



UNIVERSIDAD DE TALCA  
Facultad de Ciencias Forestales  
Escuela de Ingeniería Forestal

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL POR  
PARCELAS EXPERIMENTALES EN SUELOS DESNUDOS DE LA  
REGIÓN DE COQUIMBO

LEONARDO PATRICIO VEGA TORRES

Memoria para optar al título de:  
INGENIERO FORESTAL

PROFESOR GUÍA: DR. ING. ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA – CHILE  
2008

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
SUMMARY .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivo Específico.....	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1. Definición de Erosión y Conceptos Asociados a los Procesos Erosivos .....	3
3.2. Definición y Formas de Erosión Hídrica .....	4
3.2.1. Erosión por salpicadura y erosión laminar .....	4
3.2.2. Erosión por surcos o en regueros .....	6
3.2.3. Erosión en barrancos o cárcavas .....	6
3.2.4. Erosión en bancos aluviales .....	7
3.3. Erosión de Suelos en Chile.....	8
3.4. Modelos en la Evaluación de la Erosión Hídrica .....	9
3.4.1. Modelos cualitativos .....	11
3.4.2. Modelos cuantitativos.....	12
3.4.2.1. Modelos de evaluación indirecta .....	13
a. Modelos con base física.....	13
b. Modelos conceptuales.....	13
c. Modelos paramétricos .....	14
3.4.2.2. Modelos de evaluación directa.....	15
a. Parcelas de escorrentía .....	15
b. Parcelas experimentales de clavos de erosión .....	17
IV. MATERIALES Y MÉTODO.....	21

4.1. Descripción del Área de Estudio .....	21
4.2. Obtención y Características de la Información Base.....	24
4.2.1. Mediciones en clavos de erosión y variables físicas del suelo.....	24
4.2.2. Información pluviométrica .....	25
4.3. Etapas Metodológicas.....	27
4.3.1. Revisión bibliográfica.....	27
4.3.2. Traspaso digital de la información .....	27
4.3.3. Cuantificación de la erosión hídrica, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado .....	28
4.3.4. Análisis de los valores cuantitativos y variables físicas del suelo .....	29
4.3.5. Análisis y selección de la información pluviométrica .....	29
4.3.6. Determinación de las variables pluviométricas .....	31
4.3.7. Análisis del proceso erosivo .....	31
4.3.8. Conclusiones y recomendaciones.....	31
V. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	32
5.1. Variables Físicas del Suelo .....	32
5.1.1. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Elqui.....	32
5.1.2. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Limarí.....	33
5.1.3. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Choapa.....	34
5.2. Resultados Pluviométricos.....	35
5.2.1. Determinación de las áreas de influencia.....	35
5.2.2. Resultados pluviométricos para la Provincia de Elqui .....	38
5.2.3. Resultados pluviométricos para la Provincia de Limarí .....	40
5.2.4. Resultados pluviométricos para la Provincia de Choapa .....	42
5.3. Resultados de los Procesos Erosivos .....	43
5.3.1. Resultados de los procesos erosivos en la Provincia de Elqui.....	43
5.3.2. Resultados de los procesos erosivos en la Provincia de Limarí.....	46
5.3.3. Resultados procesos erosivos en la Provincia de Choapa .....	49
5.4. Resultados Regionales.....	53
VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	56
6.1. Variables Físicas del Suelo .....	56

6.1.1. Textura .....	56
6.1.2. Densidad aparente.....	59
6.2. Pluviometría .....	63
6.2.1. Áreas de influencia.....	63
6.2.2. Análisis regional.....	64
6.3. Procesos Erosivos .....	70
6.3.1. Valores extremos de erosión .....	70
6.3.2. Valores extremos de sedimentación.....	70
6.3.3. Valores extremos de erosión neta.....	71
6.3.4. Valores extremos de suelo movilizado.....	72
6.4. Comportamiento del Proceso Erosivo .....	73
6.4.1. Provincia de Elqui .....	74
6.4.2. Provincia de Limarí.....	75
6.4.3. Provincia de Choapa.....	76
6.4.4. Situación regional .....	78
6.5. Comparación de Medias entre Provincias.....	80
6.6. Relaciones entre las Variables Pluviométricas y los Procesos Erosivos .....	82
6.7. Análisis Global .....	84
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
7.1. Conclusiones .....	87
7.2. Recomendaciones .....	89
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	91
IX. APÉNDICES.....	97
9.1. Apéndice 1. Resultados Medios por Parcela en (ton/ha).....	98
9.1.1. Provincia de Elqui .....	98
9.1.2. Provincia de Limarí.....	101
9.1.3. Provincia de Choapa.....	104
9.2. Apéndice 2. Resultados Gráficos Procesos Erosivos v/s Períodos por Sector...	110
9.2.1. Provincia de Elqui .....	110
9.2.2. Provincia de Limarí.....	113
9.2.3. Provincia de Choapa.....	116

9.3. Apéndice 3: Análisis de Caja y Bigotes .....	119
9.4. Apéndice 4: Resultados Gráficos para los Procesos Erosivos v/s Variables Pluviométricas.....	121
9.4.1. Provincia de Elqui .....	121
9.4.2. Provincia de Limarí.....	123
9.4.3. Provincia de Choapa.....	125

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Sectores en estudio .....	22
Cuadro 2. Sectores con instrumental pluviográfico.....	26
Cuadro 3. Resultados de los análisis de textura y densidad, Provincia de Elqui .....	32
Cuadro 4. Resultados de los análisis de textura y suelos, Provincia de Limarí .....	33
Cuadro 5. Resultados análisis granulométrico Provincia de Choapa.....	34
Cuadro 6. Resultados de la aplicación de los polígonos de Thiessen, para determinar las áreas de influencia de cada pluviógrafo .....	37
Cuadro 7. Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Elqui.....	38
Cuadro 8. Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Limarí.....	40
Cuadro 9. Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Choapa.....	42
Cuadro 10. Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Elqui (mm).....	44
Cuadro 11. Resultados promedio para la Provincia de Elqui (ton/ha) .....	45
Cuadro 12. Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Limarí (mm).....	46
Cuadro 13. Resultados promedio para la Provincia de Limarí (ton/ha) .....	48
Cuadro 14. Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Choapa (mm).....	49
Cuadro 15. Resultados promedio para la Provincia de Choapa (ton/ha) .....	51
Cuadro 16. Síntesis de los resultados por provincia.....	53
Cuadro 17. Porcentajes de textura de cada suelo sobre el total en estudio .....	57
Cuadro 18. Porcentajes de textura de suelo para cada provincia .....	58
Cuadro 19. Prueba de Kruskall – Wallis para las densidades aparentes por provincia. .	61
Cuadro 20. Resumen estadístico para valores de densidad aparente .....	61
Cuadro 21. Resultados tras la aplicación del indicador de densidad máxima.....	63
Cuadro 22. Resumen de las variables pluviométricas promedio.....	65
Cuadro 23. Parámetros para las variables pluviométricas por pluviógrafo.....	68
Cuadro 24. Síntesis de los valores extremos para los procesos erosivos en los distintos sectores.....	73

Cuadro 25. Prueba de Kruskall – Wallis para los procesos erosivos por provincia .....	80
Cuadro 26. Tendencias lineales en las relaciones de los procesos erosivos v/s variables pluviométricas. ....	83
Cuadro 27. Resultados obtenidos en la investigación .....	85

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Altura media en mm, para cada provincia en estudio .....	54
Gráfico 2. Medias totales en ton/ha, para cada provincia en estudio.....	55
Gráfico 3. Relación proceso erosivo (mm) v/s porcentaje de limo.....	59
Gráfico 4. Variaciones de densidad aparentes a nivel regional.....	60
Gráfico 5. Densidad aparente (gr/cc) en función de la latitud, ordenadas de Norte a Sur .....	62
Gráfico 6. Montos totales de precipitación e intensidades promedio para las tormentas y máximas para 1 hora. ....	66
Gráfico 7. Variables pluviométricas ordenadas de Norte a Sur .....	67
Gráfico 8. Coeficiente de variación de las estaciones, para las variables pluviométricas ubicadas de Norte a Sur .....	69
Gráfico 9 y Gráfico 10. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: <i>El Tambo</i> .....	74
Gráfico 11 y Gráfico 12. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: <i>Quebrada Talca</i> .....	75
Gráfico 13 y Gráfico 14. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: <i>Romeralsillo</i> .....	76
Gráfico 15 y Gráfico 16. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: <i>La Rinconada</i> .....	76
Gráfico 17 y Gráfico 18. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: <i>Carquindaño</i> .....	77
Gráfico 19 y Gráfico 20. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: <i>Agua fría</i> .....	77
Gráfico 21 y Gráfico 22. Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: <i>Yerba Loca</i> .....	78
Gráfico 23. Procesos resultantes para cada ensayo en erosión (E) y sedimentación (S), ordenados de Norte a Sur.....	78
Gráfico 24. Procesos resultantes para cada ensayo en erosión neta (En) y suelo movilizado (Sm), ordenados de Norte a Sur .....	79



Gráfico 25. Análisis de Caja y Bigotes para los resultados de erosión en (mm) ..... 81

Gráfico 26. Tendencia inversa en la relación Erosión – Monto de precipitación,  
evidenciada en la Provincia de Choapa ..... 82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Impacto de la gota de lluvia sobre el terreno.....	5
Figura 2. Tipos de erosión hídrica.....	7
Figura 3. Tipos de modelos en la evaluación de la erosión hídrica .....	11
Figura 4. Evaluación de la erosión hídrica a través de SIG .....	12
Figura 5. Parcela de escorrentía .....	16
Figura 6. Clavo con argolla, para marcar los cortes en el terreno .....	18
Figura 7. Parcela experimental con clavos de erosión.....	20
Figura 8. Región de Coquimbo, Chile .....	21
Figura 9. Ubicación de los sectores en estudio.....	23
Figura 10. Medición de los clavos de erosión .....	25
Figura 11. Formulario para el registro de los datos .....	28
Figura 12. Formato de la entrada de datos del software GeoDA™ .....	29
Figura 13. Polígonos de Thiessen para los pluviógrafos en estudio .....	36
Figura 14. Triángulo textural según clasificación del USDA. ....	56

## RESUMEN

En la presente memoria, se analiza la erosión hídrica superficial junto al conglomerado de procesos erosivos que toman lugar en la IV Región de Coquimbo, a través del método de parcelas de clavos de erosión. Los datos se obtuvieron a partir de mediciones hechas en parcelas experimentales, en 30 sectores a lo largo de la región, en el marco del proyecto "Restauración hidrológico forestal y Oasificación: Herramientas claves para el aumento de la productividad de suelos degradados de la Región de Coquimbo", desarrollado por el Instituto Forestal y la Universidad de Talca. Junto a esto, se obtuvo las densidades aparentes y texturas de cada suelo, además de las lecturas de 18 pluviógrafos instalados en la región.

Se demostró que, a nivel general, las densidades de los suelos no difieren en demasía entre el total de sectores, sin embargo se observó un amplio mosaico de texturas, predominando los suelos del tipo franco arenoso. Los resultados pluviométricos evidenciaron una amplia variabilidad para los períodos considerados, y, aunque es débil, se apreció un aumento en la cuantía e intensidad de las precipitaciones al avanzar hacia el Sur. Respecto a los procesos erosivos considerados, (erosión, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado) se presentó una pérdida de suelo neta decreciente de Norte a Sur, lo que no fue representativo para el total de procesos, que presentaron fluctuaciones. Además, se encontró diferencias estadísticamente significativas entre provincias, generadas por la Provincia de Choapa.

Finalmente, en este estudio se trazó los primeros lineamientos a fin de lograr modelar el fenómeno erosivo en la Región de Coquimbo, relacionando gráficamente los procesos estudiados con las variables pluviométricas consideradas. Por lo anterior, resulta imperativo el continuar con el estudio aquí propuesto.

## SUMMARY

In this report discusses the surface water erosion along the conglomerate of erosive processes taking place in the Coquimbo Region, through the method of erosion plots nails. The data were obtained from measurements made in experimental plots in 30 sectors throughout the region, under the project "Restoring forest hydrological and oasisification: key tools for increasing productivity of degraded soils of the Coquimbo Region", developed by the Forest Institute and the University of Talca. Alongside this, was obtained the apparent densities and textures of each floor, plus readings of 18 recording rain gauges installed in the region.

It showed that, in general, the densities of soil do not differ too much between total sectors, however, there was a broad mosaic of textures, the predominant type of frank sandy soils. The results showed a wide variability rainfall for the periods concerned, and, though weak, was seen an increase in the amount and intensity of rainfall as they move southward. With regard to the erosive processes in question, (erosion, sedimentation, net erosion and mobilized soil) showed a net loss of soil decreasing from north to south, which was not representative for the total process, which showed fluctuations. In addition, we found statistically significant differences between provinces, generated by Choapa Province.

Finally, this study charted the first guidelines to achieve shaping the erosive phenomenon in the Coquimbo Region, linking graphically processes studied with rainfall variables considered. For the foregoing, it is imperative to continue the study proposed here.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua y el suelo son recursos naturales esenciales en el desarrollo económico y social, especialmente en Chile donde gran parte de la economía está basada en el aprovechamiento de estos bienes, fundamentales en la aplicación de esquemas productivos sustentables. Su uso, sin embargo, plantea el problema de su conservación, el cual involucra a distintos sectores productivos como el forestal, el agrícola y el pecuario.

En este contexto, la degradación de las tierras áridas y semiáridas de Chile, unida a la pobreza de los productores rurales que las habitan, constituyen uno de los problemas socio-ambientales más serios del país.

Actualmente, la Región de Coquimbo presenta sin duda la situación más crítica de Chile, donde los procesos de desertificación y erosión, pese a las múltiples medidas aplicadas en la región, siguen su avance. Las causas que originan esta situación, se enmarcan dentro de distintas problemáticas que afectan a la región, como la fragilidad ambiental, los recursos escasos, la pobreza y la sobreexplotación.

En este ámbito, la falta de información cuantitativa sobre el tema de la erosión en Chile es un problema evidente. El planteamiento de instaurar recursos dirigidos hacia la cuantificación del grado de erosión, es una necesidad creciente cuyo propósito es facilitar la toma de decisiones, lograr un manejo sustentable del recurso suelo y el aumento en la calidad de vida de la población rural, que basa su economía en este recurso.

En función de lo anteriormente expuesto, en este estudio se evalúa la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la Región de Coquimbo, mediante la aplicación de parcelas con clavos de erosión.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento del proceso erosivo en suelos desnudos de la Región de Coquimbo.

### 2.2. Objetivo Específico

Determinar valores cuantitativos de erosión hídrica, erosión neta, sedimentación y suelo movilizado, en parcelas experimentales con clavos de erosión.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Definición de Erosión y Conceptos Asociados a los Procesos Erosivos

Pidwirny (2006) define la erosión como la degradación de los suelos, los sedimentos, el regolito, los fragmentos de roca y el paisaje, a través de distintos medios externos como el viento, el hielo y el agua.

Al respecto Ibáñez y García (2006) expresan que, en términos más rigurosos, debería diferenciarse entre los mecanismos de degradación o deterioro y los de pérdida del recurso. Entre los primeros se encuentran los procesos que plantea la literatura técnica, tales como contaminación, compactación y salinización, entre otros. Entre los de pérdida del recurso, destaca nítidamente la erosión. Así, la Corporación Chilena de la Madera (CORMA, 2005) agrega que en términos prácticos el suelo no es un recurso natural renovable, por lo que su pérdida debe considerarse irreversible.

Para Añó y Peris (2003) la erosión no se define como un proceso en sí mismo, sino como la manifestación fenomenológica de una multitud de procesos que dan lugar a la pérdida del recurso suelo. Pidwirny (2006) agrega que dichos procesos llegan a su fin cuando las partículas transportadas caen y se depositan en la superficie, generando procesos de sedimentación.

En términos generales, es posible clasificar los procesos erosivos en tres tipos: erosión hídrica, erosión eólica y erosión por laboreo; siendo éste último el único proceso genuinamente antrópico (Ibáñez y García, 2006). Respecto a los primeros, corresponden a procesos naturales, que según Favis-Mortlock (2007) afectan en igual magnitud tanto a terrenos agrícolas como a ambientes naturales, impactando en forma localizada (en el lugar donde el suelo es disgregado) y fuera del sitio (en el lugar donde se deposita el suelo erosionado).

### 3.2. Definición y Formas de Erosión Hídrica

La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica (De Regoyos, 2003 citando a Colomer, 2001).

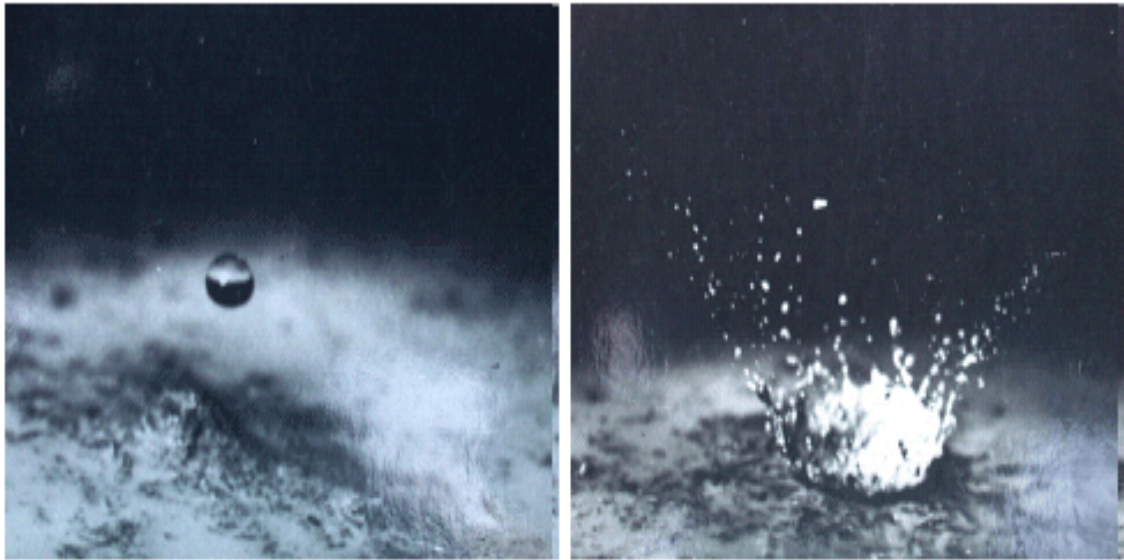
Mintegui y López (1990) definen este tipo de erosión como el proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.

La erosión hídrica puede ocurrir de variadas formas. La Statewide Urban Designs and Specifications (SUDAS, 2006) señala entre las principales la erosión por salpicadura y erosión laminar, la erosión por surcos o en regueros, por cárcavas y la erosión en bancos aluviales.

#### 3.2.1. Erosión por salpicadura y erosión laminar

El primer paso en el proceso de erosión hídrica comienza cuando las gotas de lluvia impactan la superficie con una energía suficiente para desplazar partículas de material sin consolidar, dando lugar al proceso denominado erosión por salpicadura (SUDAS, 2006) (ver Figura 1).





**Figura 1.** Impacto de la gota de lluvia sobre el terreno

**Fuente:** <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>

La duración, intensidad y frecuencia de las precipitaciones logran la remoción de capas delgadas y uniformes de suelo sobre toda el área, produciendo lo que se denomina como erosión laminar (Favis-Mortlock, 2007). Al respecto, Mintegui y López (1990) señalan que este proceso es el más perjudicial debido a que en la mayoría de las ocasiones no se le reconoce y por ende, pocas veces se le trata. Para García (2006) la erosión laminar se puede identificar mediante los siguientes síntomas:

- ❖ Presencia de montículos en el suelo
  
- ❖ Plantas con su sistema radicular al descubierto
  
- ❖ Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados

Junto a lo anterior, otra manera de identificar el accionar de la erosión laminar es la presencia de pavimentos de erosión, que corresponde al proceso que deja al

descubierta áreas con presencia de piedras de diferentes tamaños, las cuales originalmente estaban cubiertas por suelo<sup>1</sup>.

### 3.2.2. Erosión por surcos o en regueros

Ocurre cuando, producto de pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar surcos (Suárez, 1980 citado por Farfán, 2002).

Según Cairns *et al.* (2001) los surcos corresponden a canales miniatura, que son el resultado de la remoción de aproximadamente 10 a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía, la que transporta material erosionado hacia canales o riberas. Estos autores señalan además, que el accionar constante del agua a través de estos canales, podría producir barrancos o cárcavas.

### 3.2.3. Erosión en barrancos o cárcavas

Se define como el proceso de remoción de suelo o de pequeñas piedras, por acción del agua, que forman depresiones mucho más grandes que los surcos, los que usualmente transportan material durante o inmediatamente después de ocurrida la tormenta (Cairns *et al.*, 2001 citando a Bates y Jackson, 1980).

Al respecto, Morgan (1997) señala que al comparar estas depresiones con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil, las cárcavas se caracterizan por tener cabeceras y saltos a lo largo de su curso. Además, poseen una

---

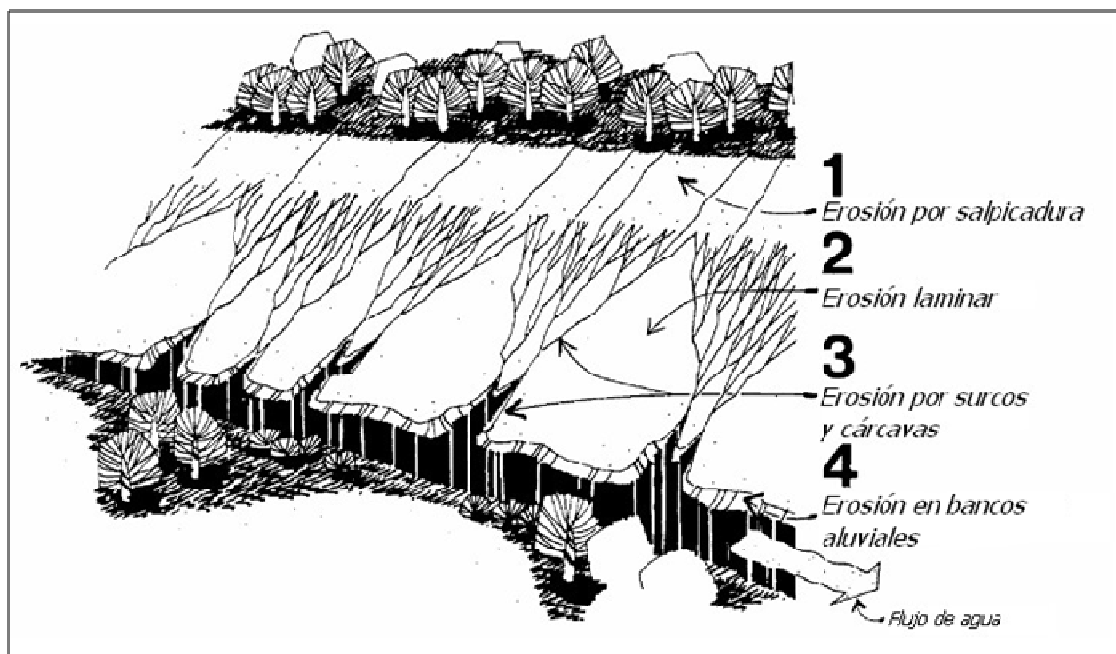
<sup>1</sup> Comunicación personal de Dr. Ing. Roberto Pizarro T., profesor de las cátedras de Hidrología y Conservación de Aguas y Suelos, Universidad de Talca, 2008.

mayor profundidad, menor anchura que los cauces estables y transportan una mayor cantidad de sedimentos.

#### 3.2.4. Erosión en bancos aluviales

De acuerdo a SUDAS (2006) la erosión en bancos aluviales se produce a partir de procesos erosivos en el lecho de los barrancos o cárcavas, haciéndolos más profundos, favoreciendo con esto que el material de las riberas se vuelva inestable y se comience a desprender material desde altas zonas. El mismo autor señala que este tipo de erosión provoca que las vías fluviales ondulen, debido a la acumulación de suelo erosionado en el lecho.

En función de la clasificación anterior, se presenta un esquema empleado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2002), para representar el proceso de erosión hídrica (Figura 2).



**Figura 2.** Tipos de erosión hídrica  
**Fuente:** Adaptado de USDA (2002)

Finalmente, estudios realizados en 1990 por la Dirección de Conservación de Suelos y Lucha contra la Desertificación (DSCyLcD), en Argentina, concluyen que, en términos generales, la erosión hídrica es directamente proporcional a la cuantía de precipitación y a la longitud de la vertiente y la ladera, pero inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del suelo y a la resistencia que opone la superficie. Indiscutiblemente, cuanto mayor es la pendiente del terreno, mayor es la velocidad de flujo y más intensa es la erosión.

### 3.3. Erosión de Suelos en Chile

De acuerdo a Pizarro *et al.* (2003a) la erosión de los suelos en Chile, "es considerado uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario. Asimismo, dicha problemática está asociada a una disminución de la productividad y eficiencia de los suelos, provocada por una baja retención tanto del agua como del suelo, cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas."

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en 1994, concordaron en señalar que la distribución de los terrenos erosionados en Chile no sigue un patrón regular, y es posible encontrar tanto áreas escasamente erosionadas, como sectores en los cuales la pérdida y el deterioro hacen irrecuperable el recurso, tanto en términos físicos como productivos.

En este contexto, FAO (1994) agrega que una gran proporción de terrenos severamente erosionados se encuentra en las regiones áridas y semiáridas de la zona norte del país. Años atrás, estudios del Instituto de Recursos Naturales (IREN, 1979) empleados por FAO (1994), estimaron que la Región de Coquimbo se encontraba altamente deteriorada, principalmente en la provincia de Elqui.

En la actualidad Benedetti y Pizarro (2006) afirman que es precisamente la Región de Coquimbo la que presenta la situación más crítica del país, en donde las precipitaciones torrenciales, a pesar de ser escasas, arrastran consigo significativas porciones de suelo con las mejores condiciones de fertilidad.

Otras importantes unidades fisiográficas afectadas por la erosión hídrica, acorde a los estudios realizados por Peña (1994), son la Precordillera Andina y la Cordillera de Los Andes, aparte de otros extensos sectores de lomajes incluidos a lo largo de la Depresión intermedia.

En el contexto descrito, Benedetti y Pizarro (2006) señalan que los estudios de erosión en el país son antiguos y se enmarcan en análisis descriptivos y no analíticos, o bien corresponden a estimaciones aisladas de indudable valor, que no se condicen con análisis globales, cuantitativos y de orientación a los procesos productivos.

