

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN EÓLICA EN DIFERENTES ZONAS
PRODUCTORAS DE QUINUA EN LA ESTANCIA DE SAYTOCO – ORURO.**

SOLEDAD CALDERÓN CONDORI

La Paz – Bolivia

2017

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN EÓLICA EN DIFERENTES ZONAS
PRODUCTORAS DE QUINUA EN LA ESTANCIA DE SAYTOCO –
ORURO.**

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

SOLEDAD CALDERON CONDORI

ASESOR:

Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. Msc. Gabriela Alandida Robles

TRIBUNAL REVISOR:

Ing. MSc. Yakov Arteaga García

Ing. MSc. Lucio Tito Vilca

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

2017

DEDICATORIA:

*A la memoria de mi querida madre
Felicidad Condori Torres (†) quien
siempre vivirá en mi mente y corazón.*

*A mi señor padre Mario Calderón
Quispe por haberme brindado su
apoyo, cariño, enseñanza, consejos y
su completa confianza.*

Soledad Calderón Condori

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por haber guiado mi vida y haberme puesto en este camino, valorando los momentos buenos y malos que me toco vivir, brindándome el apoyo mas grande, mi querida familia.

Agradezco a la Universidad Mayor de San Andrés, honorable institución que me acogió y formo cumpliendo mi meta de obtener un titulo académico profesional.

Agradezco al Proyecto ANDESCROP por haberme brindado el apoyo y la oportunidad de realizar la tesis, compartiendo e interactuar conocimientos formarme profesionalmente en el campo laboral.

Un agradecimiento especial a mis asesores el Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas, el Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes y la Ing. Msc. Gabriela Alandida Robles por su asesoramiento y apoyo brindado, asi también a su valioso tiempo empleado en la corrección del documento de tesis, mi respeto y mi a admiración.

A los miembros del tribunal revisor Ing. MSc. Jacob Arteaga y Ing. MSc. Lucio Tito Vilca por todas las correcciones, aportes y sugerencias brindadas en este trabajo de investigación.

Al Univ. Egre. Daniel Roberto Romero Alcon por haber contribuido con la elaboración del prototipo del colector BSNE, utilizado para la investigación, además aportando con sugerencias y apoyo incondicional desinteresado.

Al Lic. MSc. Edgar Garcia y al Ing. MSc. Peñafiel por su amistad, sugerencias, apoyo y colaboración incondicional.

A la Estancia de Saytoco del Municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro, especialmente a la familia de Don Juan Silvestre, a Don Herminio Quispe y a la Señora Mery Silvestre y por habernos acogido cariñosamente, durante la etapa de campo de los trabajos de investigación.

A mis compañeras de campo Sara Pucho y Emma Huanca, con quienes compartimos aventuras y momentos gratos en nuestra estadía en la Estancia de Saytoco.

GRACIAS...!!

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL.....	ii - iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi - x
RESUMEN.....	xi

INDICE GENERAL

	Pagina
CAPITULO I...	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACION	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivo Especifico	3
CAPITULO II.....	4
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Erosión	4
2.2 Clases de Erosión.....	4
2.2.1 Erosión Geológica	4
2.2.2 Erosión Antrópica	5
2.2.3 Erosión Hídrica.....	5
2.2.4 Erosión Eólica.....	6
2.3 Mecánica de la Erosión Eólica.....	7
2.3.1 Movimiento de las Partículas de Suelo	7
2.3.2 Efecto del Movimiento de las Partículas	12
2.4 Factores que Influyen en la Erosión Eólica	13
2.4.1 Factores Climáticos.....	13
2.4.2 Factor Suelo.....	13
2.4.3 Forma del Terreno.....	14
2.4.4 Cobertura Vegetal.....	14
2.4.5 Factor Socioeconómico.....	15
2.5 Métodos de Cuantificación de Erosión Eólica.....	15
2.5.1 Métodos de Cuantificación Directa	15
2.5.2 Métodos de Cuantificación Indirecta	16
2.5.3 Métodos de Cuantificación Alternativa.....	17
2.6 Propiedades Físicas del suelo	19

2.6.1	Suelo	19
2.6.2	Textura.....	20
2.7	Propiedades Químicas del suelo	243
2.7.1	Nitrógeno.....	243
2.7.2	Materia Orgánica	244
CAPITULO III.....		26
3	LOCALIZACIÓN.....	26
3.1	Ubicación geográfica	26
3.1.1	Clima	27
3.1.2	Fisiográfica del Suelo	30
3.1.3	Vegetación de la zona.....	31
CAPITULO IV.....		34
4	MATERIALES Y MÉTODOS	34
4.1	Materiales.....	34
4.1.1	Materiales de Campo	34
4.1.2	Material y Equipo de Laboratorio.....	34
4.1.3	Reactivos.....	35
4.2	Metodología	35
4.2.1	Primera Etapa: Análisis Estadístico.....	36
4.2.1.1	Croquis Experimental	36
4.2.2	Segunda Etapa: Trabajo de campo	399
4.2.2.1	Descripción de las características climáticas.....	39
4.2.2.2	Descripción de las características Físico - Químicas del suelo	40
4.2.2.3	Método de las Varillas	411
4.2.2.4	Método de los Colectores Eólicos BSNE.....	423
4.2.3	Tercera Etapa: Trabajo de Laboratorio.....	45
4.2.4	Variables de Respuesta.....	52
CAPITULO V.....		54
5	RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
5.1	Condiciones Climáticas.....	54
5.1.1	Temperatura.....	54

5.1.2	Precipitaciones Medias Mensuales	55
5.1.3	Velocidades y Direcciones Medias Mensuales.....	56
5.2	Características Físico-Químicos de los Suelos de la comunidad de Saytoco	58
5.2.1	Características Físicas	58
5.2.1.1	Densidad Aparente.....	60
5.2.1.2	pH y Conductividad eléctrica (CE)	61
5.2.1.3	Humedad del suelo.....	62
5.2.2	Características Químicas.....	63
5.2.3	Evaluación de la cuantificación de la erosión eólica aplicando el método de varillas.....	65
5.2.4	Evaluación de la cuantificación de la erosión eólica aplicando el método de colectores BSNEs.	67
5.2.5	Determinación del tamaño de partícula de suelo erosionado según la Escala del USDA.....	73
5.2.6	Cuantificación de la pérdida de Nitrógeno Total por erosión eólica.	80
5.2.7	Cuantificación de la pérdida de materia orgánica por erosión eólica.	85
CAPITULO VI	92
6	CONCLUSIONES	992
CAPITULO VII	96
7	RECOMENDACIONES	96
CAPITULO VIII	98
8	BIBLIOGRAFIA	98

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Parámetros de la ecuación WEQ con relación a los factores de intervienen en la erosión eólica.....	17
Cuadro 2. Clasificación de las partículas del suelo	21
Cuadro 3. Valores promedio de Densidad Aparente y porcentaje de porosidad para cada clase textural del suelo	23
Cuadro 4. Ubicación de la zona de estudio	26
Cuadro 5. Especies más comunes en el Altiplano Sur de Bolivia	33
Cuadro 6. Unidades Experimentales de acuerdo a las condiciones de manejo con respecto a la cobertura vegetal, relacionadas a las prácticas productivas tradicionales aplicadas en el altiplano sur de Bolivia.....	36
Cuadro 7 Características texturales de los suelos de la Estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro	58
Cuadro 8. Características físicas de los suelos de la estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza	62
Cuadro 9. Parámetros Químicos determinados en la Estancia de Saytoco	64

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación esquemática de las fuerzas actuantes sobre una partícula de suelo para determinar su movilización por el viento según Bagnold (1941)	8
Figura 2. Representación esquemática de las fuerzas actuantes sobre una partícula de suelo para determinan su movilización por el viento según Chepil (1961)	8
Figura 3. Dinámica de las fuerzas actuantes sobre una partícula en equilibrio (Iverson et al., 1976)	9
Figura 4. Mecanismos de transporte eólico de partículas de suelo por acción del viento: rodadura, saltación y suspensión	10
Figura 5. Trayectoria del movimiento de saltación de la partícula arrastrada por la acción del viento, donde “S” es la trayectoria, “h” representa la altura y “ δ ” es el ángulo con respecto a la horizontal	11
Figura 6. Colector BSNE (Big Spring Number Eight) diseñado por Donald Fryrear en Big Spring, Texas (1986) con 3 bandejas colectoras ubicadas a tres alturas de muestreo 0.1, 0.5 y 1.5 m.....	18
Figura 7. Triangulo de texturas	20
Figura 8. Ubicación Geográfica de la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza en el Altiplano Sur de Bolivia	27
Figura 9. Precipitación anual registrada en la comunidad de Irpani (5 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión 2007-08, en el Municipio de Uyuni durante la gestión 2009-10 y la ciudad de Oruro durante 2011-12.....	28
Figura 10. Temperaturas anuales registradas en el Municipio de Salinas de Garci Mendoza (distancia 22 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión 1995-1996 y la comunidad de Irpani (distancia 66 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión1997-1998.....	29

Figura 11. La Estancia de Saytoco ubicada a orillas del volcán “Thunupa” rodeado de cultivos de quinua, asimismo a su alrededor se observa abundante vegetación nativa (thola y paja brava).....	31
Figura 12. Estratificación ecológica de la zona del Intersalar ubicada en el Altiplano Sur de Bolivia.....	32
Figura 13. Disposición de varilla en el escenario experimenta compuesto por la parcela en descanso (PD), la parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), mostrando la disposición por repeticiones	37
Figura 14. Disposición del escenario experimental, compuesto por la parcela en descanso (PD), parcela sin abono (PSA) y parcela con abono (PCA), mostrando la ubicación de los colectores BSNE orientados sentido perpendicular a la dirección del viento predominante Nor-Este.....	38
Figura 15. Estación meteorológica automática ubicada en medio del experimento de erosión eólica en la Estancia de Saytoco en el Municipio de Salinas de Garci Mendoza.....	40
Figura 16. a) Disposición de las varillas en la parcela en descanso (PD) para una repetición. b) varilla con pérdida de suelo registrada en papel milimetrado para la parcela en descanso (PD).....	41
Figura 17. Prototipo de colector BSNE con bandejas instaladas a tres alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) construido por la autora y estudiantes de la UMSA y probado (durante 3 meses) en la Estación Experimental de Quipaquipani – PROINPA.....	43
Figura 18. Ubicación de los dispositivos (colectores a 0.1, 0.5 y 1.5 m) en sentido perpendicular a la dirección predominante del viento en los escenarios experimentales parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PCA).....	44
Figura 19. a) Tamices graduados de acuerdo al diámetro. b) Peso de suelo de acuerdo al diámetro para la parcela sin abono (PSA) a la altura de 0.1 m. ...	46

Figura 20. a) Preparación de las muestras añadiendo 8 ml de ácido sulfúrico a los matraces de 100ml. b) Muestras preparadas y listas para la digestión en el equipo Kjendhal a una temperatura aproximada de 20 °C	47
Figura 21. a) Finalización del procedimiento de digestión y complementando con la disminución de la temperatura de los matraces b) Reacción y Neutralización del Nitrógeno con Sosa Caustica en una concentración de 150gr NaOH en 500 ml H ₂ O destilada.....	48
Figura 22. a) Preparación de la mezcla entre la muestra compuesta de suelo y las soluciones de dicromato de (K ₂ Cr ₂ O ₇) y ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) b) Determinación del punto equivalente de la titulación por el Método de Walkley Black.....	50
Figura 23. Fluctuaciones Temperatura Máxima, Media y Mínima Registradas en la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza - Oruro .	54
Figura 24. Precipitaciones (mm) mensuales registradas en la Estancia de Saytoco durante la gestión agrícola 2011 – 2012 en el municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro	55
Figura 25. Velocidad y dirección del viento registrados en la Comunidad de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro durante la gestión agrícola 2011 – 2012	57
Figura 26. Proporción de Arena, Limo y Arcilla a 10 cm de profundidad en el inicio de la Investigación en la Estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza - Oruro	59
Figura 27. Dinámica de la Densidad Aparente entre Octubre de 2011 a Mayo de 2012 en la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro.....	61
Figura 28. Contenido de humedad en el suelo en las parcela de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) entre los meses de Octubre de 2011 a Mayo de 2012, en la comunidad de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro	63

Figura 29. Pérdida y Acumulación de suelo en la parcela (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) mediante el método de varillas, durante siete meses (Noviembre 2011 a Mayo 2012)	66
Figura 30 Pérdida y Acumulación de suelo (Erosión Neta) en la parcela (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) mediante el método de los colectores BSNE, durante siete meses de medición (Noviembre 2011 a Mayo 2012).....	70
Figura 31. Análisis de Correlación entre la pérdida y la acumulación de suelo erosionado en kg/m^2 y el tiempo de medición (Noviembre de 2011 a Mayo de 2012)	72
Figura 32. Movimiento de partículas de diámetro de 2 a 1 mm a las alturas de 01, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre)	73
Figura 33. Movimiento de partículas de diámetro de 0.50 a 0.25 mm a las alturas de 01, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre).....	75
Figura 34. Movimiento de partículas de diámetro de 0.09 a ≤ 0.053 mm a las alturas de 01, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre).....	77
Figura 35. Contenido de Nitrógeno Total en mg NT/Kg de suelo a tres alturas de medición (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), evaluadas en dos periodos Noviembre de 2011 y Mayo 2012	82
Figura 36. Correlación del peso de Nitrógeno Total (mgNT/KgS^0) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Noviembre de 2012.....	84

Figura 37. Correlación de del peso de Nitrógeno Total (mgNT/KgS⁰) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Mayo de 2012 85

Figura 38. Contenido de Materia Orgánica mg MO/kg de suelo a tres alturas de medición (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), evaluadas en dos periodos Noviembre de 2011 y Mayo 2012 88

Figura 39. Correlación de Nitrógeno Total entre el peso (mg MO/kg) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes Noviembre de 2011 90

Figura 40. Correlación de la Materia Orgánica entre el peso (mg MO/kg) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Mayo de 2012 91

RESUMEN

El paisaje que caracteriza e identifica a Bolivia frente al mundo, es el Altiplano Boliviano. La región del altiplano Sur sobresale y se caracteriza por los cultivos andinos en este caso la producción del cultivo de la Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) cultivo que también se caracteriza por el aumento de la demanda internacional, se tiene como referencia que durante la campaña agrícola de la gestión 2011/2012 se logrando producir 50.5660 tn. alcanzando una superficie cultivada de 96.5440 ha. (Comercio Exterior, 2013). La falta de información relacionada al clima y los efectos aumenta la vulnerabilidad frente a los riesgos naturales e impulsa al desencadenamiento de interrelaciones socio-ambientales en la dinámica erosión-pobreza-migración (Vallejos, 2011). El presente trabajo propone cuantificar la dinámica de pérdida y acumulación por erosión eólica, en condiciones de manejo afines a la producción de la quinoa en el altiplano sur específicamente en la estancia de Saytoco del municipio Salinas de Garci Mendoza provincia Ladislao Cabrera Departamento de Oruro, para recabar información acerca del grado de degradación de los suelos bajo diferentes condiciones de manejo establecidos en sistemas de producción del cultivo de la Quinoa en Bolivia, se evaluaron las pérdidas de nutrientes indispensable para el cultivo de la Quinoa como ser el nitrógeno total (NT) mediante el método Kjendhal y la materia orgánica (MO) mediante el método Walkley Black, las mediciones se realizó con las varillas y colectores BSNE, la ubicación del experimento se realizó en tres escenarios experimentales, parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA), el método de las varillas se lo implemento en tres repeticiones por parcela establecidas en las dimensiones de 1 x 1 m, la forma de medición fue gradualmente durante el periodo de evaluación (noviembre 2011 a mayo 2012) determinando la acumulación y perdida del suelo en la medida de las varillas; el establecimiento de los colectores BSNE se lo realizo en una dirección perpendicular a la dirección predominante del viento (Nor-Este), la forma de medición fue mediante la acumulación de suelo en los colectores, pero la perdida se lo determino mediante el moviente de partículas denominado flujo de masa que es $FM = a \exp(bz)$ La ecuación FM corresponde al flujo de masa (kg/m^2) en cada punto de muestreo a la altura z (0.1, 0.5 y 1.5 m), Los resultados más sobresalientes fueron para el mes de noviembre donde la pérdida se mantuvo a 2 kg/m^2 para las parcelas con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) y la parcela en descanso con una perdida mínima 1.5 kg/m^2 mediante el método de las varillas, por lo contrario mediante el método de los colectores se determinó que la perdida más sobresaliente fue para la parcela con abono (PCA) con 2.4 kg/m^2 , seguida por la parcela sin abono (PSA) con 2 kg/m^2 y la parcela en descanso (PD) con 1.5 kg/m^2 , las perdidas más significativas en cuanto a nutriente se dio a una altura de 0.1 m con un valor de 2613.30 mg NT/kg para la parcela sin abono (PSA) y en el caso de la materia orgánica (MO) con un valor de 8496.80 mg MO/kg a una altura de 0.1 m ambos resultados se comprobaron en el mes de mayo de 2012. Los resultados muestran que la erosión eólica afecta en su manera a parcelas con cultivos establecidos ya que no se da la oportunidad de formar conglomerados o compactación del suelo debido a la masiva remoción y trabajo con maquinaria para establecer extensiones del cultivo de quinoa, provocando la perdida de nutrientes.

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

El paisaje que caracteriza e identifica a Bolivia frente al mundo, es el Altiplano Boliviano, debido a que se establece como una zona dedicada a la producción de cultivos andinos y ancestrales. En su mayoría la población rural, en esta región del país se dedica a la agricultura y la crianza de ganado con fines de subsistencia económica, así como también alimentaría, con respecto a estas condiciones cada región del altiplano presenta sus propias prácticas destinadas a la producción. La región del altiplano Sur sobresale en cuanto a la producción del cultivo de la Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) dado el aumento de la demanda internacional que recae sobre este cultivo andino, se tiene como referencia que durante la campaña agrícola de la gestión 2011/2012 se logrando producir 50.5660 t. alcanzando una superficie cultivada de 96.5440 ha. (Comercio Exterior, 2013). Asimismo tomando en cuenta estas cifras se observa que se está provocando una elevada presión sobre el recurso suelo y vegetación, debido a la sobreexplotación de la actividad agrícola realizada tanto a nivel de grandes, medianos y pequeños productores que cuentan con certificación de “Productor Orgánico” y de “Comercio Justo”, aproximándose a un total de 6.000 productores permanentes distribuidos en 10 municipios del Altiplano Sur (Banco Ganadero, 2012).

Esto factores se complementan provocando la degradación paulatina de suelos aptos para la producción del cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) ocasionando problemas ambientales mismos que conllevan a futuros impactos negativos (Aroni 2008). La falta de información relacionada a sus efectos aumenta la vulnerabilidad frente a los riesgos naturales e impulsa al desencadenamiento de interrelaciones socio-ambientales en la dinámica erosión-pobreza-migración (Vallejos, 2011).

1.1 JUSTIFICACION

El presente tema de investigación está abocado a la problemática de la degradación de los suelos causada por erosión eólica. Otros estudios determinaron grados de erosión eólica de moderada a fuerte con una tasa de pérdida de 11 a 50 kg/m²-año (FAUTAPO, 2008). Estos valores son resaltantes, ya que mediante el impacto del ambiente mismo puede conllevar a la desertización y disminución de la productividad agrícola. El presente trabajo propone cuantificar la dinámica de pérdida y acumulación por erosión eólica, en condiciones de manejo afines a la producción de la quinua en el altiplano sur, para recabar información acerca del grado de degradación de los suelos bajo diferentes condiciones de manejo establecidos en sistemas de producción de quinua de Bolivia. La información permitirá obtener datos para establecer conciencia con respecto al manejo del recurso suelo, la sobre explotación del mismo, para finalmente recomendar diferentes métodos de manejo y conservación de suelo aplicables a la región.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- Conocer la dinámica de la erosión eólica bajo diferentes coberturas vegetales relacionadas al sistema de producción de quinua en la Estancia de Saytoco – Oruro.

1.2.2 Objetivo Especifico

- Describir las condiciones climáticas de la zona de trabajo.
- Determinar las características físicas y químicas de los suelos donde se desarrolló la presente investigación.
- Cuantificar la dinámica de pérdida y acumulación de la erosión eólica.
- Determinar el peso de suelo erosionado en relación al diámetro de partícula según la escala del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
- Identificar la pérdida y acumulación del Nitrógeno Total debido a la acción erosiva del viento.
- Identificar la pérdida y acumulación de la Materia Orgánica, debido a la acción erosiva del viento.

CAPITULO II

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosión

Según Hudson (1982) los principales agentes ambientales erosivos son el viento y el agua. Los procesos de erosión provocan la pérdida de la fertilidad natural del suelo, debido a una disminución de la profundidad efectiva del mismo, por lo tanto las raíces tienen menor volumen de suelo a explorar, menor cantidad de nutrientes y agua disponible para el mismo

Kirby (1993) define la erosión como la eliminación de partículas inorgánicas del suelo (sin considerar en gran medida, materiales nutritivos del suelo) sea por acción del agua o del viento. A su vez Buschiazzo *et al.*, (2003) señalan que la erosión del suelo 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 acción antrópica, produciendo perjuicios considerables para el medio ambiente. De esta manera aunque la erosión del suelo es un fenómeno natural, que ocurre desde que la tierra se formó, la actividad humana lo ha acelerado, convirtiéndolo en el principal problema agrícola y medioambiental a nivel mundial. (AEMA, 2003, citado por López, 2007).

2.2 Clases de Erosión

2.2.1 Erosión Geológica

La erosión geológica es un equilibrio entre el proceso de formación y deformación del suelo, adecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Torres (1981) menciona que esta clase de erosión es ocasionada por la acción constante de diversos fenómenos de intemperismo; constituye un proceso lento que necesita

miles de años para producir cambios en la superficie terrestre. Resultan en la formación de suelos a través de procesos muy lentos.

2.2.2 Erosión Antrópica

Es una descomposición de los agregados, con eliminación acelerada de partículas minerales y orgánicas que son consecuencia de una labranza inadecuada y la supresión de la vegetación natural, resultantes de prácticas sociales y organizativas alejadas de las pautas culturales propias de la aplicación de la tecnología inadecuada (Schwab, 1990).

2.2.3 Erosión Hídrica

La erosión hídrica se debe a la acción del agua sobre la superficie del suelo, la misma que comprende la acción de dos agentes: lluvia y la escorrentía (Orsag, 2003).

Según Torres (1981), la erosión hídrica es causada por la acción dispersiva y por el poder de transporte del agua que cae y escapa del suelo en forma de escurrimiento superficial. La acción dispersiva y el poder de transporte del agua están determinados por el choque de las gotas de lluvia, por la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial y por la resistencia del suelo a la dispersión y al movimiento.

La FAO (1998) señala que la erosión del suelo producida por el agua puede ocurrir en todo momento en la mayoría de los suelos cuando el agua fluye por la superficie. Las posibilidades de erosión son generalmente elevadas cuando la superficie del terreno está desprovista de una cobertura vegetal, lo cual sucede una vez arado, durante la preparación del terreno y después de la siembra. El cultivo en desarrollo y sus residuos luego de la cosecha son especialmente efectivos para contrarrestar la erosión hídrica.

2.2.4 Erosión Eólica

En general este tipo de erosión se produce fácilmente en zonas áridas y semiáridas donde la conjunción de los siguientes factores: suelos secos, áreas planas, vegetación pobre y el periodo de vientos que coincide con la época seca del año. (Orsag, 2003).

Según Rostagno *et al.*, (2010) la erosión eólica es conocida como el proceso por el cual el material superficial de los suelos es removido y transportado por el viento. Algunos investigadores consideran la abrasión producida por el impacto de las partículas removidas por el viento, como parte del proceso de erosión eólica. La acumulación del material removido por el viento puede ocurrir a distancia variables de la fuente de origen dependiendo principalmente de la erosividad del viento y del tamaño de las partículas removidas.

La erosión eólica es un problema ambiental serio en muchas regiones del mundo. La presencia de extensos depósitos eólicos de distintas edades geológicas indicaría que no se trata de un fenómeno reciente. La erosión eólica ocurre en una gran variedad de ambientes que tienen en común: la presencia de material fino, suelto y seco, extensas áreas con una superficie poco rugosa desprovista de cobertura vegetal y donde predominan fuertes vientos (FAO, 1961).

Los suelos de las regiones áridas y semiáridas, principalmente aquellos de bajo uso agrícola son más susceptibles a la erosión eólica dadas sus características; generalmente son suelos poco desarrollados, de textura gruesa y poco estructurada. Las condiciones climáticas de estas regiones están principalmente caracterizadas por precipitaciones concentradas en períodos cortos de tiempo, vientos de gran intensidad coincidentes con períodos secos, altas temperaturas y altas tasas de evapotranspiración. Esto, sumado a la escasa cobertura vegetal y el uso de una tecnología no adecuada para la zona, aumentan los riesgos de erosión. El manejo y las distintas prácticas de labranza pueden producir efectos diferenciales en la cobertura vegetal y otros factores que influyen en la erosión

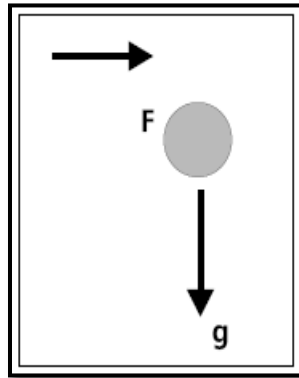
eólica tales como sería el contenido de humedad, estabilidad de agregados, entre otros (Black y Siddoway, 1979).

Hudson (1982) señala que son dos las condiciones principales que deben existir para que la erosión eólica constituya un serio problema. Primero, los suelos secos con precipitación baja, inferior a 200 o 300 mm son más vulnerables. En segundo lugar los efectos a gran escala solo pueden ocurrir cuando prevalecen vientos constantes a todos los niveles, desde las capas altas, hasta el nivel del suelo y estos se hallan asociados a grandes masas de tierra.

2.3 Mecánica de la Erosión Eólica

2.3.1 Movimiento de las Partículas de Suelo

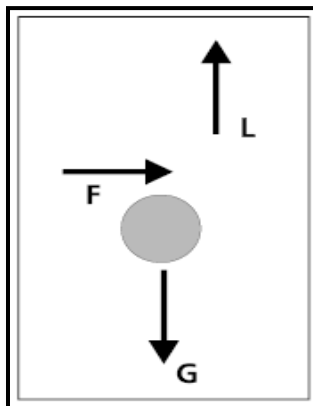
Según Buschiazzo *et al.* (2003) el movimiento de partículas se produce cuando las fuerzas aerodinámicas (desestabilizadoras) superan la magnitud de las fuerzas estáticas, que mantienen a las partículas agrupadas y adheridas a la superficie del suelo. Una vez que el proceso de erosión comienza, las partículas que permanecen en el suelo también pueden ser movilizadas por la colisión de otras que, una vez puestas en movimiento, impactan sobre la superficie del suelo. Así mismo este autor describe cómo ha ido evolucionando la dinámica del movimiento de partículas en el tiempo de acuerdo a la teoría de diferentes autores. La velocidad umbral de deflación (movilización) puede ser estimada por medio de modelos matemáticos simples. Uno de ellos fue desarrollado por Bagnold (1941), quien estableció que el movimiento del aire provoca una fuerza de arrastre horizontal “F” sobre la partícula, que es proporcional a una fuerza de resistencia y a la superficie expuesta de la partícula (Figura 1).



Fuente: Buschiazzo, et al (1999)

Figura 1. Representación esquemática de las fuerzas actuantes sobre una partícula de suelo para determinar su movilización por el viento según Bagnold (1941)

Según Buschiazzo *et al.* (2003), Chepil (1961) agregó una fuerza vertical ascendente al modelo de Bagnold, similar a la fuerza de succión de Bernoulli. El modelo de Chepil establece que la incidencia de un flujo de aire sobre una partícula produce diferencias de presión debajo y encima de la partícula (Figura 2). Como la diferencia de presión es mayor cerca de la superficie del suelo, la fuerza ascendente es también mayor en esa posición.

