró una relación directa entre el porcentaje de deforestación y el suelo erosionado, habiendo una pérdida de hasta 19 toneladas de suelo por hectárea-año.

Como se puede observar en la Figura 5, las condiciones de manejo del suelo y la altura a la cual ocurre el fenómeno, influyen en el movimiento de partículas de suelo. Los anteriores resultados son validados por Black y Siddoway [26] quienes mencionan que además de las prácticas de labranza, la erosión eólica es influenciada por los contenidos de humedad y estabilidad de agregados del suelo.

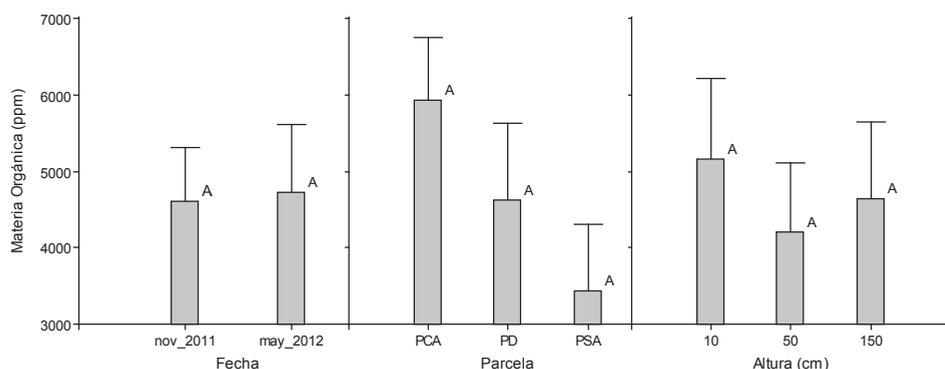
Respecto al comportamiento del movimiento del nitrógeno total del suelo, este presentó una dinámica diferente al movimiento de las partículas. Como puede verse en la Figura 5, se tiene mayor movimiento de nitrógeno total en el mes de mayo, este comportamiento se debe a que el suelo se encuentra suelto luego de la cosecha de la quinoa. Si bien la velocidad del viento disminuye ( $2.4 \text{ m s}^{-1}$ ), la escasa cobertura de los suelos hace más susceptibles a elementos como el nitrógeno a ser translocados. De acuerdo con el análisis estadístico realizado, no se encontraron diferencias significativas entre la acumulación y el movimiento del nitrógeno para los diferentes tipos de manejo y alturas del colector a un nivel de significancia del 1%.

En contraposición hay una mayor pérdida de nitrógeno en la época seca del año (mayo), respecto al inicio de la época de lluvias. Según Miranda [27], los factores que favorecen, además de la velocidad del viento, son el excesivo laboreo, uso inadecuado de maquinarias, sobrepastoreo, falta de cobertura, entre otros.



**FIGURA 5.** EROSIÓN DE NITRÓGENO TOTAL POR EFECTO DEL VIENTO EN DIFERENTES FECHAS, PARCELAS Y ALTURAS EN LA COMUNIDAD DE SAYTOCO – ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA.

La materia orgánica, al estar atrapada en los microporos de las partículas primarias del suelo, se mueve junto a éstas, pudiendo ser la razón de encontrarse pérdidas de materia orgánica con respecto a las fechas, tipo de manejo y altura de ocurrencia del viento (Figura 6). Rojas [28] y otros autores encontraron que los suelos sembrados con siembra directa presentaron menor susceptibilidad a la erosión eólica comparados con suelos sembrados con implementos agrícolas. Según Quirantes [29], si el contenido de limo es inferior al 15% y se reduce a 5% el incremento de la erodabilidad se incrementa considerablemente. La cantidad de suelo erosionado se encontraría entre 5 a 30 toneladas de suelo perdido por hectárea. En este estudio, el contenido de limo fue inferior a 15%, y el de arcilla menor a 10%, lo que implica una baja capacidad de formar estructuras y por tanto mayor erodabilidad.



**FIGURA 6.** EROSIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR EFECTO DEL VIENTO EN DIFERENTES FECHAS, PARCELAS Y ALTURAS EN LA COMUNIDAD DE SAYTOCO – ALTIPLANO SUR DE BOLIVIA.

## 4. Conclusiones

Las condiciones de manejo del suelo influyen en el movimiento de partículas, las parcelas cultivadas son más susceptibles respecto a las parcelas con cobertura vegetal, a la pérdida de suelo, no influyendo la aplicación de materia orgánica.

Las partículas se movilizan en los primeros 10 cm de superficie lo cual corrobora la importancia de los fenómenos de saltación en estas áreas, por lo tanto es importante mantener la cobertura vegetal en superficie para tener un control sobre dicho fenómeno.

Se presentó mayor movimiento de nitrógeno en la época seca (mayo) pese a la menor cantidad de suelo acumulado en relación a la época lluviosa (enero) donde el movimiento de nitrógeno disminuyó.

## 5. Agradecimientos

Al proyecto ANDESCROP de la universidad de Leuven y la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) por el apoyo económico para la realización del presente trabajo.

## 6. Referencias

- [1] D. Pimentel, C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. Mcnair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, y R. Blair. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science. 267. 1117–1123, 1995.