#### 3.4. Modelos en la Evaluación de la Erosión Hídrica

En palabras de Morgan (1997), "cuando se predice la erosión, se debe decidir si la predicción es para un año, un día, una tormenta o para períodos cortos de tiempo, y si dicha predicción se refiere a una parcela, una ladera o una cuenca. Estas perspectivas en el tiempo y en el espacio influirán en los procesos que deben incluirse en el modelo, en la forma que deben describirse y en el tipo de datos necesarios para validar el modelo y su funcionamiento."

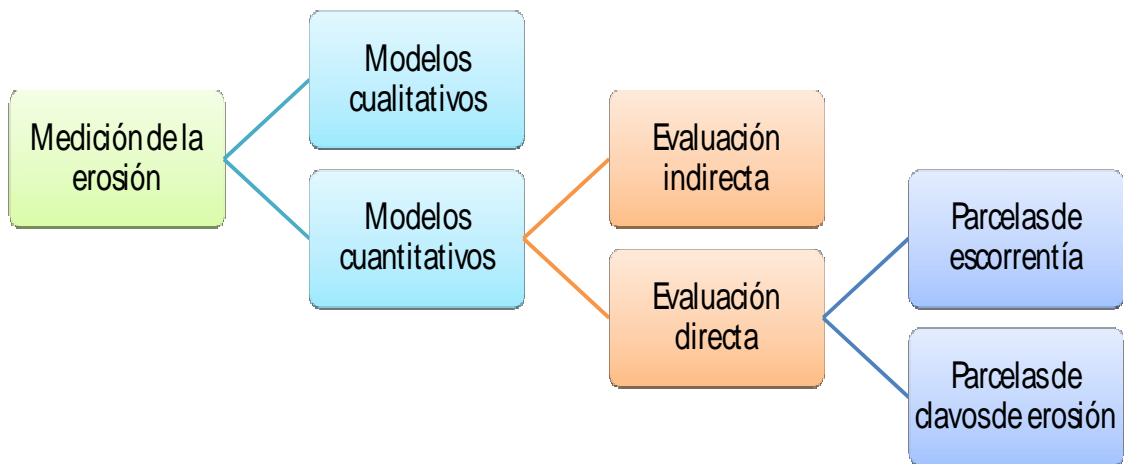
Según García (2006), la modelización trata de dar respuesta a todos aquellos aspectos técnicos que facilitan el conocimiento de los diferentes parámetros e interrelaciones implicados, para posteriormente tratar de reproducir el sistema en el cual se desarrollan los procesos, y explicar el comportamiento global en una cuenca hidrográfica. Continúa expresando que la modelización de los procesos erosivos se basa

en la obtención de algoritmos matemáticos que describen la disgregación, el transporte y la deposición de los materiales.

Para Lal (1994), existen tres razones por las cuales se hace necesario modelar el proceso erosivo:

- ❖ Los modelos pueden ser utilizados como herramientas de predicción de la pérdida de suelos, para planes de conservación, proyectos, inventarios de erosión, y la ordenación del recurso.
- ❖ Los modelos matemáticos con base física pueden predecir donde y cuando ocurrirán procesos erosivos, ayudando al planificador en la tarea de reducir su impacto.
- ❖ Además, pueden ser utilizados como herramienta para lograr entender los procesos erosivos y sus interacciones, priorizando así futuras investigaciones.

En cuanto al tipo de modelos, García (2006) propone la siguiente clasificación, cuyo esquema se presenta en la Figura 3.



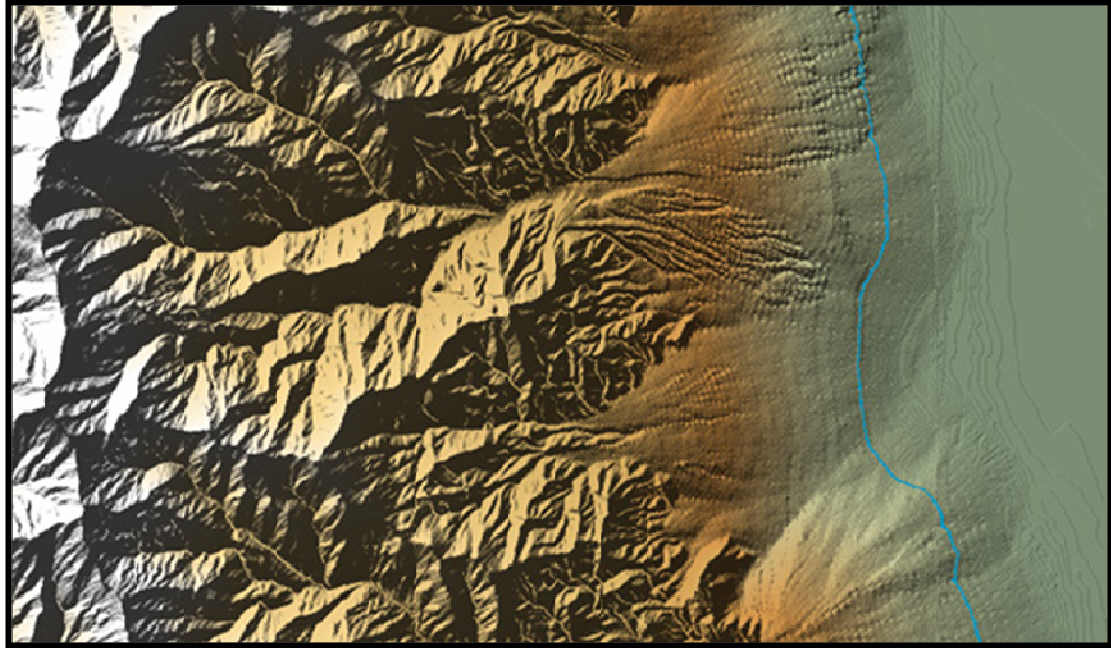
**Figura 3.** Tipos de modelos en la evaluación de la erosión hídrica  
**Fuente:** Adaptado de García (2006)

#### 3.4.1. Modelos cualitativos

Este tipo de modelos suele ser común en estudios a nivel de reconocimiento o diagnóstico, constituyendo una opción bastante ágil para una futura toma de decisiones respecto al problema de la erosión (Moreira, 1991).

El mismo autor agrega que estos métodos suelen estar orientados a la expresión cartográfica, estableciéndose en ellos niveles de jerarquización para los distintos parámetros en estudio, usualmente el suelo, la vegetación y la topografía (Honorato *et al.*, 2001).

García (2006) es determinante en señalar que los sistemas de información geográfica (SIG) resultan una herramienta idónea en la evaluación cualitativa de la erosión, siendo de gran utilidad en la captura y análisis de toda la información espacio-temporal necesaria en la posterior aplicación de los modelos (Gómez *et al.*, 2007). En la Figura 4 se ejemplifica lo anteriormente señalado.



**Figura 4.** Evaluación de la erosión hídrica a través de SIG  
**Fuente:** <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10w.html>

En Chile, experiencias en esta línea incluyen el proyecto impulsado por el Centro de Información sobre Recursos Naturales (CIREN, 2006) "Zonificación de Erosión y Fragilidad de los Suelos del Secano Costero de las Regiones VI y VII", en el cual mediante análisis visual de imágenes satelitales, se obtuvo la cartografía de erosión actual para las áreas de estudio, clasificándola en nula o baja, moderada, severa y muy severa de acuerdo a las definiciones dictadas por D.L. 701 de Fomento Forestal.

#### 3.4.2. Modelos cuantitativos

Para Pizarro (1988), el poder definir cuantitativamente el monto de la pérdida de suelos en función de la erosión hídrica, se plantea como un elemento importante cuyo objetivo es poder estimar en un marco referencial, la magnitud del daño sobre las cuencas hidrográficas.



Los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y, como se señaló en la Figura 2, pueden tener una evaluación indirecta o directa (Honorato *et al.*, 2001; García, 2006).

#### 3.4.2.1. Modelos de evaluación indirecta

##### a. Modelos con base física

Este tipo de modelos incorpora en su análisis leyes de conservación de masa y energía, utilizando la ecuación de continuidad para representar un estado de la conservación de la materia y su transformación en el espacio y tiempo (De Regoyos, 2003). La mayoría de los modelos con base física deben su origen al esquema, relativamente simple, desarrollado por Meyer y Wischmeyer (1969), citados por los mismos autores para comprobar si era factible una aproximación matemática que simulara la erosión.

Respecto a los modelos, es posible citar el Water Erosion Prediction Project (WEPP), desarrollado por USDA (1995), para la predicción cuantitativa de la erosión en laderas y en cuencas pequeñas a medianas, proporcionando además un método rápido para evaluar varias opciones de conservación de suelos (De Regoyos, 2003).

El modelo describe los procesos de la disgregación, transporte y deposición de las partículas del suelo debido a fuerzas mecánicas e hidrológicas actuando en una ladera o en una cuenca y se presenta como un conjunto de programas para computadores personales PC (Romero y Stroosnijder, 2002).

##### b. Modelos conceptuales

Acorde a TRAGSA (1998), estos modelos se basan en los mismos principios que los modelos con base física, pero permiten una mayor adaptación a la realidad integrando modelos hidrológicos, modelos de erosión y modelos de transporte de sedimentos. Así, el modelo denominado KINEROS, desarrollado por USDA en el año 2000, realiza una representación cinemática del flujo de escorrentía y erosión, basándose en la descripción de los procesos de interceptación, infiltración, escorrentía superficial y la erosión de pequeñas explotaciones agrícolas y cuencas urbanas.

### c. Modelos paramétricos

Son modelos basados en la lógica inductiva y por lo general se aplican en aquellas condiciones en las que han sido calibrados (García, 20006).

Los modelos paramétricos destacan por su amplia utilización y su uso; en este particular, la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés) de Wischmeier y Smith (1978) constituye un método de uso generalizado para la estimación de la erosión hídrica. Sin embargo, autores como Hudson (1997) critican su denominación de "universal", puesto que sólo es aplicable a la mitad oriental de los Estados Unidos.

El modelo USLE, a partir de información referida a seis variables de control (erodabilidad del suelo K, longitud de la pendiente L, inclinación de la ladera I, erosividad pluvial R y la adopción de prácticas de conservación de suelos P) estima el valor en tonelada métrica por hectárea y año de la cantidad de suelo removida por la erosión hídrica (Pérez y López, 2000).

En Chile, Honorato *et al.* (2001) realizaron una evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y la IX Regiones. Sus resultados demostraron un buen comportamiento predictivo del modelo en localidades

con prácticas de manejo que favorecieron el proceso erosivo. Por otra parte, en localidades donde existió prácticas de manejo protectoras del suelo, como una mínima labranza, el modelo no proporcionó buenas estimaciones de erosión, debido principalmente al factor R estimado mediante la aproximación de Arnoldus, cuyos valores no proporcionaron la exactitud suficiente para estimar la erosividad de la lluvia.

Acorde a esto, Farfán (2002) desarrolló el cálculo del índice de erosividad pluvial R de la USLE para dos estaciones pluviográficas de la Región del Maule y para diversos años de estudio utilizando el Índice de Fournier, el cual arrojó una alta correlación, concluyendo la validez para estimar la capacidad erosiva de las lluvias (R) como una función de éste.

#### 3.4.2.2. Modelos de evaluación directa

Corresponden a parcelas experimentales, en las cuales se instala instrumental con el objetivo de estimar las pérdidas de suelo.

##### a. Parcelas de esorrentía

Estas parcelas se utilizan para recolectar los sedimentos removidos, involucrando la captación del caudal líquido y sólido (Morgan, 1997; Yataco, 2007) (ver Figura 5).



**Figura 5.** Parcela de escorrentía

**Fuente:** Estándares de ingenierías para aguas y suelos (EIAS, 2005)

Mutchler *et al.* (1994) destacan a las parcelas de escorrentía como una de las metodologías más conocidas para la evaluación directa de la erosión del suelo. Este método de investigación permite controlar muchas de las condiciones en que ocurren los procesos erosivos, como el sellamiento derivado del impacto de las gotas de lluvia.

Para Hudson (1997), son tres las razones donde se justifica el empleo de parcelas de escorrentía:

- ❖ Con fines demostrativos, cuando la finalidad es demostrar hechos conocidos.
  
- ❖ Para estudios comparativos, teniendo una indicación aproximada del efecto en la escorrentía o en la erosión en por ejemplo, la existencia o no de una cubierta del suelo o la cuantía de la escorrentía en la cima y en la base de una ladera.

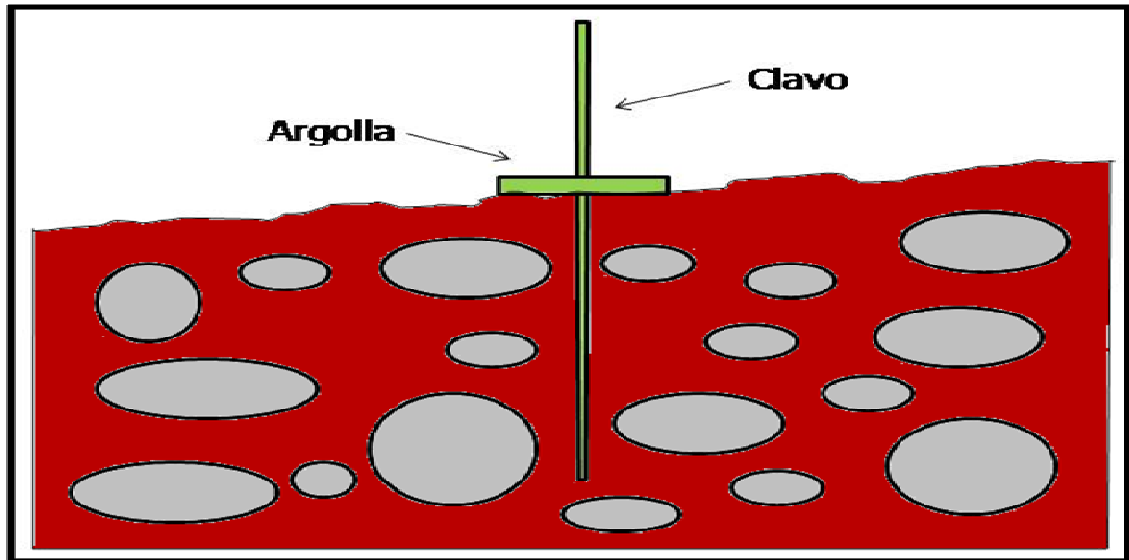
❖ En la obtención de datos que se van a emplear para construir o para validar un modelo o ecuación destinado a predecir la escorrentía o la pérdida de suelo.

Vega y Febles (2005) señalan que el empleo de parcelas de escorrentía se ha generalizado. Sin embargo, la utilidad de la información obtenida, y de las investigaciones realizadas en ellas está limitada por la falta de continuidad en el tiempo, para la obtención de dicha información.

#### b. Parcelas experimentales de clavos de erosión

Es un método que consiste en parcelas rectangulares a las cuales se les instalan “clavos” que marcan la línea inicial del suelo, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la tormenta con el objetivo de evaluar la erosión o sedimentación producida. Lo anterior permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo para realizar estimaciones más reales (Pizarro y Cuitiño, 2002).

Estas parcelas de clavos de erosión, son conocidas por diversos nombres, como varillas o estacas y presentan también algunas modificaciones (generalmente acompañados de argollas para marcar los cortes en el terreno, como se aprecia en la Figura 6); los clavos pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material. Cuitiño (1999) utilizó rayos de bicicleta en la elaboración de los clavos, resultando ser un material bastante adecuado para este tipo de trabajo, adaptado perfectamente a las características descritas por Hudson (1997) y Mendoza (2005), respecto del material a utilizar: no se deteriora, es fácil de obtener y de bajo costo.



**Figura 6.** Clavo con argolla, para marcar los cortes en el terreno  
**Fuente:** Adaptado de Hudson (1997)

Para Hudson (1997), la extensión del clavo debe ser tal que se pueda enterrar en el suelo, siendo usual que alcance una longitud de penetración de unos 30 cm. En cuanto al espesor, es preferible que los clavos tengan un diámetro de hasta unos 5 mm, puesto que un espesor mayor puede interferir con la corriente de superficie y provocar su desgaste.

En la cuantificación de las pérdidas o entradas de material, Cuitiño (1999) asoció al establecimiento y aplicación de este método algunos conceptos que permiten explicar los procesos que ocurren. Así, se habla de erosión y sedimentación media, erosión neta y suelo movilizado.

i. Erosión media y sedimentación media: Definidos por Cuitiño (1999) como la erosión o sedimentación promedio que se produce en las parcelas, según sea el caso. Se procede calculando la altura media de los clavos, es decir, la sumatoria de las alturas sobre el total de clavos de la parcela, los cuales pueden presentar una altura de erosión o una

altura de sedimentación<sup>2</sup> respecto a las diferencias en las mediciones efectuadas entre tormentas.

La expresión matemática que determina estos procesos, planteada por Cuitiño (1999) y posteriormente redefinida por Pizarro y Cuitiño (2002) se presenta a continuación:

$$X = Y * D_a * 10$$

Donde X es el suelo erosionado o sedimentado (ton/ha); Y es la altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm) y  $D_a$  corresponde a la densidad aparente del suelo (ton/m<sup>3</sup>).

ii. Erosión neta: Se denomina erosión neta a la pérdida de suelo al considerar la sedimentación ocurrida; es decir, corresponde a la diferencia entre la erosión media del suelo y la sedimentación media, expresado en toneladas por hectárea (Cuitiño, 1999). Se expresa como:

$$E_n = E - S$$

Donde  $E_n$  es la Erosión neta (ton/ha); E la Erosión media (ton/ha) y S corresponde a la Sedimentación media (ton/ha).

iii. Suelo movilizado: Se habla de suelo movilizado al cuantificar tanto la erosión media como la sedimentación ocurrida. La expresión matemática permite describir la totalidad

---

<sup>2</sup> Clavos que al ser medidos luego de la tormenta presentan una altura superior (altura de erosión) o inferior (altura de sedimentación) a la medición inicial (Cuitiño, 1999).

de suelo que se movilizó en el terreno, expresado en toneladas por hectárea (Cuitiño, 1999). Su expresión matemática es:

$$S_m = E + S$$

Donde  $S_m$  corresponde al Suelo movilizado (ton/ha);  $E$  es la Erosión media (ton/ha) y  $S$  la Sedimentación media (ton/ha).

En la Figura 7, se muestra una parcela de clavos de erosión en terreno.



**Figura 7.** Parcela experimental con clavos de erosión

**Fuente:** Estándares de ingenierías para aguas y suelos (EIAS, 2007)

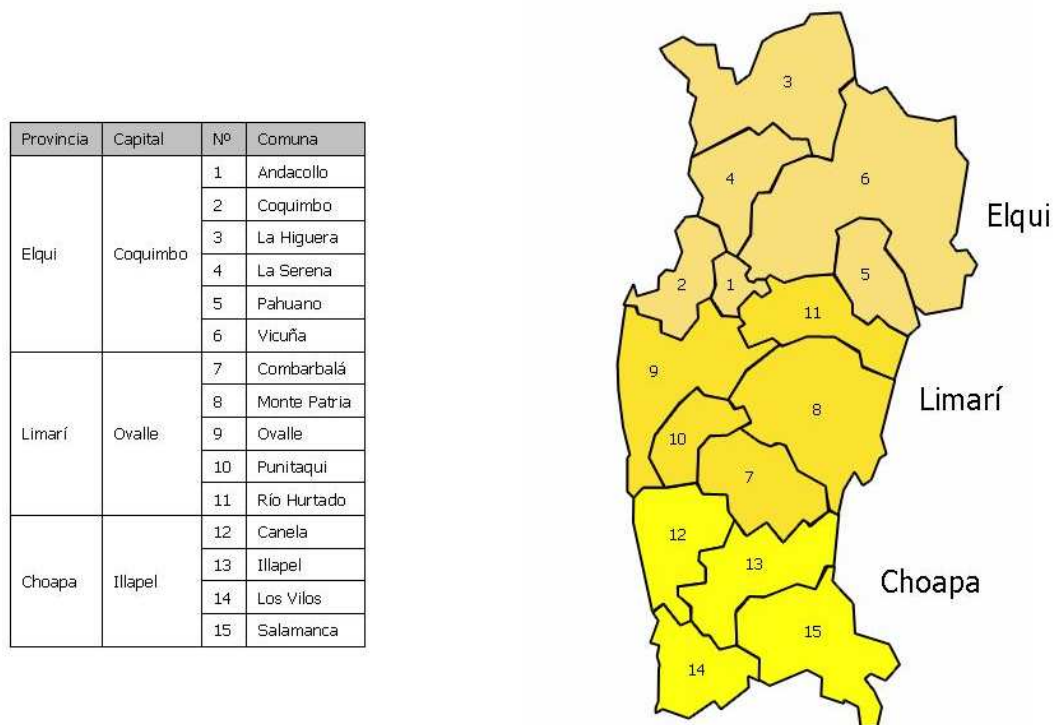
Basándose en el principio de medición de las parcelas con clavos de erosión, Hudson (1997) sugiere otros métodos factibles de aplicar como pintar líneas por encima del nivel del suelo alrededor de rocas, raíces de árboles o cualquier otro elemento firme y estable. La erosión revelará una banda no pintada por debajo de la línea marcada, indicando pérdida de suelo. Asimismo, la instalación de cuellos de botella o el evidenciar montículos de material en torno a árboles o a sus raíces luego del paso de escorrentía, son otras iniciativas.



## IV. MATERIALES Y MÉTODO

### 4.1. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se inserta en la IV Región de Coquimbo, Chile, la cual se extiende entre los 29°20' - 32°10' Latitud Sur y 69°49' - 71°43' Longitud Oeste, abarcando una superficie aproximada de 40.579,9 km<sup>2</sup>. La región se divide administrativamente en tres provincias: Elqui, Limarí y Choapa, tal y como se aprecia en la Figura 8.



**Figura 8.** Región de Coquimbo, Chile

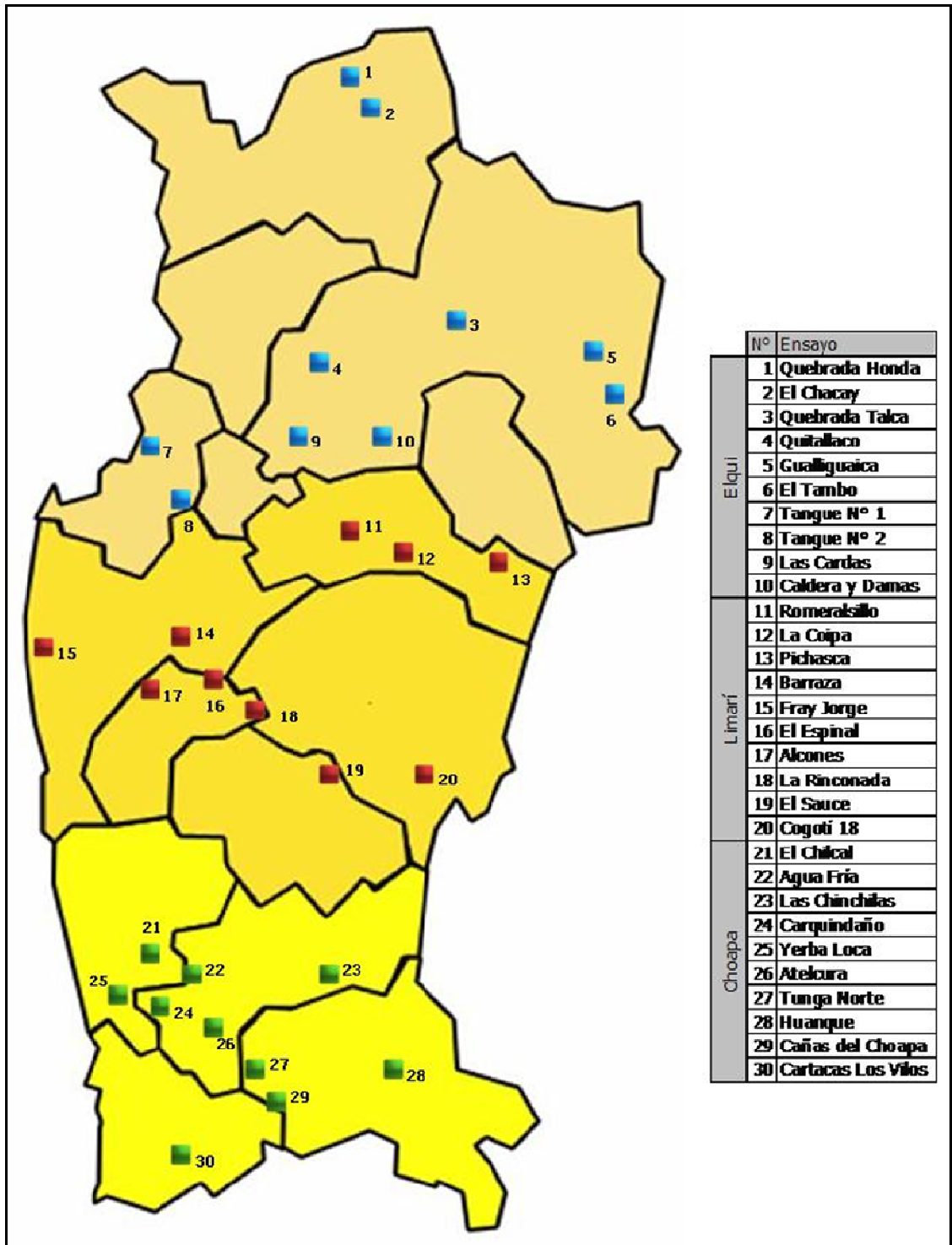
**Fuente:** Adaptado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Coquimbo\\_\(regi%C3%B3n\\_administrativa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Coquimbo_(regi%C3%B3n_administrativa))

Los sectores en evaluación, se encuentran divididos en las provincias antes mencionadas, a saber (Cuadro 1):

**Cuadro 1.** Sectores en estudio

Provincia	Sectores de estudio	Ubicación	
		S	NE
Elqui	<i>El Tambo</i>	30° 1,600'	70° 46,825'
	<i>Gualliguaica</i>	29° 59,751'	70° 48,565'
	<i>Quebrada Talca</i>	30° 0,565'	71° 2,457'
	<i>Quebrada Honda</i>	29° 35,137'	71° 12,507'
	<i>Caldera y Damas</i>	30° 17,702'	71° 9,190'
	<i>Las Cardas</i>	30° 17,389'	71° 16,362'
	<i>El Chacay</i>	29° 40,583'	71° 11,869'
	<i>Quitallaco</i>	30° 8,584'	71° 14,450'
	<i>Tangué N°1</i>	30° 21,013'	71° 33,204'
	<i>Tangué N°2</i>	30° 27,534'	71° 27,774'
Limarí	<i>Alcones</i>	30° 44,136'	71° 31,199'
	<i>Fray Jorge</i>	30° 40,281'	71° 37,808'
	<i>El Sauce</i>	31° 04,036'	71° 07,715'
	<i>Cogotí 18</i>	31° 06,222'	70° 57,211'
	<i>Pichasca</i>	30° 23,618'	70° 52,768'
	<i>La Coipa</i>	30° 29,513'	71° 04,839'
	<i>Romeralsillo</i>	30° 27,990'	71° 09,215'
	<i>Barraza</i>	30° 41,245'	71° 28,044'
	<i>El Espinal</i>	30° 44,237'	71° 24,701'
	<i>La Rinconada</i>	30° 50,976'	71° 21,571'
Choapa	<i>Huanque</i>	31° 44,343'	70° 55,211'
	<i>Las Chinchillas</i>	31° 30,802'	71° 05,565'
	<i>Tunga Norte</i>	31° 38,023'	71° 19,060'
	<i>Atelcura</i>	31° 33,394'	71° 21,770'
	<i>Agua Fría</i>	31° 29,293'	71° 22,221'
	<i>Carquindaño</i>	31° 28,173'	71° 24,756'
	<i>El Chilcal</i>	31° 21,893'	71° 26,097'
	<i>Yerba Loca</i>	31° 33,394'	71° 21,770'
	<i>Cañas del Choapa</i>	31° 44,883'	71° 18,650'
<i>Caracas los Vilos</i>	31° 53,762'	71° 27,771'	

El mapa con la ubicación de los sectores se presenta en la Figura 9.