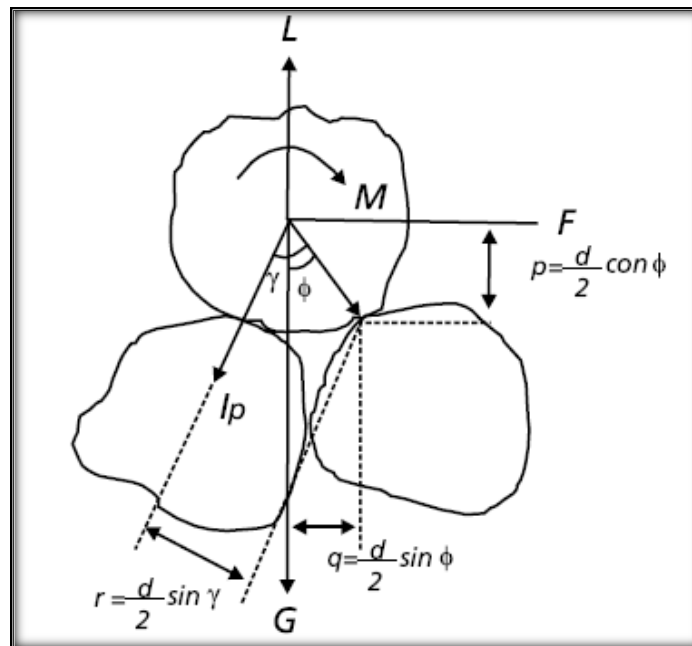


Fuente: Buschiazzo, et al (2003)

Figura 2. Representación esquemática de las fuerzas actuantes sobre una partícula de suelo para determinar su movilización por el viento según Chepil (1961)

Según Buschiazzo *et al.* (2003), En la década del 70 y 80, estudios llevados a cabo en la NASA con motivo de los programas de exploración de Marte y Venus,

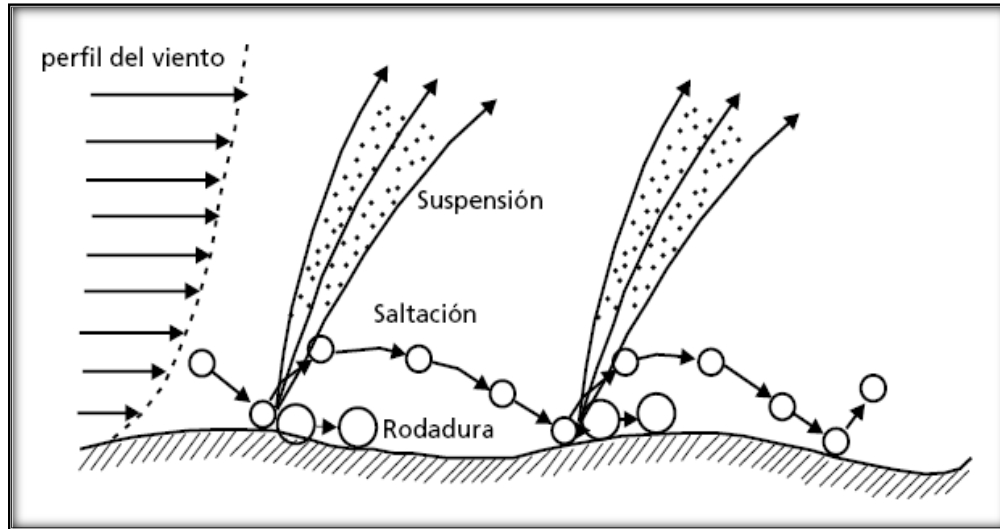
permitieron a Iverson *et al.* (1976) mejorar los modelos de Bagnold y de Chepil, quienes habían trabajado con partículas de arena, con diámetros de más de 200 μm y 150 μm , respectivamente. Estos investigadores trabajaron con partículas de menor diámetro y comprobaron que, además de las fuerzas descritas anteriormente por Bagnold y por Chepil (Figura 3), existe una fuerza entre partículas “ L_p ” que se agrega a las de gravedad “ G ” y se opone a la fuerza de arrastre del viento “ F ” y a la fuerza ascendente de succión “ L ”.



Fuente: Buschiazzo, et al (2003)

Figura 3. Dinámica de las fuerzas actuantes sobre una partícula en equilibrio (Iverson et al., 1976)

Rostagno *et al.* (2010) indican que las partículas removidas por el viento pueden ser luego transportadas mediante tres mecanismos diferentes: saltación, rodadura y suspensión (Figura 4). 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.



Fuente: Buschiazzo, et al (2003)

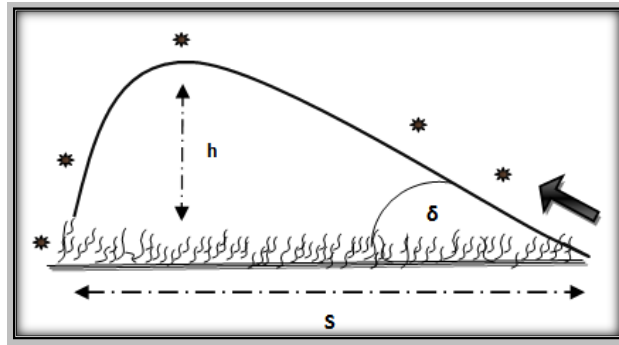
Figura 4. Mecanismos de transporte eólico de partículas de suelo por acción del viento: rodadura, saltación y suspensión

Una vez puestas en movimiento por el viento, las partículas son transportadas por acción de la fuerza actuante y nuevamente sedimentadas a mayor o menor distancia, relacionada directamente con la masa de partícula.

a) Mecanismo de Saltación

Las partículas que se mueven por saltación permanecen relativamente cerca de la superficie del suelo, generalmente a menos de 30 cm. El tamaño de partículas que se mueven por saltación varía de 0.05 a 0.50 mm (arenas muy finas a arenas medias). La velocidad crítica del viento necesaria para el desplazamiento de partículas varía con el tamaño de las mismas, siendo mínima (0.15 m/s) para partículas de 0.10 a 0.15 mm y mayor para el resto (Savat 1982 citado por Rostagno *et al.*, 2010).

Debido al gradiente de velocidad existente cerca de la superficie del suelo, la partícula es movilizada hasta una cierta distancia en la cual alcanza la máxima altura "h" (Figura 5). A partir de la misma, la partícula comienza a caer, describiendo un recorrido prácticamente lineal, con un ángulo de 6 a 12°, dependiendo del tamaño del grano (Buschiazzo, *et al.*, 2005).



Fuente: Buschiazzo, et al (2005)

Figura 5. Trayectoria del movimiento de saltación de la partícula arrastrada por la acción del viento, donde “S” es la trayectoria, “h” representa la altura y “ δ ” es el ángulo con respecto a la horizontal

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, 60% del material se moviliza por saltación a una altura menor a 5 cm, 90% a una altura menor a 30 cm y sólo un 1% supera el metro de altura. La distancia recorrida varía entre 12 a 25 veces la altura máxima alcanzada (Cooke *et al.*, 1993).

b) Mecanismo de Rodadura

Es el transporte de partículas que se realiza sin un despegue de las mismas de la superficie del suelo. Solamente las de un diámetro mayor a 500 μm se movilizan de esta forma. Un 5 a un 25% de las partículas se transportan por rodadura (Chepil, 1945 citado por Buschiazzo, *et al.*, 2005).

Según Rostagno, *et al.* (2010) el proceso de rodadura se describe como el rolado y deslizamiento de las partículas de mayor tamaño sobre la superficie del suelo. Este es favorecido por el impacto de las partículas que se desplazan por saltación y puede representar entre el 5 y el 25% de los sedimentos removidos de un área determinada.

Según Buschiazzo, *et al.* (2003) las partículas transportadas de esta forma parecen formar parte de un proceso pasivo de erosión, de relativa baja magnitud, corto recorrido y poca influencia destructiva. Sin embargo, estas partículas

también pueden producir abrasión, corroyendo agregados del suelo u otros elementos como rocas y construcciones; pueden transformarse en partículas o agregados más pequeños y ser transportados por saltación, e incrementar de esta forma su poder destructivo.

c) Mecanismo de Suspensión

Es el proceso de transporte más visible y describe el movimiento de las partículas más pequeñas, generalmente <0.2 mm de diámetro, a gran altura y a distancias muy largas. Las partículas más finas pueden permanecer suspendidas en el aire durante largos periodos. La mayor expresión del proceso de suspensión son las tormentas de polvo, las cuales pueden representar grandes pérdidas de suelo, aunque generalmente no superan el 15 % de las pérdidas totales de suelo por erosión eólica (Rostagno, *et al.*, 2010).

El transporte de las partículas movilizadas por suspensión puede alcanzar algunos kilómetros de altura y varios centenares de kilómetros de distancia. Si la turbulencia del viento es suficientemente elevada, las partículas transportadas de esta forma pueden llegar a formar las tormentas de polvo. En general, aproximadamente un 3 a un 40% de las partículas son transportadas por suspensión (Chepil, 1945).

2.3.2 Efecto del Movimiento de las Partículas

a) Efecto de Abrasión

La abrasión se manifiesta con mayor magnitud en ambientes sedimentarios, por ejemplo en el Valle de la Luna (Argentina), donde el viento ha corroído la base de restos sedimentarios, formando pseudos columnas. La abrasión también afecta al sistema suelo, modificando la distribución del tamaño de agregados y su acomodo espacial (Buschiazzo, *et al.*, 2003).

b) Efecto de Selección

El viento produce una remoción selectiva de partículas del suelo debido a que las mismas se mueven de diferente forma en las diferentes condiciones de flujo del aire. Su magnitud depende de la variabilidad del tamaño, la forma y la densidad de las partículas del suelo. Cuanto más homogéneas sean éstas, menor probabilidad existirá que se produzca el proceso (Buschiazzo *et al.*, 2003).

2.4 Factores que Influyen en la Erosión Eólica

Los procesos de erosión eólica dependen de la acción de una serie de factores que se describen a continuación.

2.4.1 Factores Climáticos.

Según Miranda (1989) citado por Quellca (1998), la erosión eólica es causada por el viento en terrenos con altas variaciones de temperatura, poca precipitación y predominancia de vientos fuertes. Al igual que la erosión hídrica, la erosión eólica mueve grandes cantidades de elementos nutritivos, llevándose las partículas más livianas y fértiles del suelo que dependen de la fuerza y la velocidad del viento. Los vientos con velocidad suficiente como para iniciar el proceso erosivo son aquellas superiores al 15 m/s.

2.4.2 Factor Suelo.

Según Orsag, (2003), la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la estabilidad de los agregados, la tasa de infiltración, las capacidades del complejo de cambio y las propiedades mineralógicas de sus arcillas inciden sobre la resistencia del suelo a la erosión. Suelos donde predominan las partículas de arena y limo presentan bajos contenidos en materia orgánica. Y mayor susceptibilidad a la erosión (mayor erodabilidad), debido a que estas partículas no tienen propiedades coloidales y no forman agregados.

La influencia de la textura en la erosión eólica está relacionada en gran medida a la retención de humedad. En general a mayores contenidos de limo y arcilla en el

suelo mayores son los contenidos de agregados estables y menor es la erodabilidad de los suelos. Por el contrario, un alto contenido de arena limita la formación de agregados y los suelos son altamente erosionables. Las arcillas favorecen la formación de agregados más resistentes a la abrasión que el limo (Rostagno, *et al.*, 2010).

Por lo que se señala que el suelo seco y bastante suelto es propenso a erosionarse, así como superficies del suelo llanas y expuestas.

2.4.3 Forma del Terreno.

La forma de la pendiente, la longitud y la pendiente, inciden sobre la aceleración de los procesos erosivos. La tasa de erosión es mayor en la base de una pendiente convexa, que al final de una pendiente uniforme. La tendencia de la erosión en una pendiente cóncava es menor debido a que los sedimentos son depositados en la base y reduce la erosión de la parte alta (Orsag, 2003).

2.4.4 Cobertura Vegetal.

En las áreas de pastizales naturales el pastoreo del ganado doméstico puede reducir la cubierta vegetal por debajo de niveles a partir de los cuales la tasa de erosión se acelera significativamente. Si bien la cubierta vegetal, aun con valores inferiores al 20%, es un factor efectivo de protección del suelo, en muchos ambientes el pastoreo ha reducido la cobertura vegetal a valores inferiores al 5% (Castro, 1983; citado por Rostagno, *et al.*, 2010).

El detonante para la erosión acelerada en áreas áridas y semi-áridas es la pérdida de la cobertura vegetal. Ésta puede ser causada por cambios climáticos a largo plazo o inmediatamente como resultado del sobrepastoreo. La pérdida de la cobertura vegetal expone los suelos a la pérdida de los mismos; a la erosión por viento y agua, y reduce el potencial para la producción de la vegetación (SADPA, 1996 citado por Sotomonte 2010).

2.4.5 Factor Socioeconómico.

Entre los aspectos que aceleran los procesos erosivos se tiene la presión creciente sobre el recurso suelo por el aumento de la población, escasez de tierras agrícolas, parcelación excesiva de la de la tierra, pobreza, falta de percepción sobre la fragilidad del suelo a la erosión. Por otro lado, las costumbres, los prejuicios culturales y los costos elevados de algunas prácticas de conservación y manejo inciden también sobre el deterioro y avance paulatino de la erosión (Orsag, 2003).

2.5 Métodos de Cuantificación de Erosión Eólica

Para la evaluación de pérdida de suelo existen dos métodos muy difundidos como son los métodos directos e indirectos.

2.5.1 Métodos de Cuantificación Directa

Los métodos de cuantificación directa son aquellos que nos permiten medir la erosión eólica en campo mediante la acumulación de sedimentos; provocado por el arrastre de partículas debido a la velocidad del viento.

a) Medición de Pedestales

Torres (1981) indica que es uno de los métodos para medir la erosión, consiste en la medición directa de los pedestales formados naturalmente bajo piedras, troncos y raíces, la altura del pedestal indica el espesor de la capa de suelo disipado por erosión.

b) Marcaje de Piedras y/o Estacas

Según Orsag (2003) este método consiste en pintar las partes salientes de las piedras o de las estacas que se han clavado en los suelos, con el tiempo las piedras mostrarán un espesor determinado como consecuencia del lavado y arrastre de partículas por el viento.

c) Varillas de Erosión

Según Chilon (1996), las varillas o estacas pueden ser de material metálico, madera e incluso de plástico. Estas deben ser graduadas e instaladas en forma perpendicular al terreno, el tamaño de las varillas o estacas deben ser de acuerdo al monto de erosión esperado. Este método nos permite evaluar el proceso de erosión principalmente en zonas de ladera.

Llerena (1987) menciona que la disposición de varillas en el suelo se realiza en forma agrupada siguiendo las curvas de nivel; en algunos casos se utilizan parcelas.

2.5.2 Métodos de Cuantificación Indirecta

Se refieren a modelos de predicción matemática, que requieren una gama de parámetros naturales de manejo y de laboratorio, para cuantificar y predecir la pérdida de suelo por efecto de la erosión (Goitia, 2008).

- **La Ecuación de Erosión Eólica (WEQ)**

Fue desarrollada por Woodruff y Siddoway (1965); WEQ, es un modelo empírico que permite estimar las tasas anuales de pérdidas de suelo por erosión eólica, determinar la cantidad de cobertura vegetal necesaria para lograr una pérdida tolerable de suelo, establecer un ancho de faja adecuado para el control de la erosión o comparar la eficacia de manejos alternativos para controlar el proceso.

$$E = f (I', K', C', L', V)$$

(1)

Dónde:

- E = erosión potencial medida en kg/m²-año.
- I' = índice de erodabilidad del suelo.
- K' = factor rugosidad.
- C' = factor climático local.
- L' = longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (m).
- V = el equivalente de cobertura de vegetación medida en kg/m².

Cuadro 1. Parámetros de la ecuación WEQ con relación a los factores de intervienen en la erosión eólica

Parámetros del modelo	Medios de intervención
I: erosionabilidad del suelo	Labranza
K: índice de rugosidad de la tierra	Caballones rugosidad
L: distancia recorrida por el viento (m)	La cultura alternativa o protección contra el viento
V: la cubierta (kg/m ²)	Uso de residuos agrícolas

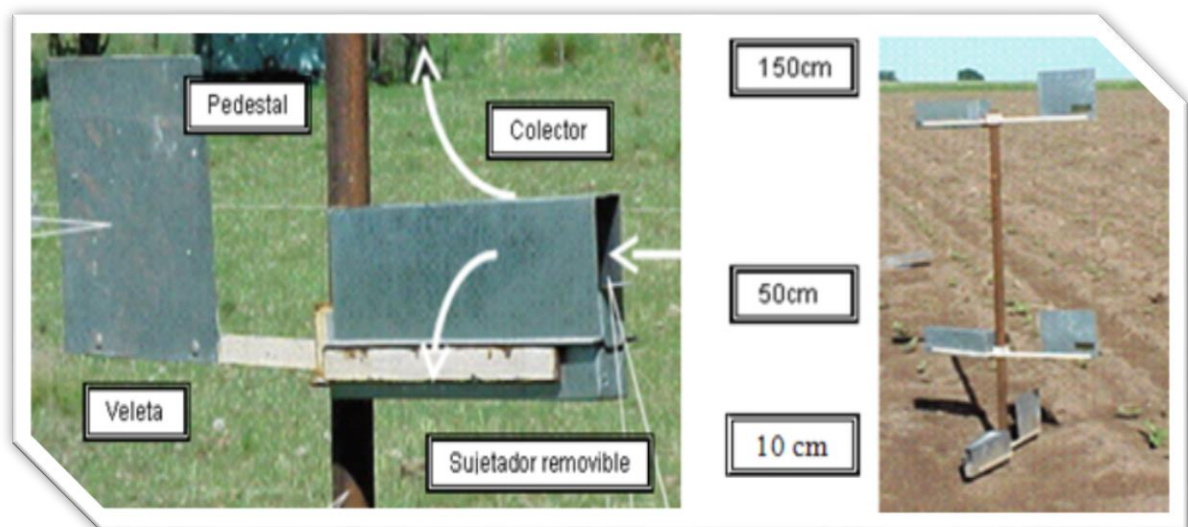
La erosión eólica puede ser minimizada o prevenida con cobertura de residuos en pie o residuos muertos. Una cobertura del 30% de residuos puede reducir las pérdidas en un 80% (Fryrear, 1990) y sólo con un 4% de cobertura en el suelo, las pérdidas por erosión eólica se reducen en un 15% en comparación con un suelo desnudo (Fryrear, 1995).

2.5.3 Métodos de Cuantificación Alternativa

- **Colector BSNE (Big Spring Number Eight)**

El colector tipo BSNE (Big Spring Number Eight) es un muestreador metálico. Fue diseñado y probado por Donald Fryrear en Big Spring, Texas el año 1986. El colector BSNE estándar tiene una abertura vertical de 2 cm de ancho y 5 cm de alto. Una malla de acoplamiento N° 60 en la parte superior de la toma de muestras la cual permite que el aire pueda salir, mientras que el material permanecerá en la bandeja de muestras (Figura 6). La eficiencia de pruebas con arena fina (menos

de 0.84mm de diámetro), como el material de transporte de arena en el aire son recogidos en un 90%, y la eficacia del muestreador no depende de la velocidad del viento. Pruebas adicionales de eficiencia se han llevado a cabo por los ingenieros en Australia y Bélgica. Sus conclusiones fueron que la toma de muestras con colectores BSNE es el modelo más eficiente y fiable de colecta de material que se transporta por el viento, pero para el material más pequeño de 0,02 mm, la eficiencia fue de un 40%. Los ajustes se están probando para mejorar la eficiencia del colector de material muy fino. Los muestreadores BSNE están siendo utilizados en Argentina, China, Egipto, Francia, Alemania, Níger, Marruecos, Rusia, España y Túnez. Muestreadores BSNE se han instalado en 20 estados de los Estados Unidos (Buschiazzo *et al.*, 2003).



Fuente: Página Web: <http://www.fryreardustsamplers.com>

Figura 6. Colector BSNE (Big Spring Number Eight) diseñado por Donald Fryrear en Big Spring, Texas (1986) con 3 bandejas colectoras ubicadas a tres alturas de muestreo 0.1, 0.5 y 1.5 m.

El muestreador BSNE ha demostrado ser un colector eficaz y fiable adecuado para superficies extensas. Se tiene referencias de muestras que varían desde 1,7 kg de suelo a tan sólo unos pocos miligramos de un evento único de erosión. Submuestras han sido analizadas para determinar la composición química del material

acarreado en el aire y para determinar la distribución del tamaño de las partículas de polvo (Fryrear, 1986).

Los colectores BSNE están diseñados para obtener muestras de partículas de suelo en suspensión desde niveles superiores a los 10 cm de altura. Estos colectores fueron ensayados túneles de viento con distintas velocidades de viento, tipo de material y rugosidad de la superficie, comprobándose que poseen una efectividad de recolección del 95% (Aimar, *et al.* 1996).

2.6 Propiedades Físicas del suelo

2.6.1 Suelo

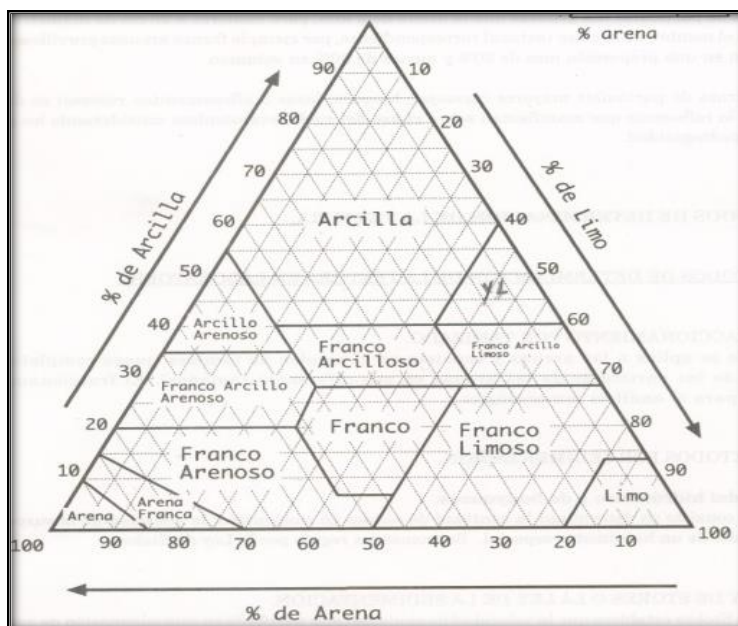
El suelo es una capa natural formada por una fase sólida (mineral y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra. Está organizado en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía; tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural. La disponibilidad de estos recursos (agua, energía, nutrientes, minerales, etc.) depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y el resto de compartimentos de los sistemas ecológicos (Jordan, 2006).

Según Montero (2003), el suelo es un cuerpo dinámico, vivo, natural, que juega muchos roles en los ecosistemas terrestres. Los componentes del suelo incluyen materiales minerales inorgánicos (partículas de arena limo y arcilla), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos tales como lombrices de tierra, insectos bacterias hongos, algas y nematodos. Hay un continuo intercambio de moléculas e iones entre las fases sólidas, líquidas y gaseosas que están mediatizadas por procesos físicos, químicos y biológicos.

2.6.2 Textura

El termino textura hace referencia al intervalo de tamaños de partícula de un suelo, es decir lo califica en función de la proporción de partículas grandes, medianas y pequeñas que puedan tener. Es una característica natural y permanente y por ello una de las más utilizadas para caracterizar sus propiedades físicas (Montero, 2003)

Es precisamente esta proporción de cada elemento del suelo lo que se llama la textura, o dicho de otra manera, la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. En geología, el término textura aplicado a las rocas, tiene sentido diferente, designa el modo en que los elementos constituyentes de la roca se agrupan en el espacio confiriéndole su conformación general (Ruckset al, 2004).



Fuente www.pr.nper.usda.gov

Figura 7. Triangulo de texturas

Las distintas clases texturales han sido representadas en los llamados triángulos o diagramas texturales, que corresponden a las diferentes clasificaciones granulométricas (Montero, 2003). Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones. Citaremos dos de las más importantes, la establecida por el Departamento de Agricultura de U.S.A. y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo. Se exponen ambas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de las partículas del suelo

Fracción del Suelo	USDA	ISSS
	Diámetros límites (mm)	Diámetros límites (mm)
Arena muy gruesa	20 – 1	
Arena gruesa	1 – 0.5	2.00 – 0.2
Arena intermedia	0.5 – 0.25	
Arena fina	0.25 – 0.10	0.2 – 0.002
Arena muy fina	0.10 – 0.05	
Limo	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
Arcilla	> 0.002	> 0.002

Fuente: Rucks et al, 2004

a) Naturaleza Física de las Fracciones del Suelo

Ruckset *al.* (2004) mencionan que la naturaleza de las fracciones del suelo se describe de acuerdo a la proporción granulométrica de las partículas.

Las fracciones gruesas, arena y grava, cuando no están cubiertas de arcilla y limo carecen prácticamente de plasticidad y de tenacidad. Su capacidad de retener agua es escasa y debido a los grandes espacios entre sus partículas separadas, el paso del agua gravitacional es rápido. Facilita así el drenaje y el eficaz movimiento del aire. Los suelos en los que predominan la arena o la grava, por esto, son de carácter abierto poseen un buen drenaje y aireación y no ofrecen resistencia al laboreo.

Las partículas de arcilla normalmente son laminares, como la mica, y si se humedecen son muy plásticas. Cuando se moja la arcilla con una cantidad adecuada de agua, se expande y se vuelve pegajosa.

Las partículas de limo tienden a ser irregulares, distintas en forma y raras veces lisas o pulidas. Son en su mayoría partículas microscópicas, siendo el cuarzo el mineral dominante. La fracción de limo posee alguna plasticidad, cohesión y adsorción debido a una película de arcilla que recubre las partículas de la fracción, pero desde luego, en mucho menor grado que la propia fracción de arcilla.

La textura condiciona la erodibilidad del suelo, las partículas de arena son susceptibles ya que son arrastradas por la acción del viento y el agua, las arenas finas son extremadamente erosionables, contrariamente las arcillas presentan la propiedad de unirse entre sí y protegerse, a su vez los limos no se unen y se erosionan con mayor facilidad (Jordán, 2006).

b) Densidad Aparente

Dentro de los parámetros físicos del suelo, la densidad aparente es conocida como la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen de la muestra que ocupa dicha muestra en el suelo.

$$\text{Da (gr/cc)} = \text{PSS (gr)} / \text{VT (cc)} \quad (2)$$

Así también es conocida técnicamente como la masa contenida en una unidad de volumen en una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada en estufa por ese volumen de suelo y se expresa el resultado en gr/cm^3 (Rucks et al, 2004).

Sánchez, (2005) indica que la Densidad Aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, manifestando que es un valor más variable y depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura.

La densidad aparente varía según los cambios que se produzcan en el suelo, respecto al volumen de poros. La compactación por la labranza disminuye el volumen de poros. La disminución de materia orgánica suele incrementar la densidad aparente del suelo debido a que se halla asociada a una reducción en el volumen total de poros (Rodríguez, 1982).

Dentro de la variada investigación que se realizó en el altiplano sur de Bolivia, se tiene como referencia a Cárdenas, *et. al.* (2008) que indica que la densidad de los suelos en la zona del Inter- salar está relacionada con su textura, es así que los suelos con textura franco arenosa y arena tienen una densidad aparente que varían de 1.4 a 1.9 g/cm³, por lo cual se clasifica como suelos con densidad aparente en un parámetro de mediana a alta.

Cuadro 3. Valores promedio de Densidad Aparente y porcentaje de porosidad para cada clase textural del suelo

Clase Textural	Densidad Aparente	% Porosidad
Arenoso	1.5 - 1.8	43 - 32
Franco arenoso	1.4 - 1.6	47 - 40
Franco	1.3 - 1.5	51 - 43
Franco arcilloso	1.2 - 1.3	51 - 47
Limo arcilloso	1.2 - 1.4	53 - 47
Arcilloso	1.1 - 1.3	58 - 51

Fuente Chilón (1992).

Según un experimento realizado por Sánchez, (2005) donde señala que la “Densidad Aparente es variable debido a la inestabilidad de la soltura de los suelos”. Es así que, se asegura que el suelo recién preparado para la siembra tendrá valores de densidad aparente bajos, mas al contrario indica que el suelo después de la cosecha, mostrará altos valores de densidad aparente, más aun si ese suelo ha sido sometido con maquinaria pesada.

2.7 Propiedades Químicas del suelo

La fracción orgánica de un suelo regula los procesos químicos, influye en sus características físicas y es el centro de casi toda su actividad biológica, dentro de los elementos más importantes están la Materia Orgánica (MO) y el Nitrógeno Total (NT) que son dos parámetros fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo.

2.7.1 Nitrógeno

El Nitrógeno (N) es considerado como el nutriente más importante para la producción vegetal por las cantidades requeridas por el cultivo y por la frecuencia de deficiencias que se observa en los suelos agrícolas (García, 1996). El nitrógeno disponible para el cultivo es deficitario en casi todos los suelos agrícolas y es el nutriente que más requerido por el cultivo, principalmente en forma de nitrato y en algunas ocasiones como amonio.

El contenido y las formas del nitrógeno en el suelo no presenta una naturaleza estática sino más bien dinámica, la cantidad del mismo está controlado principalmente por las condiciones climáticas y la vegetación, la textura es otro factor importante, los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de nitrógeno que los suelos limosos y arenosos, asimismo, el pH en la actividad microbiana que está relacionada íntimamente con el Nitrógeno, por último, las actividades del hombre a través del cultivo de los suelos influye en las cantidades de nitrógeno presente en los mismos. Bajo estas condiciones, es evidente que el porcentaje de nitrógeno en los suelos del Intersalar pueda variar entre moderada a baja (0,21 a 0,40 %) que es el rango para esta clasificación (Cárdenas *et al.*, 2008).

2.7.2 Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo proviene de las raíces, residuos, plantas y organismos vivos o muertos del suelo; como residuos de las cosechas o de plantas silvestres y carboles, está constituida por varias sustancias como las proteínas, ceras, lignina, grasas y resinas (Ortiz, *et al.*, 1990)

Según Sánchez, (2005) el proceso de descomposición está causado por la acción de un gran número de bacterias y hongos microscópicos. Estos microorganismos atacan y digieren los compuestos orgánicos complejos que constituyen la materia viva, reduciéndola a formas más simples que las plantas pueden usar como alimento. Un ejemplo típico de acción de las bacterias es la formación de amoníaco a partir de proteínas animales y vegetales.

Por tanto en el suelo juega un rol importante la disponibilidad de la Materia Orgánica en cantidad y calidad. A esto Stevenson (1982) señala que la materia orgánica es un componente activo del suelo, su incorporación mejora las propiedades del suelo, lo que ayuda a disminuir el pH del suelo, a liberar el calcio por la solubilidad del carbonato y otros minerales del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Así mismo Fuentes (1990) señala que la materia orgánica tiene un efecto positivo sobre la estructura del suelo, otorga cohesión a los suelos sueltos y hace más esponjoso a los suelos fuertes (franco arcilloso), además que conserva el suelo de dos maneras a corto y largo plazo.