- [2] G. A. Peterson, P. W. Unger, y W. A. Payne. Dryland Agriculture, 2nd., Ed., Monograph 23. ASA/CSSA/SSSA, Madison, W.I. 426p, 2006.
- [3] M. García, D. Raes, R. Allen, y C. Herbas. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). *Agric. Forest Meteorol.* 125, 67-82, 2004.
- [4] R. Miranda, R. Carlesso, M. Huanca, P. Mamani, A. Borda. Rendimiento y acumulación de nitrógeno en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) producida con estiércol y riego suplementario. *Venesuelos.* 20: 21-29, 2013.
- [5] R. Inda. Evaluación del comportamiento del nitrógeno en parcelas con cultivos de quinua bajo diferentes manejos de suelo (Municipio de Salinas de Garci Mendoza) Oruro, Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, 120p, 2010.
- [6] F.A.O. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/publicaciones/quinua-cultivo-milenario-seguridad-alimentaria/>. 2011.
- [8] R. Miranda. Adubação orgânica em condições de irrigação Suplementar e seu efeito na produtividade da Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) no planalto da Bolivia. Tesis de Doctorado del Programa de Post graduación en la Ciencia del suelo. Universidad Federal de Santa Maria. Estado Sur del Brasil. 98p, 2012.
- [9] S. E: Jacobsen. The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: From economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 197: 390-399. 2011.
- [10] V. Orsag, y L. Leon, L. Identificación de prácticas potenciales para la producción sostenible de quinua en el intersalar (Altiplano de Bolivia). La Quinoa y la UMSA. Pp 57 – 83. En Del Castillo, C. y [1] [1] Bosque, H. (eds). La Quinoa y la UMSA. Avance de investigaciones científicas en celebración al año internacional de la quinua. Universidad Mayor de San Andrés – Facultad de Agronomía, 2013.
- [11] FAUTAPO. Estudio de suelos del área productora de quinua real – Altiplano Sur. Fundación Autapo. Sucre – Bolivia. 170 p, 2008.
- [12] R. Lal. Erosion impact on soil quality in the tropics. In: Soil quality and soil erosion, ed. R. Lal, 285-305. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1999.
- [13] N. Hudson. Conservación del Suelo, Ed. Reverte S. A. Barcelona-Bogota-Buenos Aires-Caracas-México-Río de Janeiro, 265-279 pp, 1982.
- [14] D. E. Buschiazzo, J. E. Panebianco, G. Guevara, J. Rojas, J. J. Zurita, D. Bran, D. Lopez, J. Gaitan, y P. Hurtado. Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación

- del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina. *Ci. Suelo*. 27(2): 255-260, 2009.
- [15] C. M. Rostagno, H. F. Del Valle, y D. E. Buschiazzo. La erosión eólica (Cap. 2.2). En M. A. Gonzales y N. J. Bejarman (Eds). Peligrosidad geológica en Argentina. ASAGAI. Buenos Aires, Argentina, 2004.
- [17] D. E. Buschiazzo, y S. B. Aimar. Erosión Eólica: Procesos y Predicción. En Viento, Suelo y Plantas. Golberg y Kin, eds. INTA, Cap 3: 55 pp, 2003.
- [18] C. F. Rostagno, H. Del Valle, y D. E. Buschiazzo. La erosión eólica. En Gonzales, M. A., Bejerman, N. J. (eds). Peligrosidad geológica en Argentina, 2010.
- [19] M. GARCIA, C. TABOADA y C. YUCRA, E. Evaluación de las tendencias del balance Hídrico como indicador del Cambio Climático. Ministerio de Planificación del Desarrollo, Reino de los países Bajos. La Paz Bolivia, 2006, 42 p.
- [20] P. E. Rivasplata, Desertificación y Desertización en el Altiplano Andino Peruano: Comparación de Manejo del Territorio por las Sociedades Pretéritas, Maestría de Conservación y Gestión de Medio Natural, Universidad Internacional de Andalucía, ISBN 978-84-7993-973-1, 2012.
- [21] SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of agriculture, Natural Resources Conservation Service. Tenth edition. 341 p. 2006.
- [22] D. W. Fryrear, A field dust sampler. *J. Soil Water Conserv.* 41:117-120, 1986.
- [23] W. S. Chepil. Dynamic of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.* 60: 305-320, 1945.
- [24] V. Orsag. Degradación de suelos en el Altiplano Boliviano- Causas y medidas de mitigación. *Análisis - IBEPA*. 1 (3):
- [25] M. Quelca. Evaluación de la erosión de suelos por la extracción de la thola (*Parestepya quadrangularis*) en la localidad de Calacoto, Provincia Pacajes, departamento de La Paz. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, 59p, 1998.
- [26] A. L. Black, y F. H. Siddoway. Influence of tillage and wheat straw residue management on soil properties in the Great Plains. *Can. J. Soil Sci.* 69:835-847, 1979.
- [27] L. Miranda. Una experiencia en el manejo y conservación de suelos agrícolas. UNITAS – PROCAD. La Paz – Bolivia. 1991.
- [28] J. M. Rojas, D.E. Buschiazzo y O.E.A. Arce. Parámetros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del Chaco. *Ciencia del suelo*. 2013.
- [29] J. Quirantes. Erosión eólica. Valoración experimental. *Papeles de Geografía (Física)*. n 12, 11-18. 1987.