**Figura 9.** Ubicación de los sectores en estudio

Fuente: Adaptado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Coquimbo\\_\(regi%C3%B3n\\_administrativa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Coquimbo_(regi%C3%B3n_administrativa))

## 4.2. Obtención y Características de la Información Base

### 4.2.1. Mediciones en clavos de erosión y variables físicas del suelo

La información se obtuvo a partir de mediciones efectuadas en parcelas experimentales con clavos de erosión, en el marco del proyecto: "Restauración hidrológico forestal y Oasificación: Herramientas claves para el aumento de la productividad de suelos degradados de la Región de Coquimbo", desarrollado por el Instituto Forestal y la Universidad de Talca, con financiamiento CORFO.

Esta información contiene las mediciones de 130 a 135 clavos por parcela, con 3 parcelas en cada sector y para un total de 30 sectores, divididos en las tres provincias de la Región de Coquimbo. Esto implica que cada medición involucra la medida de aproximadamente 11.970 clavos, para el total del estudio. La instalación de las parcelas se realizó entre los meses de Enero y Agosto de 2007 por personal involucrado en el proyecto. Asimismo, las mediciones son hechas por un contratista especialmente capacitado para cumplir con estas funciones.

Las mediciones se efectúan con una huincha métrica al costado de cada clavo, expresadas en centímetros (Figura 10). El volumen de datos fue recibido de manera periódica tras cada tormenta, resultando en un total de 4 envíos de información como promedio, dado que ciertos lugares en estudio presentan una mayor frecuencia de eventos de lluvia, que otras zonas de la región.

La medición de los clavos se realiza al menos 1 semana después de ocurrida la tormenta; esto para evitar errores por efecto de la humedad presente en el suelo.



**Figura 10.** Medición de los clavos de erosión

**Fuente:** Estándares de ingenierías para aguas y suelos (EIAS, 2007)

Junto a lo anterior, se enviaron muestras de suelo de cada uno de los sectores en estudio al Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos de la Universidad de Talca (CTSyC), las cuales fueron previamente colectadas por personal capacitado. La finalidad fue determinar los valores cuantitativos de densidad aparente, los cuales se expresaron en gramos por centímetro cúbico, gr/cc (equivalente a toneladas por metro cúbico, ton/m<sup>3</sup>), acorde a lo señalado en el subtítulo 3.4.2.2 del capítulo “III REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”. Junto con esto, el análisis contempló además la caracterización de cada suelo en función de su clase textural.

#### 4.2.2. Información pluviométrica

Además de los datos descritos, se obtuvo la información pluviométrica de los sectores mediante las lecturas de 18 pluviógrafos instalados en las provincias de la región, en el marco del proyecto antes señalado. La lista de sectores para los cuales se

dispuso de este instrumental, los cuales totalizan 6 por provincia, se expone en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Sectores con instrumental pluviográfico

Provincia	Pluviógrafo		
Elqui	<i>El Tambo</i> <i>Gualliguaica</i>	<i>Quebrada Honda</i> <i>Caldera y Damas</i>	<i>Las Cardas</i> <i>Tangue N°1</i>
Limarí	<i>Fray Jorge</i> <i>El Sauce</i>	<i>Pichasca</i> <i>Romeralsillo</i>	<i>Barraza</i> <i>La Rinconada</i>
Choapa	<i>Huanque</i> <i>Las Chinchillas</i>	<i>Atelcura</i> <i>El Chilcal</i>	<i>Cañas del Choapa</i> <i>Caracas los Vilos</i>

Cabe destacar que los pluviógrafos instalados alimentan generalmente a más de un sector en estudio, con lo cual fue posible generalizar la información pluviométrica obtenida para el total de sectores por provincia, a través de la determinación de las áreas de influencia de cada pluviógrafo, mediante la aplicación del método de los polígonos de Thiessen, incluido en el software de libre distribución GeoDA™.

Los polígonos de Thiessen, también conocidos como Polígonos de Voronoi o Teselación de Dirichlet, constituyen una importante técnica en el análisis de superficies. Al respecto, Backhoff (2005) señala su propiedad más importante, y es que mediante el método de Thiessen se forman límites de polígonos equidistantes entre "centroides" adyacentes. De esta forma, continúa el mismo autor, los polígonos generan un sistema de territorios delineados con áreas de influencia entre puntos contiguos. Para la aplicación de esta metodología a través del software señalado, fue necesario precisar de información de carácter primario, es decir, la georeferenciación de cada pluviógrafo, con cada uno de los datos expresados en coordenadas UTM.

Cada pluviógrafo instalado midió y presentó la información registrada en rangos de 0,2 milímetros (mm), especificando la fecha y hora exacta en la cual se produjeron los eventos de precipitación.

### 4.3. Etapas Metodológicas

#### 4.3.1. Revisión bibliográfica

Atendiendo a los objetivos planteados en este estudio, este apartado contempló la revisión de la bibliografía disponible respecto al tema de la erosión hídrica, principalmente en lo relacionado a su accionar y los aspectos ligados a evaluar el fenómeno. Se incluyeron distintas fuentes de información relacionadas con el tema, privilegiando la obtención de material actualizado y sustentado en estudios anteriores afines.

#### 4.3.2. Traspaso digital de la información

Este apartado involucró la digitalización de las mediciones de clavos de erosión, tarea que resultó indispensable en la posterior cuantificación y análisis de las distintas variables y procesos ocurridos. La información fue tabulada como se muestra en la Figura 11, en un formulario, el cual ordena los datos en 15 columnas (5 columnas por parcela) y 26 a 27 filas, según el sector en estudio.

Provincia:  
Sector:  
Fecha:  
Observaciones:

Parcela N° 1					Parcela N° 2					Parcela N° 3							
Clavo					Clavo					Clavo							
N°	1	2	3	4	5	N°	1	2	3	4	5	N°	1	2	3	4	5
1						1						1					
2						2						2					
3						3						3					
...						...						...					
n						n						n					

**Figura 11.** Formulario para el registro de los datos

**Fuente:** Elaboración propia en base a Cuitiño (1999).

#### 4.3.3. Cuantificación de la erosión hídrica, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado

Una vez tabulada la información, se determinaron los valores cuantitativos de erosión hídrica, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado, a través de la metodología descrita en el subtítulo 3.4.2.2 del capítulo "III REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA", todos ellos expresados en milímetros (mm) y toneladas por hectárea (ton/ha).

Estos cálculos se efectuaron para el total de información con la cual se contó, obteniendo valores tras cada tormenta y para cada sector, mediante la aplicación de un promedio aritmético entre las parcelas consideradas. En los cálculos y posteriores análisis se utilizó una planilla de cálculo Microsoft Excel 2007.

Además, es preciso señalar que la información recibida fue depurada, esto para evitar en lo posible estimar los procesos erosivos a partir mediciones que pudieran presentar algún tipo de error, principalmente humano. Para esto, se procedió a eliminar todas aquellas mediciones que arrojaban resultados erróneos, considerando como tales, todas las diferencias entre clavos que se encontraban fuera del rango comprendido



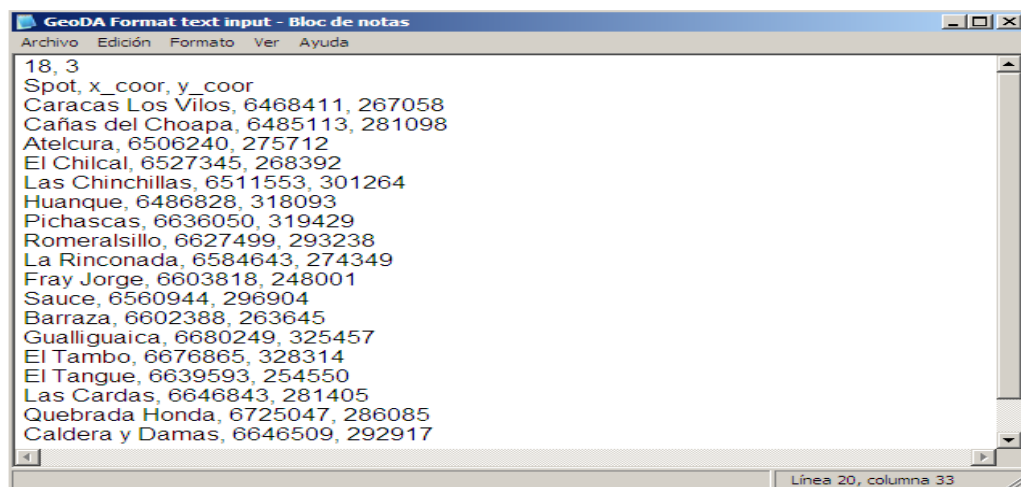
entre -0,49 y 0,49 cm. Como consecuencia de esto, algunas mediciones iniciales no fueron consideradas en el estudio.

#### 4.3.4. Análisis de los valores cuantitativos y variables físicas del suelo

En este apartado se analizaron los resultados obtenidos en el punto anterior, caracterizando los procesos erosivos por sector y provincia. Junto a esto, en el análisis se incorporó la textura del suelo y la densidad aparente de los lugares estudiados.

#### 4.3.5. Análisis y selección de la información pluviométrica

En esta etapa se procedió a aplicar el método de los polígonos de Thiessen a través del software GeoDa™. Para esto, fue necesario ordenar la información obtenida tras la georeferenciación de cada pluviógrafo en una planilla de texto con formato ASCII, esto como parte de los requerimientos del software para iniciar el módulo señalado (Anselin, 2005). La información se ordenó como se muestra en la Figura 12, y consistió de tres variables: un identificador (un número entero que identificó a cada pluviógrafo), la coordenada x (longitud) y la coordenada y (latitud) de cada pluviógrafo en estudio.



**Figura 12.** Formato de la entrada de datos del software GeoDa™.

Una vez realizado esto, fue posible entregar los datos al software para obtener los polígonos de Thiessen. Posteriormente, se ingresó, a través del mismo método, las coordenadas UTM de cada parcela en estudio, obteniendo finalmente las áreas de influencia de cada polígono creado.

Por otra parte, en este punto se identificaron las tormentas ocurridas, considerando como tales aquellas en las cuales la precipitación caída tuvo lapsos sin lluvia superiores a 24 horas.

Posteriormente, la información pluviométrica recibida fue sometida a dos etapas de selección, basándose principalmente en la cantidad de precipitación y la duración de las tormentas identificadas. Se utilizaron los siguientes criterios, que finalmente determinaron las variables a utilizar en los análisis posteriores:

- ❖ Períodos en los cuales se efectuaron las mediciones: Se seleccionó las tormentas considerando plazos variables de 1 a 4 semanas, entre la fecha de ocurrida la tormenta y la medición de los clavos.
  
- ❖ Selección de tormentas con un aporte mínimo de 0,4 mm: Considerando las características del lugar donde se sitúa este estudio, es decir, escasas precipitaciones y la frecuencia de eventos torrenciales, se decidió seleccionar todas las tormentas donde precipitó un monto igual o superior a 0,4 mm.

Como resultado, se trabajó con un promedio de 4 tormentas por sector, para el total de sectores que contaban con esta información.

#### 4.3.6. Determinación de las variables pluviométricas

Una vez caracterizadas las tormentas, se obtuvo el monto total de precipitación y la intensidad por tormenta. Además, considerando la naturaleza de los datos proporcionados, se obtuvieron las intensidades máximas de precipitación para rangos de aproximadamente 1 hora por cada tormenta.

#### 4.3.7. Análisis del proceso erosivo

Ya obtenidos los resultados anteriores, se procedió a analizar las características de los suelos en estudio, los registros pluviográficos y el comportamiento del proceso erosivo a lo largo del tiempo, determinando el grado de variación del fenómeno, dado un cierto número de períodos y para cada sector en estudio. Además, en este apartado se realizó un análisis gráfico de los resultados obtenidos, en función de la cantidad de precipitaciones caídas y la intensidad de éstas.

#### 4.3.8. Conclusiones y recomendaciones

En función de los objetivos planteados, los resultados obtenidos y su posterior análisis, se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones pertinentes al estudio propuesto.

## V. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Variables Físicas del Suelo

Como se especificó, el análisis de los suelos encargado al CTSyC de la Universidad de Talca, entregó una descripción de la densidad aparente y textural de los sectores en estudio, para cada provincia de la región y ensayo realizado. Los resultados entregados se presentan a continuación.

#### 5.1.1. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Elqui

En el Cuadro 3 se presentan los valores de densidad aparente y clase textural de cada suelo, para los sectores en estudio. No se evidencian grandes diferencias para los resultados entregados y en general, es posible afirmar que dominan los suelos de textura franco, con una densidad aparente que en promedio alcanza los 1,28 gr/cc.

**Cuadro 3.** Resultados de los análisis de textura y densidad, Provincia de Elqui

Sector	Clase Textural	Densidad (gr/cc)
<i>El Tambo</i>	franco arenoso	1,28
<i>Gualiguaica</i>	franco arcillo arenoso	1,17**
<i>Quebrada Talca</i>	areno francoso	1,25
<i>Quebrada Honda</i>	franco arenoso	1,30
<i>Caldera y Damas</i>	franco arcillo arenoso	1,31
<i>Las Cardas</i>	franco	1,21
<i>El Chacay</i>	areno francoso	1,29
<i>Quitallaco</i>	franco arcillo arenoso	1,39*
<i>Tangue Nº 1</i>	franco arenoso	1,24
<i>Tangue Nº 2</i>	franco arcillo arenoso	1,32

\* Valor máximo; \*\* Valor mínimo

El sector *Quitallaco*, presenta el máximo valor de densidad aparente cuyo monto es de 1,39 gr/cc y presenta un suelo franco arcillo arenoso. Por su parte, el valor mínimo se localiza en el sector *Gualliguaica*, el cual posee un valor de 1,17 gr/cc.

#### 5.1.2. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Limarí

Los resultados entregados para los sectores de la Provincia de Limarí, ponen de manifiesto una mayor presencia de suelos del tipo franco, con mayor cantidad de material tanto arenoso como arcilloso y una densidad que en promedio alcanza los 1,37 gr/cc (ver Cuadro 4), algo mayor que la Provincia de Elqui.

**Cuadro 4.** Resultados de los análisis de textura y suelos, Provincia de Limarí

Sector	Clase Textural	Densidad (gr/cc)
<i>Alcones</i>	franco arcillo arenoso	1,36
<i>Fray Jorge</i>	franco arenoso	1,34
<i>El Sauce</i>	franco arenoso	1,36
<i>Cogotí 18</i>	franco arenoso	1,81*
<i>Pichasca</i>	franco arenoso	1,33
<i>La Coipa</i>	arcillo arenoso	1,30
<i>Romaralsillo</i>	arcillo arenoso	1,39
<i>Barraza</i>	franco arcilloso	1,36
<i>El Espinal</i>	arcillo arenoso	1,13**
<i>La Rinconada</i>	franco arcillo arenoso	1,32

\* Valor máximo; \*\* Valor mínimo

En este caso, el sector *Cogotí 18* presenta el valor más alto del total provincial, mientras que en *El Espinal* se advierte el menor valor medido.

### 5.1.3. Análisis de textura y densidad de suelos, Provincia de Choapa

El Cuadro 5 presenta los resultados alcanzados para la Provincia de Choapa. Así, la granulometría en la mayoría de los sectores en estudio, corresponde a suelos de tipo franco, con presencia de arcillas y arena, a excepción del sector de *Agua Fría*, donde el material resultó más fino y fue clasificado en una clase textural de tipo arcilloso. Se evidencia que la densidad aparente en promedio, alcanzó un valor de 1,29 gr/cc, que corresponde a un valor intermedio, el cual resulta algo más alto que Elqui, pero inferior a Limarí.

**Cuadro 5.** Resultados análisis granulométrico Provincia de Choapa

Sector	Clase Textural	Densidad (gr/cc)
<i>Huanque</i>	franco arenoso	1,37
<i>Las Chinchillas</i>	franco arcillo arenoso	1,37
<i>Tunga Norte</i>	franco	1,19**
<i>Atelcura</i>	franco arcilloso	1,34
<i>Agua Fría</i>	arcilloso	1,32
<i>Carquindaño</i>	franco arenoso	1,19**
<i>El Chilcal</i>	franco arenoso	1,25
<i>Yerba Loca</i>	franco arenoso	1,40*
<i>Cañas del Choapa</i>	franco arcilloso arenoso	1,24
<i>Caracas Los Vilos</i>	franco arenoso	1,26

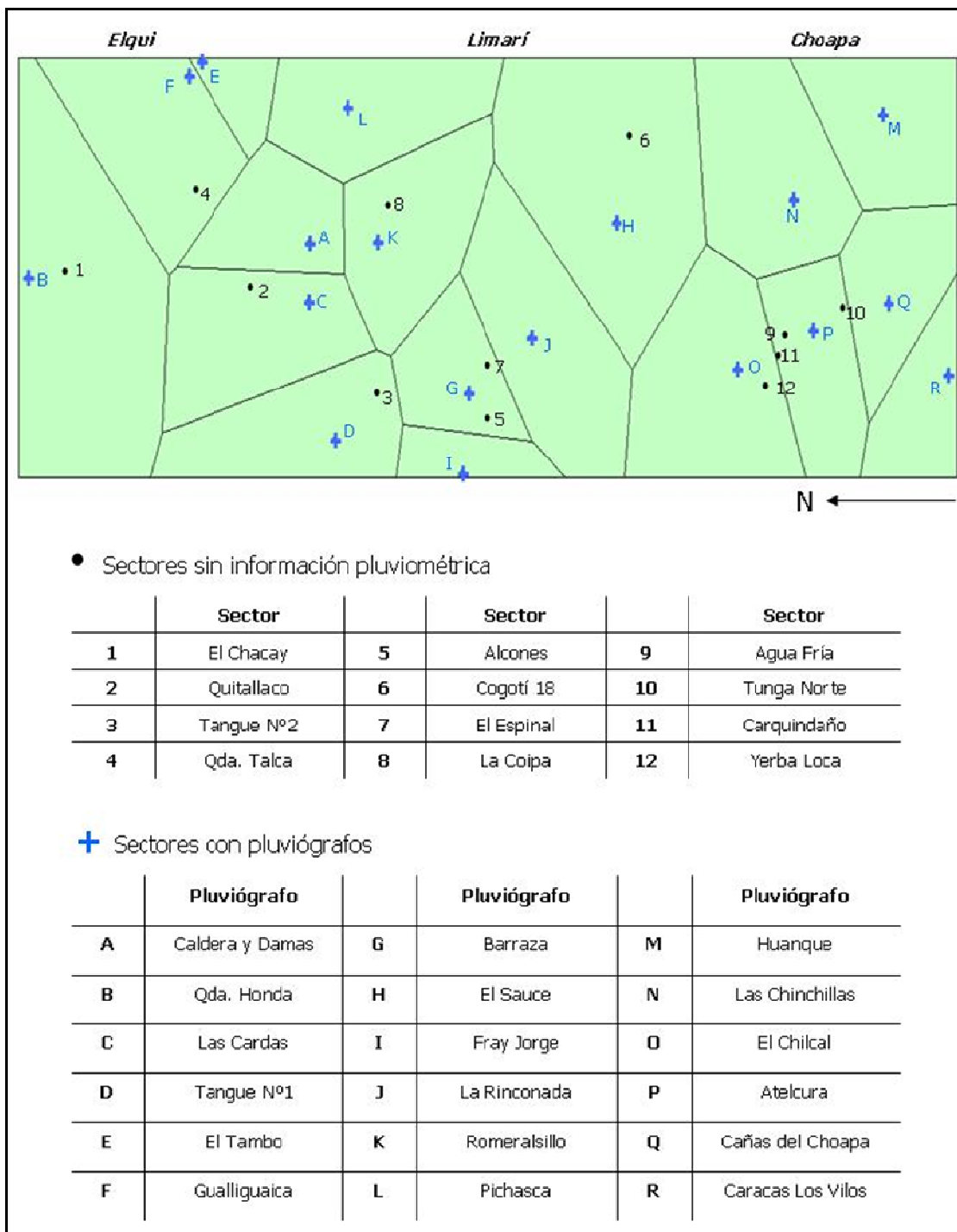
\* Valor máximo; \*\* Valor mínimo

En el cuadro se observa la variabilidad en términos de densidad que presentan los sectores de la Provincia de Choapa. Los valores fluctúan entre 1,19 gr/cc, correspondiente a los sectores de *Tunga Norte* y *Carquindaño*; y 1,40 gr/cc, correspondiente al sector de *Yerba Loca*.

## 5.2. Resultados Pluviométricos

### 5.2.1. Determinación de las áreas de influencia

Como puede apreciarse en la Figura 13, la salida del software entregó los polígonos o áreas de influencia para cada pluviógrafo instalado en la región, a partir de las coordenadas expresadas en UTM. Así, los sectores marcados con el signo “+” y ordenados por letras (desde A hasta R), representan los pluviógrafos instalados y a su vez, los sectores marcados con el signo “●” y ordenados con números (desde 1 a 12), representan los sectores que no poseen pluviógrafo, completando de esta forma los 30 sectores en estudio. Posteriormente en el Cuadro 6, se presentan los pluviógrafos, los sectores que éstos alimentan y la codificación que asocia a ambas ubicaciones en el plano.



**Figura 13.** Polígonos de Thiessen para los pluviógrafos en estudio



**Cuadro 6.** Resultados de la aplicación de los polígonos de Thiessen, para determinar las áreas de influencia de cada pluviógrafo

Provincia	Pluviógrafo	Sectores que alimenta	Código asociado
Elqui	<i>Caldera y Damas</i>	<i>Caldera y Damas</i>	A
	<i>Qda. Honda</i>	<i>Qda. Honda</i>	B
		<i>El Chacay</i>	B1
	<i>Las Cardas</i>	<i>Las Cardas</i>	C
		<i>Quitallaco</i>	C2
	<i>Tangue N° 1</i>	<i>Tangue N° 1</i>	D
		<i>Tangue N° 2</i>	D3
	<i>El Tambo</i>	<i>El Tambo</i>	E
<i>Gualliguaica</i>	<i>Gualliguaica</i>	F	
	<i>Quebrada Talca</i>	F4	
Limarí	<i>Barraza</i>	<i>Barraza</i>	G
		<i>Alcones</i>	G5
		<i>El Espinal</i>	G7
	<i>El Sauce</i>	<i>El Sauce</i>	H
		<i>Cogotí 18</i>	H6
	<i>Fray Jorge</i>	<i>Fray Jorge</i>	I
	<i>La Rinconada</i>	<i>La Rinconada</i>	J
	<i>Romeralsillo</i>	<i>Romeralsillo</i>	K
<i>La Coipa</i>		K8	
<i>Pichasca</i>	<i>Pichasca</i>	L	
Choapa	<i>Huanque</i>	<i>Huanque</i>	M
	<i>Las Chinchillas</i>	<i>Las Chinchillas</i>	N
	<i>El Chilcal</i>	<i>El Chilcal</i>	O
		<i>Yerba Loca</i>	O12
	<i>Atelcura</i>	<i>Atelcura</i>	P
		<i>Agua Fría</i>	P9
		<i>Tunga Norte</i>	P10
		<i>Carquindaño</i>	P11
<i>Cañas del Choapa</i>	<i>Cañas del Choapa</i>	Q	
<i>Caracas Los Vilos</i>	<i>Caracas Los Vilos</i>	R	

## 5.2.2. Resultados pluviométricos para la Provincia de Elqui

En el Cuadro 7, se presentan los resultados de las variables pluviométricas consideradas para la Provincia de Elqui.

**Cuadro 7.** Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Elqui

Sector	Pluviógrafo correspondiente	T	Fecha		Mpp (mm)	IT (mm/hr)	Imáx <sub>1h</sub> (mm/hr)
			Inicio	Término			
<i>El Tambo</i>	<i>El Tambo</i>	1	07/07/07	07/07/07	3,00	0,49	1,84
		2	09/08/07	10/08/07	7,00	0,21	2,21
		3	08/14/07	15/08/07	3,60	0,14	3,98
<i>Gualiguaica Qda. Talca</i>	<i>Gualiguaica</i>	1	07/05/07	08/05/07	0,40**	0,002**	0,001**
		2	09/05/07	10/05/07	1,60	0,75	0,03
<i>Qda. Honda El Chacay</i>	<i>Qda. Honda</i>	1	14/06/07	14/06/07	4,60	1,42	1,87
		2	07/07/07	07/07/07	1,00	0,24	0,72
		3	09/08/07	09/08/07	11,20	1,47	4,65
		4	14/08/07	14/08/07	3,00	1,21	1,72
<i>C. y Damas</i>	<i>C. y Damas</i>	1	09/08/07	10/08/07	8,40	0,25	1,74
		2	12/08/07	13/08/07	1,00	0,05	1,63
		3	14/08/07	17/08/07	6,40	0,25	1,88
<i>Las Cardas Quitallaco</i>	<i>Las Cardas</i>	1	14/06/07	14/06/07	12,60*	1,73*	5,76*
		2	20/06/07	20/06/07	0,80	0,38	0,62
		3	09/08/07	09/08/07	12,40	1,42	2,71
		4	12/08/07	12/08/07	1,60	0,39	0,70
		5	14/08/07	14/08/07	2,60	0,33	0,33
		6	25/09/07	25/09/07	0,80	0,80	0,45
<i>Tangue N°1 Tangue N°2</i>	<i>Tangue N°1</i>	1	14/06/07	15/06/07	6,80	0,55	2,38
		2	18/06/07	20/06/07	1,80	0,53	0,04

\* Valor máximo por variable; \*\* Valor mínimo por variable

Donde T es el número de tormentas; Mpp el monto total de precipitación; IT es la intensidad para la tormenta e Imáx<sub>1h</sub> corresponde a la intensidad máxima de precipitación para 1 hora.