CAPITULO III

3 LOCALIZACIÓN

3.1 Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad de Saytoco, perteneciente al municipio de Salinas de Garci Mendoza de la provincia Ladislao Cabrera. La comunidad se encuentra en el extremo Sur-Oeste del país limitante con el departamento de Potosí, Limita al Nor-Oeste con la comunidad de Irpani; al Nor-Este con el Salar de Uyuni; al Sur-Este con el volcán inactivo “Thunupa” .La Estancia de Saytoco se caracteriza por presentar montañas a sus alrededores, que cubren su entorno, creando un micro clima adecuado para sus habitantes. Su ubicación geográfica se detalla en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Ubicación de la zona de estudio

Departamento	Oruro
Provincia	Ladislao Cabrera
Sección	Segunda
Ayllu	Thunupa
Comunidad	Estancia Saytoco
Latitud Sur	19° 44´
Longitud Oeste	67° 35´
Altitud	3.660 msnm

Fuente: Elaboración propia

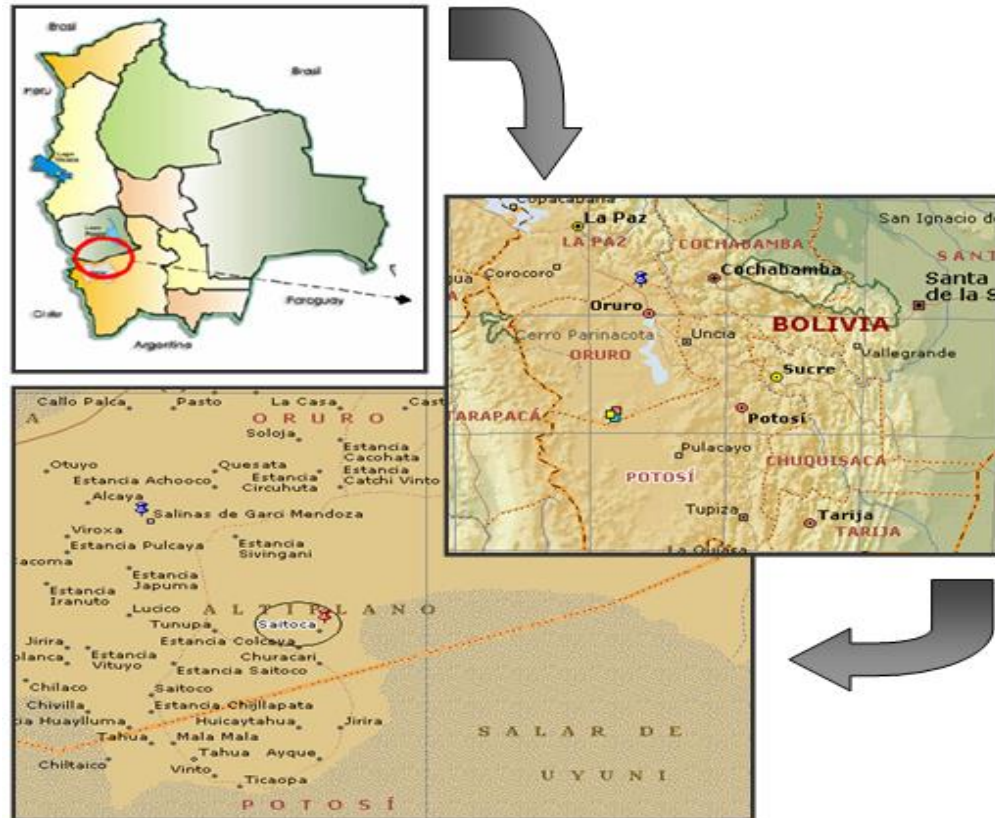


Figura 8. Ubicación Geográfica de la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza en el Altiplano Sur de Bolivia

3.1.1 Clima

El Clima en la parte sur del altiplano andino se caracteriza por ser árido con dos regímenes de precipitación, una larga temporada seca (Abril a Noviembre) y dos temporadas húmedas, una de Diciembre a Marzo y la otra entre Septiembre y mediados de Noviembre. Presenta potenciales heladas por casi ocho meses durante el año y lluvias estacionales por 3 a cuatro 4 meses pero con fluctuaciones anuales (Rivasplata, 2012). La región presenta inviernos fríos y secos, con vientos muy intensos durante casi todo el año, pudiendo alcanzar velocidades superiores a 25 m/s con una dirección sur-este (SE) predominante. La radiación solar es intensa durante el día. La permanente ausencia de nubes, determina pérdidas por irradiación durante el día; en cambio en la noche se presenta un rápido enfriamiento con temperaturas inferiores a 0°C (Inda, 2010).

La Figura 9 presenta las precipitaciones registradas en la comunidad de Irpani (2007/2008), en el municipio de Uyuni (2009/2010) y la Ciudad de Oruro (2011/2012), muestran fluctuaciones similares en los meses de Diciembre a Marzo, con periodos secos de Abril a Noviembre, es muy escasa la cantidad de lluvia, considerando la alta evaporación que se presenta en los diferentes situaciones.

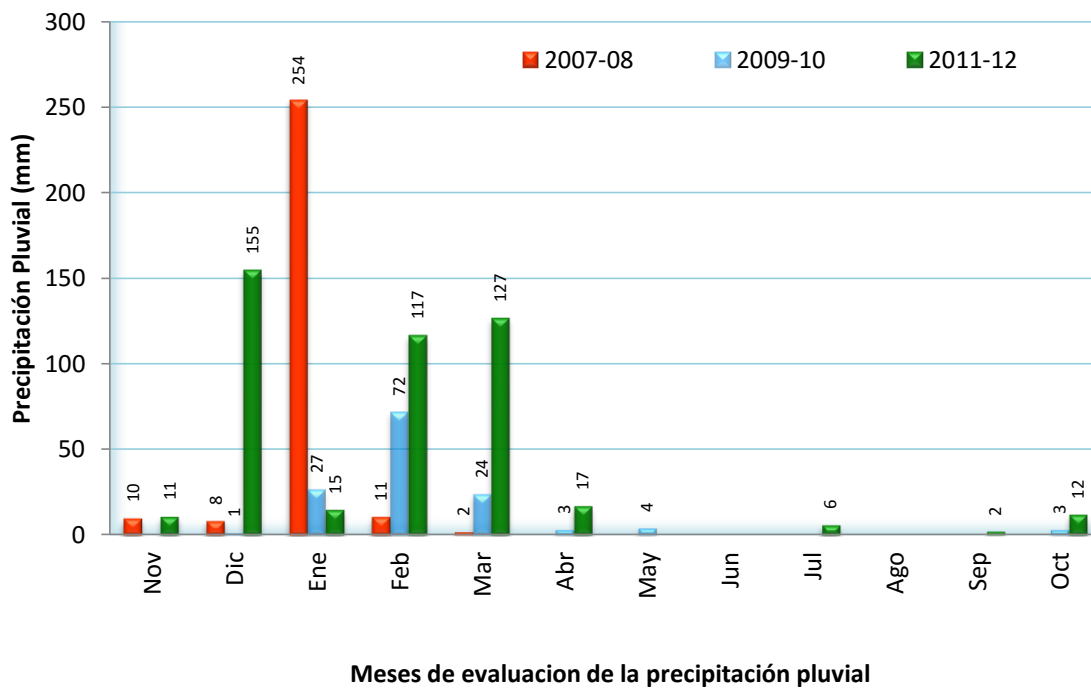


Figura 9. Precipitación anual registrada en la comunidad de Irpani (5 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión 2007-08, en el Municipio de Uyuni durante la gestión 2009-10 y la ciudad de Oruro durante 2011-12.

La temperatura registrada (Figura 9) en el municipio de Salinas de Garci Mendoza 1996-97 así como también en la comunidad de Llica 1997-98 muestran similares fluctuaciones en las temperaturas máximas, a diferencia de las fluctuaciones de las temperaturas mínimas; consideramos estos parámetros como referencia, ya que las ubicaciones de las comunidades son cercanas a la comunidad de Saytoco.

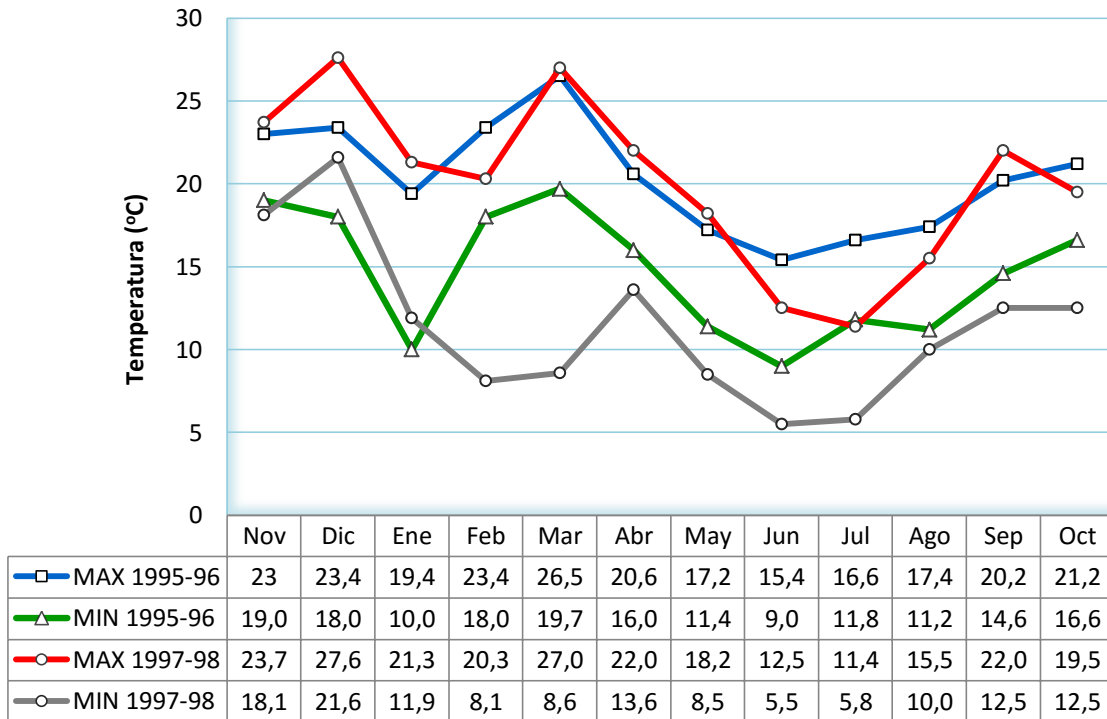


Figura 10. Temperaturas anuales registradas en el Municipio de Salinas de Garci Mendoza (distancia 22 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión 1995-1996 y la comunidad de Irpani (distancia 66 km de la estancia de Saytoco) durante la gestión 1997-1998

Las temperaturas varían de acuerdo a las estaciones del año que influyen en la erosión; de acuerdo con la teoría de García (2011) quien afirma que las temperaturas elevadas incrementan la evapotranspiración y secan rápidamente los suelos provocando que la estación seca, se intensifique. Asimismo Rivasplata (2012) señala que las masas de aire que llegan a las regiones altiplánicas tienen en general un contenido relativamente bajo de humedad, debido a su origen en niveles elevados. Por otra parte el ambiente frío predominante, por el efecto de la altura, genera una menor capacidad de retención de vapor de agua en el suelo.

El Altiplano Boliviano es una zona por encima de 3500 msnm, por lo que se podrá esperar que los cambios de temperaturas sean mayores, afectando fuertemente a los glaciares y a los sistemas productivos (García, 2011).

3.1.2 Fisiográfica del Suelo

Según investigaciones realizadas por Cárdenas *et. al.* (2008) Llevadas a cabo en los suelos del intersalar, indican que la mayor parte de los suelos, tienen una profundidad efectiva mayor a 120 cm en la planicie o pampas En la apertura de calicatas donde se observado que los suelos en las planicies o pampas tienen una profundidad que varía desde 10 o más de 120 cm clasificándose como suelos profundos. Los suelos de ladera tienen profundidad efectiva de 25 a 50 cm, presentándose principalmente lechos de grava, piedras y rocas, clasificándose como suelos con profundidad efectiva delgada, asimismo se consideran idóneas las características fisiográficas del altiplano sur para la producción y la sostenibilidad del cultivo de la quinua.

Entre las característica físico – químicas relevantes de la zona de estudio se puede afirmar que son suelos de origen volcánico degradadas de rocas sedimentarias e ígneas, con una textura caracterizada entre arenosa a franco arenosa, suelos considerados como livianos, mismos que constituyen las condiciones adecuadas para la producción.



Foto: S. Calderón

Figura 11. La Estancia de Saytoco ubicada a orillas del volcán “Thunupa” rodeado de cultivos de quinua, asimismo a su alrededor se observa abundante vegetación nativa (thola y paja brava)

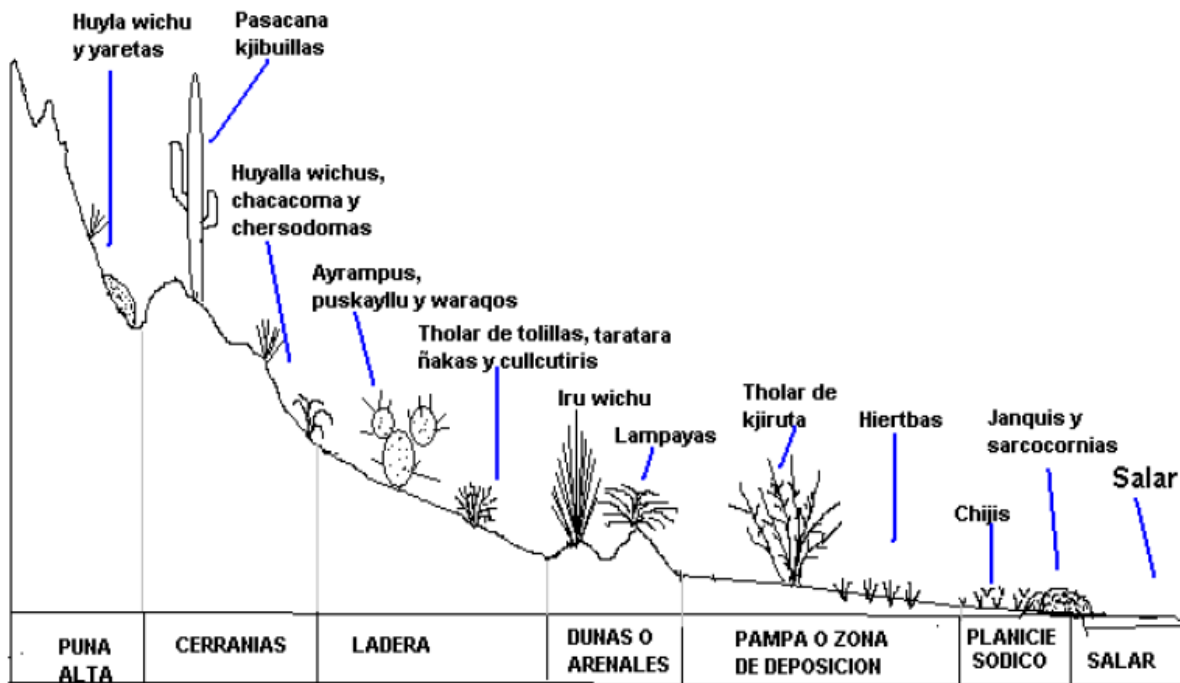
3.1.3 Vegetación de la zona

Según Acosta (2006 - 2007), los productores locales dependen del equilibrio entre la explotación forrajera y la reconstrucción de la vegetación natural. El estudio que realizó el autor mencionado en el Altiplano Sur, en las zonas de mayor producción de la quinua (municipios Salinas de Garci Mendoza, Llica y San Agustín) identifica y describe cuatro tipos de vegetación:

- El **Gramadalo pelar**, se compone de gramíneas estoloníferas asociadas a camefitas. La especie principal es la *Distichlishumilis*, que constituye más del 70 % de la biomasa.
- El **Pajonal**, en la pampa y en la ladera se compone principalmente de *Fetucaortophilla* y *Stipaichu*.
- El **Tholar** es un grupo arbustivo dominado por la *Parastrephialepidophylla* de la familia de las compuestas asociadas a arbustos espinosos y a herbáceas.

- El **Bofedal o Begal**, es una pradera húmeda con un alto potencial de producción. Las especies Principales son de los géneros *Distichia* y *Plantago* asociados a monocotiledóneas de género *Carex*, *Calamagrostis*, *Genciana* y *Wemeria*.

Por otro lado las características de las zonas áridas y semiáridas, es que presentan una cobertura vegetal dispersa. Las diferencias corresponden a los aportes de suelo desnudo, mantillos y afloraciones salinas (FAUTAPO Y CARDENAS, 2008). En la Figura 12, se observa la distribución de la vegetación de acuerdo a la topología de la región andina, dos zonas que se distinguen son la Pampa y la Ladera.



Fuente: Interpretado por Santos Nina Pérez citado por la FAUTAPO Y CARDENAS, 2008

Figura 12. Estratificación ecológica de la zona del Intersalar ubicada en el Altiplano Sur de Bolivia

Referente al estudio que realizaron FAUTAPO y Cárdenas (2008), se distingue el listado de las especies más comunes que se encuentran en el Altiplano Sur (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies más comunes en el Altiplano Sur de Bolivia

Nº	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA	HABITAT
1	Kjirutathola	<i>Parastrephia</i>	Asteraceae	Pampa
2	Cullcutiri	<i>Parastrephia</i>	Asteraceae	Ladera
3	Jamachithola	<i>Baccharisboliviensis</i>	Asteraceae	Ladera
4	Nakathola	<i>Baccharisincarum</i>	Asteraceae	Ladera
5	Huma Thola	<i>Parastrephia lúcida</i>	Asteraceae	Humedos
6	Wirawira	<i>Gnaphaliumsp.</i>	Asteraceae	Laderas
7	Maycha	<i>Seneciovulgaris</i>	Asteraceae	Pamapa
8	Suicusuicu	<i>Tagetespusilla</i>	Asteraceae	Laderas
9	Anusuicu	<i>Heterospermatenuiseta</i>	Asteraceae	Laderas
10	Chinchiricoma	<i>Roja Mutisiafriesiana</i>	Asteraceae	Cerro, rocosa
11	Chinchiricoma blanca	<i>Muticialefolia</i>	Asteraceae	Cerro
12	P' oquthola	<i>Chersodomajodopapa</i>	Asteraceae	Cerro
13	Conyza	<i>Conyzasp</i>	Asteraceae	Ladera
14	Asterisco	<i>Baccharisssp.</i>	Asteraceae	Humedal
15	Cachacoma	<i>Seneciograveolens</i>	Asteraceae	Cerro
16	Sakqasqa	<i>LampazaArctiumlappa</i>	Asteraceae	Cerro con humedal
17	Lantilanti	<i>Hipochoirisalata</i>	Asteraceae	Cerro
18	Tholkqachàpi		Asteraceae	Laderas y pedregosos
19	Llapa	<i>Chondrosom simplex</i>	Poaceae	Pampa y ladera
20	Chiji	<i>Distichyshumilis</i>	Poaceae	Pampa
21	Chiji negro	<i>Muhlimerbergiafastigiata</i>	Poaceae	Planicie
22	Iruwichu	<i>Festucaorthophylla</i>	Poaceae	Arenales
23	Huyllawichu	<i>Stipaichu</i>	Poaceae	Cerro y laderas
24	Pasto llorón nativo	<i>Eragrostislugens</i>	Poaceae	Laderas
25	Pasto pluma	<i>Nassellaasplundii</i>	Poaceae	Laderas
26	Pasto asistida	<i>Aristidaadscencionis</i>	Poaceae	Laderas
27	Llaguara	<i>Stipasp.</i>	Poaceae	Laderas
28	Shicuchicu	<i>Stipasp</i>	Poaceae	Pampa
29	Uma situ		Juncaceae	Humedal
30	Sewenqa	<i>Cortaderiaatacamensis</i>	Poaceae	Quebradas y rio
31	Añahuya	<i>Adesmiaspinnossisima</i>	Papilionaceae	Cerro
32	Orkqoañahuya	<i>Adesmiasp</i>	Papilionaceae	Ladera
33	Chijma	<i>Astragalusmicranthellus</i>	Papilionaceae	Pampa y ladera
34	Kela	<i>Lupinusaltimontanus</i>	Papilionaceae	Laderas
35	Mutukura	<i>Hoffmannsegiaminor</i>	Caisalpinaceae	Pampa y laderas
36	Tara tara	<i>Fabiana densa</i>	Solanaceae	Laderas y cerro
37	Tusca tusca	<i>Nicotianaondulata</i>	Solanaceae	Parte de deposicion
38	Kjebuilla	<i>Trichocereus pasacana</i>	Cactaceae	Cerro
39	Ayrampu	<i>Opuntia soehrensii</i>	Cactaceae	Cerro
40	Puskjayllu	<i>Opuntia boliviana</i>	Cactaceae	Cerro
41	Sankayu	<i>Lovibia pigmea</i>	Cactaceae	Cerro
42	Lampaya	<i>Lampaya castellani</i>	Verbenaceae	Arenales
43	Aciruaciru	<i>Junelliaseriphoides</i>	Verbenaceae	Laderas
44	Liwiliwi	<i>Atriplexcristata</i>	Chenopodiaceae	Pampa con kqollpa
45	Sarcocornia	<i>Sarcocorniapulvinata</i>	Chenopodiaceae	Pampa con kqollpa
46	Qollusiki	<i>Oenotherapunae</i>	Onagraceae	Ladera
47	Kaylla	<i>Tetraglochin cristatum</i>	Rosaceae	Ladera
48	Yanqui	<i>Frankenia triandra</i>	Frankeniaceae	Pampa con kqollpa
49	Kora	<i>Tarasa tenella</i>	Pampa	Pampa y ladera
50	Itapilla roja	<i>Cajophorarosulata</i>	Cajophoraceae	Rocosas y laderas
51	Itapillaurtica	<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	Rocosas y laderas

Fuente: Gonzáles, M 2007 citado por Cárdenas, et. al. 2008.

CAPITULO IV

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Materiales de Campo

Los materiales de campo que se utilizaron para el presente estudio fueron:

- 74 varillas metálicas
- 18 Colectores Eólicos BSNE
- 7 Tamices
- Huincha métrica
- Flexómetro
- GPS
- Cilindro de muestreo
- Bolsas de muestreo
- Bolsas Ziploc
- Etiquetas de identificación
- Desarmador
- Vernier
- Grasa para rodamientos
- Pala de jardinero
- Cámara fotográfica

4.1.2 Material y Equipo de Laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron para el presente estudio fueron:

- Equipo Kjendhal
- Tamiz Micrometrados
- Balanza Analítica
- Bureta
- Soporte universal
- Probetas
- Pipetas

- Hidrómetro de Boyucos
- Erlenmeyers
- Mufla
- Capsulas
- Agitador eléctrico
- Termómetro
- Piseta

4.1.3 Reactivos

- Ácido sulfúrico
- Sosa cáustica
- Pastillas catalizadoras
- Hexa Meta Fosfato de sodio
- Ácido Bórico
- Difenilamida
- Dicromato de potasio
- Acido fosforito
- Sulfato ferroso al 0.05 N
- Cloruro de potasio
- Agua destilada

4.2 Metodología

La presente investigación inició en el mes Octubre de la gestión 2011 y finalizó en el mes de Mayo de la gestión 2012 en la comunidad de Saytoco, perteneciente al municipio de Salinas de Garci Mendoza, zona identificada por la producción de quinua, así mismo caracterizada por la sobreexplotación del recurso suelo, problemática que conlleva a generar una metodología de evaluación de la erosión eólica en diferentes zonas productoras de quinua en la estancia de Saytoco, describiendo el procedimiento en tres etapas de investigación

4.2.1 Primera Etapa: Análisis Estadístico

Los datos obtenidos del experimento de erosión eólica fueron evaluados a través de un análisis estadístico de frecuencias, metodología que se emplea mediante una secuencia de datos obtenidos de un rango de valores (referencia). El análisis se aplicó para la cuantificación de la erosión eólica. (Cuadro 6).

Cuadro 6. Unidades Experimentales de acuerdo a las condiciones de manejo con respecto a la cobertura vegetal, relacionadas a las prácticas productivas tradicionales aplicadas en el altiplano sur de Bolivia

Parcelas	Condiciones de Manejo
PD	Parcela en Descanso (Cuatro años).
PCA	Parcela con abono (Laboreado).
PSA	Parcela Sin Abono (Laboreado).

Se utilizó un análisis de correlaciones, con el fin observar el comportamiento de las muestras colectadas con respecto al tiempo, así como también la pérdida y acumulación de nutrientes en los diferentes escenarios experimentales.

4.2.1.1 Croquis Experimental

Resaltamos la disposición de dos metodologías de evaluación implementadas en el ensayo experimental mediante la Figura 13 y la Figura 14, donde de acuerdo al orden primeramente se describe la distribución de las varilla metálicas, mismas que fueron utilizadas para la medición de la pérdida laminar del suelo por erosión eólica, la dimensión del área de evaluación fue de 3 m² replicada en tres repeticiones por parcela, así mismo se aclara que se evaluaron tres parcelas con diferentes características relacionadas a la producción de la quinua.

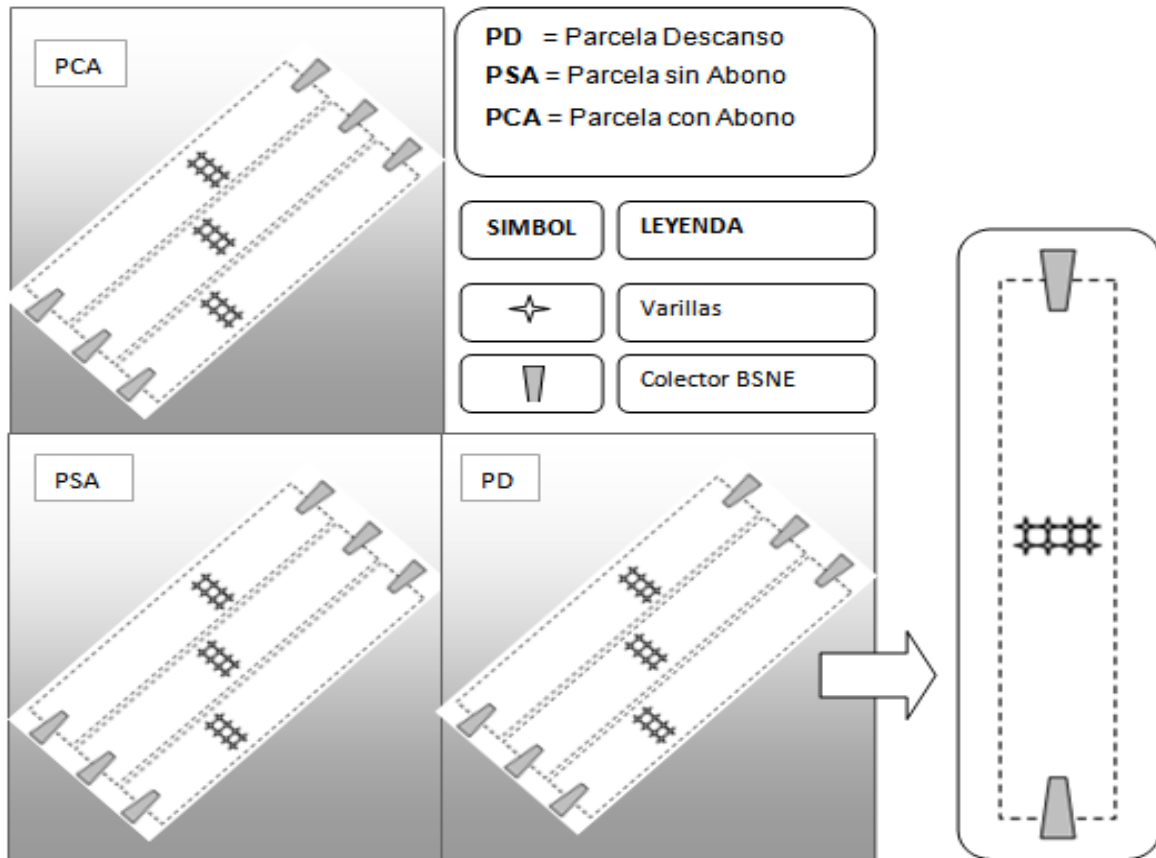


Figura 13. Disposición de varilla en el escenario experimenta compuesto por la parcela en descanso (PD), la parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), mostrando la disposición por repeticiones

Seguidamente en la Figura 14 se muestra la disposición de la metodología de los colectores BSNE ubicada en alineación perpendicular a la dirección del viento predominante, así mismo implementadas en tres parcelas con distintas condiciones de manejo relacionadas a la producción del cultivo de la quinua, donde cada parcela presenta una superficie de 6500 m^2 ; proporción mayormente conocida en la región del altiplano sur como una "Tarea"¹. El total de la superficie trabajada es de $19,500 \text{ m}^2$.

La distribución de los colectores fue implementado, utilizando un par de colectores por repetición para cada parcela, el objetivo del diseño se basó en las

¹Tarea: es la denominación local de un área de 6400 m^2 y corresponde por lo general a parcelas con dimensiones de $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$.

intensidades de la dirección y la velocidad del viento predominante de la zona de investigación.

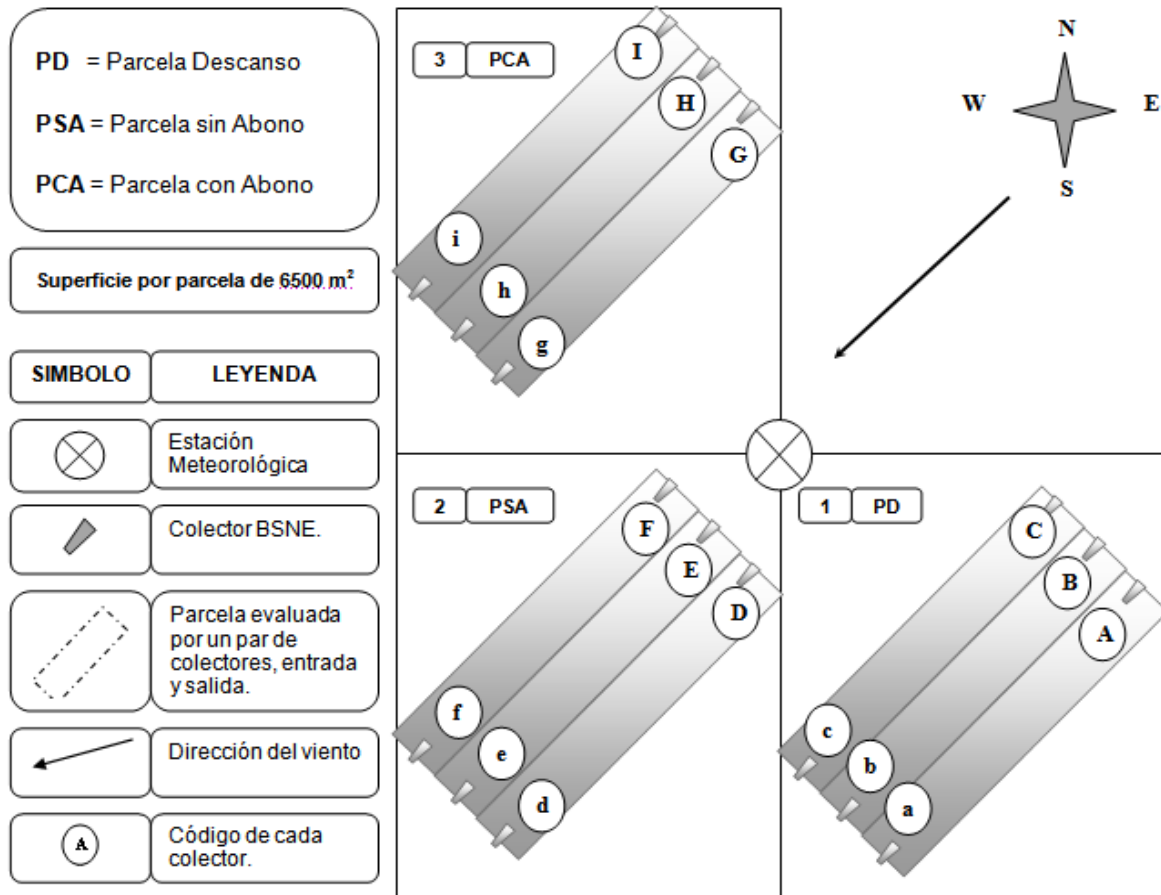


Figura 14. Disposición del escenario experimental, compuesto por la parcela en descanso (PD), parcela sin abono (PSA) y parcela con abono (PCA), mostrando la ubicación de los colectores BSNE orientados sentido perpendicular a la dirección del viento predominante Nor-Este

Ambas metodologías se implantaron conjuntamente debido a que se pretendía demostrar la dinámica de pérdida y acumulación de suelo erosionado, tanto a nivel del suelo y como también mediante el movimiento de partículas por acción del viento.

4.2.2 Segunda Etapa: Trabajo de campo

La ubicación del experimento, contó con la participación de las autoridades de la comunidad, con el objetivo de describir las características de las parcelas y adecuándolas a las condiciones de estudio. Se consideraron tomar cultivos establecidos con cultivo de quinua con abono, cultivo de quinua sin abono y así como también una pradera en descanso. Una vez que se tenían ubicadas las parcelas, se realizó la demarcación del área de estudio, de acuerdo a la orientación, la topografía y la pendiente de la zona de estudio, para lo cual fue requerida un área plana, con dimensiones extensas dentro de este contexto fue primordial tomar en cuenta la dirección predominante del viento ya que para el estudio de erosión eólica era preciso ubicar los colectores en sentido perpendicular a la dirección del viento.

4.2.2.1 Descripción de las características climáticas

Otro de los equipos que se establecieron en la investigación fue una estación meteorológica automática de la marca “Davis Vantage Pro2” con la incorporación de un anemómetro de tres copéletas ubicada a una altura de 1.5 m del nivel del suelo (Figura 15) El objetivo del instrumento fue proporcionar datos climáticos como temperatura máxima, mínima, media (°C), precipitación (mm), humedad (%) y velocidad del viento (m/s) entre otros parámetros que se evaluaron durante la investigación en la zona de estudio.



Figura 15. Estación meteorológica automática ubicada en medio del experimento de erosión eólica en la Estancia de Saytoco en el Municipio de Salinas de Garci Mendoza

Una vez identificadas las parcelas de estudio, se ubicaron los distintos dispositivos en las parcelas para la cuantificación de la erosión eólica, de esta manera se aplicó un método de medición directa y un método de medición alternativa, descritos con respecto al siguiente detalle:

4.2.2.2 Descripción de las características Físico - Químicas del suelo

Entre las características Físicas se evaluaron la textura del suelo, la densidad aparente, la conductividad eléctrica y la humedad del suelo; de la misma manera entre las características Químicas se evaluaron el nitrógeno total y la materia orgánica de los suelos de las parcelas de estudio parcela en descanso (PD), parcela con cultivo de quinua con abono (PCA) y parcela con cultivo de quinua sin abono (PSA), la toma de muestras de suelo se realizó a una profundidad de 10 cm en un periodo de 15 días consecutivos durante el periodo de evaluación (Noviembre – Marzo).

4.2.2.3 Método de las Varillas

Se utilizaron varillas metálicas graduadas de 30 cm de longitud y 1 pulgada de diámetro, calibradas con papel milimetrado a una distancia de 20 cm. Estas fueron ubicadas por debajo de la superficie del suelo considerando 10 cm por encima del nivel del suelo; de manera a distinguir las variaciones en cuanto a la lámina de suelo erosionado. La cantidad de varillas utilizadas fue de ocho unidades para cada repetición considerando tres repeticiones por parcela, dispuestas en forma perpendicular a la dirección del viento a una distancia de entre a 1 m² cada una. El total de varillas fue de 24 unidades por parcela; para todo el ensayo experimental se utilizó un total 72 varillas (Figura 16).



Figura 16. a) Disposición de las varillas en la parcela en descanso (PD) para una repetición. b) varilla con pérdida de suelo registrada en papel milimetrado para la parcela en descanso (PD).

La medición de las varillas se realizó cada 15 días durante 13 eventos de medición, en el periodo de Octubre a Mayo. Durante ese tiempo se determinó la cantidad de suelo erosionado por los vientos en $\text{kg/m}^2\text{-año}$ a través de la fórmula:

$$\text{PSE} = \text{Dap} \times \text{Prof} \times \text{Sup}$$

(3)

Dónde:

PSE.= Peso del suelo erosionado en $\text{kg/m}^2\text{/año}$

Dap = Densidad aparente del suelo en estudio en kg/m^3

Prof= Lámina del suelo erosionado en m (promedio de las estacas).

Sup.= Superficie en m^2 .

4.2.2.4 Método de los Colectores Eólicos BSNE

Se utilizaron colectores Big Spring Number Eight (BSNE) (Figura 17) diseñados por Fryrear 1986, descrito como un muestreador que recoge el material sólido en movimiento por acción de la intensidad y dirección del viento. Fue diseñado y probado por Donald Fryrear en Big Spring Texas (Fryrear, 2007). El BSNE estándar tiene una abertura vertical por donde ingresa el material sólido en movimiento, de una superficie aproximada de 2 cm de ancho y 5 cm de alto, la bandeja presenta un área de 30 cm de longitud, 7 cm de alto y 5 cm por 2 cm de ancho, una malla de acoplamiento N° 60 en la parte superior de la toma de muestras; la función de la malla permite la evacuación del aire por encima de la base permitiendo de esta manera que el material sólido permanezca en la bandeja, el muestreador está fijada a una veleta de 20 cm^2 de superficie que tiene la

función de direccionar la bandeja de acuerdo a la intensidad del viento.

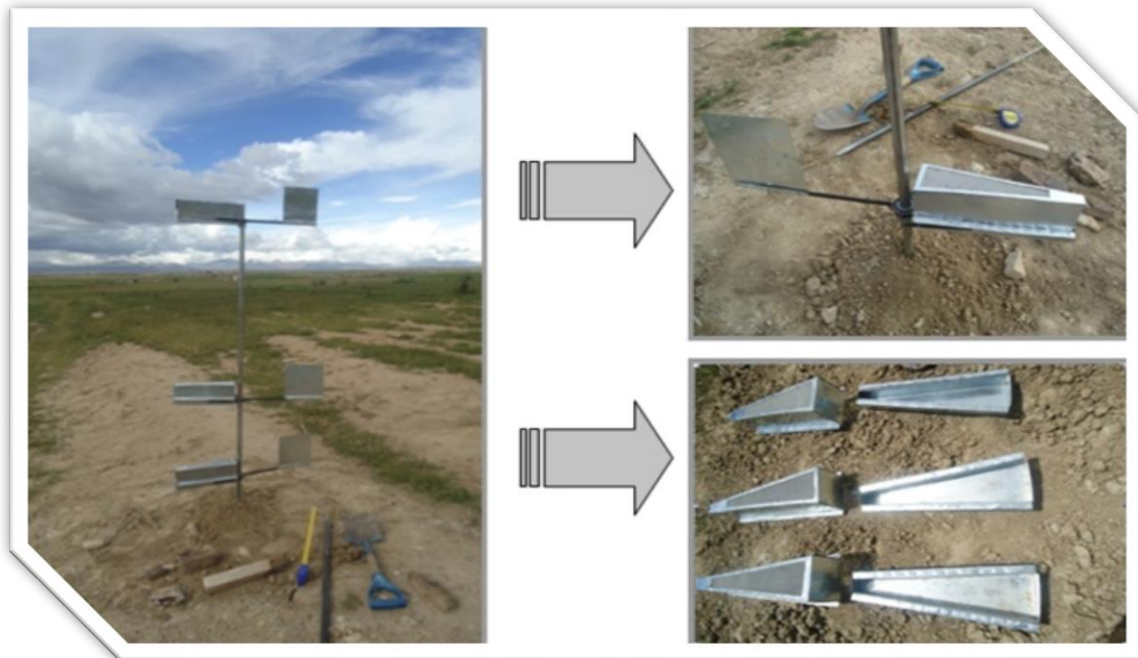


Foto: S. Calderón

Figura 17. Prototipo de colector BSNE con bandejas instaladas a tres alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) construido por la autora y estudiantes de la UMSA y probado (durante 3 meses) en la Estación Experimental de Quipaquipani - PROINPA.

El objetivo del instrumento es coleccionar las partículas de suelo que son arrastradas por acción del viento de acuerdo a los mecanismos de transporte de la misma, por esta razón los colectores se ubicaron a distintas alturas como ser 0.1, 0.5 y 1.5 m, formando un dispositivo de evaluación.

Se instalaron tres pares de dispositivos en forma diagonal con respecto a las parcelas de estudio, dispuestos en sentido perpendicular a la intensidad y dirección del viento predominante, a una distancia de 25 m de separación entre cada dispositivo y 130 m de separación entre cada par de dispositivos, utilizando 6 dispositivos por parcela y un total de 18 colectores para los tres escenarios experimentales (Figura 18).

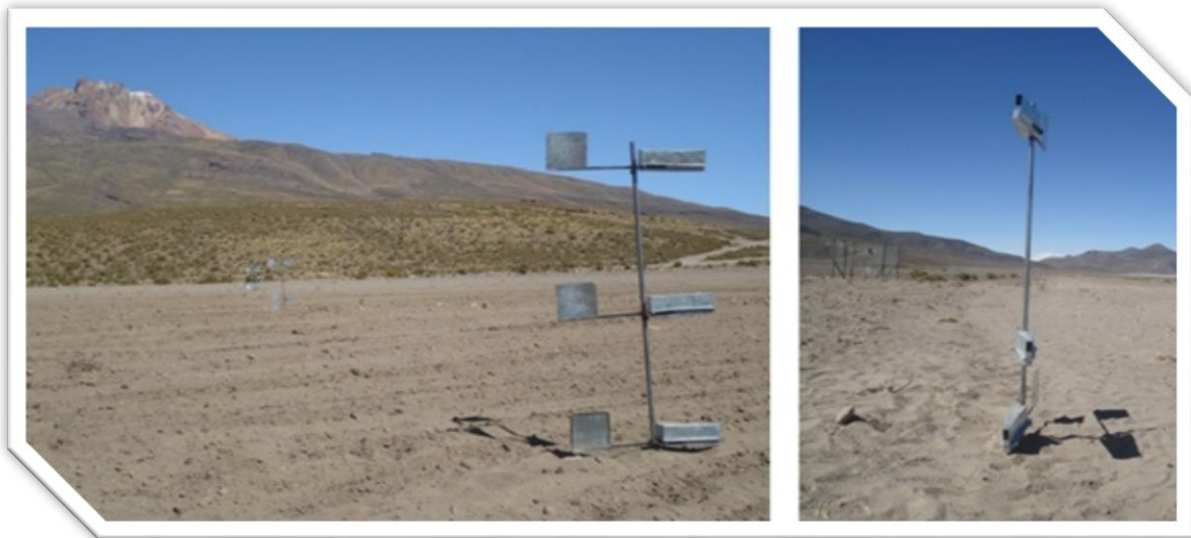


Figura 178. Ubicación de los dispositivos (colectores a 0.1, 0.5 y 1.5 m) en sentido perpendicular a la dirección predominante del viento en los escenarios experimentales parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PCA).

La recolección de las muestras de suelo erosionado se realizó desde el mes de Noviembre de la gestión 2011 a Mayo de la gestión 2012. En un periodo de evaluación de siete meses, se obtuvieron siete muestreos de suelo erosionado, mismos que fueron pesados de acuerdo a la codificación de cada bandeja. Se tuvieron diferentes pesos para cada altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) estos valores se integraron entre valores de altura y pesos de cada repetición. El Flujo de Masa (FM) se calcula mediante la Fórmula 2 integrando a la ecuación entre las alturas de 0.1 a 1.5 m y a partir de esto obtener la Erosión Neta (Q).

$$\mathbf{FM = a \exp (bz)} \quad (4)$$

La ecuación **FM** (Ec. 4) corresponde al flujo de masa (kg/m^2) en cada punto de muestreo a la altura **z** (0.1, 0.5 y 1.5 m), donde **a** es el flujo de masa en la superficie y **b** representa la tasa de decaimiento respecto a la altura. La erosión neta (Q) de cada parcela durante cada tormenta se calculó restando el flujo de

masa (FM) de los dispositivos ubicados a sorlavento menos el flujo de masa (FM) de los dispositivos ubicados a barlovento, en la intensidad y dirección del viento predominante (Buschiazzo, 2010).

4.2.3 Tercera Etapa: Trabajo de Laboratorio

a) Cuantificación de la dinámica de pérdida y acumulación de partículas de suelo erosionado

Se realizó el procedimiento con tamices graduados de bronce de la marca “HUMBOLDT (USA)” con un diámetro externo de 12 pulgadas, una altura de 12 cm y malla de acero inoxidable de diferentes diámetros de entre 2, 1, 0.5, 0.25, 0.09 y ≥ 0.053 mm catalogados con los números N° 10, N° 18, N° 35, N° 60, N° 170 y N° 270 respectivamente, referenciado y relacionando a la escala del USDA (Figura 19).

Cada muestra colectada y codificada de las bandejas de los colectores BSNE, fue tamizada y pesada de acuerdo al diámetro. considerando tres muestreos: parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) con seis repeticiones por parcelas y tres alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m), se tuvo un total de 54 muestras. Para el trabajo de investigación se realizaron siete muestreos durante todo el periodo de investigación (Noviembre - 2011 a Mayo - 2012) acumulando de esta manera 378 muestras evaluadas, de acuerdo al diámetro (2, 1, 0.5, 0.25, 0.09 y ≥ 0.053 mm) y 1134 sub muestras clasificadas como gruesos (2 a 1 mm), medios (0.5 a 0.25 mm) y finos (0.09 y ≥ 0.053 mm).

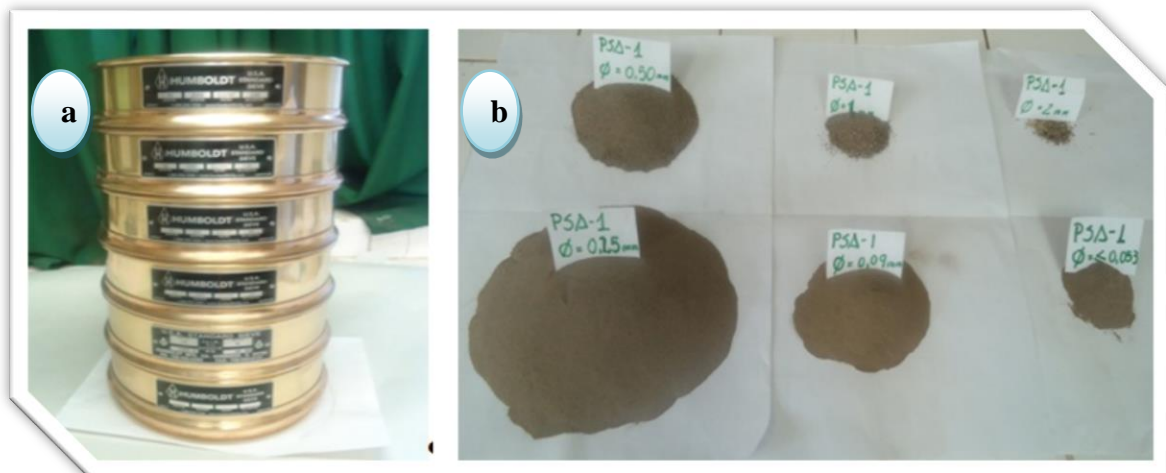


Foto: S. Calderón

Figura 19. a) Tamices graduados de acuerdo al diámetro. b) Peso de suelo de acuerdo al diámetro para la parcela sin abono (PSA) a la altura de 0.1 m.

El propósito es cuantificar el peso de acuerdo al tamaño de la partícula de suelo es para analizar la susceptibilidad de estos a los distintos mecanismos de transporte de las partículas de suelo por acción del viento. De esta forma se puede clasificar de acuerdo a la pérdida y acumulación de suelo.

b) Determinación del Nitrógeno Total en Laboratorio

Para llevar a cabo el objetivo se utilizaron las muestras que se obtuvieron del colector BSNE dispuestas en la parcela de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) a tres alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) trabajando con un total de 18 muestras en dos fechas de evaluación (Noviembre - 2011 y Mayo - 2012) con tres repeticiones cada uno se obtuvo un total de 54 sub muestras.

El procedimiento consistía en extraer de cada muestra tres sub muestras las cuales fueron mezcladas y cuarteadas para la obtención de las respectivas muestras compuestas, las mismas se llevaron a laboratorio de la Facultad de Agronomía de la UMSA donde se realizó su respectivo análisis. El procedimiento para la determinación del Nitrógeno Total (NT) por el método Kjendhal se describe a continuación.

- **Parte I: Digestión**

Una vez obtenidas las sub muestras se procedió a trabajar en grupos de seis, cinco muestras (con suelo) y un blanco (sin suelo - indicador), el motivo responde a la capacidad del equipo Kjendhal ya que cuenta con 6 matraces de 100 ml. Seguidamente se pesó 1 gr de cada sub muestra de suelo correspondiente a las parcelas (PD, PCA y PSA) con relación a las alturas (0.1, 0.5 y 1.5). Una vez pesadas y codificadas las sub muestras estos fueron depositados en cada matraz Kjendhal (100ml), agregando además 8 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Para la mezcla se utilizó para cada matraz una pastilla catalizadora. Posteriormente se llevaron las muestras al digestor durante un tiempo de 1 hora con 30 minutos a una temperatura aproximada de 200 °C (Figura 20).

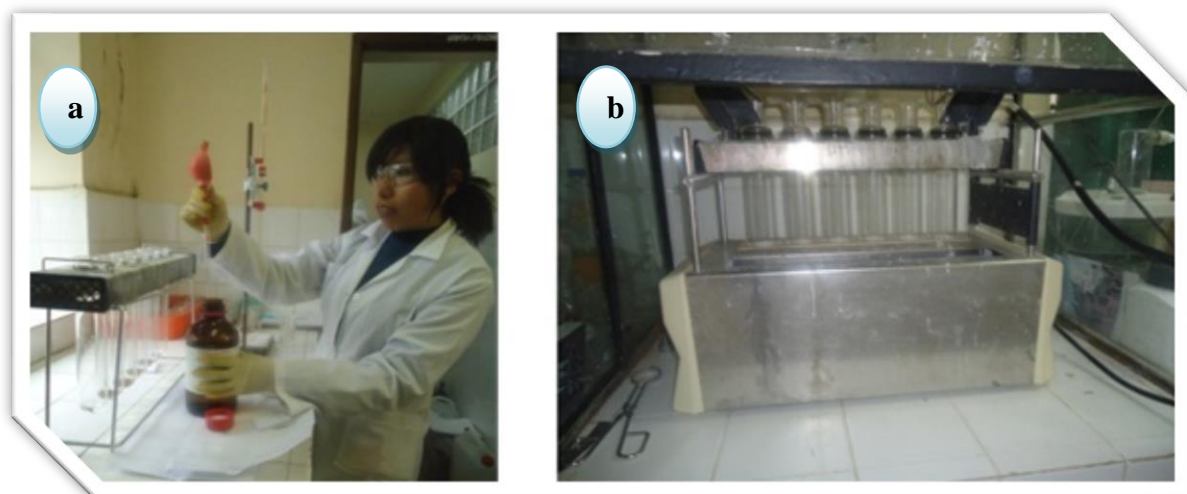


Foto: S. Calderón

Figura 20. a) Preparación de las muestras añadiendo 8 ml de ácido sulfúrico a los matraces de 100ml. b) Muestras preparadas y listas para la digestión en el equipo Kjendhal a una temperatura aproximada de 200 °C

- **Parte II: Destilación**

Completada la fase anterior (Figura 21), se deja enfriar los tubos durante un tiempo de 30 minutos y pasado ese tiempo se agrega a cada matraz, una

solución de soda cáustica (NaOH). La solución de soda cáustica se prepara en una concentración de 150 gr NaOH con 500 ml de agua destilada; incorporando la mezcla al matraz Kjendhal en pequeñas proporciones y agitando en el momento de la incorporación. Una vez dada la reacción y la neutralización, se transfieren los tubos con la muestras incluidas a la cámara de destilación., Se incorpora en el tubo de salida del destilador un matraz Erlenmeyer de 25 ml con 5 ml de ácido Bórico (H_3BO_3) utilizado como iindicador, seguidamente se conecta el flujo de vapor y se inicia la destilación durante 2 minutos cronometrados.

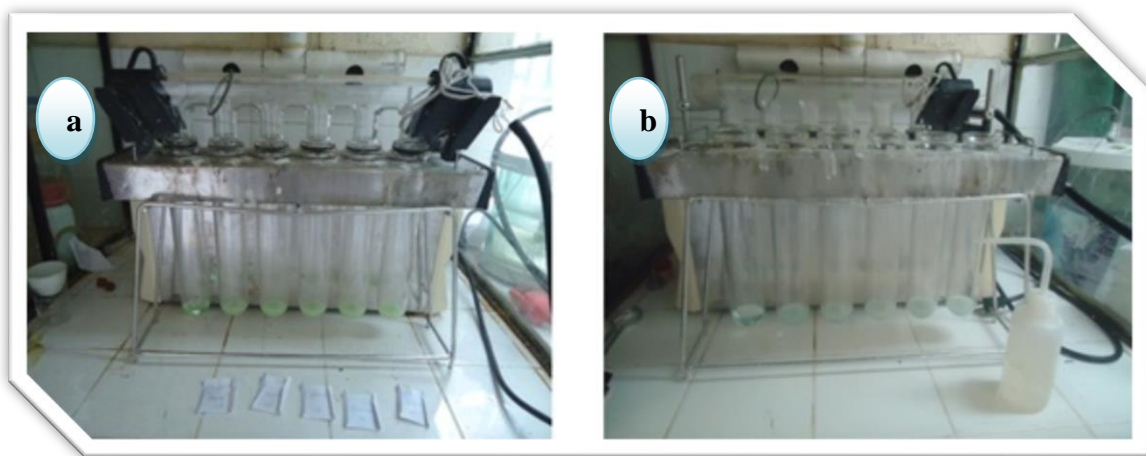


Foto: S. Calderón

Figura 21. a) Finalización del procedimiento de digestión y complementando con la disminución de la temperatura de los matraces b) Reacción y Neutralización del Nitrógeno con Sosa Caustica en una concentración de 150gr NaOH en 500 ml H₂O destilada

Se determinó el nitrógeno amoniacal por titulación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) previamente preparado a una concentración de 0.35 ml en 250 ml de agua destilada. El punto equivalente de titulación ocurre automáticamente cuando la solución cambia de color verde claro al primer tono de rosado, se toma como referencia el blanco en el primer tono rosado que presente.

- **Parte III: Cálculos**

La concentración de nitrógeno se determinó en porcentaje (%) de acuerdo al peso de las muestras mediante la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(Gm - Gb) \times N \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gr.}} \quad (5)$$

Dónde:

Gm = Gasto de ácido en titulación de la muestra (ml)

Gb = Gasto de ácido en titulación del Blanco (ml)

N = Normalidad del H₂SO₄

Pm = peso de la muestra (gr)

Posteriormente se relacionaron los datos de Nitrógeno Total (NT) en porcentaje (%) con respecto a la relación de la pérdida y acumulación del suelo erosionado (kg/m²), transformándolo en unidades de mg NT/kgS⁰.

c) Evaluación de la Materia Orgánica en Laboratorio.

Se evaluó el contenido de materia orgánica por el método Walkley Black. Se utilizaron las muestras que se obtuvieron las bandejas del colector BSNE dispuestas a tres alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) de las parcelas de descanso (PD), con abono (PCA) y sin abono (PSA). Por tanto se trabajó con un total de 18 muestras en las fechas de evaluación (Noviembre 2011 y Mayo 2012) con tres repeticiones para cada una que totalizaron de 54 sub muestras.

Se obtuvieron tres sub muestras para después cuartearla y obtener una muestra compuesta y trabajar directamente con dicha muestra. Procediendo de acuerdo a la metodología de Walkley Black (Figura 22), se añadió la muestra en un Erlenmeyer de 20 ml. Para la investigación se trabajó con una muestra como blanco de referencia, de la muestra compuesta se pesó 1 gr que se incorporó al Erlenmeyer (20 ml), añadiendo además 10 ml de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y

10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Una vez incorporados se observa la reacción entre soluciones, posteriormente se agita cuidadosamente dejando reposar 30 minutos aproximadamente o hasta que disminuya la temperatura. Una vez pasado dicho periodo de tiempo se incorpora a la muestra 20 ml de agua destilada agitando levemente hasta que la solución enfrié, seguidamente se le añade a la solución 5 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) y 2 ml de difenilamida. Finalmente, titulamos con sulfato ferroso (FeSO_4) al 0.05 N tomando como referencia el punto equivalente de la titulación del blanco que tomó de un tono de azul oscuro a verde petróleo.

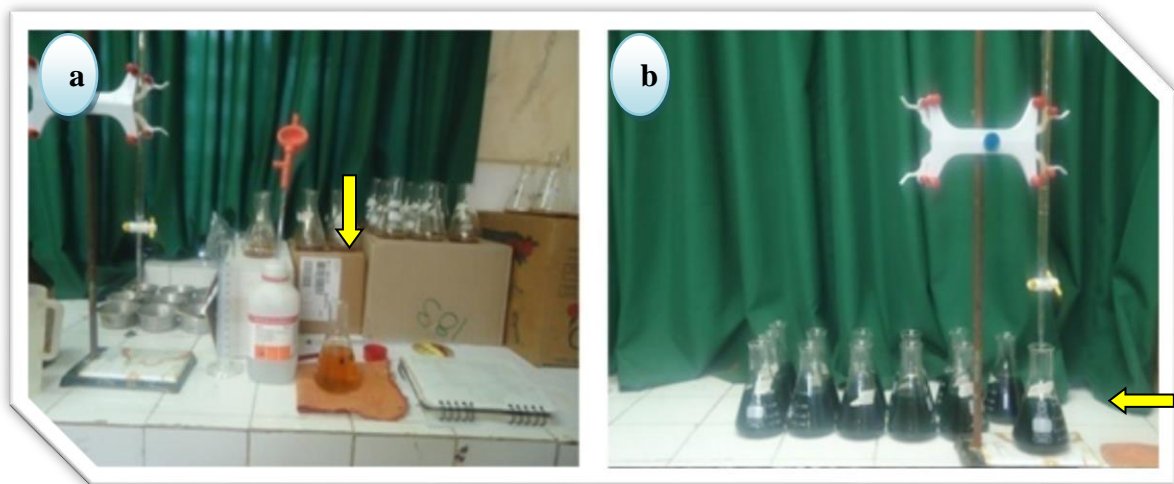


Figura 22. a) Preparación de la mezcla entre la muestra compuesta de suelo y las soluciones de dicromato de ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) b) Determinación del punto equivalente de la titulación por el Método de Walkley Black.

Se determinó el contenido de carbonatos mediante la fórmula:

$$\% C = \frac{(V1 - V2) \times N}{p} \times 0.39 \quad (6)$$

Dónde:

V1 = Volumen de la Solución ferrosa requeridos para el blanco (ml).

V2 = Volumen de la solución ferrosa requeridos para la muestra de S^o (ml).