Entre los meses de junio de 2007 y septiembre del mismo año, se registró un total acumulado de 90,6 mm para la provincia, donde los valores máximos y mínimos por tormenta se registraron en el sector de *Las Cardas*, con 12,6 mm (tormenta 1) y en *Gualliguaica*, con 0,4 mm (tormenta 1), respectivamente. Si se observa con detención el Cuadro 7, es posible enunciar que el sector que acumuló una mayor cantidad de precipitación fue *Las Cardas*, con un total de 30,8 mm, mientras en el sector de *Gualliguaica*, se registró las menores cantidades, acumulando un total de 2,0 mm.

De igual forma, la intensidad por tormenta más alta registrada en esta provincia, fue la ocurrida el día 14 de junio, para el pluviógrafo de *Las Cardas* (1,73 mm/hr), en tanto que la mínima se registró en el pluviógrafo de *Gualliguaica*, el día 7 de mayo, con un valor de 0,002 mm/hr.

Por último, la intensidad máxima en 1 hora, considerando el total de tormentas por provincia, se registró en el pluviógrafo ubicado en *Las Cardas*, con un valor de 5,76 mm/hr, para la tormenta ocurrida el 14 de junio. Por su parte, la intensidad mínima se registró nuevamente en el pluviógrafo de *Gualliguaica*, con 0,001 mm/hr.

### 5.2.3. Resultados pluviométricos para la Provincia de Limarí

En el Cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos luego de la selección y caracterización de tormentas registradas por los pluviógrafos.

**Cuadro 8.** Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Limarí

Sector	Pluviógrafo correspondiente	T	Fecha		MTpp (mm)	IT (mm/hr)	Imáx <sub>1h</sub> (mm/hr)
			Inicio	Término			
<i>El Sauce Cogotí 18</i>	<i>El Sauce</i>	1	13/06/07	14/06/07	15,60*	0,44	3,43
		2	08/08/07	09/08/07	11,40	0,62	4,10*
<i>La Rinconada</i>	<i>La Rinconada</i>	1	31/05/07	01/06/07	8,60	0,10	0,67
		2	13/06/07	15/06/07	8,60	0,17	1,98
		3	20/06/07	20/06/07	1,80	0,05	1,34
<i>Fray Jorge</i>	<i>Fray Jorge</i>	1	14/06/07	15/06/07	6,60	0,26	3,29
		2	20/06/07	25/06/07	2,00	0,52	0,96
		3	27/06/07	29/06/07	0,60*	0,01**	0,001**
<i>Barraza Alcones El Espinal</i>	<i>Barraza</i>	1	13/06/07	15/06/07	7,80	0,45	2,27
		2	20/06/07	21/06/07	2,00	0,06	0,68
		3	22/06/07	23/06/07	0,80	0,09	0,003
		4	08/08/07	09/08/07	8,00	0,80	1,44
		5	14/08/07	16/08/07	3,60	0,06	1,38
		6	24/08/07	25/08/07	1,40	0,06	0,46
		7	12/09/07	12/09/07	0,80	0,07	0,80
<i>Romeralsillo La Coipa</i>	<i>Romeralsillo</i>	1	08/08/07	10/08/07	9,40	1,13*	2,25
		2	14/08/07	18/08/07	6,40	0,07	1,51
<i>Pichasca</i>	<i>Pichasca</i>	1	13/06/07	14/06/07	14,00	0,39	3,14

\* Valor máximo por variable; \*\* Valor mínimo por variable

Donde T es el número de tormentas; Mpp el monto total de precipitación; IT es la intensidad para la tormenta e Imáx<sub>1h</sub> corresponde a la intensidad máxima de precipitación para 1 hora.

En esta provincia, para las mediciones registradas entre los meses de junio y septiembre de 2007, se obtuvo un monto total de precipitación acumulado de 109,4 mm. Respecto a los valores máximos y mínimos, en *El Sauce*, se presentó la máxima

cantidad de precipitación, 15,6 mm (tormenta 1). Por su parte, el valor mínimo fue registrado en la tormenta 3 de *Fray Jorge*, con 0,6 mm.

Para los valores de intensidad por tormenta, el valor más alto registrado se encuentra en el pluviógrafo de *Romeralsillo*, con 1,13 mm/hr. Asimismo, en el pluviógrafo de *Fray Jorge*, se encontró la intensidad mínima, con un valor de 0,01 mm/hr registrado en el mes de junio.

Con respecto a los resultados de intensidad máxima para 1 hora, el valor máximo se asocia al pluviógrafo de *El Sauce*, con 4,10 mm/hora (tormenta 2), mientras que el valor mínimo se registró en *Barraza*, con un valor de 0,003 mm/hora.

#### 5.2.4. Resultados pluviométricos para la Provincia de Choapa

**Cuadro 9.** Resultados de las variables pluviométricas, Provincia de Choapa

Sector	Pluviógrafo correspondiente	T	Fecha		MTpp (mm)	IT (mm/hr)	Imáx <sub>1h</sub> (mm/hr)
			Inicio	Término			
<i>Huanque</i>	<i>Huanque</i>	1	05/07/07	05/07/07	7,2	0,95	3,41
		2	21/07/07	22/07/07	4	0,28	2,45
		3	23/07/2007	23/07/2007	0,60**	2,33	2,33
		4	06/08/2007	06/08/07	0,8	0,23	0,72
		5	08/08/07	09/08/07	11,6	0,66	2,61
		6	14/08/07	14/08/2007	9,6	2,45	4,04
<i>Las Chinchillas</i>	<i>Las Chinchillas</i>	1	22/06/07	23/06/07	4,8	0,31	2,12
		2	05/07/2007	05/07/07	10,8	1,54*	5,41*
<i>Atelcura Agua Fría Tunga Norte Carquidaño</i>	<i>Atelcura</i>	1	31/05/07	31/05/07	6,6	0,43	3,82
		2	13/06/07	13/06/07	1,4	0,35	0,95
		3	21/06/07	22/06/07	0,60**	0,21	0,61
<i>Caracas Los Vilos</i>	<i>Caracas Los Vilos</i>	1	05/08/07	05/08/07	0,8	0,09	0,85
		2	08/08/07	09/08/07	16,80*	1,31	2,28
		3	14/08/2007	14/08/2007	8,8	1,24	3,84
<i>El Chilcal Yerba Loca</i>	<i>El Chilcal</i>	1	05/07/07	05/07/07	2,4	0,51	1,83
		2	21/07/07	22/07/07	0,60**	0,04**	0,20**
		3	08/08/07	09/08/07	14	1,01	2,76
		4	14/08/07	15/08/07	5,8	0,3	2,75
<i>Cañas del Choapa</i>	<i>Cañas del Choapa</i>	1	21/07/07	21/07/07	1,4	0,43	0,28
		2	08/08/07	09/08/07	11,6	1,11	2,1
		3	12/08/07	14/08/07	3,6	0,09	1,68

\* Valor máximo por variable; \*\* Valor mínimo por variable

Donde T es el número de tormentas; Mpp el monto total de precipitación; IT es la intensidad para la tormenta e Imáx<sub>1h</sub> corresponde a la intensidad máxima de precipitación para 1 hora.

Los resultados para la Provincia de Choapa señalan un monto total de precipitación acumulado de 116,6 mm, en donde el máximo registrado se encuentra en el pluviógrafo de *Caracas Los Vilos*, con 16,8 mm el día 8 de de agosto; en tanto la

menor cantidad de precipitación la comparten los sectores de *Huanque* (tormenta 3), *Atelcura* (tormenta 3) y *El Chilcal* (tormenta 2) con un total caído de 0,60 mm.

En cuanto a los valores de intensidad por tormenta, el valor más alto registrado en la provincia ocurrió el día 14 de agosto, para el pluviógrafo de *Huanque* (2,45 mm/hr). Respecto al valor mínimo, éste se registró en el pluviógrafo de *El Chilcal*, con 0,04 mm/hr (tormenta 2).

En relación a las intensidades máximas de precipitación para 1 hora, se registró el valor más alto en el pluviógrafo de *Huanque*, con 4,04 mm/hr, en tanto que la mínima se encontró en el pluviógrafo de *El Chilcal*, con 0,20 mm/hr. Sin embargo, a pesar de ser los valores mínimos, se evidencia que corresponden a los más altos registrados en la región.

### 5.3. Resultados de los Procesos Erosivos

Se muestran los resultados de los procesos erosivos por provincia, expresados en mm y en ton/ha. Al respecto, es preciso señalar que se trabajó con los datos sin redondear, es decir, con todos sus decimales. Sin embargo, para efectos de presentación y facilitar la lectura, a continuación se entregan los resultados con dos cifras significativas. Los valores *in extenso* se encuentran en el Apéndice 1.

#### 5.3.1. Resultados de los procesos erosivos en la Provincia de Elqui

A continuación se presentan los resultados para la Provincia de Elqui, los cuales están expresados en mm y ton/ha promedio por sector y a nivel provincial. La cuantificación de los procesos por parcela (en ton/ha) se presenta en el Apéndice 1.

**Cuadro 10.** Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Elqui (mm)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (mm)				Resultados acumulados (mm)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>El Tambo</i>	26/08/2007	0,36	0,09	0,26	0,45	0,36	0,09	0,26	0,45
	22/09/2007	0,27	0,01	0,27	0,28	0,63	0,10	0,53	0,73
<i>Gualliguaica</i>	26/08/2007	0,33	0,08	0,25	0,41	0,33	0,08	0,25	0,41
	22/09/2007	0,34	0,02	0,31	0,36	0,66	0,10	0,56	0,77
<i>Quebrada Talca</i>	22/06/2007	0,48	0,31	0,18	0,79	0,48	0,31	0,18	0,79
	25/08/2007	0,13	0,64	-0,52	0,77	0,61	0,95	-0,34	1,56
	22/09/2007	0,46	0,12	0,34	0,59	1,07	1,07	0,00	2,15
<i>Quebrada Honda</i>	21/06/2007	0,57	0,58	-0,01	1,15	0,57	0,58	-0,01	1,15
	27/08/2007	0,43	0,10	0,33	0,52	0,99	0,68	0,31	1,67
	23/09/2007	0,34	0,02	0,33	0,36	1,34	0,70	0,64	2,03
<i>Caldera y Damas</i>	25/08/2007	0,04	0,01	0,03	0,05	0,40	0,08	0,32	0,49
	21/09/2007	0,04	0,01	0,03	0,05	0,81	0,21	0,59	1,02
<i>Las Cardas</i>	24/06/2007	0,61	0,51	0,10	1,12	0,61	0,51	0,10	1,12
	24/08/2007	0,40	0,11	0,29	0,52	1,01	0,62	0,39	1,64
	21/09/2007	0,63	0,07	0,56	0,70	1,64	0,70	0,94	2,33
<i>El Chacay</i>	22/06/2007	0,58	0,16	0,42	0,74	0,58	0,16	0,42	0,74
	26/08/2007	0,26	0,07	0,19	0,32	0,83	0,23	0,61	1,06
	23/09/2007	0,47	0,16	0,32	0,63	1,31	0,39	0,92	1,69
<i>Quitallaco</i>	23/06/2007	0,49	0,64	-0,15	1,13	0,49	0,64	-0,15	1,13
	25/08/2007	0,37	0,07	0,31	0,44	0,86	0,70	0,16	1,57
	21/09/2007	0,37	0,02	0,34	0,39	1,23	0,73	0,50	1,96
<i>Tangue N°1</i>	26/06/2007	0,75	0,29	0,46	1,03	0,75	0,29	0,46	1,03
	24/08/2007	0,32	0,11	0,20	0,43	1,06	0,40	0,67	1,46
	14/09/2007	0,43	0,16	0,27	0,58	1,49	0,56	0,93	2,05
<i>Tangue N°2</i>	25/06/2007	0,63	0,45	0,19	1,08	0,63	0,45	0,19	1,08
	24/08/2007	0,37	0,14	0,23	0,51	1,00	0,59	0,42	1,59
	14/09/2007	0,26	0,00	0,26	0,26	1,26	0,59	0,68	1,85
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en mm)						<b>1,14</b>	<b>0,51</b>	<b>0,63</b>	<b>1,66</b>

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

Los resultados obtenidos suponen la pérdida neta media de una lámina de suelo con un espesor de 0,63 mm, en tanto que el suelo movilizado medio correspondió a



una lámina de 1,66 mm. En esta provincia la erosión superó a la sedimentación, con una altura media de 1,14 mm, ingresando al mismo tiempo una lámina de suelo de 0,51 mm. El Cuadro 11 presenta los procesos expresados en ton/ha.

**Cuadro 11.** Resultados promedio para la Provincia de Elqui (ton/ha)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (ton/ha)				Resultados acumulados (ton/ha)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>El Tambo</i>	26/08/2007	4,59	1,20	3,39	5,80	4,59	1,20	3,39	5,80
	22/09/2007	3,48	0,08	3,39	3,56	8,07	1,29	6,78	9,35
<i>Gualliguaica</i>	26/08/2007	3,83	0,93	2,90	4,76	3,83	0,93	2,90	4,76
	22/09/2007	3,93	0,28	3,65	4,21	7,76	1,21	6,55	8,98
<i>Quebrada Talca</i>	22/06/2007	6,03	3,83	2,20	9,86	6,03	3,83	2,20	9,86
	25/08/2007	1,57	8,06	-6,49	9,63	7,60	11,89	-4,29	19,49
	22/09/2007	5,81	1,53	4,27	7,34	13,41	13,42	-0,02	26,83
<i>Quebrada Honda</i>	21/06/2007	7,37	7,56	-0,19	14,93	7,37	7,56	-0,19	14,93
	27/08/2007	5,54	1,26	4,28	6,80	12,91	8,82	4,09	21,73
	23/09/2007	4,47	0,24	4,23	4,71	17,38	9,06	8,32	26,44
<i>Caldera y Damas</i>	25/08/2007	5,29	1,11	4,19	6,40	5,29	1,11	4,19	6,40
	21/09/2007	5,28	1,68	3,60	6,96	10,57	2,79	7,78	13,36
<i>Las Cardas</i>	24/06/2007	7,39	6,17	1,22	13,57	7,39	6,17	1,22	13,57
	24/08/2007	4,85	1,39	3,46	6,24	12,24	7,56	4,69	19,80
	21/09/2007	7,58	0,86	6,72	8,44	19,82	8,42	11,40	28,24
<i>El Chacay</i>	22/06/2007	7,47	2,09	5,38	9,56	7,47	2,09	5,38	9,56
	26/08/2007	3,29	0,86	2,44	4,15	10,76	2,95	7,82	13,71
	23/09/2007	6,10	2,03	4,08	8,13	16,87	4,97	11,90	21,84
<i>Quitallaco</i>	23/06/2007	6,83	8,85	-2,02	15,68	6,83	8,85	-2,02	15,68
	25/08/2007	5,16	0,92	4,24	6,09	11,99	9,78	2,22	21,77
	21/09/2007	5,10	0,34	4,75	5,44	17,09	10,12	6,97	27,21
<i>Tangue N°1</i>	26/06/2007	9,27	3,53	5,74	12,80	9,27	3,53	5,74	12,8
	24/08/2007	3,93	1,40	2,53	5,33	13,20	4,93	8,27	18,14
	14/09/2007	5,29	1,96	3,32	7,25	18,49	6,90	11,59	25,39
<i>Tangue N°2</i>	25/06/2007	8,36	5,90	2,46	14,27	8,36	5,90	2,46	14,27
	24/08/2007	4,86	1,83	3,02	6,69	13,22	7,74	5,48	20,96
	14/09/2007	3,48	0,01	3,46	3,49	16,70	7,75	8,94	24,45
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en ton/ha)						<b>14,62</b>	<b>6,59</b>	<b>8,02</b>	<b>21,31</b>

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

Para los períodos de medición se obtuvo una erosión media por sector y evento para la provincia de 14,62 ton/ha, en tanto que sedimentaron 6,59 ton/ha. Lo anterior resulta en una pérdida de suelo neta promedio de 8,02 ton/ha.

Respecto de los resultados de erosión neta media, es en el sector de *Tangua N°1*, donde se hace notoria la diferencia promedio de erosión y sedimentación, con 11,59 ton/ha para esta variable.

### 5.3.2. Resultados de los procesos erosivos en la Provincia de Limarí

**Cuadro 12.** Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Limarí (mm)

Sector	Fecha Medición	Resultados parciales (mm)				Resultados acumulados (mm)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Alcones</i>	22/08/2007	0,37	0,25	0,13	0,62	0,37	0,25	0,13	0,62
	12/09/2007	0,32	0,08	0,24	0,39	0,69	0,32	0,37	1,01
<i>Fray Jorge</i>	22/08/2007	0,57	0,41	0,16	0,98	0,57	0,41	0,16	0,98
	13/09/2007	0,38	0,01	0,38	0,39	0,95	0,42	0,53	1,37
<i>El Sauce</i>	28/06/2007	0,47	0,34	0,13	0,81	0,47	0,34	0,13	0,81
	21/08/2007	0,16	0,24	-0,09	0,40	0,63	0,58	0,04	1,21
	12/09/2007	0,19	0,27	-0,07	0,46	0,82	0,85	-0,03	1,67
<i>Cogotí 18</i>	20/08/2007	0,28	0,22	0,06	0,51	0,28	0,22	0,06	0,51
	11/09/2007	0,34	0,00	0,34	0,34	0,62	0,23	0,40	0,85
<i>Pichasca</i>	23/08/2007	0,31	0,15	0,16	0,45	0,31	0,15	0,16	0,45
	20/09/2007	0,32	0,00	0,32	0,32	0,62	0,15	0,48	0,77
<i>La Coipa</i>	23/08/2007	0,39	0,18	0,21	0,58	0,39	0,18	0,21	0,58
	20/09/2007	0,42	0,01	0,42	0,43	0,82	0,19	0,63	1,01
<i>Romeralsillo</i>	23/08/2007	0,47	0,16	0,31	0,63	0,47	0,16	0,31	0,63
	20/09/2007	0,53	0,00	0,53	0,53	1,01	0,16	0,84	1,17

Continúa

**Cuadro 12.** Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Limarí (mm)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (mm)				Resultados acumulados (mm)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Barraza</i>	22/08/2007	0,30	0,11	0,19	0,41	0,30	0,11	0,19	0,41
	12/09/2007	0,24	0,00	0,24	0,24	0,54	0,11	0,43	0,65
<i>El Espinal</i>	21/08/2007	0,24	0,13	0,11	0,37	0,24	0,13	0,11	0,37
	13/09/2007	0,32	0,00	0,32	0,32	0,56	0,13	0,43	0,7
<i>La Rinconada</i>	21/08/2007	0,1	0,53	-0,42	0,63	0,1	0,53	-0,42	0,63
	13/09/2007	0,38	0,02	0,36	0,4	0,48	0,54	-0,06	1,03
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en mm)						<b>0,71</b>	<b>0,31</b>	<b>0,40</b>	<b>1,02</b>

Conclusión

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

Los resultados señalan que en promedio, en la provincia de Limarí se perdió una lámina de suelo neta de 0,40 mm, al considerar una pérdida por erosión de 0,71 mm, mientras que la sedimentación alcanzó un valor de 0,31 mm. Para esta situación, el total de suelo movilizado en los procesos equivale a una lámina de suelo media de 1,02 mm.

A continuación, se presenta la cuantificación de los procesos expresados en ton/ha, para la provincia en estudio (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Resultados promedio para la Provincia de Limarí (ton/ha)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (ton/ha)				Resultados acumulados (ton/ha)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Alcones</i>	22/08/2007	4,93	3,24	1,69	8,17	4,93	3,24	1,69	8,17
	12/09/2007	4,18	1,00	3,18	5,18	9,10	4,24	4,86	13,34
<i>Fray Jorge</i>	22/08/2007	7,60	5,48	2,12	13,09	7,60	5,48	2,12	13,09
	13/09/2007	5,15	0,11	5,04	5,26	12,75	5,59	7,16	18,34
<i>El Sauce</i>	28/06/2007	6,37	4,62	1,76	10,99	6,37	4,62	1,76	10,99
	21/08/2007	2,17	3,33	-1,16	5,49	8,54	7,94	0,60	16,48
	12/09/2007	2,64	3,62	-0,99	6,26	11,18	11,56	-0,39	22,74
<i>Cogotí 18</i>	20/08/2007	5,13	4,06	1,06	9,19	5,13	4,06	1,06	9,19
	11/09/2007	6,15	0,02	6,13	6,17	11,28	4,08	7,20	15,35
<i>Pichasca</i>	23/08/2007	4,11	1,94	2,17	6,05	4,11	1,94	2,17	6,05
	20/09/2007	4,20	0,01	4,19	4,21	8,31	1,95	6,36	10,26
<i>La Coipa</i>	23/08/2007	5,13	2,40	2,74	7,53	5,13	2,40	2,74	7,53
	20/09/2007	5,51	0,12	5,40	5,63	10,65	2,51	8,13	13,16
<i>Romeralsillo</i>	23/08/2007	6,55	2,27	4,29	8,82	6,55	2,27	4,29	8,82
	20/09/2007	7,43	0,00	7,43	7,43	13,99	2,27	11,72	16,25
<i>Barraza</i>	22/08/2007	4,14	1,49	2,65	5,63	4,14	1,49	2,65	5,63
	12/09/2007	3,21	0,00	3,21	3,21	7,35	1,49	5,86	8,84
<i>El Espinal</i>	21/08/2007	2,70	1,51	1,19	4,22	2,70	1,51	1,19	4,22
	13/09/2007	3,64	0,01	3,64	3,65	6,35	1,52	4,83	7,87
<i>La Rinconada</i>	21/08/2007	1,37	6,96	-5,59	8,32	1,37	6,96	-5,59	8,32
	13/09/2007	5,04	0,23	4,80	5,27	6,40	7,19	-0,79	13,59
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en ton/ha)						<b>9,74</b>	<b>4,24</b>	<b>5,49</b>	<b>13,98</b>

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

Como se aprecia en el Cuadro 13, la erosión neta media para esta provincia corresponde a 5,49 ton/ha, para una situación de suelo desnudo y para el período dado. Lo anterior indica que el proceso dominante, al igual que en el resto de la Región de Coquimbo es la erosión. Esta afirmación se desprende de la pérdida de suelo promedio, de 9,74 ton/ha, mientras la sedimentación alcanza 4,24 ton/ha.

5.3.3. Resultados procesos erosivos en la Provincia de Choapa

**Cuadro 14.** Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Choapa (mm)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (mm)				Resultados acumulados (mm)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Huanque</i>	11/07/2007	0,31	0,27	0,04	0,57	0,31	0,27	0,04	0,57
	20/08/2007	0,10	0,37	-0,27	0,47	0,41	0,63	-0,22	1,04
	11/09/2007	0,21	0,00	0,21	0,21	0,62	0,63	-0,01	1,26
<i>Las Chinchillas</i>	12/07/2007	0,21	0,48	-0,28	0,69	0,21	0,48	-0,28	0,69
	20/08/2007	0,33	0,19	0,14	0,52	0,54	0,67	-0,14	1,21
	11/09/2007	0,26	0,04	0,22	0,30	0,80	0,71	0,08	1,51
<i>Tunga Norte</i>	10/07/2007	0,38	0,13	0,25	0,51	0,38	0,13	0,25	0,51
	12/08/2007	0,20	0,15	0,06	0,35	0,59	0,28	0,31	0,86
	18/08/2007	0,12	0,30	-0,18	0,42	0,71	0,57	0,13	1,28
	09/09/2007	0,21	0,00	0,21	0,21	0,92	0,57	0,35	1,49
<i>Atelcura</i>	12/07/2007	0,13	0,26	-0,13	0,40	0,13	0,26	-0,13	0,40
	12/08/2007	0,10	0,48	-0,39	0,58	0,23	0,75	-0,52	0,98
	18/08/2007	0,06	0,42	-0,36	0,47	0,28	1,16	-0,88	1,45
	09/09/2007	0,31	0,09	0,21	0,40	0,59	1,26	-0,67	1,85
<i>Agua Fría</i>	12/07/2007	0,16	0,33	-0,16	0,49	0,16	0,33	-0,16	0,49
	13/08/2007	0,48	0,12	0,36	0,59	0,64	0,44	0,20	1,08
	18/08/2007	0,08	0,34	-0,26	0,43	0,72	0,79	-0,07	1,51
	09/09/2007	1,16	0,00	1,16	1,16	1,88	0,79	1,09	2,66
<i>Carquindaño</i>	13/07/2007	0,25	0,13	0,12	0,38	0,25	0,13	0,12	0,38
	13/08/2007	0,19	0,14	0,04	0,33	0,43	0,27	0,16	0,71
	19/08/2007	0,13	0,15	-0,01	0,28	0,57	0,42	0,15	0,98
	10/09/2007	0,16	0,01	0,15	0,17	0,72	0,43	0,30	1,15

Continúa

**Cuadro 14.** Altura promedio de las mediciones de clavos de erosión para la Provincia de Choapa (mm)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (mm)				Resultados acumulados (mm)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>El Chilcal</i>	13/07/2007	0,34	0,12	0,22	0,46	0,34	0,12	0,22	0,46
	13/08/2007	0,13	0,13	0,00	0,27	0,47	0,26	0,22	0,73
	19/08/2007	0,15	0,08	0,08	0,23	0,63	0,33	0,29	0,96
	10/09/2007	0,41	0,00	0,41	0,41	1,04	0,33	0,71	1,37
<i>Yerba Loca</i>	02/07/2007	0,57	0,73	-0,16	1,30	0,57	0,73	-0,16	1,30
	13/07/2007	0,23	0,16	0,07	0,39	0,80	0,89	-0,09	1,69
	13/08/2007	0,11	0,17	-0,06	0,28	0,91	1,06	-0,15	1,96
	19/08/2007	0,13	0,12	0,01	0,26	1,04	1,18	-0,14	2,22
	10/09/2007	0,30	0,00	0,30	0,30	1,34	1,18	0,16	2,52
<i>Cañas del Choapa</i>	11/07/2007	0,34	0,31	0,03	0,66	0,34	0,31	0,03	0,66
	12/08/2007	0,15	0,17	-0,01	0,32	0,49	0,48	0,01	0,98
	17/08/2007	0,19	0,29	-0,10	0,47	0,68	0,77	-0,09	1,45
	08/09/2007	0,37	0,07	0,29	0,44	1,04	0,84	0,20	1,89
<i>Caracas Los Vilos</i>	11/08/2007	0,24	0,19	0,05	0,43	0,24	0,19	0,05	0,43
	17/08/2007	0,09	0,28	-0,19	0,37	0,33	0,47	-0,14	0,80
	08/09/2007	0,19	0,01	0,18	0,20	0,52	0,48	0,04	1,00
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en mm)						<b>0,95</b>	<b>0,72</b>	<b>0,23</b>	<b>1,67</b>

Conclusión

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

En el Cuadro 14 se advierte que la erosión neta de suelo en la Provincia de Choapa equivale a una lámina media de 0,23 mm.