N = Normalidad de la Solución ferrosa.

P = Pesó de la Solución (gr).

0.39 = Es el pesó equivalente de carbono (mmg).

Para determinar el contenido de materia orgánica en porcentaje utilizamos la siguiente formula.

$$\% MO = \% C \times 1.72 \quad (7)$$

Dónde:

%C = Porcentaje de carbonatos

1.72 = Factor de recuperación de Walkley

4.2.4 Variables de Respuesta

a) Erosión laminar

La erosión laminar se determinó mediante la medición con varillas metálicas graduadas, atreves de la fórmula:

$$\text{PSE} = \text{Dap} \times \text{Prof} \times \text{Sup}$$

b) Suelo erosionado en (kg/m^2)

La pérdida y acumulación se midió mediante los colectores BSNE, recolectando las muestras codificadas por bandeja y pesándolas; la determinación de la erosión neta (Q) se evaluó mediante el flujo de masa (FM).

$$\text{FM} = a \exp (bz) \quad (8)$$

La Integración se realizó entre las alturas de 0.1 a 1.5 m mediante el programa Curve Expert Profesional 1.5.0(Hyams 1997); se calculó la diferencia obtenida entre cada par de colectores relacionados a la intensidad y dirección del viento, valores que representa la erosión neta (Q) clasificada entre pérdida y acumulación de acuerdo al valor.

c) Diámetro de partícula de suelo erosionado (mm).

Se realizó mediante tamices de diámetros 2, 1, 0.5, 0.25, 0.09 y ≥ 0.053 mm pesando las muestras de acuerdo a cada diámetro, se clasificaron las siguiente categorías: gruesos (2 a 1 mm), medios (0.5 a 0.25 mm) y finos (0.09 y ≥ 0.053 mm). Se determinó la pérdida y la acumulación mediante la diferencia entre

cada par de colectores de acuerdo a la intensidad y dirección del viento predominante.

d) Nitrógeno Total (mm/kg).

Se realizó la evaluación mediante el método Kjendhal dividido entre tres parámetros de medición de digestión, destilación y titulación. Los cálculos obtenidos en porcentaje, se transformaron mediante la relación entre el peso de la pérdida y acumulación del suelo erosionado (kg/m^2) ajustado a unidades de mgNT/kgS° .

e) Materia Orgánica (mm/kg).

Se realizó con la aplicación del método Walkley Black, determinando la cantidad Carbono (%C) útil para la obtención de Materia Orgánica (%MO), valores adecuados a los valores de pérdida y acumulación de suelo erosionado, representado en mgMO/KgS° .

CAPITULO V

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Condiciones Climáticas

5.1.1 Temperatura

La descripción del clima está basada en datos obtenidos de la estación meteorológica instalada en la comunidad de Saytoco. Los parámetros de temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales registradas desde Octubre de 2011 a Abril de 2012 muestran que durante ese periodo se obtuvo una máxima de 23.3 °C, una mínima de 3.3 °C bajo cero y una media de 11 °C (Figura 23).

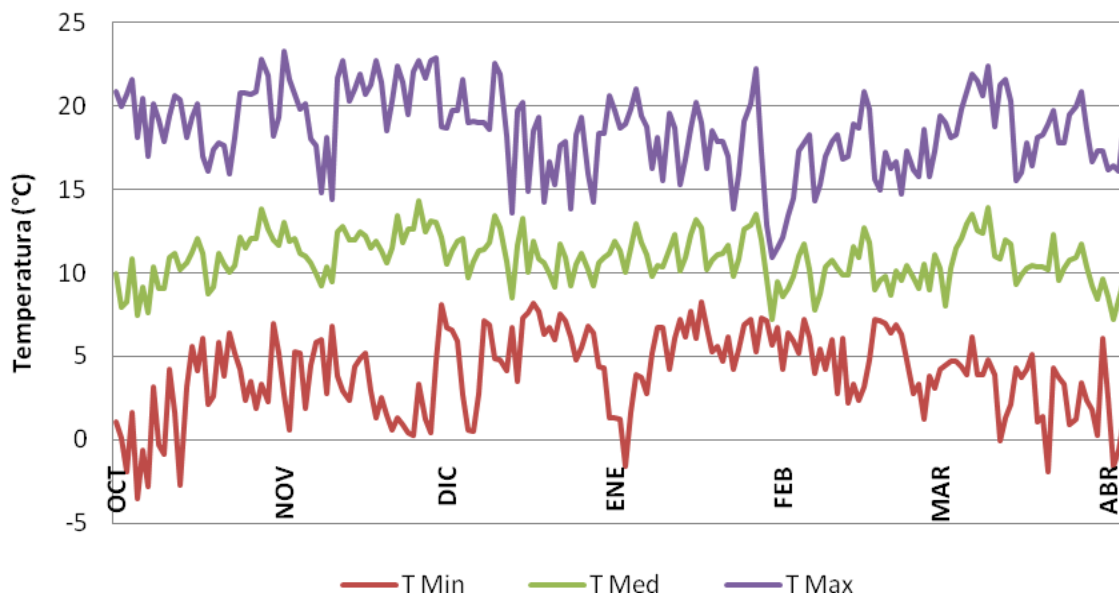


Figura 183. Fluctuaciones Temperatura Máxima, Media y Mínima Registradas en la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza - Oruro

El clima presenta una tendencia de semia-árida, árida a fría de acuerdo a los datos obtenidos; la fluctuación de la temperatura máxima, mínima y media, variando regularmente con respecto al tiempo (Octubre- 2011 a Abri -2012). La temperatura media oscila entre los 8 a13 °C y las temperaturas mínimas bajo cero

registrada en el mes de Octubre y Enero. Resaltando que la temperatura máxima alcanzo los 23.3 °C en el mes de Noviembre.

Lutino (2009) indica que el clima de la zona corresponde a un clima tropical por estar entre los 19° y 20° de latitud en el hemisferio Sur, pero su situación altitudinal determina que esté muy influenciado por el relieve andino. Con severas limitaciones impuestas por el frío y la falta de humedad. De acuerdo a Inda (2010), el altiplano sur presenta bruscas variaciones de temperatura durante el año.

5.1.2 Precipitaciones Medias Mensuales

En la Figura 24, se observan los valores de precipitación registrados en la estación meteorológica de la comunidad de Saitoco durante el periodo de evaluación (Octubre 2011 a Abril 2012). Se observa las mayores precipitaciones registradas en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo con 55.4, 91.4, 95 y 48.8 mm respectivamente, por el contrario Octubre, Noviembre y Abril presentaron escasa precipitación registrando 8.8, 6.6 y 8 mm respectivamente, representando un total de 314 mm de precipitación pluvial en época húmeda (Octubre 2011 a Abril 2012).

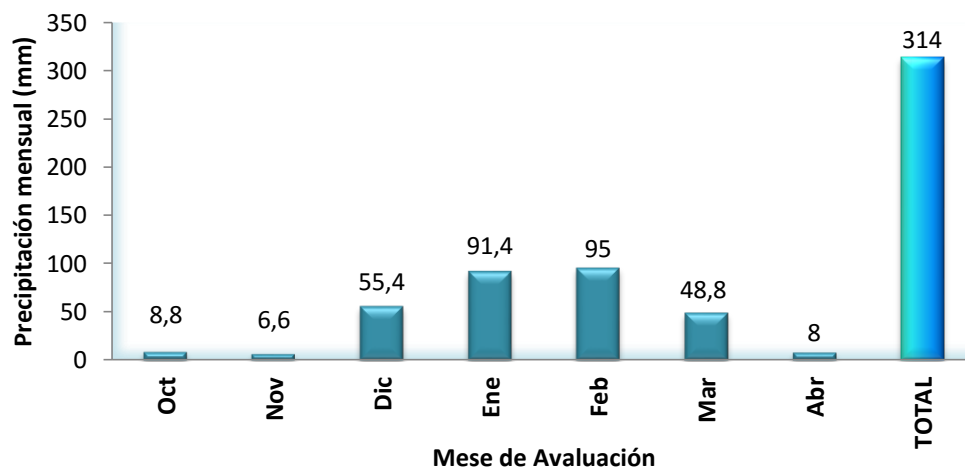


Figura 194. Precipitaciones (mm) mensuales registradas en la Estancia de Saytoco durante la gestión agrícola 2011 – 2012 en el municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro

La precipitación pluvial se concentró entre los meses de Diciembre a Marzo, esta situación se atribuye a las características climáticas propias del Altiplano Sur. Al respecto Inda (2010) registró valores de precipitación pluvial de 253.3 mm en el periodo de Noviembre 2007 a Abril 2008 obtenidos en la comunidad de Irpani ubicada a 5 Km de la estancia de Saytoco. Por otra parte Yana (2009) registro en su trabajo 257 mm anuales en el municipio de Salinas de Garci Mendoza ubicada a 22 Km de la estancia de Saytoco estos datos respaldan la precipitación pluvial registrada. Según Pacheco (2004) las lluvias son escasas y distribuidas irregularmente en el Altiplano Sur; la precipitación media anual alcanza los 325,4 mm.

5.1.3 Velocidades y Direcciones Medias Mensuales

En la Estancia de Saytoco los vientos son muy intensos, pudiendo alcanzar velocidades superiores a 25 m/s con una dirección predominante Nor-Este (NE) a Sur-Oeste (SE). De esta manera se presentan los valores registrados de las velocidades y direcciones del viento en la Figura 25, donde se puede observar que para los meses de Marzo y Mayo existe mayor intensidad de la velocidad del viento predominando valores de 20 y 21 m/s respectivamente con dirección Nor-Este (NE). Durante los meses de Noviembre y Enero, se registraron valores mínimos de 15.2(SSW) y 16.9 m/s (SWW), Valores intermedios fueron registrados en los meses de Diciembre, Febrero y Abril con 17.3 (SWW), 16.5 (NE), 20 (NE), 17.7 m/s; Sud-Oeste-Oeste (SWW), Nor-Este (NE) y Nor-Este (NE) respectivamente.

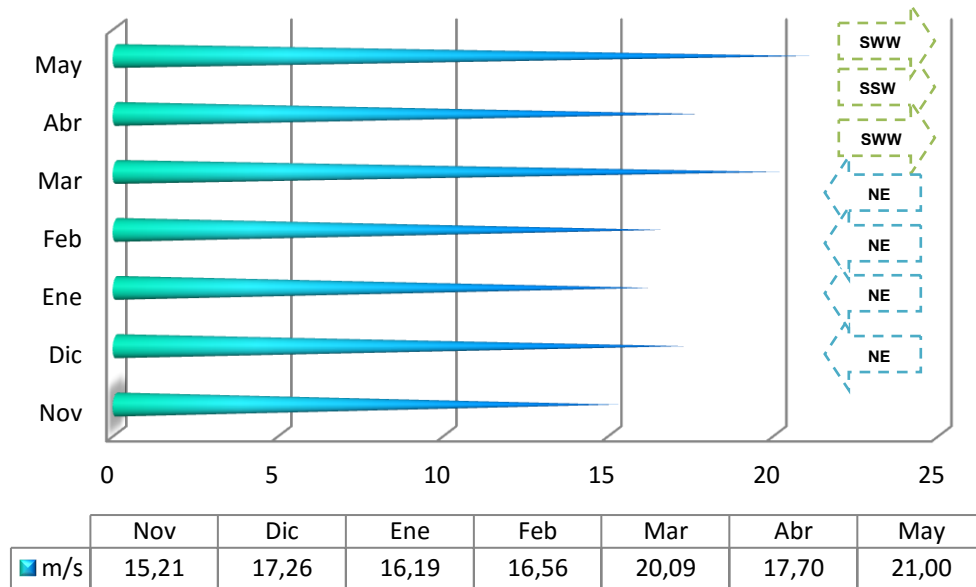


Figura 205. Velocidad y dirección del viento registrados en la Comunidad de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro durante la gestión agrícola 2011 – 2012

Las máximas velocidades se registraron en el mes de Mayo (21 m/s), mientras que en el mes de Noviembre las velocidades mínimas (15.2m/s). Aparentemente el cambio de estación podría explicar los resultados observados ya que en el mes de Mayo inicia la época seca y los primeros vientos se pronuncian gradualmente con intensidad; la velocidad de viento en Mayo fue 17.6 m/s. Lutino (2009) registró valores de 13 m/s en los meses de Noviembre a Diciembre de la gestión agrícola 2007-08 evaluando la incidencia de larvas del complejo Ticona por efecto del viento, en la comunidad de Irpani (comunidad a 5 km de la Estancia de Saytoco) Así mismo Cardenas *et. al.* Manifiestan que los vientos en el Altiplano Sur son muy intensos durante casi todo el año, pudiendo alcanzar velocidades superiores a los 22 m/s, con direcciones predominantes Nor-Este (NE) a Sud-Este (SE) y de Sur (S) a Norte (N). Estas condiciones son características del altiplano sur por el ambiente árido y desértico que presenta.

5.2 Características Físico-Químicos de los Suelos de la comunidad de Saytoco

Realizó la determinación de las características Físico-Químico de los suelos de la comunidad de Saytoco, en las tres parcelas de estudio, descritas de acuerdo al siguiente orden, parcela en descanso (PD), parcela con cultivo de quinua con abono (PCA) y parcela con cultivo de quinua sin abono (PSA) en dos periodos de evaluación, Noviembre del 2011 y Mayo del 2012, tiempo que abarco aproximadamente el trabajo de investigación.

5.2.1 Características Físicas

Con respecto a la característica textural de los suelos en las diferentes parcelas, los resultados reflejan una textura Franco Arenosa, para las tres unidades experimentales. Al inicio del experimento (Noviembre 2011), se determinaron contenidos de 80.8 % de Arena, 12.3 % de Arcilla y 6.9 % de Limo para la parcela en descanso (PD); 79.1 % de Arena, 14.2 % de Arcilla y 6.7 % de Limo para la parcela con abono (PCA); 78.8 % de Arena, 14.3 % de Arcilla y 7.1 % de Limo para la parcela sin abono (PSA). Una vez concluida la investigación, se realizó nuevamente el análisis de textura a una profundidad de 10 cm, y se determinó que la clase textural de las tres parcelas se mantienen, variando mínimamente en los contenidos de Arena Arcilla y Limo (Cuadro 7).

Cuadro 7 Características texturales de los suelos de la Estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro

Fecha de muestreo	Parcela	Profundidad (cm)	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural
28/11/2011	PD	10	80,8	12,27	6,93	AF
	PCA	10	79,07	14,20	6,73	AF
	PSA	10	78,80	14,13	7,07	AF
07/05/2012	PD	10	81,21	11,4	7,39	AF
	PCA	10	80,73	11,20	8,07	AF
	PSA	10	80,55	12,07	7,39	AF

Corroborando los resultados obtenidos, Yana (2009) asevera que los suelos en el Altiplano Sur, en su mayoría son predominantemente arenosos en algunos casos sobresaliendo con más del 85 % de la fracción textural. Montes de Oca (2005) en su descripción del Altiplano Sur menciona la presencia de suelos relativamente jóvenes de textura franco arenosa y escasa fertilidad.

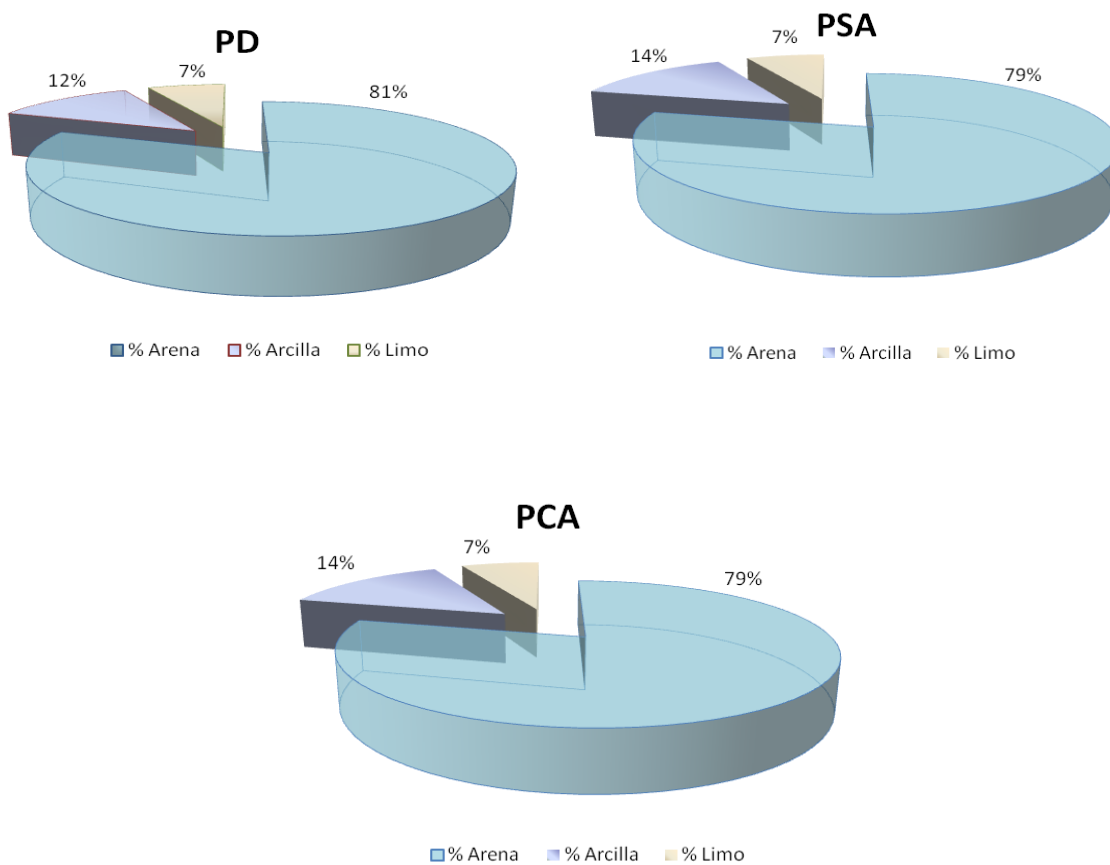


Figura 26. Proporción de Arena, Limo y Arcilla a 10 cm de profundidad en el inicio de la Investigación en la Estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza - Oruro

La FAO, (1994) ha identificado que una de las causas principales de la degradación de tierras, en varias partes del mundo, es la aplicación de técnicas de

preparación de tierras y labranza inadecuadas; que conducen a un rápido deterioro físico, químico y biológico de gran proporción de suelo, trayendo como consecuencia un fuerte descenso en la productividad de los cultivos y el deterioro del medio ambiente.

Los suelos arenosos son más frágiles (referencia). A esto se suman prácticas agrícolas inadecuadas. En el Altiplano Sur el excesivo arado utilizado en estos suelos de textura frágil y salinos puede ocasionar problemas de degradación del suelo que repercutan en un problema ecológico en la región por la habilitación de nuevas superficies de cultivo (Fundación PROINPA, 2004 citado por Medrano, 2009 *et al*).

5.2.1.1 Densidad Aparente

Inda, (2010) indica que la densidad aparente es importante para el manejo del suelo porque refleja el grado de compactación y facilidad de circulación de agua y aire. La densidad aparente involucra textura, estructura y compactación del suelo, varía de 1,1 a 1,3 g/cm³ en suelos arcillosos o pesados; de 1,3 a 1,5 g/cm³, para suelos francos y de 1,5 a 1,7 g/cm³ para suelos arenosos o ligeros. El valor de la densidad aparente disminuye a medida que se incrementa al contenido de arcilla en el suelo (Narro, 1994).

De acuerdo a los valores registrados en la Figura 27 existe homogeneidad en las diferentes épocas de medición y variación en las parcelas de estudio, ya que la tendencia muestra una ligera sobreposición para la parcela sin abono (PSA) con respecto a la parcela en descanso (PD) y la parcela con abono (PCA) en los primeros meses, con relación a la época húmeda se observa una marcada disminución de la cantidad de suelo por unidad de volumen ya que el porcentaje de humedad debido a las precipitaciones es mayor para los meses de Enero a Marzo de 2012.

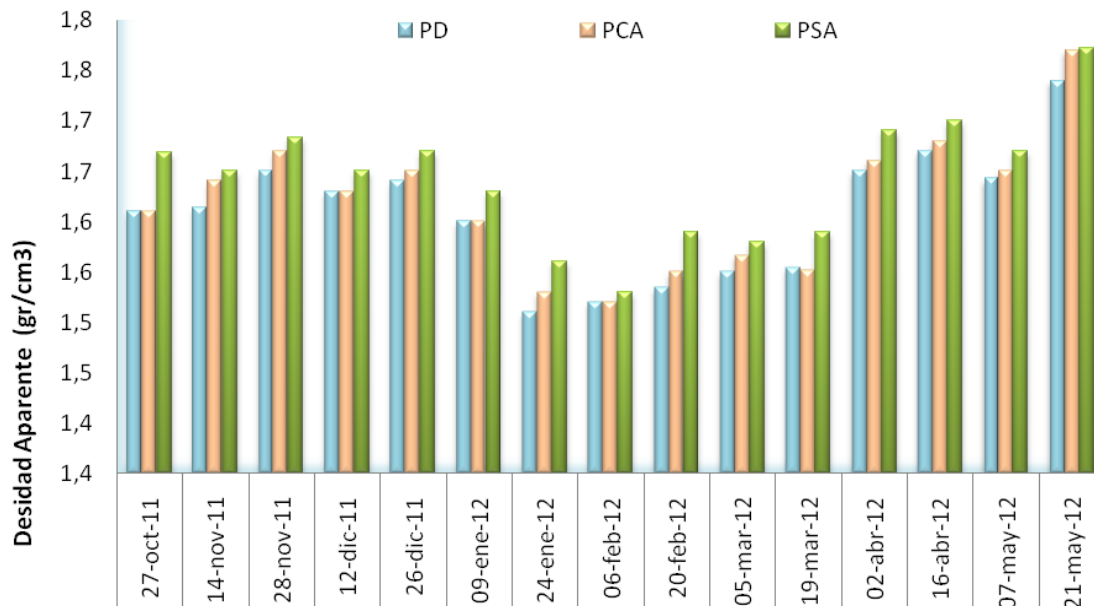


Figura 27. Dinámica de la Densidad Apparente entre Octubre de 2011 a Mayo de 2012 en la Estancia de Saytoco en el municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro

Rodríguez, (1982) menciona que la disminución de materia orgánica suele incrementar la densidad aparente del suelo debido a una reducción en el volumen total de poros. A su vez Mayta (2009) menciona que, a los 10 centímetros de profundidad, la densidad aparente del suelo es mayor, siendo aun mayor su compactación, lo que reduce la pérdida de agua por evaporación de los estratos inferiores. El valor de la densidad aparente del suelo a 10 centímetros de profundidad es de 1,5 g/cm³; este valor disminuye con la profundidad del suelo, llegando a tener un valor de 1,3 g/cm³ a 90 centímetros de profundidad o cuando la superficie del suelo está compactada.

5.2.1.2 pH y Conductividad eléctrica (CE)

De acuerdo a la descripción del Cuadro 8, se observa que las parcelas en descanso PD, parcela con Abono PCA y parcela sin Abono PSA a una profundidad de 10 cm. presentan un pH alcalino con valores de entre 8 y 8.9. La CE varía entre 0.14 y 0.17 mS/cm, que indican que no existe presencia de sales (Fundación AUTAPO, 2008).

Cuadro 8. Características físicas de los suelos de la estancia de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza

Fecha	Par	Dap gr/cc	pH	CE
			1;2,5	
28/11/2011	PD	1.65	8,5	0,17
	PCA	1.68	8,4	0,14
	PSA	1.67	8,0	0,16
07/05/2012	PD	1.64	8,9	0,16
	PCA	1.67	8,0	0,17
	PSA	1.65	8,2	0,15

Las condiciones extremas de pH en el suelo (muy ácido o muy alcalino) determinan una menor disponibilidad de la mayoría de los macro nutrientes y algunos micronutrientes para la mayor parte del cultivo y por consiguiente incide en una menor producción. Los suelos más fértiles en cambio, presentan reacciones cercanas al valor neutro (Orsag, 2003 citado por Paco, 2011).

Al respecto Rodríguez (1982) argumenta que los suelos agrícolas generalmente tienen un pH entre 6 a 7.5, además que es el rango en que mejor se desarrollan las plantas. Por otro lado los suelos del Inter Salar se caracterizan por tener pH de entre 7,1 a 8,1, de suavemente alcalino a fuertemente alcalino, con predominancia de suelos arenosos o franco arenosas.

5.2.1.3 Humedad del suelo

La humedad del suelo para las parcelas en descanso (PD), con abono (PCA) y sin abono (PSA) se determinó a los 10 cm de profundidad del suelo donde se observa que se presentan una marcada diferencia en la retención de la humedad para la parcela en descanso (PD), con relación a las otras parcelas durante los meses de Febrero a Mayo. La parcela sin abono (PSA) presenta una constante relación entre los meses de Febrero a Marzo y una marcada disminución con relación a la parcela en descanso (PD) en esas fechas (Figura 28).

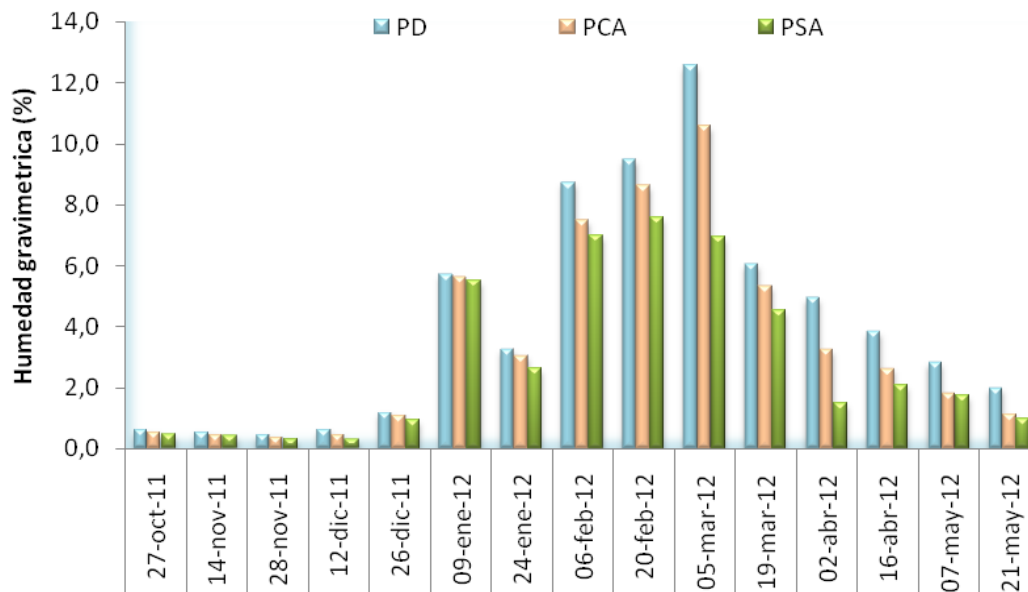


Figura 28. Contenido de humedad en el suelo en las parcela de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) entre los meses de Octubre de 2011 a Mayo de 2012, en la comunidad de Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza – Oruro

En la Figura 28, se puede observar claramente que apartir del mes de Enero existe un aumento proporcional de la humedad del suelo, coincidiendo con el inicio las precipitaciones mensuales registradas en la Estancia de Saytoco, a diferencia del final donde se observa que la humedad disminuye gradualmente. Las mayores precipitaciones se dieron en los meses de enero y febrero (92 y 75 mm mensuales en forma respectiva). Habiendose acumulado el agua precipitada en el suelo, mayores contenidos de humedad en el suelo se presentan en el mes de marzo para la parcela en descanso (PD).

5.2.2 Características Químicas

Con respecto al contenido de Nitrógeno Total para las parcelas en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA), el Cuadro 9 muestra valores que figuran entre 0.01 y 0.02 y 0.01% respectivamente. Estos valores determinados son mínimos. FAUTAPO (2008) señala al respecto que los valores bajos de fertilidad se deben a la sobreexplotación de los suelos, al monocultivo y

al descanso no prolongado causado por el aumento de la superficie del cultivo de la quinua por el precio en el mercado.

Cuadro 9. Parámetros Químicos determinados en la Estancia de Saytoco

Fecha	Parcela	Prof. (cm.)	NT	MO	P
			%		mg/Kg
28/11/2011	PD	10	0,02	0,34	1,19
	PCA	10	0,02	0,34	1,73
	PSA	10	0,02	0,27	0,96
07/05/2012	PD	10	0,10	0,20	1,17
	PCA	10	0,20	0,25	1,60
	PSA	10	0,10	0,22	0,86

Corroborando el análisis químico y de acuerdo a los resultados de los diferentes autores con respecto a los estudios en el Altiplano Sur: Condori (2008), afirma que en sus análisis de suelo obtuvo como promedio 0,02% de Nitrógeno Total. De la misma manera, Inda (2010) obtuvo parámetros de 0.2 a 0.6 % NT en planicie a los 20 cm de profundidad en la comunidad de Irpani de Salinas de Garci Mendoza. Confirmando los resultados Cárdenas y Choque (2008) registraron promedios de; media 0,07%, mínima 0,02% y máxima 0,22% de Nitrógeno Total en el intersalar del altiplano sur.

A su vez también se observa que el contenido de materia orgánica es mínimo en las parcelas de descanso (PD), con abono (PCA) y sin abono (PSA) con valores registrados de 0.20, 0.25 y 0.22 % respectivamente. Igualmente catalogados según Vallejos (2011) como parámetros de contenido de materia orgánica muy bajos en zonas productoras de quinua de la municipios de Pampa Ullagas y el municipio de Salinas de Garci Mendoza en el altiplano sur.