La cuantificación de los procesos de Erosión, Sedimentación, Erosión Neta y Suelo Movilizado expresados en ton/ha se presentan en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Resultados promedio para la Provincia de Choapa (ton/ha)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (ton/ha)				Resultados acumulados (ton/ha)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Huanque</i>	11/07/2007	4,23	3,64	0,59	7,87	4,23	3,64	0,59	7,87
	20/08/2007	1,40	5,04	-3,64	6,44	5,63	8,68	-3,05	14,31
	11/09/2007	2,92	0,00	2,92	2,92	8,55	8,68	-0,13	17,23
<i>Las Chinchillas</i>	12/07/2007	2,81	6,63	-3,82	9,44	2,81	6,63	-3,82	9,44
	20/08/2007	4,52	2,59	1,93	7,11	7,34	9,22	-1,89	16,56
	11/09/2007	3,60	0,56	3,04	4,16	10,94	9,79	1,15	20,72
<i>Tunga Norte</i>	10/07/2007	4,57	1,54	3,03	6,11	4,57	1,54	3,03	6,11
	12/08/2007	2,40	1,74	0,65	4,14	6,96	3,28	3,69	10,24
	18/08/2007	1,47	3,56	-2,09	5,03	8,43	6,84	1,60	15,27
	09/09/2007	2,51	0,00	2,51	2,51	10,95	6,84	4,11	17,78
<i>Atelcura</i>	12/07/2007	1,78	3,52	-1,74	5,31	1,78	3,52	-1,74	5,31
	12/08/2007	1,29	6,49	-5,21	7,78	3,07	10,02	-6,95	13,09
	18/08/2007	0,74	5,57	-4,83	6,31	3,81	15,59	-11,78	19,40
	09/09/2007	4,09	1,26	2,83	5,35	7,91	16,85	-8,94	24,76
<i>Agua Fría</i>	12/07/2007	2,13	4,30	-2,16	6,43	2,13	4,30	-2,16	6,43
	13/08/2007	6,28	1,52	4,75	7,80	8,41	5,82	2,59	14,23
	18/08/2007	1,09	4,55	-3,45	5,64	9,50	10,37	-0,87	19,87
	09/09/2007	15,31	0,00	15,31	15,31	24,81	10,37	14,44	35,18
<i>Carquindaño</i>	13/07/2007	2,96	1,53	1,43	4,49	2,96	1,53	1,43	4,49
	13/08/2007	2,20	1,70	0,50	3,90	5,16	3,23	1,94	8,39
	10/09/2007	1,88	0,12	1,75	2,00	8,61	5,09	3,51	13,70
<i>El Chilcal</i>	13/07/2007	4,25	1,53	2,72	5,78	4,25	1,53	2,72	5,78
	13/08/2007	1,65	1,67	-0,02	3,32	5,90	3,20	2,70	9,10
	19/08/2007	1,93	0,96	0,97	2,89	7,83	4,16	3,67	11,99
	10/09/2007	5,17	0,01	5,16	5,18	13,00	4,17	8,84	17,17
<i>Yerba Loca</i>	02/07/2007	7,96	10,26	-2,30	18,22	7,96	10,26	-2,30	18,22
	13/07/2007	3,21	2,18	1,03	5,39	11,18	12,44	-1,26	23,62
	13/08/2007	1,51	2,35	-0,84	3,86	12,69	14,79	-2,10	27,48
	19/08/2007	1,86	1,72	0,14	3,58	14,55	16,51	-1,96	31,06
	10/09/2007	4,27	0,00	4,27	4,27	18,82	16,51	2,31	35,33

Continúa

**Cuadro 15.** Resultados promedio para la Provincia de Choapa (ton/ha)

Sector	Fecha medición	Resultados parciales (ton/ha)				Resultados acumulados (ton/ha)			
		E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<i>Cañas del Choapa</i>	11/07/2007	4,23	3,90	0,33	8,12	4,23	3,90	0,33	8,12
	12/08/2007	1,89	2,08	-0,18	3,97	6,12	5,98	0,15	12,10
	17/08/2007	2,30	3,55	-1,24	5,85	8,42	9,52	-1,10	17,94
	08/09/2007	4,53	0,91	3,62	5,44	12,96	10,43	2,52	23,39
<i>Caracas Los Vilos</i>	11/08/2007	2,99	2,39	0,59	5,38	2,99	2,39	0,59	5,38
	17/08/2007	1,13	3,52	-2,39	4,65	4,12	5,92	-1,80	10,03
	08/09/2007	2,43	0,14	2,29	2,56	6,54	6,05	0,49	12,59
Promedio por sector y evento (resultados acumulados en ton/ha)						<b>12,31</b>	<b>9,48</b>	<b>2,83</b>	<b>21,79</b>

Conclusión

E: Erosión; S: Sedimentación; En: Erosión neta; Sm: Suelo movilizado

Los resultados, luego de 4 meses de mediciones y para condiciones de suelo desnudo, señalan que la erosión neta media es de 2,83 ton/ha, asimismo, tras las tormentas, la Provincia de Choapa perdió en promedio 12,31 ton/ha pero al mismo tiempo entró una cantidad de 9,48 ton/ha. Lo anterior indica que en esta provincia el proceso dominante es la erosión.

Al observar con detención el Cuadro 15, se evidencia que en el sector de *Agua Fría* la pérdida neta de suelo alcanza las 14,44 ton/ha, valor muy por encima de los demás sectores en evaluación, los que en promedio no superan las 5 ton/ha.

Respecto a los valores de erosión neta con signo negativo, éstos indican que el aporte de material fue mayor que la pérdida de éste, por lo que el proceso dominante en esos sectores es la sedimentación. Estas entradas de material se hicieron notar en los sectores de *Huanque* y *Atelcura*, siendo esta última la que presenta los mayores valores, es decir, cerca de 8,9 ton/ha de material entrante.



#### 5.4. Resultados Regionales

Para los valores cuantitativos promedio, en el Cuadro 16 se presenta un resumen de los resultados, agrupados por Provincia.

**Cuadro 16.** Síntesis de los resultados por provincia

Provincia	Altura media de clavos (mm)				Medias en ton/ha				Densidad	Textura dominante
	E	S	En	Sm	E	S	En	Sm		
Elqui	1,14	0,51	0,63	1,66	14,62	6,59	8,02	21,31	1,28	franco arenoso
Limarí	0,71	0,31	0,40	1,02	9,74	4,24	5,49	13,98	1,37	
Choapa	0,95	0,72	0,23	1,67	12,31	9,48	2,83	21,79	1,29	

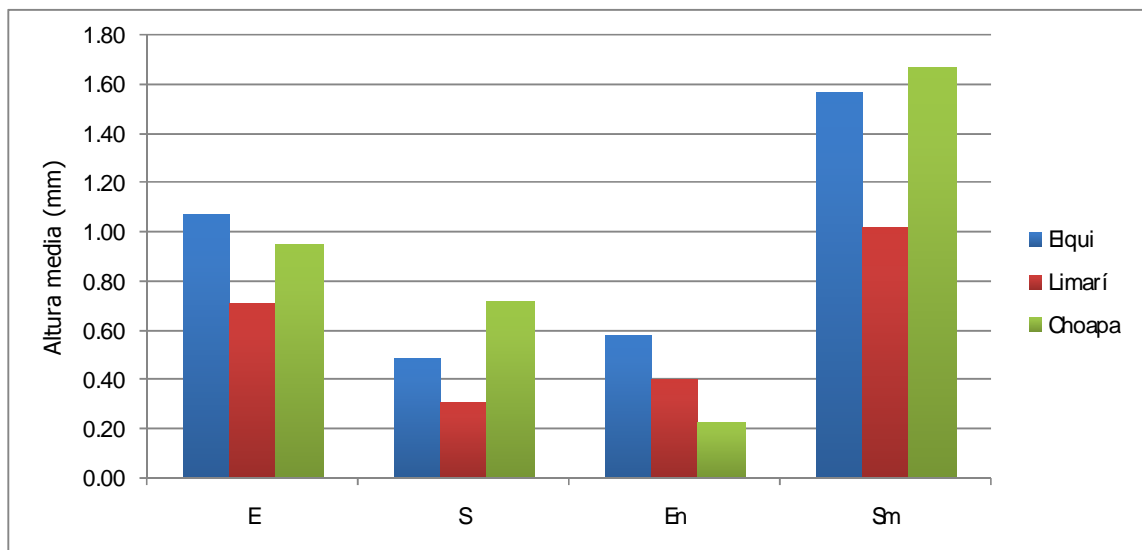
En cuanto al proceso de erosión, los valores promedio por sector, tanto en mm como en ton/ha, advierten que en la Provincia de Elqui es mayor la erosión, con 1,14 mm, que equivalen a 14,62 ton/ha. Luego, el valor que le sigue corresponde a la Provincia de Choapa, donde los valores de erosión cuantifican un promedio de 12,31 ton/ha, lo que señala la pérdida de una lámina de suelo de 0,95 mm. En último lugar, se señala que en la Provincia de Limarí el proceso de erosión es el menor, cuantificando un total promedio de 9,74 ton/ha, equivalente a una lámina de suelo de 0,71 mm de altura.

Para los resultados de sedimentación promedio por sector, los mayores valores los presenta la Provincia de Choapa, con una lámina de 0,72 mm de altura, que equivalen a 9,48 ton/ha. En segundo lugar se encuentra la Provincia de Elqui, donde sedimentó 6,59 ton/ha, para una lámina de suelo de 0,51 mm de altura. Finalmente, y al igual que el análisis anterior, en la Provincia de Limarí la cantidad de suelo que sedimenta es menor a las otras provincias, donde se advierte una sedimentación de una lámina de suelo de 0,31 mm de altura, lo que equivale a la entrada de 4,24 ton/ha de suelo.

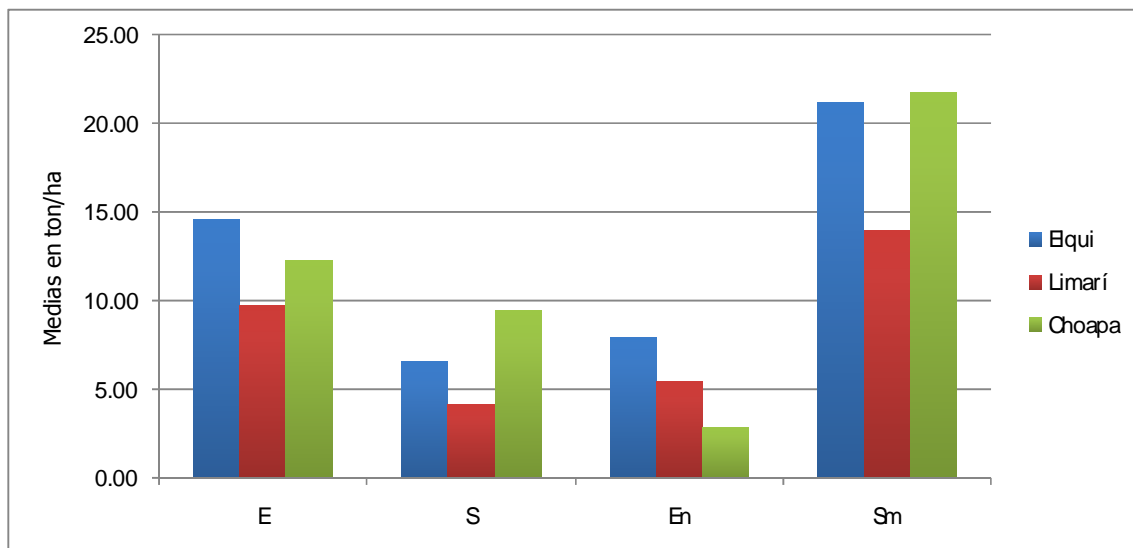
En tanto, para los valores de erosión neta promedio por sector, resulta categórico el señalar que, para el total de información proporcionada, la erosión es el proceso dominante en la Región de Coquimbo. Coincidentemente con una disposición Norte-Sur de las provincias, el proceso de erosión neta es decreciente, es decir, en Elqui la erosión neta cuantifica un promedio de 8,02 ton/ha, seguido por la Provincia de Limarí, con 5,49 ton/ha y finalmente la Provincia de Choapa, donde el proceso de erosión neta media fue de 2,83 ton/ha.

Para el suelo que se movilizó en promedio por sector, luego del accionar de las precipitaciones, los resultados indican que en la Provincia de Choapa se movilizó en promedio 21,79 ton/ha, seguida por la Provincia de Elqui, donde el suelo movilizado alcanzó 21,31 ton/ha. En Limarí, se advierte la menor cantidad de suelo movilizado, 13,98 ton/ha.

En los Gráficos 1 y 2 se presentan los resultados agrupados de altura media en mm y medias totales en ton/ha, para cada provincia en estudio.



**Gráfico 1.** Altura media en mm, para cada provincia en estudio



**Gráfico 2.** Medias totales en ton/ha, para cada provincia en estudio

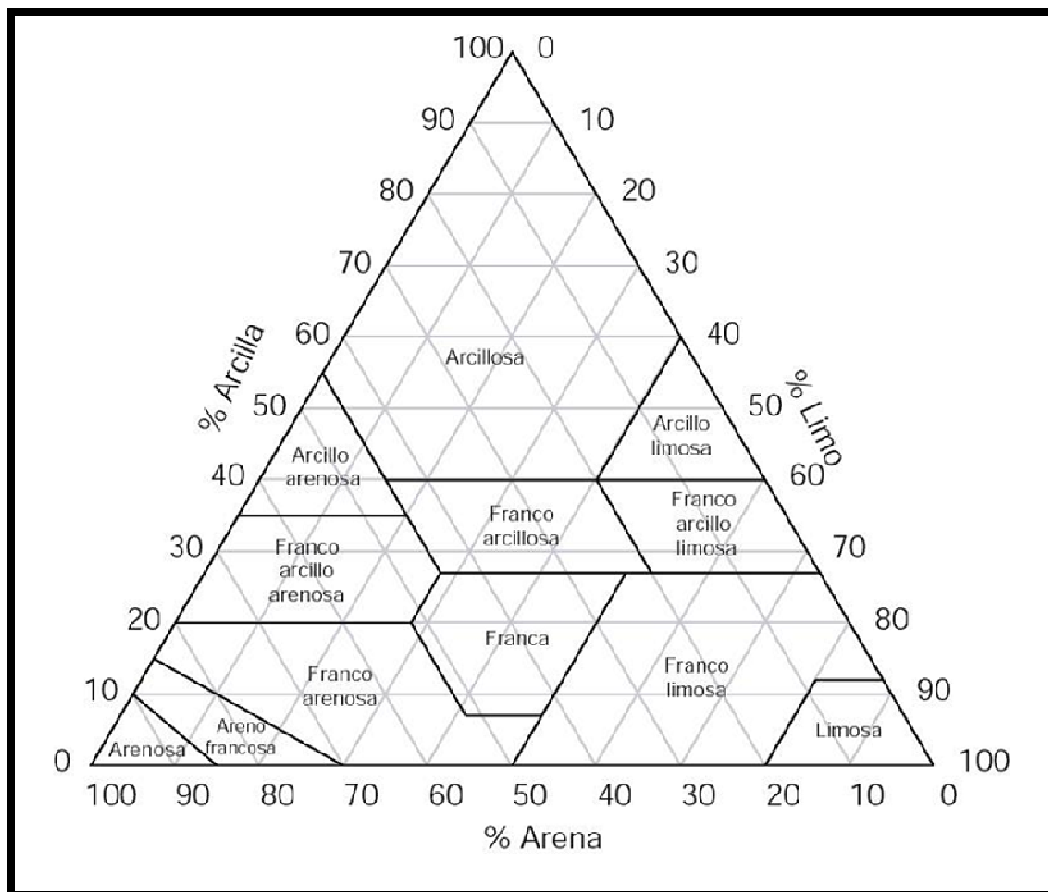
Donde E es la Erosión; S Sedimentación; En Erosión neta y Sm corresponde a Suelo movilizado.

## VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 6.1. Variables Físicas del Suelo

#### 6.1.1. Textura

Se determinó que la mayor parte de los suelos poseen textura franco arenoso, es decir, presentan entre un 50 a 70% de arena y aproximadamente un 20% de arcilla. La relación entre los contenidos de arcilla, arena y limo es posible graficarla en el triángulo de clases texturales de la Figura 14.



**Figura 14.** Triángulo textural según clasificación del USDA.

Fuente: [146.83.41.79/profesor/explora/web/guias/guia-profesores-02.pdf](http://146.83.41.79/profesor/explora/web/guias/guia-profesores-02.pdf)

Ligado a lo anterior, en el Cuadro 17 se entregan porcentajes que ocupa cada suelo respecto al total de sectores en estudio.

**Cuadro 17.** Porcentajes de textura de cada suelo sobre el total en estudio

Clase textural	%
franco arenoso	40,00
franco arcillo arenoso	26,67
arcillo arenoso	10,00
areno francoso	6,67
franco	6,67
franco arcilloso	6,67
arcilloso	3,33
TOTAL	100,00

Es posible apreciar que los suelos del tipo franco (independiente de su asociación) ocupan más del 80% de la región. El 20% restante, lo constituyen suelos arcillo arenosos, areno francosos y arcillosos, es decir, se distribuyen en la gran mayoría del triángulo textural.

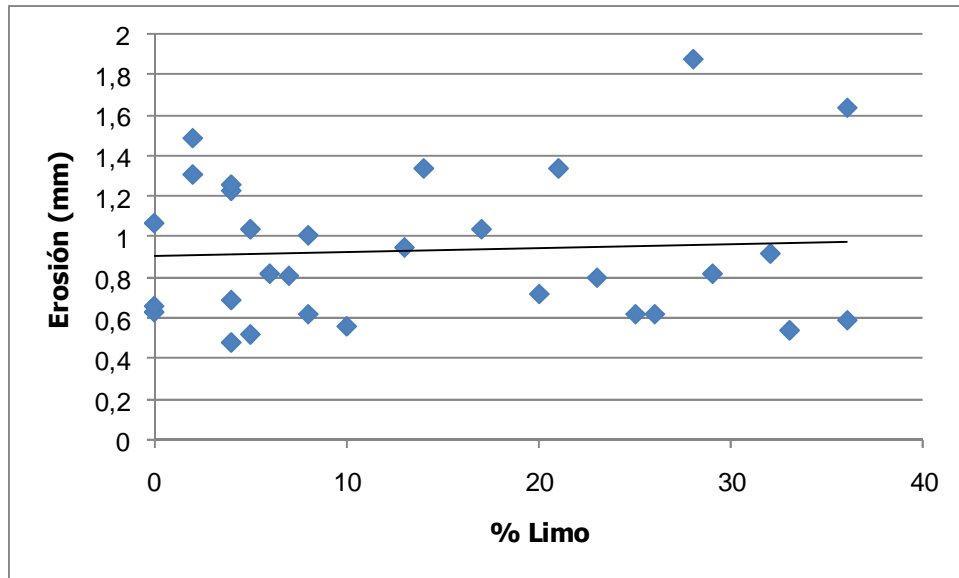
Al analizar esta situación por provincia, se observa que la mayor variedad de texturas se encuentra en el sector Sur, es decir, en la Provincia de Choapa y en general, no se evidencia un comportamiento latitudinal Norte - Sur que influya en el tipo de textura (Cuadro 18).

**Cuadro 18.** Porcentajes de textura de suelo para cada provincia

Provincia	Clase textural	%
Elqui	franco arcillo arenoso	40,00
	franco arenoso	30,00
	areno francoso	20,00
	franco	10,00
Limarí	franco arenoso	40,00
	arcillo arenoso	30,00
	franco arcillo arenoso	20,00
	franco arcilloso	10,00
Choapa	franco arenoso	50,00
	franco arcillo arenoso	20,00
	arcillosos	10,00
	franco arcilloso	10,00
	franco	10,00

Por otra parte, al analizar las texturas encontradas, se advierte que la región no presenta porcentajes considerables de limo, es decir, no presenta gran porcentaje de texturas intermedias, por lo cual, en una primera instancia, no resultaría significativo en los procesos erosivos. Sin embargo, acorde a González del Tánago (1991), está comprobado que es precisamente esta fracción textural la más representativa en el comportamiento erosivo, puesto que, experimentalmente, los suelos más erosionables corresponden a texturas intermedias (o sea, una fracción de limos más abundante).

Basándose en lo anterior, se relacionó las variables erosivas en función del porcentaje de limo de cada suelo en estudio, representados en el Gráfico 3.

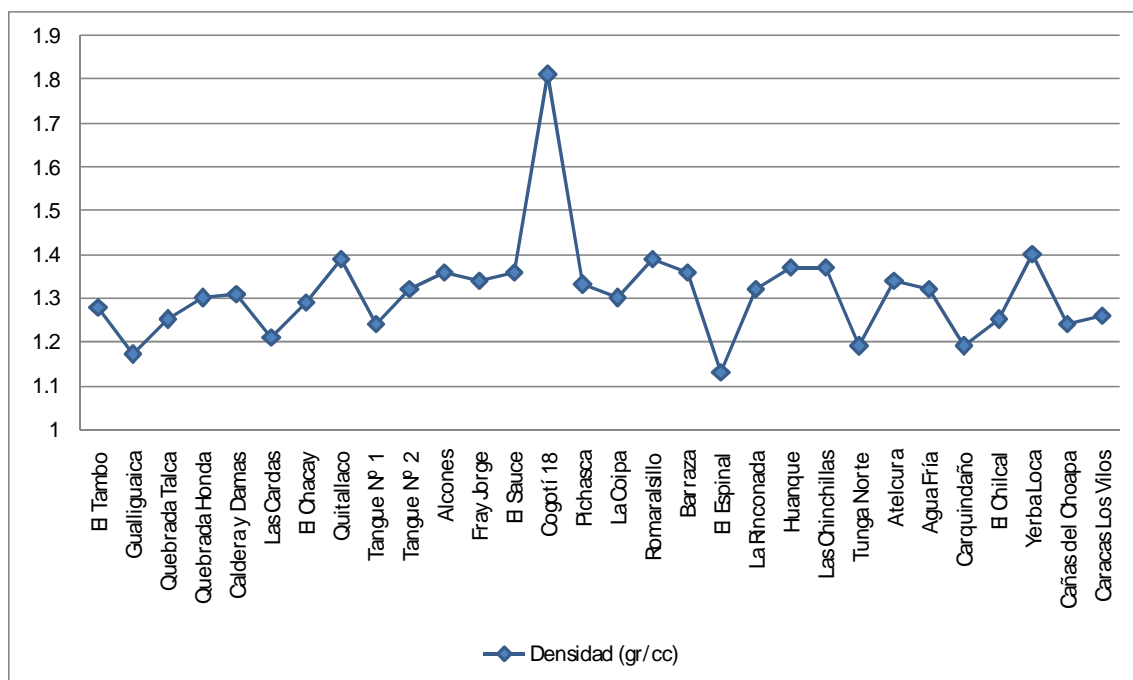


**Gráfico 3.** Relación proceso erosivo (mm) v/s porcentaje de limo

Como se aprecia, existe una leve tendencia lineal positiva, que obedece de manera muy sutil a lo señalado en el párrafo anterior, es decir, mayores porcentajes en la fracción de limo de los suelos los hacen más erosionables.

#### 6.1.2. Densidad aparente

En el Gráfico 4 se observan las variaciones de los valores de densidad aparente, para el total de sectores en estudio.



**Gráfico 4.** Variaciones de densidad aparentes a nivel regional

En general, los resultados no presentan gran variabilidad. El valor más alto se encuentra en el sector de *Cogotí 18*, con una densidad aparente de 1,80 gr/cc y el valor mínimo, con 1,13 gr/cc se evidencia en el sector *El Espinal*. Lo anterior supone una amplitud de aproximadamente 0,67 gr/cc, entre el valor máximo y el mínimo.

Para evidenciar por provincia, diferencias estadísticamente significativas entre los valores de densidad entregados, primero fue necesario comprobar si los resultados de densidad aparente presentaban una distribución normal y si existía homogeneidad entre sus varianzas, para que así pudieran ser analizadas con pruebas paramétricas a través de un análisis de varianza (ANOVA).

Tras los análisis, no se cumplió con ninguno de los supuestos necesarios para realizar el análisis de varianza, por lo que se utilizó una prueba no paramétrica, específicamente, la prueba de contrastes de Kruskal – Wallis para determinar si existió igualdad entre las medianas de las densidades para las distintas provincias. El Cuadro 19 resume los resultados para cada provincia de la región.



**Cuadro 19.** Prueba de Kruskal – Wallis para las densidades aparentes por provincia.

Provincia	Nº sectores	Valor-P	Decisión
Elqui	10	0,1256	<i>No existe diferencia entre las densidades</i>
Limarí	10		
Choapa	10		

Puesto que el valor-P es mayor a 0,05, se evidencia que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de densidad aparente, para las tres provincias, con un nivel de confianza de 95%.

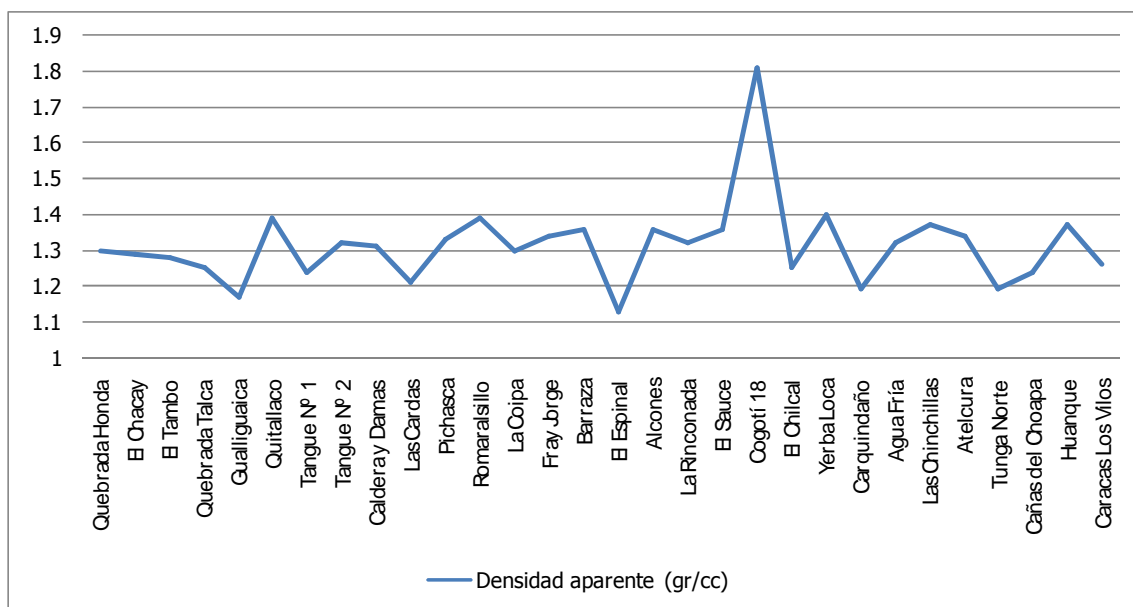
En el Cuadro 20 se observa un resumen con diferentes estadísticos para los valores de densidad aparente, para cada Provincia.