El cultivo de la quinua se ve actualmente afectado por el rendimiento debido a la baja fertilidad de sus suelos y al aumento de la superficie cultivable ya que en los últimos 10 años (1998 a 2007) la superficie cultivable incrementó de 38.248 ha a 50.375 ha con relación a los rendimientos. Durante las gestiones agrícolas

comprendidas entre los años 2002 y 2007 el rendimiento disminuyó de 0.68 a 0.46 kg/m² (datos registrados según Políticas Nacionales de la Quinoa – MDRyT, 2009, citado por Vallejos, 2011)

5.2.3 Evaluación de la cuantificación de la erosión eólica aplicando el método de varillas

Con relación a los resultados obtenidos en la figura 29, podemos observar la fluctuación de pérdida laminar de peso de suelo erosionado en relación al tiempo, según el análisis de los resultados se observa que el mes de Diciembre existe mayor pérdida laminar de suelo erosionado, los valores son representativos con relación a los meses siguientes ya que las pérdidas son entre 1.5 a 2 kg/m² para los tres escenarios de evaluación, a partir del mes de Enero a Abril existen variaciones similares, las pérdidas no sobrepasan los 0.5 kg/m². La razón que hace que se mantenga dicha fluctuación se basa en diversos factores, entre ellos la intensidad de la velocidad del viento, la compactación del suelo por las precipitaciones pluviales y la vegetación, como resultado se observa y se justifica la pérdida de suelo en parcelas cultivadas (PSA y PCA) donde el valor es mayor con un 2 kg/m² a diferencia de la parcela en descanso (PD) que presenta una pérdida de 1.5 kg/m² la variación es justificada debida a la compactación ya que en un suelo en descanso existe gran cantidad de suelos conglomerados evitando así la pérdida de la misma manera influye la velocidad del viento que para dichos meses se presenta en 15.21 a 17.26 m/s . La mayor diferencia se observa en los meses de Enero a Mayo la pérdida de suelo se mantiene en los valores no mayor a los 0.5 kg/m² para el mes de enero con relación a la parcela con abono (PCA) y en el mes de mayo con relación a la parcela sin abono (PSA) a una velocidad promedio de 16.29 y 21 m/s, valores que nos demuestran que para esta época los suelos mantiene la humedad y evitan la pérdida de suelo por erosión eólica.

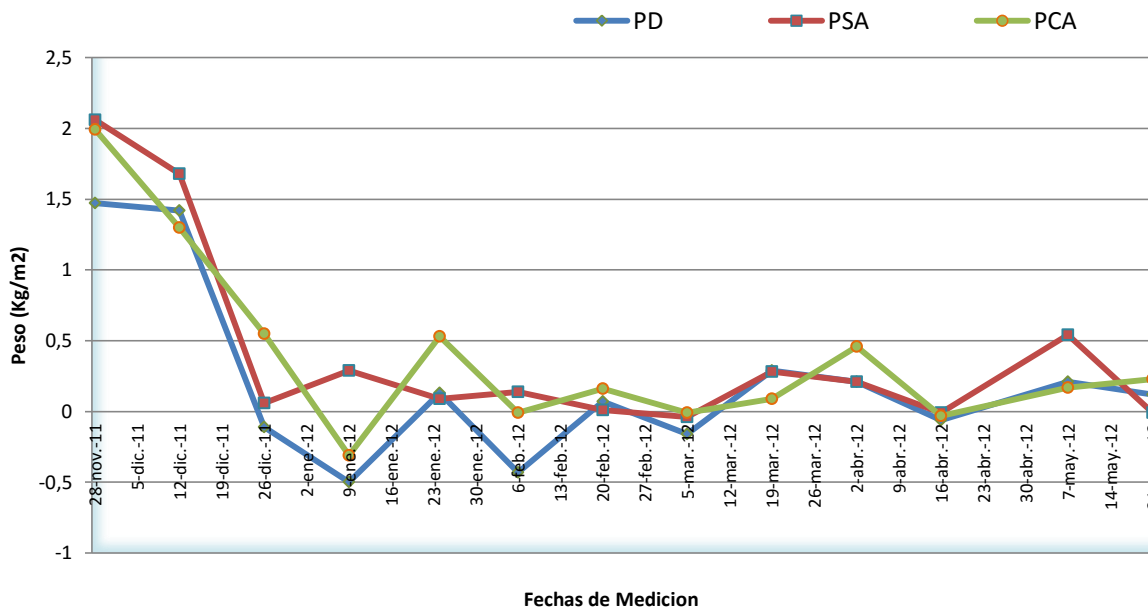


Figura 29. Pérdida y Acumulación de suelo en la parcela (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) mediante el método de varillas, durante siete meses (Noviembre 2011 a Mayo 2012)

Un factor que influye en la erosión laminar de los suelos es la compactación mediante la conformación de agregados y la influencia que existe en la formación de la vegetación, es por eso que se han estudiado relaciones y reacciones que existen entre la vegetación y los procesos hidrológicos asimismo como la compactación de los suelos y el cambio en el tiempo que existe entre estos factores es de esta manera que citamos a Bowen citado por Porta et al. (1994) indica que la compactación tiende a disminuir las cantidades de agua en el suelo. Dado un incremento en el valor de la densidad aparente manifestando la disminución del espacio poroso y una mayor compactación de la superficie del suelo, que reduce la pérdida de agua por evaporación (Narro, 1994), Esto explicaría la razón por la cual en el primer horizonte se observa mínimas cantidades de humedad en el suelo y por ende menor arrastre de partículas sueltas causadas por erosión eólica.

5.2.4 Evaluación de la cuantificación de la erosión eólica aplicando el método de colectores BSNEs.

De acuerdo a los resultados de la Figura 30, se observa que existe pérdida por erosión en el mes de Noviembre de 2011 registrando valores mayores para la parcela sin abono (PSA) con 2.4 kg/m^2 , seguida por la parcela con abono (PCA) con 2 Kg/m^2 y disminuyendo valores en la parcela en descanso (PD) con 1.5 Kg/m^2 . Para dicho periodo de medición la intensidad de viento registrada fue 15 m/s con dirección predominante Sud-Oeste (SWW) y la precipitación pluvial fue 7 mm . El mes de Diciembre presenta una similar tendencia entre parcelas en comparación al mes de Noviembre con una disminución en la pérdida por erosión eólica la parcela sin abono (PSA) se determinó un valor de 1.3 Kg/m^2 , en la parcela con abono (PCA) 1.1 Kg/m^2 y en la parcela en descanso (PD) una pérdida de 0.8 Kg/m^2 . La velocidad de viento para el mes en cuestión fue 17.3 m/s con una dirección de Sud-Oeste (SWW) y un marcado aumento en las precipitaciones registradas para el mes de Diciembre de 2011 con 55.4 mm .

Resaltamos estos periodos de muestreo entre los meses de Noviembre y Diciembre de 2011 debido a que se observan mayores pérdidas de suelo por erosión eólica, específicamente en la parcela sin abono (PSA) seguida por la parcela con abono (PCA) y por último la parcela en descanso (PD). Las condiciones para que se registren pérdidas por erosión eólica se presentaron debido a la intensidad del viento sobre la soltura del suelo; la siembra del cultivo de la quinua se realizó en el mes de septiembre, dos meses antes del periodo de evaluación (Noviembre). A su vez tomando en cuenta la clase textural que predomina en la zona de estudio (franco arenosa) se evidenció que las condiciones del suelo presentaban un estado de disgregación y soltura de las partículas susceptibles a ser erosionadas (erodabilidad) por acción del viento. Con velocidades promedio de 15 a 17 m/s en estos dos periodos de evaluación.

Contrariamente al anterior periodo de evaluación (Noviembre y Diciembre de 2011) se describe que para el mes de Enero de 2012 (Figura 30) en la parcela en descanso (PD), existe acumulación de suelo por efecto de la erosión con un valor de 0.1 Kg/m^2 , la disminución de este valor que se observa constantemente durante los meses de Febrero y Marzo a velocidades de vientos de 16.3, 16.5 y 20.1 m/s respectivamente. En el mes de Abril este parámetro incrementa ligeramente para la parcela sin abono (PSA) con un valor de acumulación de 0.5 Kg/m^2 y una velocidad de viento de 17.7 m/s . La parcela en descanso (PD) se encontraba con un 45 % de vegetación nativa; la compactación en el suelo sumada a las intensas precipitaciones que se dieron entre los meses de Enero, Febrero Marzo y Abril con valores de 91.4, 95, 48 y 8 mm respectivamente, redujeron la susceptibilidad de los suelos a erosionarse. Sin embargo, se observa pérdidas de suelo por erosión en el mes de Enero de 2012 para la parcela sin abono (PSA) y la parcela con abono (PCA) con valores de 0.7 y 0.4 Kg/m^2 respectivamente.

Existe una pérdida mínima por erosión en el mes de Mayo de 2012 en la parcela con abono (PCA) y parcela en descanso (PD) con valores de 0.1 y 0 Kg/m^2 respectivamente a comparación de la parcela sin abono (PSA) en la que se determinó 0.2 Kg/m^2 a una velocidad del viento constante de 21 m/s con dirección predominante de Nor – Este (NE) respectivamente.

Las condiciones que se presentaron para que exista esta variación en los meses de febrero, marzo y abril, con respecto a la acumulación de suelo erosionado en la parcela en descanso (PD) fue debido a la dirección del viento ya que entre este periodo de medición (Febrero a Abril) existen una dirección predominante de viento constante provocando la acumulación de suelo erosionado en la parcela en descanso (PD) asimismo para los meses de febrero y marzo se observan pérdidas mínimas de suelo por erosión que se mantuvieron constantes en las parcelas con abono (PCA), obtuvimos pesos en rangos de 0.1 Kg/m^2 en los en los dos periodos de muestreo. En la parcela sin abono (PSA) se presentó el mismo caso presentando valores de 0.2 Kg/m^2 sin observar cambio alguno. Las intensidades

del viento aumentaron entre Marzo y Mayo con valores de 20.1 y 21 m/s con direcciones de Nor-Este (NE). El motivo por el cual no se presentaron pérdidas ni acumulaciones representativas recae sobre las intensas precipitaciones que se dieron en los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo con valores de 91.5, 95 y 48 mm respectivamente, provocando de esta manera la compactación de suelo y evitando la erodabilidad. Al respecto también se puede argumentar que la parcela en descanso (PD) tuvo un periodo de tres años de descanso, donde se estableció vegetación nativa con un 45 % de cobertura a alturas promedio de 20 a 30 cm. En cambio en las parcela con abono (PCA) y sin abono (PSA) donde se evaluó la erosión con 74% de cobertura con cultivo de quinua a altura promedio de 30 a 40 cm del nivel del suelo, pero presentado disgregación de partículas o agregados.

En forma general se observa que existe mayor pérdida de suelo por erosión en el mes de Noviembre. Los datos de la estación meteorológica para el mes de Noviembre, muestran que las precipitaciones no sobrepasan los 7 mm, asimismo los vientos alcanzan velocidades predominantes de 15.2 m/s con dirección de SW. Para el mes de Febrero se observa que hay acumulación de suelo por efecto del viento solamente en la parcela en descanso (PD), es decir que lo que se perdió fue compensado con la erosión eólica de otras parcelas aledañas, esa dinámica de pérdida y ganancia se justifica mediante la integración del flujo de masa (FM) y el resultado de la erosión neta (Q), que se obtuvo de acuerdo a las diferencias entre direcciones predominantes.

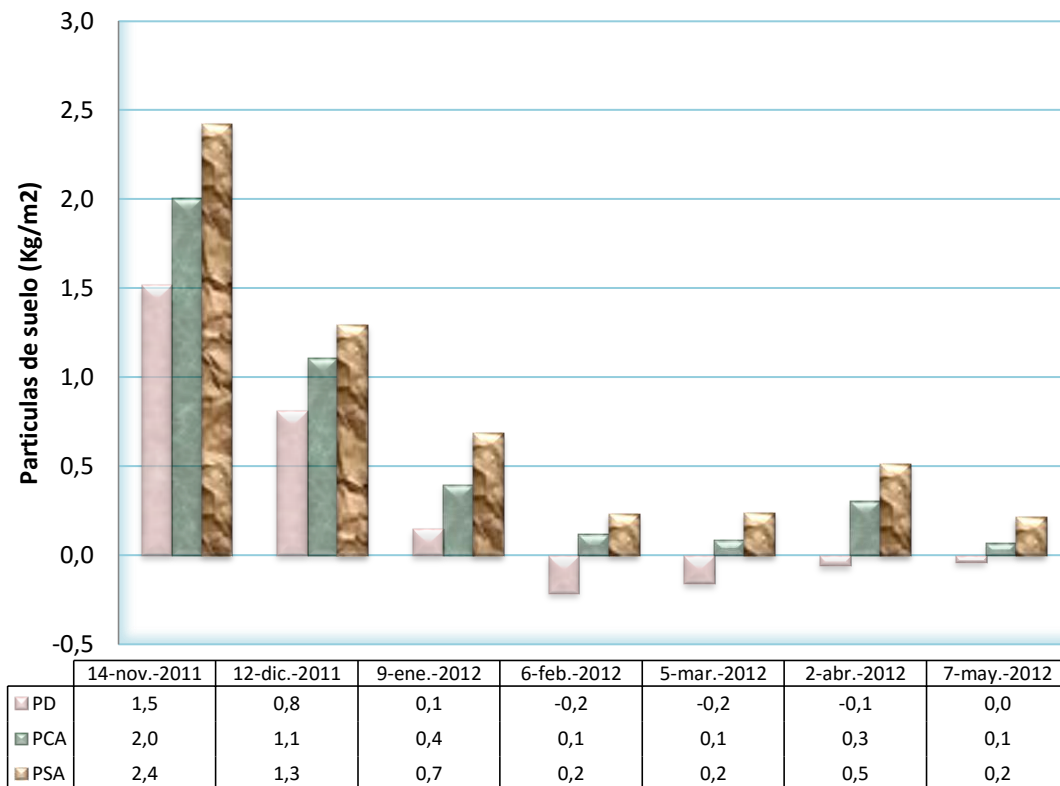


Figura 30 Pérdida y Acumulación de suelo (Erosión Neta) en la parcela (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) mediante el método de los colectores BSNE, durante siete meses de medición (Noviembre 2011 a Mayo 2012)

El uso de la tierra en el Altiplano sur de Bolivia ha cambiado mucho en los últimos 40 años, empezando en los años 60 con la introducción de la mecanización agrícola (Liberman 1986 citado por Reynolds 2008). Con la introducción del tractor, empezó la conversión de las comunidades de plantas nativas en las planicies y las zonas de pie de monte a campos agrícolas para la producción de la quinua. No obstante, la lógica del sistema actual de producción que responde a la demanda externa en expansión está conllevando numerosas repercusiones en el deterioro en el territorio, como el aumento de la superficie cultivada de manera descontrolada, la presión por los recursos naturales, la disminución de la tierra en descanso, el cambio espacial del cultivo hacia la pampa, la disminución de mano de obra para la producción y la marginalización de las actividades ganaderas que

diversifican la economía y aportan a la fertilidad del suelo (Jardín, 2010 citado por Vallejos, 2011)

Por otra parte, el deterioro cualitativo se debe a la pérdida de fertilidad del suelo; esto por la aplicación del monocultivo en el cultivo de la quinua, la disminuida aplicación de la materia orgánica (1 a 2 ton/ha-año) y por el sistema extractivo de cosecha dejando expuesta a la superficie, además de la pérdida constante de la vegetación nativa debida a la extensión de nuevos cultivos (Collao, 2004). Se tiene como referencia en un estudio realizado recientemente sobre imágenes satélite Landsat 5TM y validados en campo mediante levantamientos de datos GPS, se han encontrado que del año 1992 a 2010, la superficie de quinua se ha incrementado de 306 ha a 17.216 ha. La mayor expansión se produjo en el periodo de 2000 a 2004 y coincidiendo con el auge en el mercado internacional. La expansión de la frontera agrícola sigue una tendencia exponencial y de continuar con este ritmo se estima que en el año 2020 en la provincia Ladislao Cabrera (Municipio de Salinas de Garci Mendoza y el municipio de Pampa Ullagas) existirá una superficie bajo actividad agrícola cercana a la 100.000 ha (Vallejos, 2011), tomándolo como un dato específicamente para sectores que presentan las mismas características topográficas, clima, tipo de suelo y vegetación.

Se observa la tendencia de que si no se aplican medidas adecuadas de prevención y remediación de los suelos agrícolas, en algunos años los suelos pasaran a ser menos productivos y tal vez no aptos para la producción agropecuaria (Medarna *et al.*, 2009).

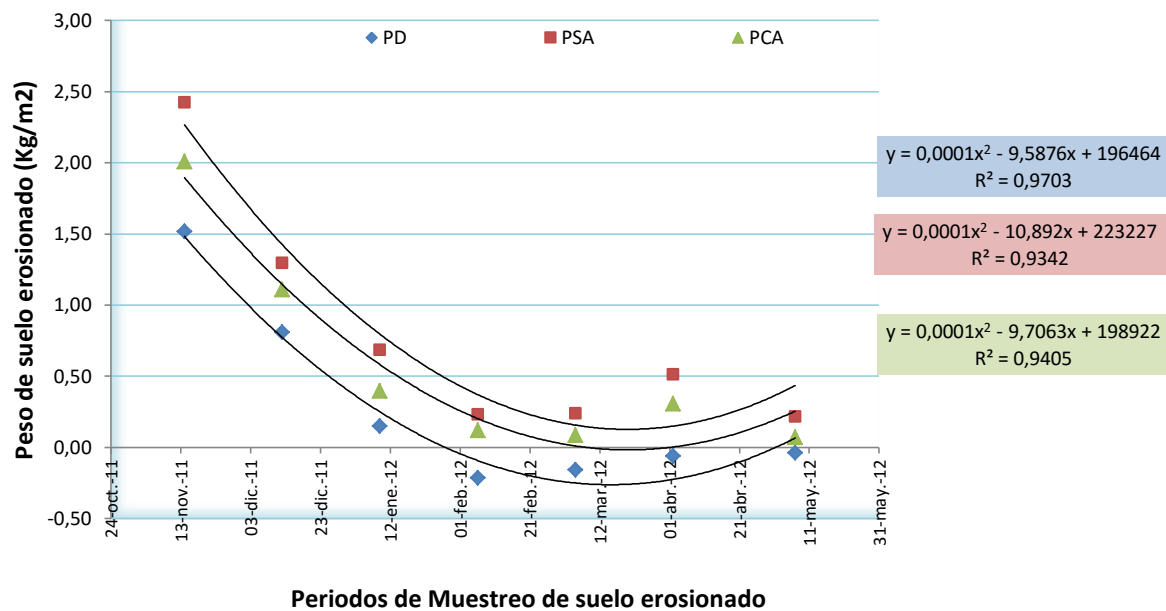


Figura 31. Análisis de Correlación entre la pérdida y la acumulación de suelo erosionado en kg/m² y el tiempo de medición (Noviembre de 2011 a Mayo de 2012)

En la Figura 31 podemos apreciar el comportamiento del peso de suelo erosionado frente al tiempo de muestreo para las fechas evaluadas, se encontró un alto valor de asociación entre la pérdida y la acumulación de suelo erosionado en Kg/m² y el tiempo de medición.

En las tres parcelas de estudio su coeficiente de correlación es de 86,4 % (PD), 93,1 % (PCA) y 93,2 % (PSA) lo que indica que el peso de suelo erosionado colectado en los colectores BSNE varía con respecto al tiempo de muestreo (Figura 30). A su vez Buschiazzo (2010) indica que la relativa alta proporción de material movilizado en el ambiente posiblemente asociada a las condiciones ambientales secas y de vientos constantes, que hacen que el suelo emita partículas finas en forma permanente. Este proceso es justificado por que la erosión es un proceso de degradación irreversible de los suelos de las regiones semiáridas, ya que producen pérdidas de las fracciones texturales finas.

5.2.5 Determinación del tamaño de partícula de suelo erosionado según la Escala del USDA.

La determinación del tamaño de partícula de suelo erosionado se realizó en laboratorio de la Universidad Mayor de San Andrés – Facultad de Agronomía utilizando tamices graduados entre escalas de 2 – 1, 0.50 – 0.25 y 0.09 - ≥ 0.053 mm, de diámetro a las alturas dispuestas mediante la metodología establecida de 0.1, 0.5 y 1.5 m durante el periodo de mayor acumulación de suelo erosionado (Noviembre).

La clasificación se realizó agrupando en un rango de 2 a 1 mm donde los números de tamices utilizados para dichos diámetros fueron de N° 10 y 18 respectivamente, separando las muestras de acuerdo a los escenarios experimentales, parcela en descanso (PD), parcela sin abono (PSA) y parcela con abono (PCA) a tres alturas diferentes, 0.1, 0.5 y 1.5 m, para lo cual se tienen los siguientes resultados (Figura 32):

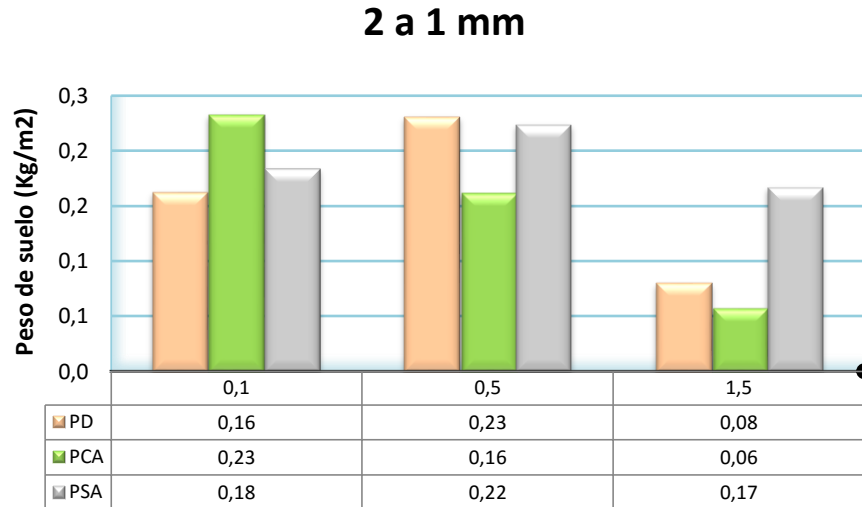


Figura 32. Movimiento de partículas de diámetro de 2 a 1 mm a las alturas de 01, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre)

Se observa que existe una gran diferencia en los resultados ya que no existe una forma homogénea de la pérdida de suelo por la disposición de los colectores (0.1, 0.5 y 1.5 m) asimismo en los diferentes escenarios experimentales. En los resultados de la figura 31 se observa que en una altura de 0.1 m hay variación en cuanto a la parcela con abono (PCA) ya que muestra una pérdida significativa de 0.23 kg/m^2 en comparación con los demás resultados de 0.18 y 0.16 de las parcela sin abono (PSA) y la parcela en descenso (PD) respectivamente. La razón para que se presente dicha diferencia se debe a que a la altura de los 0.1 m, el desplazamiento de las partículas por acción del viento tuvo mayor efecto sobre la parcela con abono (PCA), teniendo una pérdida de 0.23 kg/m^2 a un diámetro de entre 2 a 1 mm de suelo.

Asimismo a una altura de 0.5 m existe pérdida de suelo para la parcela en descenso (PD) y la parcela sin abono (PSA) con valores de 0.23 y 0.22 kg/m^2 respectivamente más al contrario se presenta un valor mínimo en la parcela con abono (PCA) de 0.16 kg/m^2 , la razón que justifica este cambio repentino se debe a la soltura de las partículas a una altura de 0.5 m, es decir que la materia orgánica adhiere las partículas gruesas (clasificación USDA) evitando que se pierda por acción del viento a una altura de 0.5 m del nivel del suelo.

Por último a una altura de 1.5 m se presenta movimiento de partículas en la parcela sin abono (PSA) con un valor de 0.17 kg/m^2 mas al contrario la pérdida mínima de suelo se presentó en la parcela en descanso (PD) y la parcela con abono (PCA) con valores de 0.08 y 0.06 kg/m^2 respectivamente, la explicación que se tiene para dicha pérdida se da a razón de que la parcela sin abono (PSA) no presenta componentes orgánicos que puedan formar conglomerados y el material grueso provocando que se desplace por el viento a una altura de 1.5 m.

La investigación continua para el diámetro de 0.50 a 0.25 mm (figura 33) identificado con en número de tamiz N° 18 mostrando valores representativos, descritos de acuerdo cada escenario experimental.

0.50 a 0.25 mm

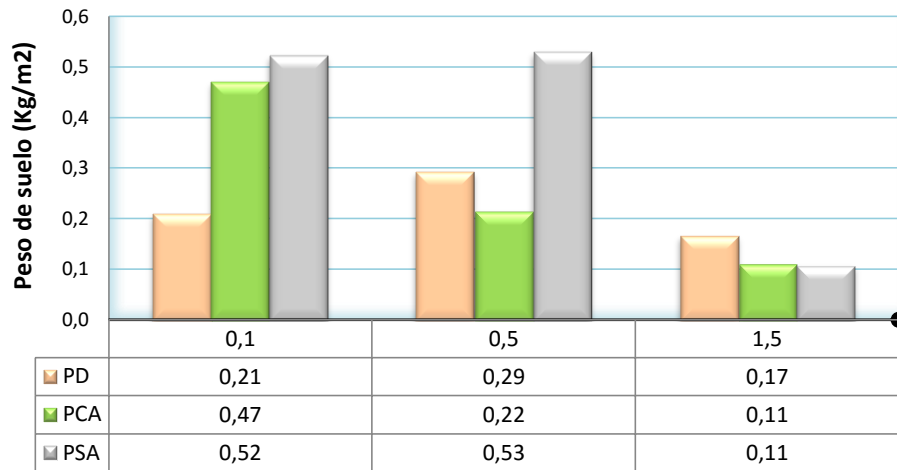


Figura 33. Movimiento de partículas de diámetro de 0.50 a 0.25 mm a las alturas de 01, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre)

En la figura 33 se observa que a una altura de 0.1 m la pérdida suelo para la parcela sin abono (PSA) y la parcela con abono (PCA) es homogénea, mostrando una diferencia mínima de 0.52 y 0.47 kg/m² respectivamente, valores que muestran que para el diámetro de 0.50 a 0.25 mm a una altura de 0.1 m no existe diferencia considerada, de acuerdo a la clasificación del USDA se consideran arenas intermedias a arenas finas, más al contrario la parcela en descanso presenta un valor de 0.21 kg/m² a una altura de 0.1 m, analizando el resultado se observa que el valor de pérdida de suelo es mínima, el resultado se debe a la condición de vegetación en la parcela y las condiciones del suelo se mantenía compactadas.

Asimismo a una altura de 0.5 m se observa una gran diferencia en comparación a la altura 0.1 m ya que la pérdida se registra en mayor cantidad en la parcela sin abono (PSA) con valores de 0.53 kg/m² seguido por la parcela con abono (PCA) con un valor de 0.22 kg/m² viendo una disminución considerable en comparación a la altura de 0.1 m donde el valor fue de 0.47 kg/m² el doble del registrado actualmente, más al contrario se observa que la parcela en descanso (PD) un

valor de 0.29 kg/m^2 , la razón que atribuye a la diferencia entre las alturas de 0.1 a 0.5 m se debe a la soltura de partículas que están dentro el rango de arenas intermedias a arena finas transportadas por acción del viento mediante el mecanismo de saltación.

Los resultados a una altura de 1.5 son mínimos con relación a las alturas anteriores ya que se observan perdidas en la parcela en descanso (PD) con un valor de 0.17 kg/m^2 mas al contrario se observa valores similares para la parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA) con una pérdida de 0.11 kg/m^2 cada escenario experimental la razón para que exista una similitud en perdida de suelo es debido a la altura de 1.5 donde el movimiento de partículas no es tan representativo.

Las diferencia existentes en cuanto a la parcela sin abono (PSA) es notoria ya que a las dos primeras alturas 0.1 y 0.5 m los valores son similares de 0.52 y 0.53 kg/m^2 esto por efecto del mecanismo de movimiento de partículas, en consideración con el viento predominante para el mes de noviembre que registra 15.21 m/s con dirección Nor-Este (NE), asimismo se observa una disminución mayor a una altura de 1.5 m teniendo como resultado 0.11 kg/m^2 la perdida es menor para partículas de arenas intermedias a arenas finas de acuerdo a la clasificación del USDA.

En el caso de la parcela con abono (PCA) la diferencia se nota progresivamente ya que para este tamaño de partícula de 0.50 a 0.25 mm la pérdida disminuye de acuerdo al aumento de la altura de recolección llegando a la conclusión de que a mayor altura en parcelas con abono (PCA) la perdida por erosión eólica de partículas de arenas intermedias a arenas finas, es mínima por acción de la materia orgánica en la formación de conglomerados.

Se puede observar que para la parcela en descanso se tiene la mayor pérdida a los 0.5 m con un valor de 0.29 kg/m^2 lo que nos hace suponer que las partículas clasificadas como arenas intermedias a arenas finas se pierden a una altura de

0.50 m por acción del viento a diferencia de las alturas 0.1 y 1.5 m donde los valores son mínimos 0.21 y 0.17 kg/m² en comparación al primer valor, todo influenciado por la acción del viento, la predominancia y el manejo de las parcelas en condiciones cultivo.

La clasificación de suelo según el USDA para el tamaño de partícula de 0.09 a 0.053 mm identificado con el tipo de suelo arena muy fina y limo se muestra en la figura 34 el movimiento de partículas y la dinámica de la pérdida de suelo por erosión eólica a tres alturas 0.1, 0.5 y 1.5 m en tres diferentes condiciones de manejo; parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA)

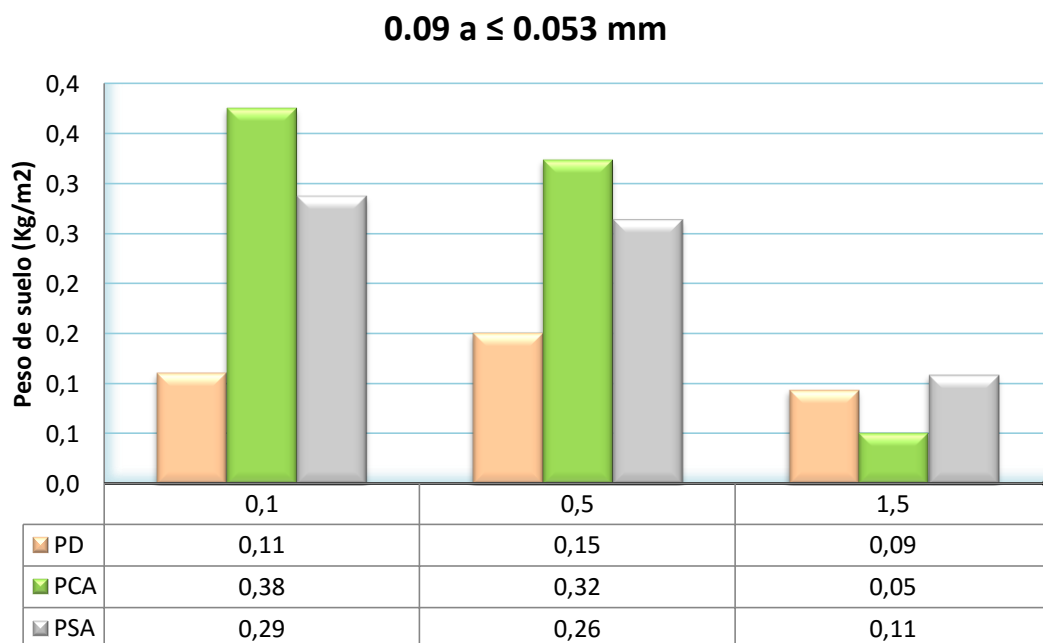


Figura 34. Movimiento de partículas de diámetro de 0.09 a ≤0.053 mm a las alturas de 0.1, 0.5 y 1.5 m de la superficie del suelo en parcelas de descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un periodo de medición (Noviembre)

Se observa el movimiento de pérdida de suelo erosionado a una altura 0.1 m de altura del nivel del suelo teniendo como resultado la mayor pérdida para la parcela con abono (PCA) con un valor de 0.38 kg/m² en comparación a la parcela sin abono (PSA) con un resultado de 0.29 kg/m², en ambas condiciones de manejo se

observa pérdidas mayores de suelo, asumiendo que en ambas condiciones de manejo a una altura de 0.1 m el movimiento de partículas es mayor para suelos que presenten cultivo, más al contrario la parcela en descanso (PD) no se observa demasiado movimiento de partículas teniendo como valor de 0.11 kg/m^2 , el resultado se debe a que en suelos en descanso existe compactación de agregados y de esta manera evitando la pérdida de suelo por acción del viento predominante para esa temporada.

A su vez a la altura de 0.5 m del nivel del suelo se observa pérdidas en la parcela con abono (PCA) con un valor registrado de 0.32 kg/m^2 seguida de la parcela sin abono (PSA) con un valor de 0.26 kg/m^2 asimismo se llega a la conclusión de que las partículas clasificadas por el USDA como arenas finas y limo son mayormente susceptibles a erosionarse en parcelas con cultivos, no obstante el resultado para la parcela en descanso (PD) muestra un valor de 0.15 kg/m^2 mínimo a comparación de las anteriores parcelas con cultivo.

Complementando los resultados obtenidos a una altura de 1.5 m, los valores disminuyen para los tres escenarios experimentales, pero aun así mostrando diferencia en cuanto a la pérdida, donde en su mayoría les representada en la parcela sin abono (PSA) con un valor de 0.11 kg/m^2 seguido por la parcela en descanso (PD) con un valor de 0.09 kg/m^2 , valores que son representativos ya que se muestra la pérdida de partículas clasificadas mediante el USDA como arena muy fina y limo para la altura de 1.5 m. mas al contrario en la parcela con abono el resultado es de 0.05 kg/m^2 lo que hace suponer que la materia orgánica adhiere partículas de arenas finas y limos, evitando de esta manera la erosión eólica.

El comportamiento de la pérdida de suelo por erosión eólica a tres diferentes alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) del nivel del suelo en partículas clasificadas por el USDA como arenas finas y limos en la parcela con abono (PCA) se observa mayor pérdida a la altura de 0.1 m con un valor de 0.30 kg/m^2 para este tipo de partícula disminuyendo la pérdida de suelo gradualmente conforme a la altura,

comportamiento que se observa en la figura 34, ya que a una altura de 0.5 m la pérdida es de 0.32 kg/m^2 y al final a una altura de 1.5 m la pérdida es de 0.05 kg/m^2 totalmente mínimo, esto nos hace suponer que la pérdida de partículas de suelo de diámetro 0.09 a 0.053 mm pueden llegar a perderse por erosión eólica a alturas promedio de entre 0.1 a 0.5 m más al contrario la fuerza del viento para este periodo de tiempo no muestra pérdidas considerables a una altura de 1.5 m, considerando que la materia orgánica llega a adherirse en partículas de arenas finas y limos.

Otro de los resultados que nos llama la atención es el de la parcela si abono (PSA) que nos muestra disminución de pérdida de partículas de 0.09 a 0.053 mm conforme aumenta la altura, mostrando valores de 0.29 kg/m^2 a una altura de 0.1 m, una ligera pérdida en comparación a la anterior se muestra con un valor de 0.26 kg/m^2 y la última que presenta una disminución extrema en comparación a las anteriores con un valor de pérdida de 0.11 kg/m^2 , valores que nos muestran que la pérdida ocasionada por la erosión del viento es afectada en suelos donde existe cultivo o remoción del suelo para el cultivo, según la clasificación de tipo de suelo para los escenarios experimentales el cual fue de franco arenosa.

En el caso de la parcela en descanso la dinámica de pérdida de suelo se da a una altura de 0.5 m donde el valor de pérdida es de 0.15 kg/m^2 esto debido probablemente al mecanismo de movimiento de partículas, clasificadas según ROSTAGO *et al* 2012 denomina como partículas movidas por acción del mecanismo de saltación, la pérdida de mostradas a otras alturas son de 0.11 kg/m^2 a una altura de 0.1 m, seguida por la pérdida de 0.9 kg/m^2 a una altura de 1.5 m, estos resultados nos muestran que para este tipo de partícula clasificada como arenas finas y limo no pueden ser erosionadas a alturas mayores a los 1.5 m, ya que las mayores pérdidas se observan a alturas de 0.1 a 0.5 m del nivel del suelo, para este periodo de tiempo.

5.2.6 Cuantificación de la pérdida de Nitrógeno Total por erosión eólica.

El contenido de Nitrógeno Total (NT) se determinó en porcentaje, el cual se ajustó al peso que se determinó con el cálculo de la Erosión Neta (Q) expresado los resultados en mg NT/KgS⁰. Los datos se presentan en la Figura 35 donde se observa la pérdida de Nitrógeno Total (NT) por erosión eólica presentada en los meses de Noviembre de 2011 y Mayo de 2012 en la parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) a tres alturas de medición (0.1 0.5 y 1.5 m).

La diferencia de los resultados es marcada, ya que en la primera medición correspondiente al mes de Noviembre de 2011 a la altura de 1.5 m en la parcela con abono (PCA) presenta un contenido de 490 mg NT/Kg, seguido de la parcela sin abono (PSA) con un valor de 466.7 mg NT/Kg y finalmente la parcela en descanso (PD) con 420 mg NT/Kg, se observa que no existe una marcada variación en los datos entre parcelas a una altura de 1.5 m. Así mismo se presenta las mediciones obtenidas en el mes de Noviembre de 2011 a una altura de 0.5 m para la parcela con abono (PCA) con un valor de 443.3 mgNT/Kg, seguida por la parcela sin abono con 280 mg NT/Kg y la parcela en descanso (PD) con un 233.3 mg NT/Kg donde la mayor pérdida se dio para la parcela con abono (PCA) a una altura de 0.5 m. de misma manera se tiene estos parámetros para el mes de Noviembre de 2011 a una altura de 0.1 m con contenidos variados para la parcela con abono (PCA) con el 303.3 mgNT/Kg, seguida por la parcela sin abono (PSA) con 163.3 mg NT/Kg y finalmente la parcela en descanso (PD) con 93.3 m. observando estos resultados se puede verificar que la mayor pérdida se dio para la parcela con abono (PCA) en las tres alturas de medición (0.1, 0.5 y 1.5 m) seguida por la parcela sin abono (PSA) y finalmente la parcela en descanso (PD).

Las pérdidas se justifican debido a que se realizó prácticas de barbecho para la parcela con abono (PCA) en el mes de Febrero de 2011, incorporando un contenido aproximado de 2 a 3 Tn/ha, de Materia Orgánica misma que no fue incorporada en el suelo, mas al contrario expandida por la superficie y como la

siembra se realizó en el mes de Septiembre de 2011, se produjo la remoción del suelo provocando el cambio de la estructura y de esta manera aumentando la susceptibilidad del mismo (Erodabilidad) lo que produjo que en la primera medición realizada en el mes de Noviembre de 2011 la dinámica de pérdida aumentara su intensidad para la parcela con abono (PCA).

Contrariamente se observan los resultados para la segunda medición registrada en el mes de Mayo de 2012, a la altura de 0.1 m donde la parcela sin abono (PSA) presenta valores de 2613.3 mg NT/Kg seguida por la parcela con abono en un 2520 mg NT/Kg y finalmente la parcela en descanso con 2053.3 mg NT/Kg. de acuerdo a estas condiciones se tiene registrado que para el mes de Mayo de 2012 a una altura de 0.5 m presentado variación en pérdidas para la parcela sin abono (PSA) con valores de 2426.7 mgNT/Kg, la parcela con abono registra el valor de 2146.7 mg NT/Kg y finalmente la parcela en descanso con una variación de 1866.7 mgNT/Kg, continuando con los contenidos de Nitrógeno Total (NT) para el mes de Mayo de 2012 a una altura de 1.5 m, registro para la parcela sin abono (PSA) parámetros de 2146.7 mg NT/Kg seguida por la parcela en descanso (PD) con un valor registrado de 1680 mg NT/Kg y finalmente la parcela con abono (PCA) con un mínimo valor de 1400 mg NT/Kg.

Con respecto a los valores registrados en el mes de Mayo de 2012, se observa en este caso que la mayor pérdida de Nitrógeno Total (NT) se dio en la parcela sin abono (PSA) a las tres altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en comparación con la parcela con abono (PCA) y la parcela en descanso (PD) la diferencia que se encontró entre las comparaciones fue en la parcela con abono (PCA) a una altura de 1.5 m, el menor valor registrado en este periodo de medición. Justificando los resultados llegamos a la conclusión de que la variación en cuanto al tiempo de medición influyo en los parámetros de contenido de Nitrógeno Total (NT) ya que en la segunda medición influyeron diferente factores, este caso la condiciones climáticas como la precipitación que provoco la compactación de los suelos, la intensidad de viento que arrastro las partículas más gruesas provocada por el mecanismo de

movimiento de las partículas denominado como rodadura, es por esta razón que las mayores pérdidas se dan a la altura de 0.1 m a diferencia de la primera medición en el mes de Noviembre de 2011 donde se observa la mayor pérdida a la altura de 1.5 m. resaltamos las variaciones entre mediciones ya que sobresale la segunda medición (Mayo - 2012) con pérdida mayores a los 1000 mg NT/Kg esta diferencia debida a la concentración de Nitrógeno Total en las muestras.

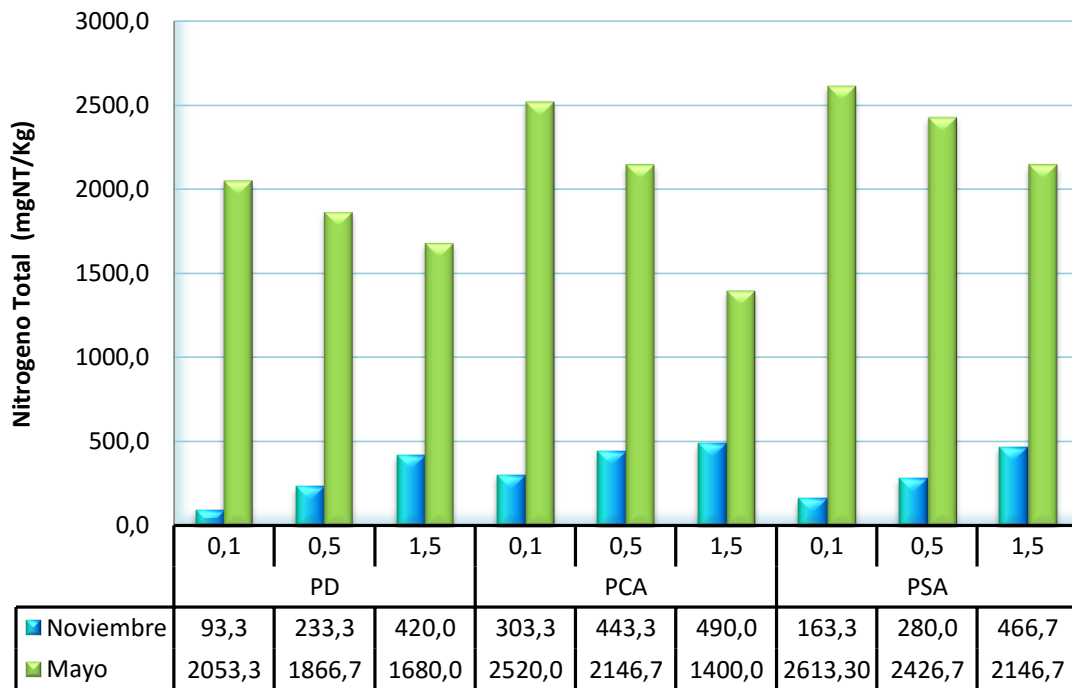


Figura 35. Contenido de Nitrógeno Total en mg NT/Kg de suelo a tres alturas de medición (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), evaluadas en dos periodos Noviembre de 2011 y Mayo 2012

Chilon (1996), señala que valores de Nitrógeno Total por debajo de 0.1% son sumamente bajos. A su vez González, (2005) menciona que el porcentaje de Nitrógeno Total presente antes de la siembra, son muy bajos, con un valor de 0,04% de Nitrógeno Total, por esta razón se considera un suelo pobre en Nitrógeno. Al respecto Sipe (2011) señala que estos bajos contenidos de nitrógeno en el suelo, parecen no ser suficientes para un normal desarrollo de los microorganismos, su actividad se puede ver afectado por este suceso, lo que

acontece al final en la baja tasa de mineralización y falta de nutrientes para el cultivo. Urbano (2001) explica, que las partidas correspondientes al balance del nitrógeno en los suelos cultivados deben considerarse las posibles pérdidas y ganancias desde un doble punto de vista.

Estudios realizados en el Altiplano boliviano (provincia Aroma, La Paz) con altitud de (3,800-3,900 m), el contenido de nitrógeno total es muy bajo de 0,063%, especialmente en la planicie, sin embargo en las colinas con vegetación arbustiva, fluctúa alrededor del 1% del NT hasta 15 cm de profundidad (Sipe 2011). De la misma manera Inda (2010) indica que en general en los suelos de la comunidad de Irpani a una profundidad de 20cm los niveles de nitrógeno varían entre 0,01 y 0,06%, a la profundidad de 40cm obtuvo en la fisiografía de planicie 0,08% de N total y a una profundidad de 60 cm obtuvo un valor de 0.03 %, estos valores se justifican debido a las condiciones bajas de materia orgánica en el suelo, por la presencia de régimen hídrico deficitario, cambios en las propiedades físicas del suelo, por el uso indiscriminado de maquinaria agrícola, extracción del nitrógeno por el monocultivo, volatilización del nitrógeno debido al pH mayor a 7, etc.

a) Correlación del Nitrógeno Total entre altura vs el peso

En la Figura 36 se puede apreciar que los valores del peso del Nitrógeno Total tienen un efecto directo entre las alturas de muestreo (0.1, 0.5 y 1.5 m) por la parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) obteniendo una correlación de 97.4, 75 Y 98.7 % respectivamente esto quiere decir que el peso de Nitrógeno Total (mgNT/Kg) es proporcional a la altura de medición (0.1, 0.5 y 1.5m) de los colectores BSNE, o dicho de otro modo los valores de la altura son proporcionales al peso lo que influye directamente en el movimiento de nutrientes en esta época evaluación de Noviembre de 2011.

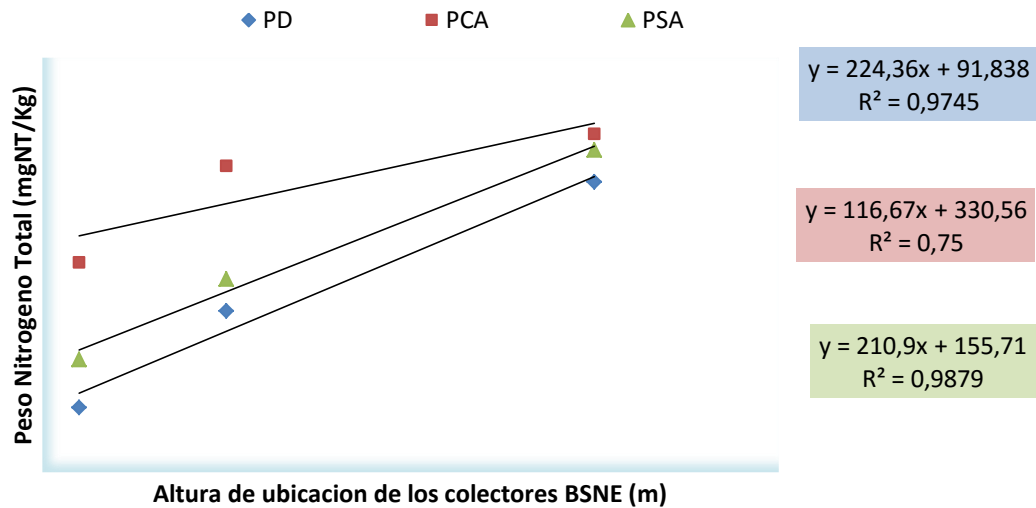


Figura 36. Correlación del peso de Nitrógeno Total (mgNT/KgS⁰) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Noviembre de 2012

Observando la Figura 36, se muestra la prueba de correlación del peso de Nitrógeno Total (mgNT/Kg) del suelo erosionado frente a la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) de muestreo, se aprecia que existe una alta correlación positiva para la parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) en un porcentaje de 94.2, 99.7 y 70.7 % respectivamente, esta relación está definida por el incremento del peso con la altura de muestreo para la época de evaluación de Mayo de 2012.

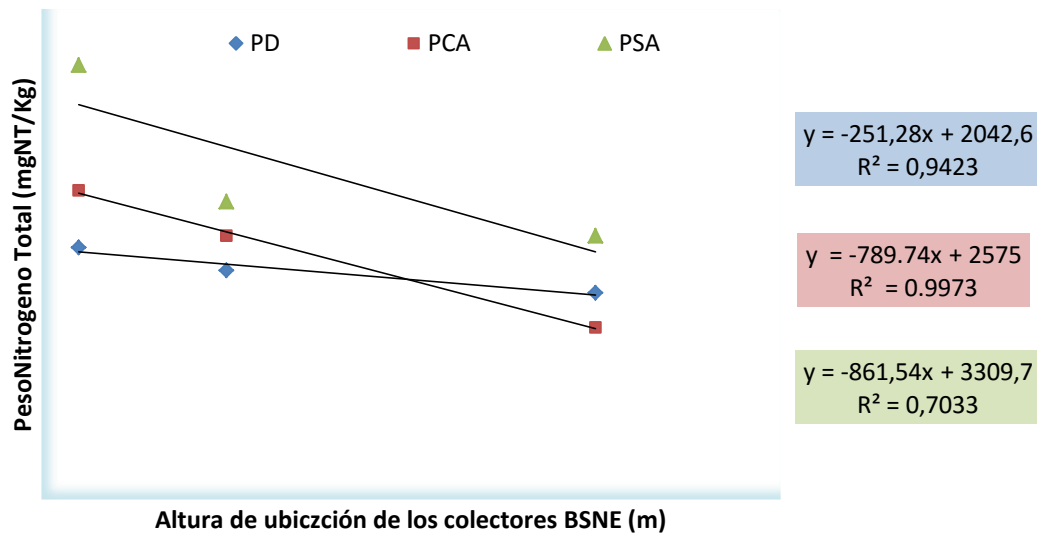


Figura 37. Correlación de del peso de Nitrógeno Total (mgNT/KgS⁰) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Mayo de 2012

5.2.7 Cuantificación de la pérdida de materia orgánica por erosión eólica.

La Figura 37 describe las pérdidas (mg) de materia orgánica (MO) en cada parcela durante las épocas analizadas (noviembre 2011 y mayo del 2012) en relación a la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) de las bandejas colectoras. En la primera etapa de medición en el mes de Noviembre de 2011 la pérdida más representativa fue la de la parcela con abono (PCA) a una altura de 1.5 m con un valor registrado de 7378.8 mg MO/kg seguida por la parcela en descanso (PD) con 6529.1 mg MO/kg y parcela sin abono (PSA) con 6081.9 mg MO/kg. Las diferencias entre el movimiento de materia orgánica (MO) y la altura se mantienen constantes entre parcelas a la altura de 1.5 m sobre el nivel del suelo, resaltando un aumento en la pérdida de materia orgánica para la parcela con abono (PCA) en el mes de noviembre. Continuando con la mayor pérdida de materia orgánica a una altura de 0.5 m se observa que para la parcela con abono (PCA) la pérdida es de 6886.9 mg MO/kg seguida por la parcela sin abono (PSA) 3465.8 mg MO/kg y la parcela en descanso (PD) con un valor de 2124. 2 mg MO/kg. La diferencia que se

encontró en este muestreo fue que los contenidos de materia orgánica se presentaron en mayor cantidad para la parcela con abono (PCA) ya que para establecer el cultivo primeramente se realizó la remoción del suelo, provocando disgregación de material, es decir la soltura de agregados que contenían materia orgánica y la pérdida fue más representativa para dicho escenario experimental, son parámetros que varían con respecto a la primera altura (0.1 m) ya que las pérdidas no fueron mayores, mostrando claramente que en la parcela con abono (PCA) se observó un valor de pérdida de materia orgánica de 3465.8 mg MO/kg, 3242.2 mg MO/kg en la parcela sin abono (PSA) y en la parcela en descanso (PD) 2347.8 mg MO/kg, los valores de pérdida de materia orgánica se muestran en su mayoría en la parcela con abono (PCA) debido a que dicha parcela se le incorporó 4 toneladas de abono orgánico para establecer el cultivo en el mes de febrero del año 2011, es razonable que exista pérdida en la parcela con abono (PCA) ya que existe una preparación del suelo para el cultivo lo que si podemos observar que para las siguientes parcelas como la parcela sin abono (PSA) y la parcela en descanso (PD) existe restos de materia orgánica que fueron acumuladas en el transcurso del tiempo que prevalecen en el suelo como reservas para el cultivo de quinua, pero que son transportadas por la acción del viento.

Los valores registrados en la segunda medición Mayo de 2012 se observa que a una altura de 0.1 m presentan pérdida para la parcela (PCA) de 8496.8 mg MO/kg en la parcela con abono seguida por la parcela en descanso (PD) con 7826 mg MO/kg y la parcela sin abono (PSA) con 5590 mg MO/kg. La diferencia se debe a la compactación del suelo ya que los valores de densidad aparente que se encuentran en las parcelas de estudio son de 1.8 gr/cm^3 para el periodo de medición (Mayo 2012). A su vez se tiene que a la altura 0.5 m disminuye el contenido de Materia Orgánica (MO) primeramente en la parcela con abono (PCA) en un valor de 6037.2 mg MO/kg, de la misma manera seguida por la parcela en descanso (PD) con el 7826 mg MO/kg y finalmente mostrando valores mínimos en la parcela sin abono (PSA) en un 1341.6 mg MO/kg. Esto debido a que en la parcela sin abono (PSA) no se realizó ninguna incorporación de materia orgánica

al momento del barbecho (Febrero de 2011), y además de que el tiempo de barbecho solo duró un año un periodo corta para que el suelo recupere en cuestión de la materia orgánica. Las pérdidas registradas a una altura de 1.5 m los parámetros ya son mínimos describiendo de la siguiente manera, para la parcela con abono (PCA) con un valor de 4024.8 mg MO/kg seguida por la parcela en descanso (PD) con un valor de 2906.8 mg MO/kg y finalmente la parcela sin abono (PSA) con una valor de 894.4 mg MO/kg. Lo que se puede resaltar de esta segunda medición es que las mayores pérdidas se dieron en la parcela con abono (PCA) a las tres alturas a diferencia de la parcela sin abono que tuvo mínimas pérdidas, esto debido a que no se tenía materia orgánica incorporada en la época de barbecho, y la parcela en descanso que tiene un periodo de descanso de 3 a 4 años aproximadamente de descanso, ocupa el segundo lugar en cuanto a pérdidas de Materia Orgánica (MO) para esta segunda medición (Mayo - 2012).

Las razones por las cuales se observa estas diferencias con respecto a las alturas (0.1, 0.5 y 1.5 m) que se caracteriza en ambas épocas de medición (Noviembre 2011 y Mayo 2012), se deben a la densidad de la Materia Orgánica (MO) ya que de acuerdo a la condiciones que se presentaron en la primera medición se ve claramente que las mayores pérdidas se dieron a la altura de 1.5 m donde se tenían los contenidos más altos de partículas finas, por ende llegamos a la conclusión de que la Materia Orgánica (MO) tiene la característica de adherirse a la partículas más finas, las cuales fueron mayormente susceptibles a la erosión en la primera medición (Noviembre 2011) debido a la disgregación del suelo y al mecanismo de movimiento de las partículas, que en este caso se manifestó mediante la intensidad del viento provocando la suspensión de las partículas más finas (mecanismo de Suspensión). En la segunda medición (Mayo 2012) pasa todo lo contrario por que se observa que la mayor pérdida se registra a la altura de 0.1 m y esto se debe especialmente al manejo de la cosecha que se la aplica al cultivo de la quinua que deja descubierto y expuestas las partículas medianas y finas, mismas que son arrastradas por la acción del viento y se acumularon en la

primera altura 0.1m donde se registra las mayores pérdidas de Materia Orgánica (MO).

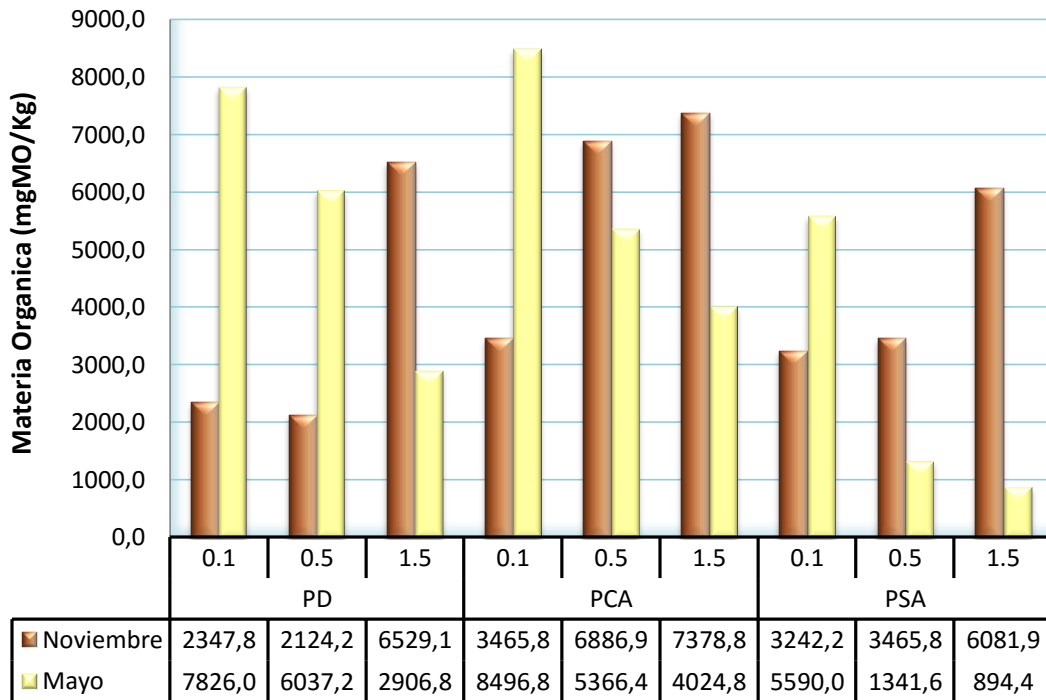


Figura 38. Contenido de Materia Orgánica mg MO/kg de suelo a tres alturas de medición (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y la parcela sin abono (PSA), evaluadas en dos periodos Noviembre de 2011 y Mayo 2012

Un efecto evidente de estos cambios parece ser un aumento de la tasa de erosión eólica y la pérdida de materia orgánica del suelo en las zonas nuevamente cultivadas (Hellin y Higman 2003), especialmente en suelos arenosos. Una breve comparación entre áreas con vegetación nativa y áreas bajo cultivo en suelos arenosos durante días ventosos muestra la pérdida del suelo de los campos agrícolas y la formación de dunas. (Reynolds *et al.*, 2008).