**Cuadro 20.** Resumen estadístico para valores de densidad aparente

Provincia	Nº sectores	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Elqui	10	1,28	0,062	1,17	1,39	0,22
Limarí	10	1,37	0,171	1,13	1,81	0,68
Choapa	10	1,29	0,077	1,19	1,40	0,21
Total promedio	30	1,31	0,117	1,13	1,81	0,68

Se aprecia que la densidad aparente promedio para el total de sitios en estudio es de 1,31 gr/cc. Respecto a los valores de desviación estándar, el mayor valor se encuentra en la provincia de Limarí, en la cual los datos presentaron una distancia promedio de 0,171 gr/cc respecto de la media.

Por otra parte, en el Gráfico 5, se presentan los sectores ordenados de Norte a Sur en función de los valores de densidad aparente, para determinar si éstos asumen un comportamiento latitudinal.



**Gráfico 5.** Densidad aparente (gr/cc) en función de la latitud, ordenadas de Norte a Sur

En general, se aprecia que la densidad de los suelos no siguen un marcado comportamiento latitudinal Norte - Sur, sólo es posible apreciar una muy leve tendencia a aumentar mientras los sectores se encuentran más al sur, reduciéndose así la aireación y la capacidad de infiltración de los suelos, a medida que aumenta la compactación de los mismos. Además en la gráfica se corrobora lo anunciado más arriba, respecto a la amplia variabilidad presente en la Provincia de Choapa.

En este contexto, se utilizó el siguiente indicador, el cual señala en cuantas veces representa la densidad máxima de la región, a la densidad de algún punto en particular:

$$I = \frac{\text{Densidad mayor} - \text{Densidad punto}}{\text{Densidad punto}}$$

Para este análisis se trabajó con el valor máximo para todas las regiones, evidenciado en *Cogotí 18*. Los resultados se entregan en el Cuadro 21.

**Cuadro 21.** Resultados tras la aplicación del indicador de densidad máxima

Elqui		Limarí		Choapa	
<i>Quebrada Honda</i>	0,39	<i>Pichasca</i>	0,36	<i>El Chilcal</i>	0,45
<i>El Chacay</i>	0,40	<i>Romaralsillo</i>	0,30	<i>Yerba Loca</i>	0,29
<i>El Tambo</i>	0,41	<i>La Coipa</i>	0,39	<i>Carquindaño</i>	0,52
<i>Quebrada Talca</i>	0,45	<i>Fray Jorge</i>	0,35	<i>Agua Fría</i>	0,37
<i>Gualiguaica</i>	0,55	<i>Barraza</i>	0,33	<i>Las Chinchillas</i>	0,32
<i>Quitallaco</i>	0,30	<i>El Espinal</i>	0,60	<i>Atelcura</i>	0,35
<i>Tangue Nº 1</i>	0,46	<i>Alcones</i>	0,33	<i>Tunga Norte</i>	0,52
<i>Tangue Nº 2</i>	0,37	<i>La Rinconada</i>	0,37	<i>Cañas del Choapa</i>	0,46
<i>Caldera y Damas</i>	0,38	<i>El Sauce</i>	0,33	<i>Huanque</i>	0,32
<i>Las Cardas</i>	0,50	<i>Cogotí 18</i>		<i>Caracas Los Vilos</i>	0,44

El cuadro muestra los resultados de la aplicación del índice para el valor máximo de densidad aparente, el cual se encuentra en el sector de *Cogotí 18*, Provincia de Limarí. El valor más alto pertenece al sector de *El Espinal* (sector con el menor valor de densidad aparente), también parte de la Provincia de Limarí, donde el índice alcanzó el valor de 0,60, es decir, el 60% de la densidad del sector es representada por la densidad máxima de la región. Así, valores mínimos representan densidades altas y valores mayores, representan densidades bajas.

## 6.2. Pluviometría

### 6.2.1. Áreas de influencia

Como se presentó anteriormente, para determinar las áreas de influencia se utilizó el método de los polígonos de Thiessen a través del software GeoDA™, el cual resultó ser una herramienta bastante ágil en la obtención de los resultados. Sin embargo, acorde a lo señalado por Pizarro *et al.* (2003b), la principal falencia de los polígonos radica en que sólo considera el posicionamiento de las estaciones y asume una superficie plana de influencia para cada una, sin considerar las diferencias

topográficas que se pueden presentar. Junto con esto, asume que la precipitación de la estación es la misma de la zona que representa geoméricamente, lo cual no siempre es cierto. Sin embargo, en el marco del estudio propuesto, los resultados permitieron obtener una adecuada estimación acerca de la situación pluviométrica de la región.

El trazado de las áreas de influencia logró asociar hasta un máximo de 3 sectores a la información de un pluviógrafo, como fue el caso del pluviógrafo instalado en el sector de *Atelcura* (letra "P", ver Figura 11), el cual alimentó de información a los sectores de *Agua fría*, *Tunga Norte*, *Carquindaño* y por supuesto, *Atelcura*. Sólo en este caso y, volviendo a lo señalado por Pizarro *et al.* (2003b), el considerar que la cantidad de precipitación es la misma para el total de 4 sectores, ligado a la escasa precipitación caída en *Atelcura*, pudo influir en resultados posteriores. Sin embargo, la causa de esto se debió a la ubicación espacial inicial de los sectores ubicados en la Provincia de Choapa, los cuales, acorde a las coordenadas entregadas, se encuentran bastante próximos uno del otro.

Para el resto de pluviógrafos, la situación que se repitió con mayor frecuencia fue la asociación del pluviógrafo solamente al sector donde éste estaba ubicado, es decir, no se asoció con ningún otro sector. Para esta situación, se contabilizó un total de 9 casos. Asimismo, a 7 pluviógrafos se les asoció otro sector (además, claro, del sector al cual pertenece el pluviógrafo) y sólo 1 pluviógrafo se asoció a dos sectores.

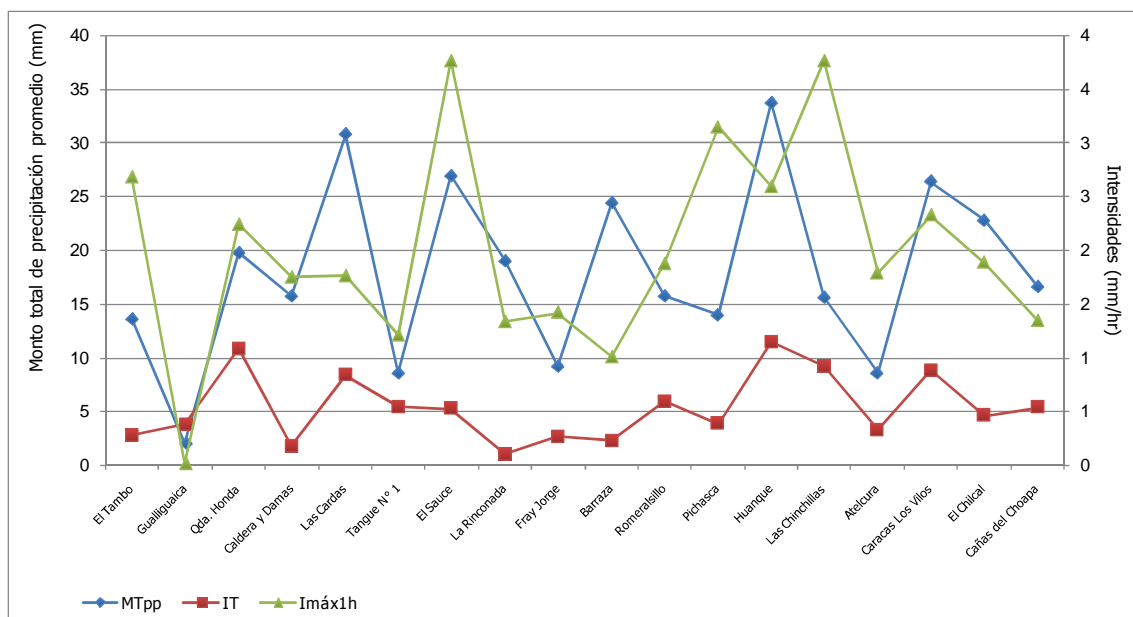
#### 6.2.2. Análisis regional

En el Cuadro 22 se entregan los resultados obtenidos para los valores promedio de monto total de precipitación, intensidad por tormenta e intensidades máximas para 1 hora, considerando el total de tormentas para las provincias en estudio.

**Cuadro 22.** Resumen de las variables pluviométricas promedio

Provincia	Pluviógrafo	Nº Tormentas	MTpp	IT	Imáx <sub>1h</sub>
Elqui	<i>El Tambo</i>	3	13,60	0,28	2,68
	<i>Gualiguaica</i>	2	2,00	0,38	0,02
	<i>Qda. Honda</i>	4	19,80	1,08	2,24
	<i>Caldera y Damas</i>	3	15,80	0,18	1,75
	<i>Las Cardas</i>	6	30,80	0,84	1,76
	<i>Tanque Nº 1</i>	2	8,60	0,54	1,21
Limarí	<i>El Sauce</i>	2	27,00	0,53	3,77
	<i>La Rinconada</i>	3	19,00	0,11	1,33
	<i>Fray Jorge</i>	3	9,20	0,26	1,42
	<i>Barraza</i>	7	24,40	0,23	1,00
	<i>Romeralsillo</i>	2	15,80	0,60	1,88
	<i>Pichasca</i>	1	14,00	0,39	3,14
Choapa	<i>Huanque</i>	3	33,80	1,15	2,59
	<i>Las Chinchillas</i>	2	15,60	0,93	3,76
	<i>Atelcura</i>	3	8,60	0,33	1,79
	<i>Caracas Los Vilos</i>	3	26,40	0,88	2,32
	<i>El Chilcal</i>	4	22,80	0,46	1,88
	<i>Cañas del Choapa</i>	3	16,60	0,54	1,35

Por su parte, en el Gráfico 6 se muestran los montos totales de precipitación para el total de pluviómetros, junto con las intensidades promedio para las tormentas y las intensidades máximas para 1 hora.



**Gráfico 6.** Montos totales de precipitación e intensidades promedio para las tormentas y máximas para 1 hora.

En este gráfico se observa que existe una leve relación entre los montos totales de precipitación y las intensidades promedio señalándose que, para la mayor parte de los casos, al aumentar la precipitación caída, aumenta la intensidad de ésta.

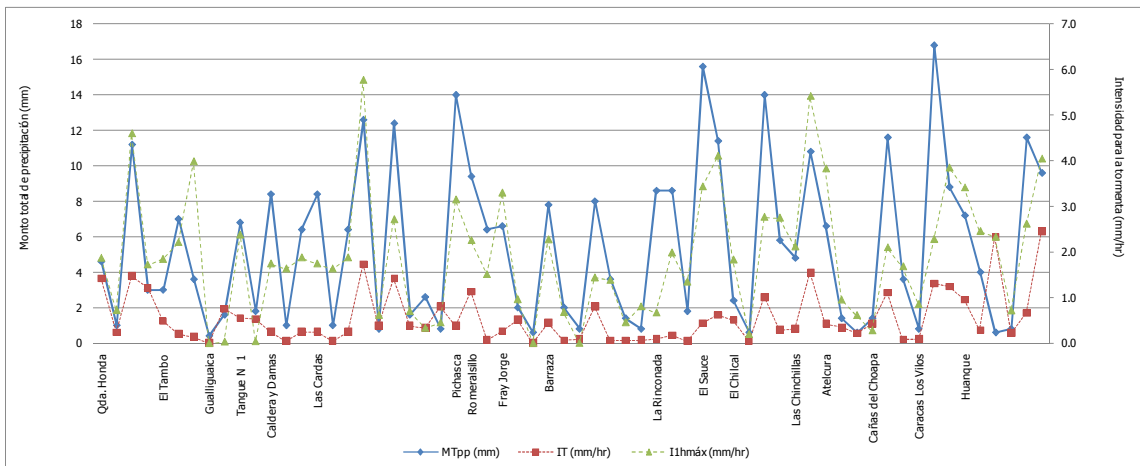
Además, es posible evidenciar con mayor claridad, los valores mínimos y máximos, tanto para el monto, como para las intensidades de precipitación. Respecto a esto, se evidencia que la mayor cantidad de precipitación se registró en el pluviógrafo del sector de *Huanque*, perteneciente a la Provincia de Choapa. A su vez, el mínimo caído se presentó en el pluviógrafo de *Gualliguaica*, en la Provincia de Elqui.

En tanto, los valores promedio de intensidad de precipitación, para el total de tormentas, la máxima pertenece a *Huanque* y la intensidad mínima se encuentra en el pluviógrafo de *La Rinconada*.

Por último, en las intensidades máximas para 1 hora, la máxima se registró en *El Sauce*, ubicado en la Provincia de Limarí, mientras que el valor mínimo pertenece al pluviógrafo de *Gualliguaica*, en Elqui.

A continuación se analiza la variabilidad y el comportamiento latitudinal de estas variables, considerando la ubicación Norte – Sur de los pluviógrafos.

Se presenta el Gráfico 7, el cual muestra el monto total de precipitación (MTpp) y las intensidades por tormenta promedio (IT e  $I_{1h\text{máx}}$ ), para el total de tormentas, considerando todos los pluviógrafos ordenados de Norte a Sur.



**Gráfico 7.** Variables pluviométricas ordenadas de Norte a Sur

En la gráfica se advierte que existe una leve tendencia de las lluvias a aumentar su cantidad e intensidad para la tormenta en función de la latitud, lo cual resulta lógico, debido a que las precipitaciones tienden a aumentar a medida que se avanza hacia la zona Sur. Respecto a la intensidad para 1 hora, la gráfica se presenta bastante irregular, no permitiendo emitir juicios sobre su comportamiento latitudinal, debido a la gran variabilidad que poseen los datos de este tipo.

Con la finalidad de explicar y complementar los resultados presentados anteriormente, se analizaron a nivel regional las variables pluviométricas consideradas en este estudio, a partir de los datos obtenidos del registro de los 18 pluviógrafos. Se presenta la media de los valores ( $\bar{x}$ ), su desviación estándar (S) y el resultante coeficiente de variación (Cv), para los pluviógrafos ordenados de Norte a Sur (Cuadro 23).

**Cuadro 23.** Parámetros para las variables pluviométricas por pluviógrafo

Pluviógrafo	MTpp (mm)			IT (mm/hr)			Imáx <sub>1h</sub> (mm/hr)		
	$\bar{x}$	S	Cv	$\bar{x}$	S	Cv	$\bar{x}$	S	Cv
<i>Qda. Honda</i>	4,95	4,42	0,89	1,08	0,57	0,53	2,24	1,69	0,75
<i>El Tambo</i>	4,53	2,16	0,48	0,28	0,18	0,66	2,68	1,14	0,43
<i>Gualliguaica</i>	1,00**	0,85**	0,85	0,38	0,53	1,41*	0,02**	0,02**	1,31
<i>Tangue N° 1</i>	4,30	3,54	0,82	0,54	0,02**	0,03**	1,21	1,65	1,37*
<i>Caldera y Damas</i>	5,27	3,83	0,73	0,18	0,12	0,65	1,75	0,12	0,07**
<i>Las Cardas</i>	5,13	5,74	1,12*	0,84	0,60	0,71	1,76	2,15	1,22
<i>Pichasca</i> <sup>3</sup>	14,00*			0,39			3,14		
<i>Romerillo</i>	7,90	2,12	0,27	0,60	0,75	1,26	1,88	0,53	0,28
<i>Fray Jorge</i>	3,07	3,14	1,02	0,26	0,25	0,96	1,42	1,69	1,19
<i>Barraza</i>	4,65	3,79	0,81	0,35	0,35	0,99	1,10	0,98	0,89
<i>La Rinconada</i>	6,33	3,93	0,62	0,11**	0,06	0,56	1,33	0,66	0,49
<i>El Sauce</i>	13,50	2,97	0,22**	0,53	0,13	0,24	3,77*	0,48	0,13
<i>El Chilcal</i>	5,70	5,94	1,04	0,46	0,41	0,89	1,88	1,21	0,64
<i>Las Chinchillas</i>	7,80	4,24	0,54	0,93	0,87	0,94	3,76	2,33*	0,62
<i>Atelcura</i>	2,87	3,26	1,14	0,33	0,11	0,33	1,79	1,76	0,98
<i>Cañas del Choapa</i>	5,53	5,37	0,97	0,54	0,52	0,96	1,35	0,95	0,71
<i>Caracas Los Vilos</i>	8,80	8,00*	0,91	0,88	0,68	0,78	2,32	1,49	0,64
<i>Huanque</i>	5,63	4,59	0,81	1,15*	1,00*	0,87	2,59	1,13	0,44

\* Valor máximo por parámetro

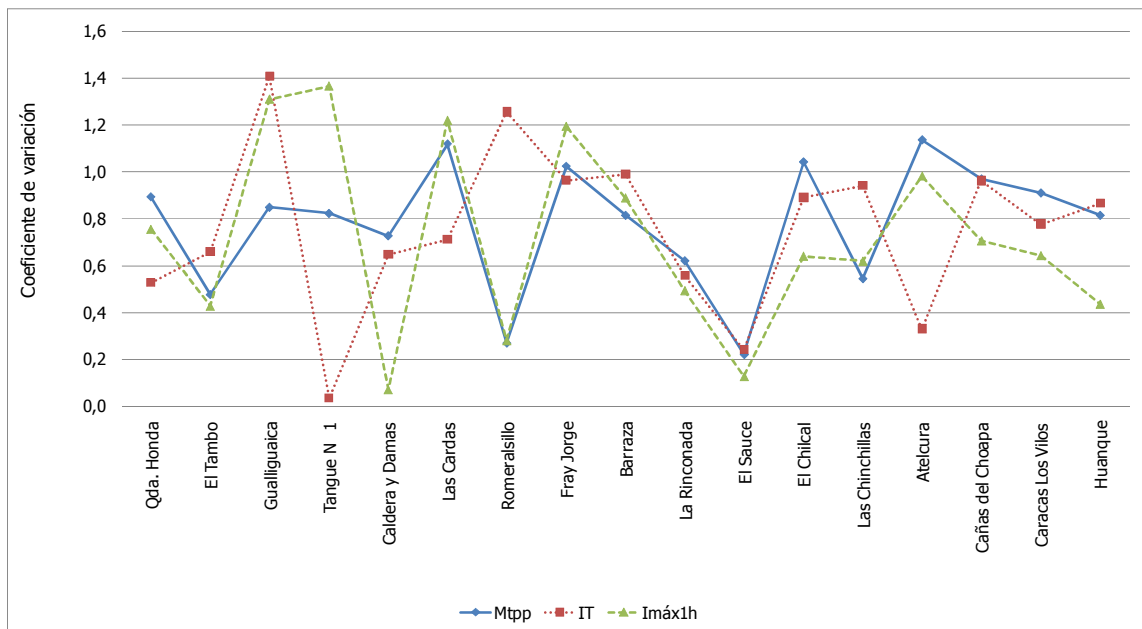
\*\* Valor mínimo por parámetro

En el cuadro se aprecian con claridad las máximas y mínimas por pluviógrafo, para los parámetros considerados. Con respecto al coeficiente de variación (Cv), en general se observa que la variabilidad de los datos se ve influenciada muy levemente

<sup>3</sup> En este sector no se entregan los valores de desviación estándar ni coeficiente de variación, puesto que se trabajó con sólo con la información de una tormenta.



por la latitud Norte - Sur. Esto se puede apreciar con mayor claridad en el Gráfico 8, el cual muestra el coeficiente de variación de las estaciones, para las variables pluviométricas ubicadas de Norte a Sur, donde la tendencia a medida que se avanza al Sur es a una disminución de la variabilidad, tanto para MTpp, IT como para Imáx<sub>1h</sub>. Además, el gráfico sirve para señalar en términos generales la amplia variabilidad de la información pluviométrica con la que se precisó, corroborando una situación frecuente en esta zona, la cual dice relación a los extremos eventos torrenciales de precipitación.



**Gráfico 8.** Coeficiente de variación de las estaciones, para las variables pluviométricas ubicadas de Norte a Sur

### 6.3. Procesos Erosivos

#### 6.3.1. Valores extremos de erosión

En la Provincia de Elqui, respecto a los valores extremos de erosión, se evidencia que el valor mínimo para esta variable se alcanzó en el sector de *Caldera y Damas*, con un total acumulado de 0,81 mm, equivalentes a 10,57 ton/ha. En tanto, el valor máximo para erosión se logró en el sector de *Tangue N° 1*, con una lámina de 1,49 mm, equivalentes a 18,49 ton/ha y en sector de *Las Cardas*, donde los 1,64 mm de altura resultaron en una erosión acumulada de 19,82 ton/ha. La situación anterior se explica debido a los valores de densidad aparente para cada sector, los cuales varían.

En la provincia de Limarí, el valor mínimo se encuentra en el sector *La Rinconada*, con una erosión acumulada de 0,48 mm, es decir, 6,40 ton/ha, además del sector *El Espinal*, con una erosión de 0,56 mm, lo que equivale a 6,35 ton/ha. Por otro lado, el valor máximo se alcanza en el sector de *Romeralsillo*, con una erosión equivalente a 1,01 mm, es decir, 13,99 ton/ha.

Por último en Choapa, el sector *Caracas Los Vilos* presenta el menor valor, 0,52 mm de altura acumulada, los que en términos macro, equivalen a 6,54 ton/ha. Con respecto a la máxima erosión evidenciada, se observó en el sector de Agua Fría una erosión de 1,88 mm, es decir, 24,81 ton/ha.

#### 6.3.2. Valores extremos de sedimentación

En la Provincia de Elqui, el valor mínimo en términos de sedimentación lo comparten *El Tambo* y *Gualliguaica*, con un valor 0,10 mm, lo que equivale a una

sedimentación de 1,29 y 1,21 ton/ha, respectivamente. Respecto al máximo, éste se evidenció en el sector *Las Cardas*, con la entrada de una lámina de 1,64 mm, correspondiente a 19,82 ton/ha.

En la Provincia de Limarí, la situación es la siguiente: En el sector de *Barraza* se encuentra el valor mínimo resultante para sedimentación, con 0,11 mm, lo que equivale a 1,49 ton/ha. Por su parte el máximo valor de sedimentación se encuentra en el sector de *El Sauce*, con aproximadamente 0,85 mm de suelo sedimentado, lo que corresponde a 11,56 ton/ha.

Para la Provincia de Choapa, el valor mínimo pertenece al sector El Chilcal, con 0,33 mm, es decir, 4,17 ton/ha. Respecto al máximo provincial en términos de sedimentación, éste se evidencia en el sector de *Altelcura*, con una lámina de suelo de aproximadamente 1,26 mm, equivalente a 16,85 ton/ha.

### 6.3.3. Valores extremos de erosión neta

Para la Provincia de Elqui, el valor mínimo se evidencia en el sector de *Quebrada Talca*, en donde lo erosionado fue muy similar a lo sedimentado, por lo que el valor es prácticamente cero, que amplificado a ton/ha resulta en una erosión de -0,02 ton/ha. Con respecto a las máximas, los sectores de *El Chacay*, *Tangue N° 1* y *Las Cardas* poseen valores similares, que bordean los 0,93 mm en altura de erosión neta y en promedio corresponden a 11,60 ton/ha.

En la Provincia de Limarí, el valor mínimo de erosión neta se advierte en el sector de *La Rinconada*, con -0,06 mm, es decir, -0,79 ton/ha. Por otro lado, el máximo valor se encontró en *Romeralsillo*, con 0,84 mm, equivalente a 11,72 ton/ha.

Por último, los valores extremos de erosión neta señalan en la Provincia de Choapa que el valor mínimo se encuentra en el sector de *Huanque*, con -0,01 mm (-0,13 ton/ha), mientras que la máxima está en el sector de *Agua Fría* con 1,09 mm, equivalente a 14,44 ton/ha.

#### 6.3.4. Valores extremos de suelo movilizado

Respecto a suelo movilizado, para la Provincia de Elqui el valor mínimo está representado por el sector de *Gualiguaica*, con 0,77 mm o su equivalente, 8,98 ton/ha. Por su parte, el valor máximo se advierte en *Las Cardas*, donde se movilizó una lámina de suelo de 2,33 mm, equivalente a 28,24 ton/ha.

En tanto, los resultados para la Provincia de Limarí advierten un monto mínimo de suelo movilizado de 0,65 mm (8,84 ton/ha) y 0,70 mm (7,87 ton/ha), para los sectores *Barraza* y *El Espinal*, respectivamente. Como puede observarse, existen diferencias en la selección del valor mínimo al considerar los valores expresados en mm o en ton/ha. La razón de esto resulta de la ponderación de los valores expresados en mm por la densidad aparente, la cual es menor en el sector de *El Espinal*.

Por otra parte, el valor máximo es representado en *El Sauce*, donde el suelo movilizado se acumuló hasta una altura de 1,67 mm, lo que equivale a 22,74 ton/ha.

En la Provincia de Choapa se encontró el valor mínimo para suelo movilizado en *Caracas Los Vilos*, el que cuantifica 12,59 ton/ha, que equivalen a una altura de suelo de 1,00 mm. En tanto el valor máximo se obtuvo en *Agua Fría* y *Yerba Loca*, con valores de 2,66 mm (35,18 ton/ha) y 2,52 mm (35,33 ton/ha), respectivamente. Como pudo apreciarse, en este caso la densidad aparente influenció en el resultado final, tal como sucedió en los resultados de la Provincia de Limarí.

En este contexto, en el Cuadro 24 se presenta una síntesis de la información entregada.

**Cuadro 24.** Síntesis de los valores extremos para los procesos erosivos en los distintos sectores

Proceso	Elqui		Limarí		Choapa	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Erosión	<i>Caldera y Damas</i>	<i>Tangue N°1</i>	<i>La Rinconada</i> <i>El Espinal</i>	<i>Romeralsillo</i>	<i>Caracas Los Vilos</i>	<i>Agua Fría</i>
Sedimentación	<i>El Tambo</i> <i>Gualliguaica</i>	<i>Las Cardas</i>	<i>Barraza</i>	<i>El Sauce</i>	<i>El Chilcal</i>	<i>Atelcura</i>
Erosión neta	<i>Quebrada Talca</i>	<i>El Chacay</i> <i>Tangue N°1</i> <i>Las Cardas</i>	<i>La Rinconada</i>	<i>Romeralsillo</i>	<i>Huanque</i>	<i>Agua Fría</i>
Suelo movilizado	<i>Gualliguaica</i>	<i>Las Cardas</i>	<i>Barraza</i> <i>El Espinal</i>	<i>El Sauce</i>	<i>Caracas Los Vilos</i>	<i>Agua Fría</i> <i>Yerba Loca</i>

#### 6.4. Comportamiento del Proceso Erosivo

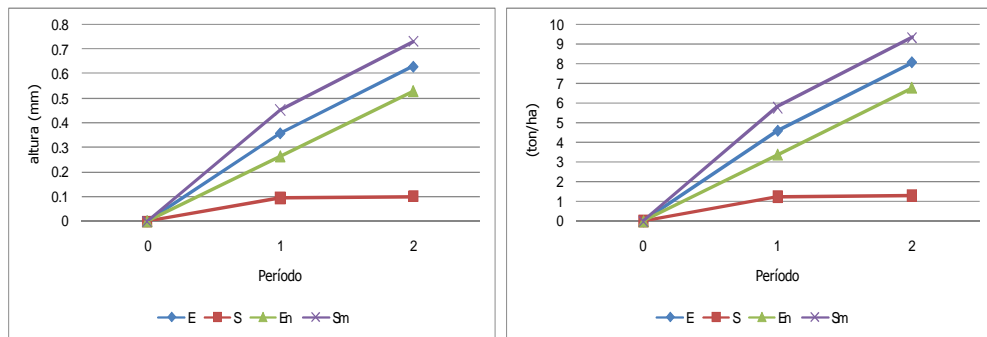
En el Apéndice 2 se presentan los resultados gráficos que señalan el comportamiento de los procesos erosivos en función del número total de períodos por sector (fechas en las que se efectuó las mediciones), mostrando las curvas acumuladas en mm y ton/ha.

En los gráficos presentados, tanto para la altura media como para los valores expresados en ton/ha, se vislumbra un comportamiento similar entre sectores y entre provincias, con una tendencia creciente en el tiempo a excepción de los resultados de Erosión Neta, que en ciertos sectores presenta fluctuación, es decir, alzas y bajas en

algunos períodos. Este hecho se debe a que en algunos períodos, el proceso dominante no fue la erosión, sino que correspondió a la sedimentación, generando así menores pérdidas de suelo. Esto se aprecia con claridad en los gráficos presentados (Apéndice 2), en los cuales la curva correspondiente a sedimentación está por sobre la curva de erosión, lo que genera una erosión neta con valor negativo, es decir, existió mayor entrada que pérdida de suelo en la parcela. A continuación se describe la situación general para cada provincia.

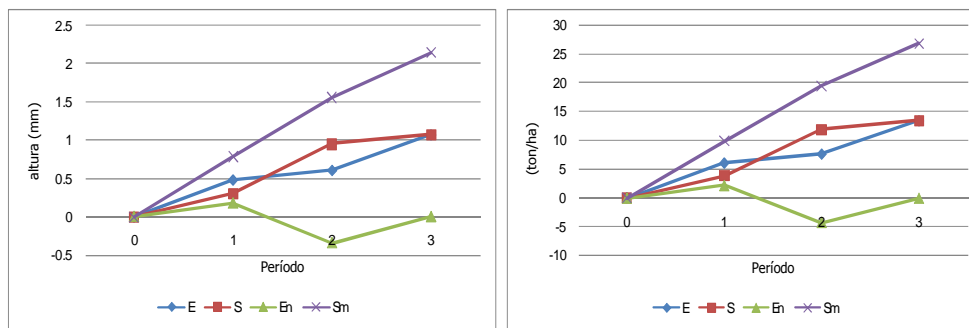
#### 6.4.1. Provincia de Elqui

En la Provincia de Elqui, los resultados de erosión neta se distribuyen de manera creciente en la gran mayoría de los sectores, es decir, es posible apreciar de forma gráfica que el proceso dominante en esta provincia es la erosión. Las excepciones se presentan en los sectores de *Quebrada Talca* y *Quitallaco*, los cuales poseen un importante quiebre para los valores de erosión neta en el segundo y primer período de mediciones, respectivamente. En los Gráficos 9, 10, 11 y 12, se aprecian con claridad las situaciones descritas, presentando ejemplos representativos de algunos de los sectores en estudio. Como se señaló más arriba, el resto de gráficos se aloja en el Apéndice 2.



**Gráfico 9 y Gráfico 10.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: *El Tambo*

Los Gráficos 9 y 10, presentan una de las situaciones descritas anteriormente, la que dice relación al comportamiento creciente de los valores de erosión neta, situación que es una constante para la provincia, ya sea en términos de altura promedio (mm), como de medias en ton/ha.



**Gráfico 11 y Gráfico 12.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: *Quebrada Talca*

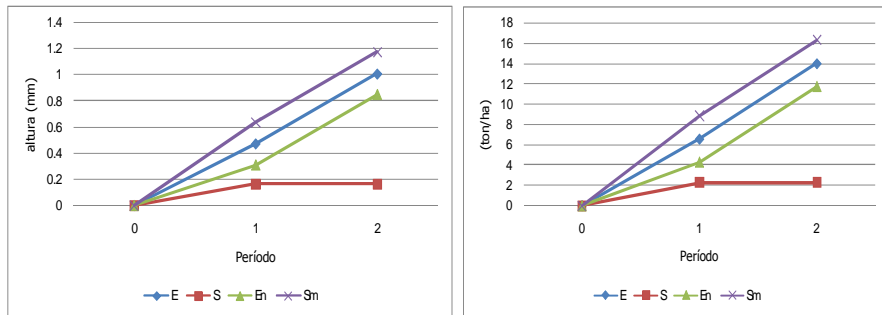
Asimismo, en los Gráficos 11 y 12 se observa un importante quiebre en los valores de erosión neta (correspondiente al sector *Quebrada Talca*), el cual determina un comportamiento irregular para este proceso y el conjunto de procesos involucrados. Cabe señalar que no se evidencian diferencias entre ambas gráficas, y se vislumbran comportamientos similares tanto si se habla en términos de altura promedio (mm), o medias en ton/ha.

#### 6.4.2. Provincia de Limarí

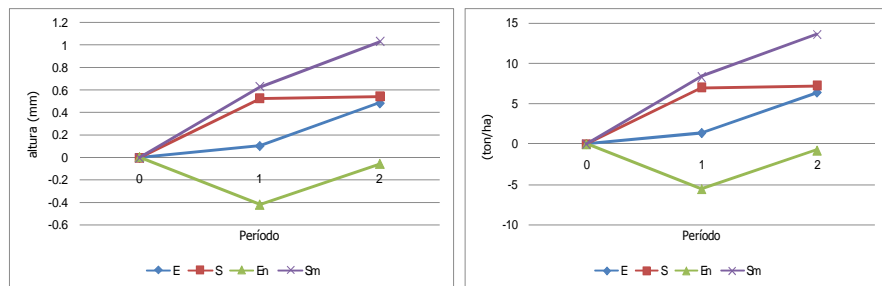
La situación de la provincia de Limarí es bastante similar a Elqui. Las relaciones entre erosión y sedimentación resultan en un comportamiento creciente a lo largo de los períodos considerados, con mayores valores de erosión, lo que define a este proceso como el dominante para la provincia. Existe una excepción, por supuesto, evidenciada en el sector de *La Rinconada*, en la cual se produce un pronunciado

quiebre en el período 1 (que corresponde a la medición luego de la primera tormenta), el que determina como proceso dominante a la sedimentación.

Al igual que los resultados anteriores, se presentan los Gráficos 13, 14, 15 y 16, ilustrando ambas situaciones.



**Gráfico 13 y Gráfico 14.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha; sector de ejemplo: *Romeralsillo*



**Gráfico 15 y Gráfico 16.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: *La Rinconada*

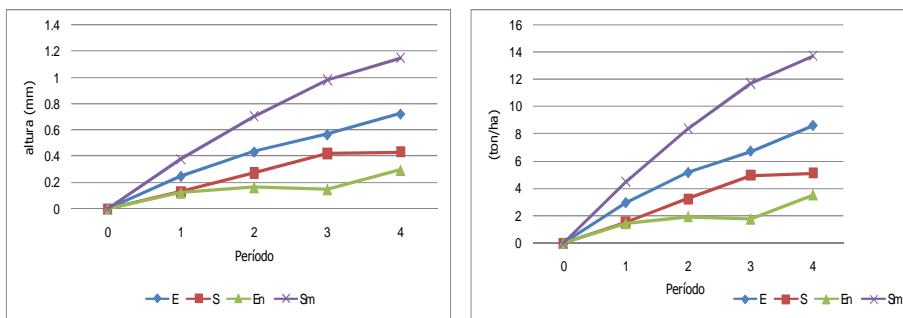
#### 6.4.3. Provincia de Choapa

En esta Provincia, las fluctuaciones en los resultados de erosión neta es la situación que persiste entre los sectores, a excepción de *Tunga Norte*, *Carquindaño* y *El Chilcal*, donde la erosión neta tuvo un comportamiento creciente y sin quiebres a lo largo de los períodos considerados (ver Gráficos 17 y 18).

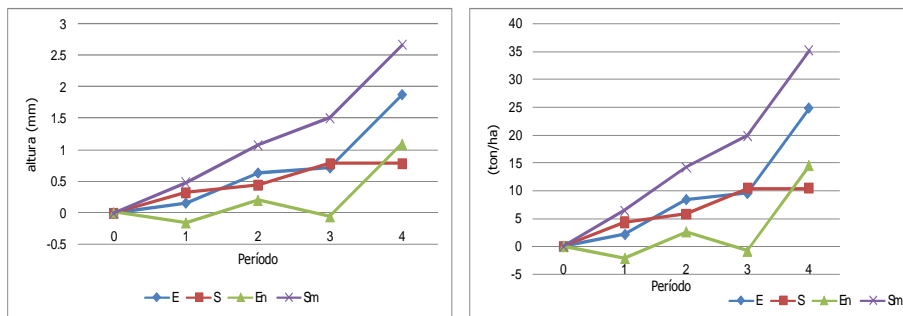


Para el resto de sectores, las fluctuaciones presentan dos situaciones: las relaciones entre erosión y sedimentación son estrechas o bien los resultados de sedimentación se distribuyen por sobre sus pares erosivos. En el primer caso existen quiebres con resultados negativos que influyen en la cuantificación final (ver Gráficos 19 y 20) y en el segundo caso, resulta indiscutible que en el sector entró una mayor cantidad de material del que erosionó, resultando en una erosión neta con signo negativo. Respecto a lo último, el comportamiento descrito se visualiza con claridad en los gráficos de los sectores de *Atelcura* y el sector de *Yerba Loca*, tal como se puede evidenciar en el ejemplo presentado en los Gráficos 21 y 22. El comportamiento del resto de sectores corresponde a la situación detallada en primera instancia.

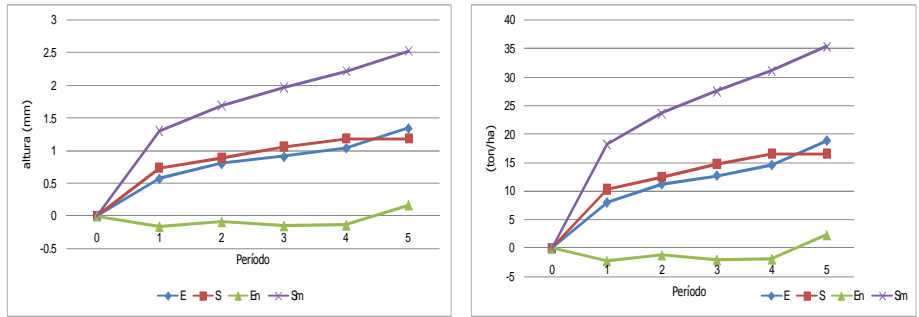
Como se adelantó, a continuación se presentan las gráficas que ejemplifican las situaciones descritas para la Provincia de Choapa.



**Gráfico 17 y Gráfico 18.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: *Carquindaño*.



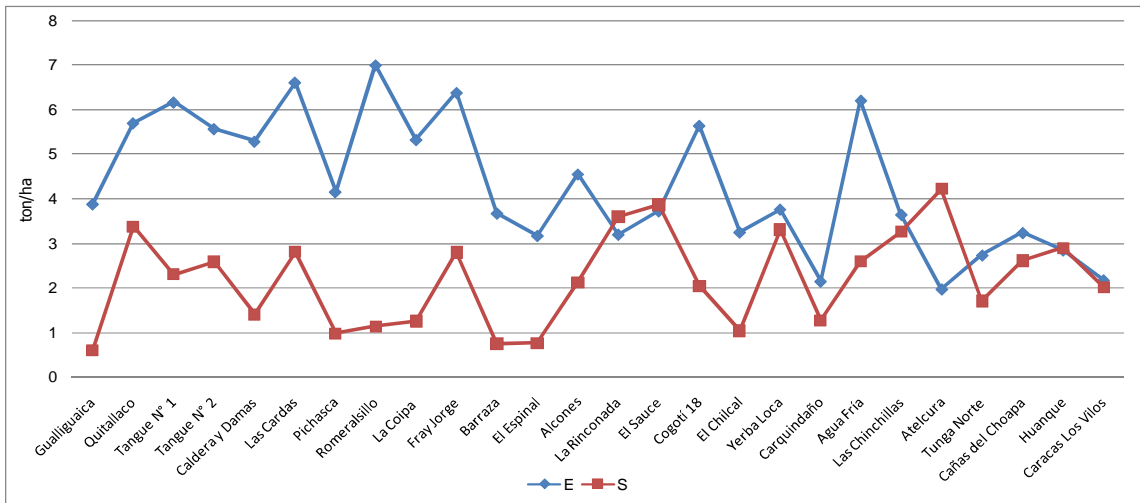
**Gráfico 19 y Gráfico 20.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: *Agua fría*



**Gráfico 21 y Gráfico 22.** Alturas promedio en mm y medias en ton/ha, sector de ejemplo: *Yerba Loca*

#### 6.4.4. Situación regional

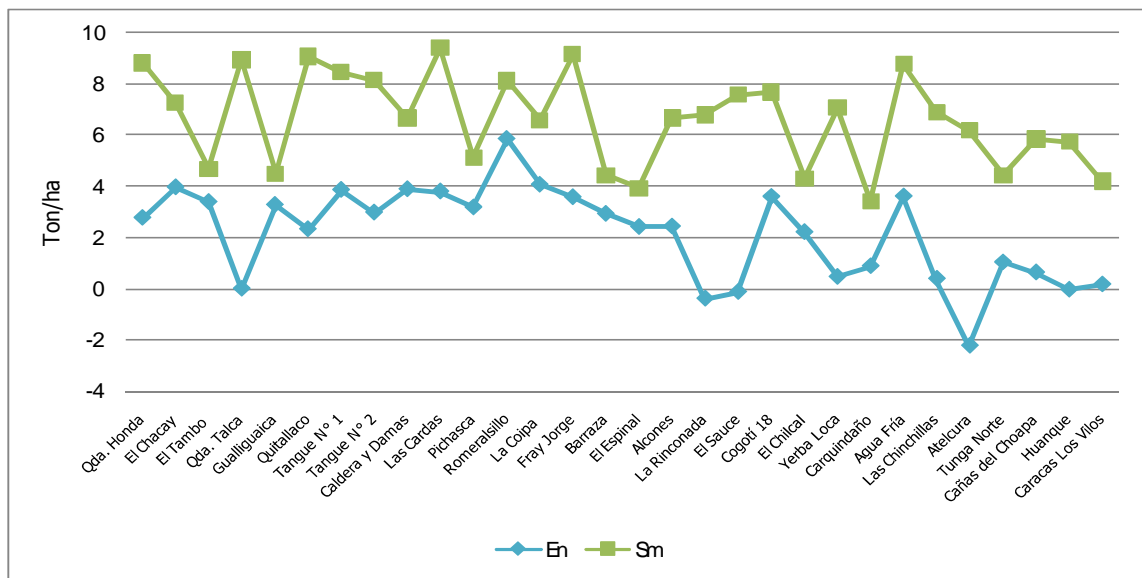
Tras los resultados entregados y los análisis realizados, en esta investigación se ha determinado que, para los períodos considerados, el proceso de erosión se deja ver con mayor fuerza en la zona Norte, tendiendo a disminuir avanzando hacia el Sur. Esto se puede apreciar de mejor forma en los Gráficos 23 y 24, los cuales muestran los 4 procesos determinados en este estudio, en términos promedio para cada sector, ordenados de Norte a Sur y cuantificados en términos de ton/ha.



**Gráfico 23.** Procesos resultantes para cada ensayo en erosión (E) y sedimentación (S), ordenados de Norte a Sur

En el gráfico se verifica que, a medida que las parcelas se ubicaban más al Sur, los montos de erosión evidencian una tendencia a disminuir con la latitud, a la vez que la sedimentación tiende a aumentar. Sin embargo una de las características principales de éstos comportamientos, son la marcada irregularidad con la cual se presentan, y si bien existe una tendencia, ésta se ve generalmente interrumpida por eventos fuera de lo común, como se puede apreciar en el sector de *Agua fría*, en la cual erosionaron montos superiores a 6 ton/ha, lo cual resultó bastante irregular y en parte se explica por la ubicación del sector en una zona alta, lo que pudo influir en el resultado final.

Esto quiere decir que la erosión neta también tiende a disminuir, como lo muestra a continuación el Gráfico 24.



**Gráfico 24.** Procesos resultantes para cada ensayo en erosión neta (En) y suelo movilizado (Sm), ordenados de Norte a Sur

Aunque es muy leve, la tendencia de los procesos es a disminuir a medida que se avanza hacia el Sur, lo cual resulta incompatible, dado que, como se mostró anteriormente, las lluvias registradas fueron mayores en la zona Sur, por lo cual se esperaría obtener una mayor erosión. Sin embargo, al observar el gráfico, se aprecia que los resultados para suelo movilizado se mantuvieron en cierto rango, lo que podría

en parte explicar la situación, debido a que, cuando se verifica una tendencia positiva en la cantidad e intensidad de las lluvias, existe una gran cantidad de material que se movilizó en el terreno. Además, y más importante aún, es el hecho de que son muchísimos los factores que influyen en los procesos erosivos (relieve, clima, entre otros), que sumados a la amplia variabilidad en los resultados (característico de la región) descartaría de plano cualquier intento por caracterizar el comportamiento de estos procesos, por lo cual los resultados entregados no son determinantes.

### 6.5. Comparación de Medias entre Provincias

Se comparó estadísticamente los resultados del proceso erosivo por provincia utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, debido a que los datos no cumplieron con ninguno de los supuestos del análisis de varianza paramétrico. Los resultados se presentan en el Cuadro 25.

**Cuadro 25.** Prueba de Kruskal – Wallis para los procesos erosivos

Provincia	Altura media de clavos (mm)				Medias en ton/ha			
	E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<b>Elqui</b>								
Tamaño muestra	27	27	27	27	27	27	27	27
<b>Limarí</b>								
Tamaño muestra	21	21	21	21	21	21	21	21
<b>Choapa</b>								
Tamaño muestra	38	38	38	38	38	38	38	38
Valor-P	8,4E-05	0,5121	0,0008	0,0755	5,2E-06	0,6219	0,0002	0,0099
<b>Dif. Sig.</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>

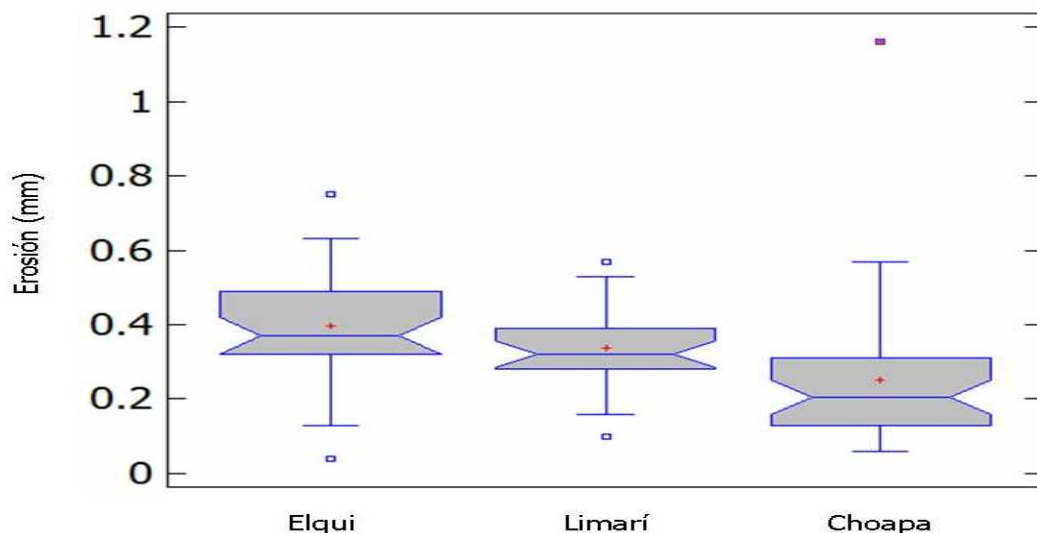
Los resultados muestran que en la mayoría de los casos, existen diferencias significativas entre los resultados, es decir, existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (medianas iguales) con relación a las alturas medias y medias en

toneladas, por lo cual existen diferencias significativas para estos procesos, entre provincias.

Al observar el Cuadro 25 y sólo considerando los valores de altura media de los clavos (mm), se advierte que los valores de erosión presentan diferencias significativas entre provincias (erosión y erosión neta), en tanto que los procesos de sedimentación y suelo movilizado no presentan diferencia estadística entre las provincias.

Respecto a los valores medios en ton/ha, sólo en los resultados de sedimentación es posible evidenciar homogeneidad entre las provincias. Para erosión, erosión neta y suelo movilizado, puesto que los valores-p resultan inferiores a 0,05, no existe suficiente evidencia para afirmar la situación anterior.

Para evidenciar cuál provincia es la principal generadora de diferencias para los resultados de erosión (en mm y ton/ha), erosión neta (en mm y ton/ha) y suelo movilizado (en ton/ha), se recurrió al análisis gráfico de Caja y Bigotes (*Box and Whiskers*), el cual se presenta *in extenso* en el Apéndice 3.



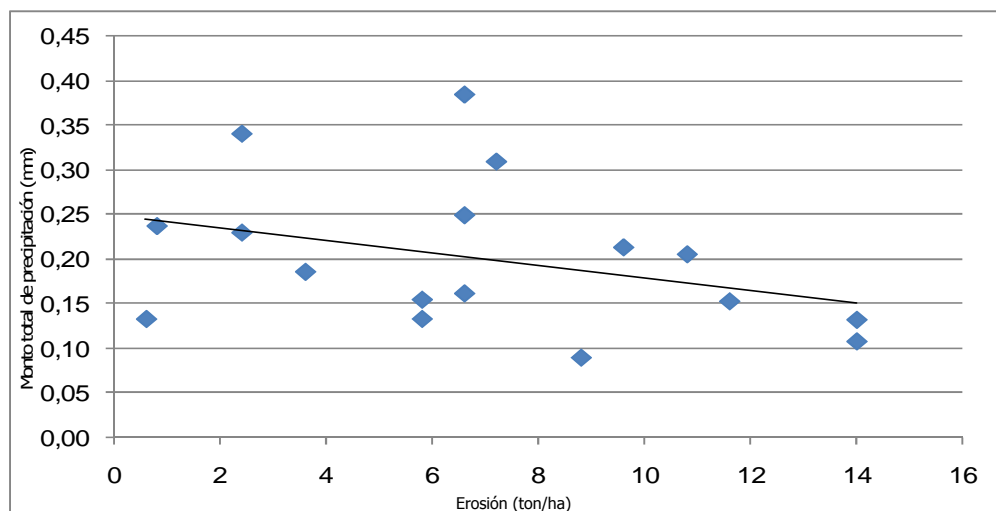
**Gráfico 25.** Análisis de Caja y Bigotes para los resultados de erosión en (mm)

Como resultado de esto, y tal como se aprecia en la gráfica de ejemplo, se determinó que es la Provincia de Choapa la principal generadora de diferencias significativas para las variables consideradas.

#### 6.6. Relaciones entre las Variables Pluviométricas y los Procesos Erosivos

A fin de intentar relacionar el comportamiento entre los distintos procesos erosivos en función de las variables pluviométricas consideradas, a nivel general, y como una primera aproximación, se entregan en el Apéndice 4 las gráficas resultantes.

Se evidencia que los resultados, muestran relaciones disímiles entre las variables consideradas, encontrándose situaciones poco lógicas principalmente en la Provincia de Choapa, en donde la precipitación total caída, por ejemplo, no se relaciona en términos físicos con la erosión, dado que se verifica en la tendencia general, que a mayor precipitación, menor erosión. Es decir, la nube de puntos, muestra una tendencia inversa (Gráfico 26).



**Gráfico 26.** Tendencia inversa en la relación Erosión – Monto de precipitación, evidenciada en la Provincia de Choapa

Esto es también notorio para una parte importante de variables analizadas como se observa en el Apéndice 4; no obstante lo anterior, en las provincias de Elquí y Limarí se observan situaciones bastantes lógicas, ya que es donde se evidenció el mayor número de tendencias lineales positivas y esperadas, para los valores de erosión, sedimentación y suelo movilizado. Respecto a erosión neta, se encontraron tendencias lineales negativas, aunque ello es esperable, cuando en algunas ocasiones la sedimentación supera como proceso a la erosión.

En el Cuadro 26 se entrega el total de relaciones efectuadas y la tendencia que estas presentaron.

**Cuadro 26.** Tendencias lineales en las relaciones de los procesos erosivos v/s variables pluviométricas.

Provincia	Relación	Mpp	IT	Imáx <sub>1h</sub>
Elqui	E	+	+	+
	S	+	+	+
	En	-	-	-
	Sm	+	+	+
Limarí	E	+	-	-
	S	+	+	+
	En	-	+	+
	Sm	+	+	+
Choapa	E	-	-	+
	S	+	-	+
	En	-	-	-
	Sm	-	-	+

Donde E es Erosión; S Sedimentación; En Erosión neta; Sm Suelo movilizado; + señala una tendencia lineal positiva y esperada y -, una tendencia lineal negativa.