Después de unos años de ser expuesta al viento y escurrimiento, la erosión disminuye la productividad del suelo a través de pérdidas de materia orgánica que reducen su fertilidad. Aunque la pérdida de materia orgánica normalmente es una

variable lenta, en este caso ocurre rápidamente. Porque las poblaciones de ganado están reducidas por la pérdida de forraje y mano de obra para manejarlos, no hay tanto abono disponible para recuperar la fertilidad de los suelos. Además, la colección y distribución del abono es restringida por la migración de productores desde el campo a los centros urbanos. La erosión de los suelos y la pérdida de materia orgánica también tiene un aspecto de retroalimentación: con la pérdida de materia orgánica, se degrada la estructura del suelo y, con ésta, su resistencia a más erosión. Finalmente, la tierra cruza el umbral de la productividad, y es abandonada, contribuyendo entonces a la expansión de la frontera agrícola (Reynolds *et al.*, 2008).

Donahue (1981), indica que la materia orgánica y el estiércol es una porción activa importante del suelo, este se encuentra en pequeña cantidad (1 a 5%), que puede modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aumenta la porosidad y mejora las relaciones agua-aire, reduciendo la erosión ocasionada por el agua y el viento. También señala que la materia orgánica es fuente de nitrógeno en el suelo de 2 a 5%, de 5-60% de fósforo y 80% de azufre. Muchas propiedades físicas son favorecidas con la incorporación de la materia orgánica, en ese sentido SEMTA (1989) y Caro *et al* (1994), manifiestan que la materia orgánica actúa como granulador del suelo formando agregados. Estos últimos incluyen los cambios producidos en la densidad aparente debido al aumento del volumen del suelo y proporcionalmente al aumento de la porosidad del suelo, resultado de la agregación del suelo.

a) Correlación del peso de materia orgánica y altura de colecta

De acuerdo a la Figura 39 se puede apreciar el comportamiento del peso de la Materia Orgánica frente a la altura, en estos valores se encontraron un alto valor de asociación entre parámetros de medición.

En las tres parcelas (PD, PCA Y PSA) el coeficiente de correlación es de 89.8, 63.3 % y 95.6 % respectivamente, lo que indica que el peso de materia orgánica

colectado está asociado con la altura de medición, representada por una ecuación lineal para las tres parcelas (PD, PCA y PSA).

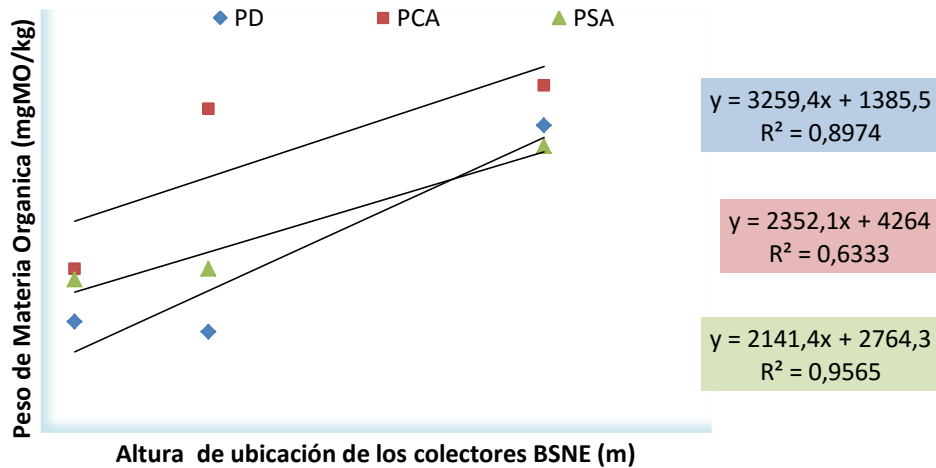


Figura 39. Correlación de Nitrógeno Total entre el peso (mg MO/kg) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes Noviembre de 2011

Observando la Figura 40 donde se muestra la prueba de correlación del peso de materia orgánica del suelo erosionado frente a la altura de muestreo, se aprecia que existe una alta correlación positiva para las parcelas (PD, PCA y PSA) de un 99.2, 79.5 y 60.4 % respectivamente, esta relación está definida por el incremento del peso con la altura de muestreo para esta época de evaluación (Mayo).

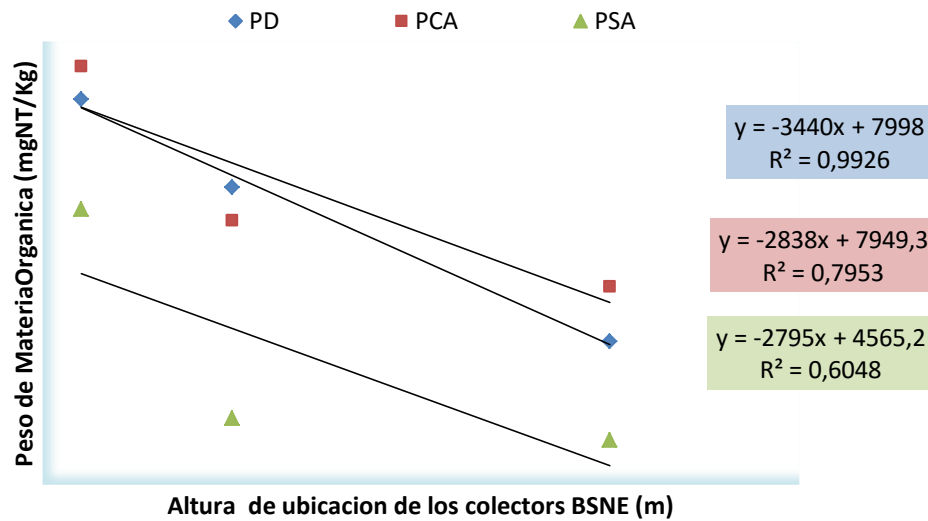


Figura 40. Correlación de la Materia Orgánica entre el peso (mg MO/kg) y la altura (0.1, 0.5 y 1.5 m) en las parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) registrado en el mes de Mayo de 2012

La diferencia que se presenta entre los meses de evaluación Noviembre 2011 y Mayo de 2012 se debe a la densidad de la materia orgánica y a las condiciones ambientales. La densidad aparente de la materia orgánica (MO) fue de 0.4 gr/cm³ lo que hace suponer que tiene la capacidad de adherirse a las partículas más finas que en este caso se encuentran a la altura de 1.5 m. Bajo condiciones del suelo susceptibles a erosión, debido a la remoción, en el momento de la siembra del cultivo de la quinua (Septiembre de 2011) y la acción de la intensidad del viento que se registró (15.2 m/s) para el mes Noviembre de 201; estos pueden constituir algunos de los factores que influyeron en la pérdida de materia orgánica (MO) por erosión. Resultados que a comparación del mes de Mayo de 2012 se registra durante el periodo de evaluación.

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas que presenta la estancia Saytoco del municipio de Salinas de Garci Mendoza provincia Ladislao Cabrera fue en cuanto a temperatura la máxima registrada de 23.3 °C y como mínima de 3.3 °C dentro del periodo de evaluación (noviembre de 2011 a mayo 2012) el clima predominante en la zona de estudio fue de tendencia semi arida. Las precipitaciones máxima registrada fueron de 95 mm para el mes de febrero del 2012 y las precipitaciones mínimas fueron de 6.6 mm para el mes de abril de 2012. La velocidad del viento registrada como predominante durante la etapa de evaluación es de 21 m/s con una dirección predominante de SWW (sud-oeste) en el mes de mayo de 2012.

Las características físicas del suelo muestreado a una profundidad de 10 cm de la superficie del suelo en la comunidad de Saytoco correspondieron a una textura de tipo Franco Arenoso con una proporción de 80.8 %Arena, 12.3 %Arcilla y 6.9 %Limo para la parcela en descanso (PD); 79.1 %Arena, 14.2 %Arcilla y 6.7 %Limo para la parcela con abono (PCA); 78.8 %Arena, 14.3 %Arcilla y 7.1 %Limo para la parcela sin abono (PSA) resultados que se muestran en los tres escenarios experimentales. Sobre la densidad aparente 1.77 gr/cm³ para la parcela sin abono (PSA), 1.77 gr/cm³ para la parcela con abono (PCA) y 1.74 gr/cm³ para la parcela en descanso (PD). Para el inicio del experimento se registró la conductividad eléctrica de 0.17 mS/cm para la parcela en descanso (PD), 0.14 mS/cm para la parcela con abono (PCA) y 0.16 mS/cm para la parcela sin abono (PSA). Dentro del registro de humedad del suelo los resultados más resaltantes fueron para la parcela en descanso (PD) con 19.8 %H seguido por la parcela con abono (PCA) con 16.6 %H y finalmente la parcela sin abono (PSA) con 10.8 %H registrados en el mes de marzo 2012. Como último resultado tenemos el pH del suelo identificado como alcalino para la parcela en descanso (PD) con 8.5 pH, la parcela con abono (PCA) con 8.4 pH y la parcela sin abono (PSA) con un valor de 8 pH.

Dentro de las características químicas tenemos el Nitrógeno Total (NT) con muestreos a los 10 cm de profundidad por cada escenario experimental con un resultado para la parcela en descanso (PD), parcela con abono (PCA) y parcela sin abono (PSA) de 0.02%, las tres condiciones de manejo presentaron el mismo resultado al inicio de la evaluación, mas al contrario al final del experimento se mostraron los resultados para la parcela en descanso (PD) y la parcela sin abono (PSA) fue de 0.10 % resultados similares, la diferencia se dio en la parcela con abono (PCA) con un 0.2% de nitrógeno total (NT). Los resultados también se dieron para la materia orgánica (MO) con resultados al principio y al final del experimento. En un inicio se presentó los resultados para la parcela en descanso (PD) y la parcela con abono (PCA) con un valor de 0.34 % y la parcela sin abono (PSA) con un resultado de 0.27 % al inicio del experimento, mas al contrario al final del experimento se observó que para la parcela en descanso (PD) se tiene 0.20 %, parcela con abono (PCA) 0.25 % y la parcela sin abono 0.22 % al finalizar el experimento determinando de esta manera que se trabajó con suelos con una fertilidad escasa a deficiente en nutrientes esenciales para el cultivo de la quinua.

La evaluación mediante el método de las varillas se concluye con el resultado de mayor pérdida al principio de la evaluación en los primeros registros de evaluación según el registro en el mes de noviembre con una pérdida de 2 kg/m² como máximo, pero para el periodos siguientes se mostró constante con pérdidas de entre 0.5 kg/m² entre acumulaciones de suelo y perdidas de suelo por erosión eólica.

La cuantificación de pérdida y acumulación en los dos primeros meses (Noviembre y Diciembre) determinó que existen pérdidas de 2.4 y 2.0 kg/m² para la parcela sin abono (PSA) y la parcela con abono (PCA) respectivamente y una perdida mínima de 1.5 kg/m² para la parcela en descanso (PD). Las acumulaciones representaron en las parcela en descanso (PD) en los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo con valores de perdida 0.2, 0.2, 0.1, 0 kg/m² respectivamente. A su vez en la parcela con abono (PCA) existen pérdidas de suelo.

En la determinación del diámetro de partícula de 2 a 1 mm se obtuvo para la parcela en descanso (PD), a las alturas de 0.1, 0.5 y 1.5 m valores que fueron de 0.16, 0.23 y 0.08 kg/m² respectivamente registrados para el mes de Noviembre y de la misma manera para la parcela con abono (PCA) a las alturas de 0.1, 0.5 y 1.5 m las pérdidas fueron de 0.23, 0.16 y 0.06 Kg/m² respectivamente para la parcela sin abono (PSA) a 0.1, 0.5 y 1.5 m se presenta 0.18, 0.22 y 0.17 kg/m² respectivamente.

Así mismo para el diámetro de 0.50 a 0.25 mm se tiene para el mes de Noviembre a una altura de 0.1, 0.5 y 1.5 m para la parcela en descanso (PD) valores de 0.21, 0.29 y 0.17 Kg/m² para la parcela con abono (PCA) pérdidas de 0.47, 0.22 y 0.11 Kg/m², la parcela sin abono (PSA) con pérdidas de 0.52, 0.53 y 0.11 Kg/m².

Complementando las pérdidas y acumulaciones a un diámetro de 0.09 a \leq 0.053 mm para el mes de Noviembre a las alturas de 0.1, 0.5 y 1.5 m para la parcela en descanso (PD) pérdidas de 0.11, 0.15 y 0.09 Kg/m², para la parcela con abono (PCA) con pérdidas de 0.38, 0.32 y 0.05 Kg/m², para la parcela sin abono (PSA) pérdidas de 0.29, 0.26 y 0.11 Kg/m².

Los resultados que se identificaron en el contenido de nitrógeno total (NT) para dos periodos de medición (noviembre – mayo) se vieron reflejados en la parcela con abono (PCA) específicamente a una altura de 1.5 m con un contenido de nitrógeno total (NT) de 490 mg NT/Kg, seguida de la parcela sin abono (PSA) con un total de 466,70 mg NT/Kg y finalmente la parcela en descanso 420 mg NT/Kg observando que las pérdidas más representativas se dan a una altura de 1.5 m del nivel del suelo para la primera medición de noviembre del 2011; mas al contrario el mes de mayo de 2012 se pervivieron mayores pérdidas donde la más representativa se vio a una altura de 0.1 m con una pérdida de 2613.30 mg NT/Kg, para la parcela sin abono (PSA) seguida de 2520 mg NT/Kg para la parcela con abono (PCA) y finalmente de 2053.30 mg NT/Kg para la parcela en descanso (PD), los resultados se vieron mayores pérdidas a una altura de 0.1 m de altura sobre el nivel del suelo.

La pérdida de la materia orgánica (MO) se vio en gran manera para la primera evaluación fue a una altura de 1.5 m del nivel del suelo con una pérdida de 7378.80 mg MO/Kg en la pácela con abono (PCA) seguida de la parcela en descanso (PD) con un resultado de 6529.10 mg MO/Kg y la parcela sin abono (PSA) con un valor de 6081.90 mg MO/Kg mostrando de esta manera que las pérdidas se dieron a unos 1.5 m del nivel del suelo para la primera medición en el mes de noviembre de 2011. Las pérdidas de suelo por erosión eólica para la segunda medición en mayo del 2012 se dieron a las mayores pérdidas a una altura de 0.1 m con una pérdida de 8496.80 mg MO/Kg para la parcela con abono (PCA) seguida de la parcela en descanso (PD) con un valor de 7826 mg MO/Kg y finalmente la parcela sin abono (PSA) con un valor de 5590 mg MO/Kg, según los resultados concluimos determinando que la parcela que presenta mayor contenido de materia orgánica fueron las que sufrieron pérdidas considerables.

CAPITULO VII

7 RECOMENDACIONES

La evolución de la erosión eólica si bien se realizó en época húmeda, fue debido a que se estaba estableciendo como trabajo de investigación y la implementación fue inmediata para la campaña de cultivo de la quinua, el objetivo principal fue la medición de la erosión eólica planeando continuar con la medición para los meses siguientes de Junio a Octubre y de esta manera obtener resultados que muestren la fluctuación de pérdida de suelo en una gestión completa, sugiriendo de esta manera dar continuidad al proyecto de evolución de la erosión eólica.

Se sugiere para trabajos futuros realizar la determinación del contenido de NT en suelo erosionado en forma periódica es decir cada dos meses como mínimo ya que de esta manera se podría observar una dinámica de ganancia y pérdida NT con respecto al tiempo.

Con respecto a las épocas de evaluación, se sugiere realizar comparaciones de nitrógeno total perdido por erosión eólica en periodos de época seca así como también en época húmeda, ya que la dinámica de los vientos varía de acuerdo a la intensidad de cada época.

Con respecto a los muestreos en parcelas con cultivo se sugiere tomar medidas de la altura de las planta ya que es un factor que influye en el muestreo, ya que el cultivo puede establecerse como barrera y de esta manera evitar la suplección de partículas de acuerdo a la altura de planta.

Se sugiere establecer la disposición de los colectores en sentido perpendicular y paralelo a la dirección predominante del viento ya que la variación de la predominancia del viento no está regida por una sola dirección.

Otra sugerencia que se pone en consideración es que se evalué la relación carbono nitrógeno en las parcelas experimentales ya que influye mucho en la

dinámica de pérdida de materia orgánica y nitrógeno total en las muestras colectadas de suelo.

Para evitar las pérdidas por erosión eólica se sugiere establecer métodos de conservación de suelo, aptos para el altiplano sur, entre ellos mencionan algunos, como ser las barreras vivas, ya que en el sector existe el crecimiento de arbustos nativos como la Thola y el Amañoque; otro método de conservación es mejorar la textura del suelo con la incorporación de la materia orgánica.

CAPITULO VIII

8 BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, I. 2007. Durabilidad de los sistemas de producción del altiplano sur Boliviano: equilibrio entre Ganadería y Agricultura, Master en Ciencias y Tecnología de la Vida, Mención Ciencia Agronómicas del Medio Ambiente.
- AIMAR S. B. BUSCHIAZZO, D. E. CASAGRANDE, G. 1996. Cuantificaciones de campo de la erosión eólica en suelos de la región semiárida pampeana Central Argentina. Actas del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa, pdf.
- ARONI, G. 2008. Recuperación de Suelos para una Producción Sostenible de Quinoa el Altiplano Sur. Publicación de la Liga de la Defensa del Medio Ambiente LIDEMA, Revista Informativa Habitación N°75, 50-56 pp.
- BAGNOLD, R.A. 1941. The Physics of Blown sand and Desert Dunes. ChapmanHall .London, pdf.
- BUSCHIAZZO, D. E. AIMAR, S. B. 2003.Erosión Eólica: Procesos y Predicción. En Viento, Suelo y Plantas. Golberg y Kin, eds. INTA, Cap 3: 55 pp.
- BUCHIAZZO, D. ZOBECK, T. M. 2005. Colector de Partículas BSNE, disponible en: <http://www.fryreardustsamplers.com>. Revisada el 25 de Febrero del 2012.
- BLACK, A. L. SIDDOWAY F. H. 1979. Influence of Tillage and Wheat straw Residue Management on soil Properties in the Great Plains. Can. J. SoilSci. 69:835-847 pp.

- CARDENAS J. Y CHOQUE W. 2008. Fertilidad, uso y manejo de los suelos en la zona del intersalar Departamentos de Oruro y Potosí. Fundación AUTAPO. Bolivia. 105p.
- CHEPIL, W. S., 1965. Influence of Moisture on Erodability of Soil by Wind.SSA.Proc 20, 288-292 pp.
- CHILON, E. 1997. Manual de fertilidad de suelos y Nutrición de plantas. Universidad Mayor de San Andrés. E.M.I. CIDAT. La Paz, Bolivia. 185pp.
- COLLAO, P. R. 2004. Plan Estratégico Integral para la Cadena Productiva de la Quinoa, Universidad de Productividad y Competitividad, Ministerio de Desarrollo Económico, La Paz Bolivia. Pdf.
- COOKE, R. WARREN A. GOUDIR, A. 1993. Desert Geomorphology. UCLPress. St. Ives. UK.
- DAVIS INSTRUMENTS 2012. Vantage Pro 2 Console Manual. In Davis Instruments editor., California.
- DONAHUE, R; MILLER, R.; SHICKLUNA, J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Bogotá, Colombia. Prentice Hall Internacional. 624 p.
- DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de Fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 613p.
- FAO. 1961. La erosión eólica y medidas para combatirlas en tierras agrícolas. Cuadernos de fomento agropecuario, 71-96 pp.
- FAO. 1994. Erosión de suelos en América latina, Suelos y Aguas. 33-52 pp.
- FUNDACIÓN AUTAPO, 2008. Estudio de suelos del área productora de quinua. Programa Quinoa Altiplano Sur. Bolivia. La Paz.

FUNDACIÓN AUTAPO y CARDENAS, J. 2008. Fertilidad, Uso y Manejo de Suelos del Intersalar Departamentos de Oruro y Potosí, Programa Quinoa Altiplano Sur, Universidad Técnica de Oruro, Facultad de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Veterinarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Bolivia-Oruro, 115 pp.

FUENTES. (1983). El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Madrid- España. pp 89-91.

FLORES, J. Y FUNDACION AUTAPO, 2008. Disponibilidad de estiércol de llama para la producción de quinua orgánica en la región sudoeste del departamento de Potosí, Universidad Tomas Frías, Facultad de Agronomía, Programa Quinoa Altiplano Sur, pdf.

FRYREAR, D. W. 1990. Wind erosion: mechanics, prediction, and control. Adv. Soil Sci. 187-199 pp.

FRYREAR, D. W. 1995. Soil losses by wind erosion, Adv. Soil Sci, 668-672 pp, pdf.

FRYREAR, D. W. 1986. A field dust sampler. J. Soil Water Conserv, 117-120 pp.

GARCIA, M. 2011. Cambio Climático en el Altiplano Boliviano y Producción de Quinoa, Percepciones y Realidades, IIAREN Facultad de Agronomía UMSA, pdf.

GOITIA, A. M. 2008. Evaluación de especies Forestales en la formación de Barreras vivas y Comportamiento de la Erosión Hídrica en el cantón de Cohoni. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, 24-45 pp.

GONZÁLEZ P. 2005. Agricultura sostenible. Balance de nutrientes para un sistema integrado de diagnóstico y recomendación de abonado. Congreso Nacional del Medio Ambiente, España.

- HUDSON, N. 1982. Conservación del Suelo, Ed. Reverte S. A. Barcelona-Bogota-Buenos Aires-Caracas-México-Río de Janeiro, 265-279 pp.
- HYAMS, D. 1997 Curve Expert 1.3: A Comprehensive curve fitting system for Windows. Copyright.
- INDA, R. 2010. 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, 25-30 pp.
- JORDAN, L. 2005-2006. Manual de Edafología, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla de la E.U.I.T.A. pdf
- KIRBY, M. J. 1993. Erosión de Suelos, Limusa, México, 267-302 pp.
- LLERENA, C. 1987. Uso de varillas de Erosión para Medir la Erosión Hídrica. Dpto. Manejo Forestal UNALM – Perú. 10 pp.
- LUTINO, S. 2009. Evaluación de la incidencia poblacional de la polilla (*Eurissacamelanocapta*) y complejo tizonas en cuatro variedades de quinua en salinas de Garci Mendoza. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, 21-24 pp.
- MAYTA, E. C. 2009. Evaluación de los recursos Hídricos de la Sub Cuenca del Rio Grande de Lipez del Altiplano Sur con fines de Aplicación de Riego. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia,
- MEDRANO, A. M. TORRICO, J. C. 2009. Consecuencias del Incremento de la Producción de la Quinua (*ChenopodiumquinoaWilld*) en el Altiplano Sur de Bolivia. Universidad Autónoma San Luis Potosí, Cienci-Agro, Vol 1 Nr. 4 (2009) 117-123.

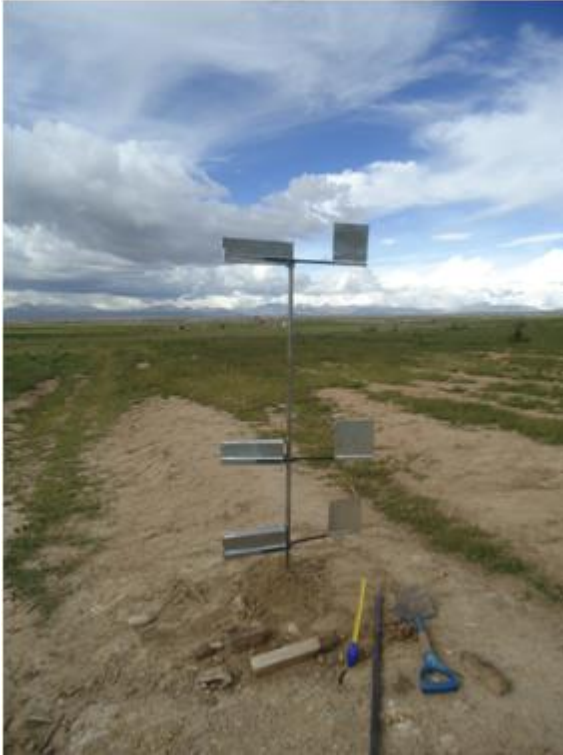
- MIRANDA, R. 2004. Introducción a la Geología Agrícola Primera Parte. La Paz Bolivia. 34 - 43 pp.
- MONTES DE OCA, I. 2005. Enciclopedia Geográfica de Bolivia. Editora Atenea. La Paz, Bolivia. 871 p.
- MONTERO, E. 2003 Aplicación de técnicas de análisis multifactorial a distribuciones de tamaño y volumen de partículas de suelo obtenidas mediante análisis por difracción de láser, departamento matemática y aplicación a la agronomía, Escuela Técnica superior de ingenieros agrónomos, Tesis Doctoral, 31 pp.
- MURILLO, M. Y CHACOLLA, E. 2010. Erodabilidad de los suelos del Sur Oeste de Bolivia.
- NARRO, F. E. 1994. Física de suelos: con enfoque agrícola. Primera Edición. Trillas. México. 195 p.
- ORSAG, V. 2003. El Recurso Suelo Principios para su Manejo y Conservación, La Paz - Bolivia 27 – 62 pp.
- PIÑEIRO, I. 2000 Evaluación de la Erosión Hídrica en la comunidad de Carmen Pampa (Provincia Nor Yungas del Dpto. de La Paz). Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia. 20- 36 pp.
- PACHECO, A. 2004. Quinoa en Bolivia. Modelo sistémico para el análisis y diagnóstico de la producción. Facultad de ciencias Económicas y Financieras. Universidad Mayor de San Andrés. 1º Edición. Plural Editores. 210p.
- PACO, J. 2011. Evaluación del Comportamiento Agronómico del Cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) bajo cuatro Niveles de Humus de Lombriz en la Localidad Santiago de Llallagua, Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, 30 – 95 pp.

- QUELCA, M. 1998. Evaluación de la Erosión de los suelos por la extracción de la Thola en la localidad de Calacoto provincia Pacajes, La Paz. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia, 25-50 pp.
- REYNOLDS, J. F. SANNWALD, E. H. HERRICK, J. E. 2008. Un Nuevo Paradigma para el Entendimiento y el Combate de la Desertificación, Publicación de la Liga de la Defensa del Medio Ambiente LIDEMA, Revista Informativa Habilidad N°75, 4-9 pp
- REYNOLDS, J. F. SANNWALD, E. H. HERRICK, J. E. 2008. La Susceptibilidad de la Producción de la Quinoa en el Altiplano Sur de Bolivia: Aplicación del Paradigma de Desarrollo de Zonas Secas, Publicación de la Liga de la Defensa del Medio Ambiente LIDEMA, Revista Informativa Habilidad N°75, 10-16 pp
- RIVASPLATA, P. E. 2012. Desertificación y Desertización en el Altiplano Andino Peruano: Comparación de Manejo del Territorio por las Sociedades Preteritas, Maestría de Conservación y Gestión de Medio Natural, Universidad Internacional de Andalucía, ISBN 978-84-7993-973-1.
- RODRIGUEZ, F. 1982. Fertilizantes – Nutrición Vegetal. Primera edición. Printed and made in México. México, 33 – 67 pp.
- ROSTAGO, C. DEL VALLE, H. BISCHIAZZO, D. (2010). Erosión Eólica. Conicet Cenpat, Argentina, 12 pp.
- RUCKS, L. GARCÍA. F. KAPLÁN, A. PONCE DE LEÓN, J. HILL, M. 2004. Propiedades Físicas del Suelo, Facultad de Agronomía Universidad de la Republica, Monte Video, pdf.
- SANCHEZ, J. 2005. Fertilidad del suelo Nutrición Mineral de la Planta, FERTITEC S. A. pdf.

- SIPE, J. 2011. Relación Carbono Nitrógeno en Suelos del Altiplano Central Producto de la Aplicación de Abonos Orgánicos e Inorgánicos en el Cultivo de papa (*solanumtuberosum l.*), Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, 20-98 pp.
- SCHWAB, G. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y aguas. Editorial Limusa. México D.F. 87 pp.
- SOTOMÓNTE, S. 2010. "Aplicación y ajuste del modelo de distribución de cárcavasde Vásquez - Selem y Zinck, caracterizando la susceptibilidadde erosión en el piedemonte de la zona sur, Sacaba (Cochabamba-Bolivia), 17 pp.
- STEEL, R. Y TORRIE, J. 1992. Bioestadística Principios y Procedimientos. Mc Graw Hill. México. 622 pp.
- TORRES, E. 1981. Manual de conservación de los suelos agrícolas. 1º Ed. Editorial Diana S.A. México D.F. 51, 52, 73 y 97 pp.
- URBANO P. 2001. Tratado de fitotecnia general. 2^{da} Ed. Edit. Mundi prensa. España. 893p.
- WOODRUFF, N. P. SIDDOWAY, F. H. 1965.A wind erosion equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Cap 29:602-608 pp, pdf.
- YANA, G. B. (2009) Zonificación de la distribución de cultivos de quinua (*chenopodiumquinoawilld*) en cuatro municipios del altiplano boliviano con fines de aplicación de riego Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, 60-74 pp.

ANEXOS

**REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA EVALUACION DE EROSION
EOLICA**



IMPLEMENTACION DEL PROTOTOPI DE COLECTOR EN QUIPAQUIPANI



SUELO COLECTADO EN QUIPAQUIPANI



IMPLEMENTACION DEL COLECTOR EN SAITOCO - ORURO



UBICACIÓN DE LOS COLECTORES Y LA INSTALACION



SUELO COLECTADO EN SAITOCO



MEDICION DE SUELO
COLECTADO



MEDICION DE LA APERTURA DE
CADA COLECTOR



RECOLECCION DE MUETRAS S°

ASEGURANDO LOS COLECTORES



DETERMINACION DE NITROGENO MINERAL