En el cuadro es posible observar las variables que presentan tendencias lineales positivas y esperadas respecto a los procesos estudiados, y permite descartar, en primera instancia, la construcción de propuestas matemáticas en función de las variables que no se relacionaron en términos físicos, con los procesos erosivos acá estudiados, lo cual es más fuerte en Choapa, especialmente con respecto a erosión. De ahí, se desprende la necesidad de contar con una mayor cantidad de datos que permitan esbozar de mejor forma el comportamiento de las variables y sus relaciones entre sí. Ello, porque las relaciones físicas que no son lógicas, pueden derivarse de una toma errada de datos, especialmente las realizadas en el primer periodo, ya que estas demandan pasar por un procesos de aprendizaje que incluye mediciones largas y tediosas; y en segundo lugar, porque al contar con una mayor información, la posibilidad de que los comportamientos físicos de las variables hidrológicas consideradas, sea conforme a lo esperado, es indudablemente mayor.

#### 6.7. Análisis Global

En el Cuadro 27 se presentan los principales resultados obtenidos en esta investigación, los cuales se encuentran expresados en términos promedio.



**Cuadro 27.** Resultados obtenidos en la investigación

Provincia	Análisis de suelo	Resultados promedio											
		D <sub>a</sub> (gr/cc)	Variables pluviográficas			Procesos en (mm)				Procesos en (ton/ha)			
	Textura dominante		MTpp (mm)	IT (mm/hr)	Imáx <sub>1h</sub> (mm/hr)	E	S	En	Sm	E	S	En	Sm
<b>Elqui</b>	franco arenoso arcilloso	1,28	15,18	0,61	1,40	1,14	0,51	0,63	1,66	14,62	6,59	8,02	21,31
<b>Limarí</b>	franco arenoso	1,37	20,10	0,37	2,02	0,71	0,31	0,40	1,02	9,74	4,24	5,49	13,98
<b>Choapa</b>	franco arenoso	1,29	18,04	0,60	2,05	0,95	0,72	0,23	1,67	12,31	9,48	2,83	21,79

Donde:

D<sub>a</sub>: Densidad aparente del suelo, expresado en (gr/cc)

MTpp: Monto total de precipitación, expresado en (mm)

IT: Intensidad para la tormenta, expresado en (m/hr)

Imáx<sub>1h</sub>: Intensidad máxima aproximada en 1 hora, expresado en (mm/hr)

E: Erosión, expresado en (mm) y (ton/ha)

S: Sedimentación, expresado en (mm) y (ton/ha)

En: Erosión neta, expresado en (mm) y (ton/ha)

Sm: Suelo movilizado, expresado en (mm) y (ton/ha)

A nivel global, se ha determinado que existe una amplia variabilidad en los resultados obtenidos, y las variables pluviográficas muestran relaciones disímiles con los valores de los distintos procesos acá estudiados. Se evidencia que los procesos de erosión y sedimentación presentan fluctuaciones y no obedecen a comportamientos latitudinales de Norte a Sur. La situación es similar cuando se habla de los procesos expresados en ton/ha, debido a que, en general se comprobó que los resultados de las densidades aparentes no presentan diferencias estadísticamente significativas, por lo cual no alteraron en demasía los resultados presentados en mm, tanto así que los análisis para ambas expresiones resultan equivalentes.

Respecto a los resultados obtenidos para las variables pluviométricas, los resultados señalan que, en general, a mayor cantidad de precipitaciones, las intensidades, si bien se presentan bastante fluctuantes, tienden a aumentar.

Al concatenar los resultados de los procesos erosivos con los variables pluviométricas, se advierte que no existió una relación lineal directa, lo cual, junto a las diferencias generadas entre provincias, es consecuencia (como se mencionó) de que los procesos erosivos están influenciados por muchos otros factores, los que incluyen características del relieve o del clima, (por ejemplo, la presencia de viento), entre otras. Respecto a esto, se descartaría la influencia de la cubierta vegetal, puesto que las parcelas estudiadas se encuentran sobre suelo desnudo.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Luego de 4 meses de mediciones en parcelas con clavos de erosión, instaladas en las tres provincias de la Región de Coquimbo, el análisis del proceso erosivo efectuado en el presente estudio, permite concluir lo siguiente:

- ❖ Tras el análisis de suelos efectuados por el Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos de la Universidad de Talca, se evidenció que los suelos de la Región de Coquimbo, acorde al triángulo textural utilizado por el USDA, son principalmente francos, con altos porcentajes de arcilla y arena, que varían en función de los sectores analizados.
- ❖ Para los valores de densidad aparente, se determinó que los valores promedio entre sectores y provincias son bastante similares, lo que se corroboró una vez efectuados los análisis estadísticos, que evidenciaron que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre estas variables.
- ❖ Respecto a la información pluviométrica entregada, en general se advirtió una amplia variabilidad para los valores de monto total de precipitación, intensidad por tormenta e intensidad máxima aproximada para 1 hora, donde resulta frecuente la presencia de valores extremos, algo característico de la zona estudiada.
- ❖ Los resultados para los procesos erosivos determinaron que para erosión, los mayores resultados se encontraron en la Provincia de Elqui, seguidos por la Provincia de Choapa y finalmente la Provincia de Limarí, para la cual este proceso fue el menor.

- ❖ Respecto a los resultados de sedimentación, el proceso se dejó ver con mayor agresividad en la Provincia de Choapa, seguido por los resultados de la Provincia de Elquí y por último, en Limarí.
  
- ❖ Para erosión neta, se presentó un comportamiento decreciente de Norte a Sur. Así, los mayores resultados se encontraron en Elqui, seguido por Limarí y, por último, la Provincia de Choapa.
  
- ❖ En tanto, considerando el total de suelo que se movilizó en terreno, los resultados arrojaron que la mayor cantidad ocurrió en la Provincia de Choapa, en segundo lugar se ubicó Limarí y luego la Provincia de Elqui.
  
- ❖ Respecto al comportamiento de los procesos erosivos, se evidencia que los procesos de erosión y sedimentación son los que presentaron mayores fluctuaciones, para el total de períodos considerados y al evaluar la situación de Norte a Sur. Además, se determinó que estos procesos tienden a disminuir con la latitud.
  
- ❖ Al comparar los resultados obtenidos entre provincias, se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre éstas, las cuales son generadas principalmente por la Provincia de Choapa. Además, es en esta provincia donde se presentó la mayor fluctuación estadística entre procesos.
  
- ❖ Por otra parte, al analizar gráficamente los procesos erosivos considerados en función de las variables pluviométricas, se encontraron tendencias lineales positivas y esperadas en la mayoría de las relaciones efectuadas. En otras, sin embargo, se evidenció la presencia de resultados que físicamente resultan poco lógicos, principalmente en la Provincia de Choapa.

- ❖ Al respecto, esta situación pudo derivarse de una toma errada de datos, especialmente las efectuadas en los primeros períodos considerados.
- ❖ Finalmente, el método de clavos de erosión resulta adecuado en la cuantificación y posterior análisis de la erosión hídrica superficial, al introducir nuevos conceptos que permiten establecer un balance entre pérdidas y entradas de material, resultando así en estimaciones más reales.

## 7.2. Recomendaciones

- ❖ Con los resultados obtenidos a través de esta metodología, resulta imperativo el continuar con el estudio iniciado en la presente memoria, incluyendo un mayor número de mediciones y la incorporación de nuevas variables climáticas y edáficas, tales como el accionar de los vientos, la ubicación de las parcelas y el grado de inclinación de la pendiente, entre otras, que permitan no sólo cuantificar el proceso erosivo, sino que caracterizar los actuales cambios en el clima y pronosticar los cambios en la cubierta terrestre.
- ❖ En el contexto descrito, en este estudio se trazaron las primeras aristas para lograr modelar los procesos erosivos en la IV Región de Coquimbo; es por esta razón que los métodos utilizados en la selección de las variables, sumado a la cantidad de datos iniciales, deben ser ampliados y depurados en futuras investigaciones.
- ❖ Asimismo, se debe intensificar la instalación de los pluviógrafos, a fin de aminorar futuros errores de estimación relacionados con la asignación de tormentas a más de un sector de estudio.

- ❖ Además, es necesario analizar el comportamiento de las primeras mediciones de terreno en parcelas de clavos de erosión, puesto que se trata de un método relativamente nuevo, el cual no ha sido lo suficientemente probado.
  
- ❖ Por último, es necesario realizar profundos análisis a las variables utilizadas, para intentar conseguir buenas propuestas matemáticas para la estimación de la erosión.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Anselin, L. 2005. Exploring Spatial Data with GeoDA™: A Workbook. (en línea). Illinois, Estados Unidos. Consultado 16 may. Disponible en <http://www.sal.uiuc.edu/stuff/stuff-sum/pdf/geodaworkbook.pdf>

Añó, C.; Peris, M. 2003. El Olivar y la lucha contra la erosión. (en línea). Valencia, España. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en [http://www.infoagro.com/olivo/olivar\\_erosion.htm](http://www.infoagro.com/olivo/olivar_erosion.htm)

Backhoff, M.A. 2005. Polígonos de Thiessen. *In* Transporte y espacio geográfico: Una aproximación geoinformática. (en línea). México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado 20 abr. 2008. Disponible en <http://books.google.cl/books?id=H0VxBirKbpsC&printsec=frontcover#PPA10,M1>

Benedetti, S.; Pizarro, R. 2006. Restauración hidrológico forestal y oasisificación: herramientas claves para el aumento de productividad de los suelos degradados de la Región de Coquimbo. (en línea). Santiago, Chile. INFOR. Consultado 5 oct. 2007. Disponible en [http://www.infor.cl/areas\\_investigacion/restauracion\\_ecosistemas/restauracion\\_hidrolog\\_forest\\_oasisificacion\\_2006.htm](http://www.infor.cl/areas_investigacion/restauracion_ecosistemas/restauracion_hidrolog_forest_oasisificacion_2006.htm)

Cairns, I.; Handyside, B.; Harris, M.; Lambreschtsen, N. 2001. Soil conservation technical handbook. (en línea). Wellington, Nueva Zelanda. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en <http://www.mfe.govt.nz/publications/land/soil-conservation-handbook-jun01/soil-conserv-handbook-jun01.pdf>

CIREN (Centro de Información sobre recursos Naturales, Chile). 2006. Zonificación de erosión y fragilidad de los suelos del secano costero de las Regiones VI y VII. Informe Técnico de Resultados. Santiago, Chile. 67 p.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile). 1994. Propuesta plan nacional de conservación de suelos. Santiago, Chile. 136 p.

CORMA (Corporación Chilena de la Madera, Chile). 2005. Contribución significativa a la sustentabilidad del Proyecto Forestal País para contrarrestar la peor calamidad ambiental de Chile, la erosión de suelo. (en línea). Concepción. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en <http://www.chilepaisforestal.cl/Profesores/pdf/Contribuci%F3n.doc>

Cuitiño, H. 1999. Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la Precordillera Andina y Valle Central de la VII Región. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 104 p.

De Regoyos, M. 2003. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo geowep a dos pequeñas cuencas en Madrid. (en línea). Tesis Doctoral. España. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 466 p. Consultado 5 abr. 2008. Disponible en <http://oa.upm.es/450/01/02200329.pdf>

DSCyLcD (Dirección de Conservación del Suelos y Lucha contra la Desertificación). 1990. Erosión. (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en <http://www.santacruz.gov.ar/recursos/erosion/erosion.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia) 1994. Erosión de suelos en América Latina. Roma, Italia. Consultado 3 abr. 2008. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.htm>

Farfán, R. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdidas de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 123 p.

Favis-Mortlock, D. 2007. Soil Erosion Site: Erosion Processes. (en línea). Irlanda del Norte. Consultado 10 abr. 2008. Disponible en <http://soilerosion.net>

García, J. 2006. La erosión: Aspectos conceptuales y modelos. *In* Hidrología de superficie y conservación de suelos. Material de clase 2007. (en línea). España. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/material-de-clase/>

Gómez, I.; Romero, R.; Beneitez, J. M. 2007. Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. (en línea). Geofocus Nº 7: 1-22. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en [http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo1\\_2007.pdf](http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo1_2007.pdf)

González del Tánago, M. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo, pasado, presente y futuro. *Icona*, Madrid. *Ecología* Nº 5. p. 13-50.



Honorato, R.; Barrales, L.; Peña, I.; Barrera, F. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX Región de Chile. (en línea). *Ciencia e Investigación Agraria* 28 (1): 7-14. Consultado 10 abr. 2008. Disponible en <http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/28-1/7-14.pdf>

Hudson, N. W. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (en línea). Bedford, Inglaterra. FAO. Consultado 15 may. 2008. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

Ibáñez, J.; García, J. 2006. La erosión del suelo: Tipos de procesos erosivos. (en línea). Valencia, España. Consultado 21 oct. 2007. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2006/03/11/15557.aspx>

Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. *In* Soil erosion research methods. (en línea). Estados Unidos. Soil and Water Conservation Society. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en [http://books.google.cl/books?id=1TK7dEOIM4gC&printsec=frontcover&dq=lal&ei=zOq6SPzIL5zkyASX8qGYCg&sig=v4wpXuYnzn7TOo5mPCGyUei\\_Jjo#PPR7,M1](http://books.google.cl/books?id=1TK7dEOIM4gC&printsec=frontcover&dq=lal&ei=zOq6SPzIL5zkyASX8qGYCg&sig=v4wpXuYnzn7TOo5mPCGyUei_Jjo#PPR7,M1)

Mendoza, M. 2005. Métodos de clavos y rondanas. *In* Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en <http://www.foprده.org/cms/librosvirtuales/1180647717.pdf>

Mintegui, J.; López, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Bilbao, España. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 309 p.

Moreira, J. 1991. Capacidad de uso y erosión de los suelos en el valle central del río Guadalquivir. (en línea). Andalucía, España. Junta de Andalucía. Consultado 20 oct. 2007. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnextoid=91718ab30f767010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=fdb4760edc7a7010VgnVCM1000000624e50aRCRD>

Morgan, R. 1997. Erosión y conservación del suelo. (en línea). Madrid, España. Consultado 2 may. 2008. Disponible en [http://books.google.cl/books?id=jcFqaFI-u1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gbs\\_summary\\_r&cad=0#PPP1,M1](http://books.google.cl/books?id=jcFqaFI-u1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP1,M1)

Mutchler, C.; Murphree, C.; McGregor, K. 1994. Laboratory and field plots for erosion research. *In* Soil erosion research methods. (en línea). Estados Unidos. Soil and Water Conservation Society. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en [http://books.google.cl/books?id=1TK7dEOIM4gC&printsec=frontcover&dq=lal&ei=zOg6SPzIL5zkyASX8qGYCg&sig=v4wpxuYzn7TOo5mPCGyUei\\_Jjo#PPR7,M1](http://books.google.cl/books?id=1TK7dEOIM4gC&printsec=frontcover&dq=lal&ei=zOg6SPzIL5zkyASX8qGYCg&sig=v4wpxuYzn7TOo5mPCGyUei_Jjo#PPR7,M1)

Peña, L. 1994. Erosión y conservación de suelos. (en línea). Santiago, Chile. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_agronomicas/miscelaneasagronomicas38/C9.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/miscelaneasagronomicas38/C9.html)

Pérez, U.; López, R. 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un inceptisol de los andes venezolanos bajo uso agrícola. (en línea). Revista Forestal Venezolana 44 (2): 11-19. Consultado 3 abr. 2008. Disponible en [http://saber.ula.ve/cgi-win/be\\_alex.exe?Documento=T016300000160/1&term\\_termino\\_2=e:/alexandr/db/ssaber/Edocs/pubelecronicas/revistaforestal/vol44-2/articulo44\\_2\\_1.pdf&term\\_termino\\_3=&Nombrebd=SSABER](http://saber.ula.ve/cgi-win/be_alex.exe?Documento=T016300000160/1&term_termino_2=e:/alexandr/db/ssaber/Edocs/pubelecronicas/revistaforestal/vol44-2/articulo44_2_1.pdf&term_termino_3=&Nombrebd=SSABER)

Pidwirny, M. 2006. Erosion and deposition. *In* Fundamentals of physical geography. (en línea). Kelowna, Canadá. Consultado 20 oct. 2007. Disponible en <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10w.html>

Pizarro, R. 1988. Elementos técnicos de hidrología II (Instructivos técnicos): Proyecto regional sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y el Caribe. Chile. UNESCO, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología. 109 p.

Pizarro, R.; Cuitiño, H. 2002. Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile. *In* Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (2002, Madrid, España). Actas de la I Reunión del Grupo de trabajo de Hidrología Forestal. Madrid, España. p. 165-170.

Pizarro, R.; Sangüesa, C.; Bravo, C.; Farías, C. 2003a. Manual de conservación de aguas y suelos. Instructivo N° 1 Zanjas de Infiltración. (en línea). Talca, Chile. Consultado 1 abr. 2008. Disponible en [http://eias.utralca.cl/2publicaciones/3manuales/f\\_instructivo\\_zanja.pdf](http://eias.utralca.cl/2publicaciones/3manuales/f_instructivo_zanja.pdf)

Pizarro, R.; Ramirez, C.; Flores, J. P. 2003b. Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. (en línea). Bosque (Valdivia). Consultado 20 jun. 2008. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071792002003000300003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071792002003000300003&lng=es&nrm=iso). ISSN 0717-9200.

Romero, C.; Stroonsnijder, L. 2002. Evaluación del comportamiento del modelo de erosión WEPP bajo condiciones de los Andes: Caso La Encañada – Perú. (en línea). Anales Científicos de la UNAML. Consultado 10 abr. 2008. Disponible en <http://www.tradeoffs.montana.edu/pdf/WEPP.pdf>

SUDAS (Statewide Urban Design and Specifications, USA). 2006. The erosion and sedimentation process. *In* Iowa Statewide Urban Design Standards Manual. 2007. (en línea). Iowa, Estados Unidos. Consultado 4 abr. 2008. Disponible en <http://www.iowasudas.org/design.cfm>

TRAGSA. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Ediciones Mundiprensa. 902 p.

USDA (United States Department of Agriculture, USA). 1995. Water erosion prediction project. Hillslope profile and watershed model documentation (abstract). (en línea). Estados Unidos. Consultado 6 abr. 2008. Disponible en <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/docs/abstract.pdf>

USDA (United States Department of Agriculture, USA). 2000. KINEROS2: A kinematic runoff and erosion model. (en línea). Estados Unidos. Consultado 15 may. 2008. Disponible en <http://www.tucson.ars.ag.gov/kineros/>

USDA (United States Department of Agriculture, USA). 2002. Water erosion. *In* National agronomy manual. (en línea). Estados Unidos. Consultado 2 may. 2008. Disponible en [http://policy.nrcs.usda.gov/M\\_190\\_NAM.pdf](http://policy.nrcs.usda.gov/M_190_NAM.pdf)

Vega, M. B.; Febles, J. M. 2005. Evaluation of the rainfall erosion in cattle regions from the central part of Havana province. Cuban Journal of Agricultural Science. Consultado 2 may. 2008. Disponible en base de datos Ebsco Host.

Wishmeier, W.; Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. (en línea). Washington, Estados Unidos. Consultado 12 abr. 2008. Disponible en [http://topsoil.nserl.purdue.edu/usle/AH\\_537.pdf](http://topsoil.nserl.purdue.edu/usle/AH_537.pdf)

Yataco, A. 2007. Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica utilizando varillas de erosión, en suelos con diferentes grados de cobertura vegetal de la comunidad campesina de Yuracmayo, Lima (abstract). (en línea). Tesis de Grado Ingeniería Agrícola. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de ingeniería Agrícola. 4 p. Consultado 15 may. 2008. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/agricola/biblioteca/Tesis/2007/Evaluacion%20cuantitativa.pdf>

## IX. APÉNDICES

## 9.1. Apéndice 1. Resultados Medios por Parcela en (ton/ha)

### 9.1.1. Provincia de Elqui

#### a. Cuadro 1: Sector *El Tambo*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/26/07	1	1,28	4,8819	1,4487	3,4332	6,3305
	2	1,28	4,4603	0,7385	3,7218	5,1988
	3	1,28	4,4308	1,4277	3,0031	5,8585
09/22/07	1	1,28	3,1553	0,0000	3,1553	3,1553
	2	1,28	3,2843	0,0000	3,2843	3,2843
	3	1,28	3,9877	0,2462	3,7415	4,2338

#### b. Cuadro 2: Sector *Gualliguaica*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/26/07	1	1,17	3,1653	1,6326	1,5328	4,7979
	2	1,17	4,1400	0,7560	3,3840	4,8960
	3	1,17	4,1950	0,4057	3,7893	4,6007
09/22/07	1	1,17	3,9658	0,8050	3,1609	4,7708
	2	1,17	4,2570	0,0000	4,2570	4,2570
	3	1,17	3,5680	0,0363	3,5318	3,6043

#### c. Cuadro 3: Sector *Quebrada Talca*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/22/07	1	1,25	5,3233	5,7866	-0,4634	11,1099
	2	1,25	6,1593	2,8427	3,3165	9,0020
	3	1,25	6,6159	2,8557	3,7602	9,4715
08/25/07	1	1,25	1,8120	8,0359	-6,2238	9,8479
	2	1,25	1,1923	8,2788	-7,0865	9,4712
	3	1,25	1,6992	7,8711	-6,1719	9,5703
09/22/07	1	1,25	4,8866	0,0000	4,8866	4,8866
	2	1,25	4,3654	0,0000	4,3654	4,3654
	3	1,25	8,1637	4,6018	3,5619	12,7655

d. Cuadro 4: Sector *Quebrada Honda*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/21/07	1	1,3	7,6477	10,2126	-2,5649	17,8604
	2	1,3	6,8786	6,6893	0,1893	13,5680
	3	1,3	7,5851	5,7802	1,8050	13,3653
08/27/07	1	1,3	4,9359	1,9602	2,9758	6,8961
	2	1,3	5,8500	0,6900	5,1600	6,5400
	3	1,3	5,8300	1,1400	4,6900	6,9700
09/23/07	1	1,3	4,0310	0,0000	4,0310	4,0310
	2	1,3	4,0828	0,3839	3,6989	4,4667
	3	1,3	5,3000	0,3350	4,9650	5,6350

e. Cuadro 5: Sector *Caldera y Damas*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/25/07	1	1,31	5,1991	0,8904	4,3087	6,0895
	2	1,31	5,1456	1,4420	3,7035	6,5876
	3	1,31	5,5368	0,9927	4,5441	6,5295
09/21/07	1	1,31	7,5375	3,0231	4,5145	10,5606
	2	1,31	4,8500	2,0204	2,8296	6,8704
	3	1,31	3,4413	0,0000	3,4413	3,4413

f. Cuadro 6: Sector *Las Cardas*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/24/07	1	1,21	5,8417	5,9905	-0,1488	11,8322
	2	1,21	9,5800	5,1400	4,4400	14,7200
	3	1,21	6,7593	7,3852	-0,6259	14,1445
08/24/07	1	1,21	4,0721	1,7033	2,3688	5,7754
	2	1,21	4,5980	1,6195	2,9785	6,2175
	3	1,21	5,8825	0,8377	5,0448	6,7202
09/21/07	1	1,21	11,4569	2,5153	8,9416	13,9722
	2	1,21	4,8305	0,0662	4,7644	4,8967
	3	1,21	6,4470	0,0000	6,4470	6,4470

g. Cuadro 7: Sector *El Chacay*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/22/07	1	1,29	8,5160	2,7614	5,7546	11,2774
	2	1,29	6,6720	2,0725	4,5996	8,7445
	3	1,29	7,2159	1,4311	5,7848	8,6470
08/26/07	1	1,29	3,2149	0,8163	2,3986	4,0312
	2	1,29	3,4800	0,9070	2,5729	4,3870
	3	1,29	3,1900	0,8500	2,3400	4,0400
09/23/07	1	1,29	6,7122	5,9361	0,7761	12,6483
	2	1,29	6,7191	0,0705	6,6485	6,7896
	3	1,29	4,8822	0,0695	4,8127	4,9516

h. Cuadro 8: Sector *Quitallaco*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/23/07	1	1,39	8,2952	5,9860	2,3092	14,2811
	2	1,39	6,1006	11,4289	-5,3283	17,5294
	3	1,39	6,0921	9,1414	-3,0493	15,2335
08/25/07	1	1,39	5,0254	1,3258	3,6995	6,3512
	2	1,39	5,2927	0,4705	4,8222	5,7632
	3	1,39	5,1751	0,9751	4,1999	6,1502
09/21/07	1	1,39	4,3945	0,0000	4,3945	4,3945
	2	1,39	4,2239	0,0000	4,2239	4,2239
	3	1,39	6,6694	1,0228	5,6465	7,6922

i. Cuadro 9: Sector *Tangue 1*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/26/07	1	1,24	11,1922	2,4898	8,7025	13,6820
	2	1,24	8,5377	3,8826	4,6551	12,4203
	3	1,24	8,0800	4,2300	3,8500	12,3100
08/24/07	1	1,24	3,5069	1,2497	2,2572	4,7566
	2	1,24	4,6428	1,2977	3,3451	5,9405
	3	1,24	3,6431	1,6533	1,9898	5,2964
09/14/07	1	1,24	5,8871	0,0000	5,8871	5,8871
	2	1,24	3,9871	0,0000	3,9871	3,9871
	3	1,24	5,9883	5,8875	0,1008	11,8758



j. Cuadro 10: Sector *Tangue 2*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/26/07	1	1,32	8,7057	5,3743	3,3314	14,0800
	2	1,32	9,5274	6,2913	3,2361	15,8187
	3	1,32	6,8576	6,0420	0,8156	12,8995
08/24/07	1	1,32	4,7172	1,9340	2,7833	6,6512
	2	1,32	5,8266	1,2994	4,5272	7,1259
	3	1,32	4,0214	2,2716	1,7498	6,2930
09/14/07	1	1,32	3,3640	0,0000	3,3640	3,3640
	2	1,32	3,6143	0,0388	3,5755	3,6530
	3	1,32	3,4514	0,0000	3,4514	3,4514

9.1.2. Provincia de Limarí

a. Cuadro 1: Sector *Alcones*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/22/07	1	1,32	7,2092	2,0714	5,1378	9,2806
	2	1,32	3,6940	3,3665	0,3274	7,0605
	3	1,32	3,8781	4,2874	-0,4093	8,1656
09/12/07	1	1,32	3,8686	2,9954	0,8732	6,8640
	2	1,32	4,8942	0,0000	4,8942	4,8942
	3	1,32	3,7671	0,0000	3,7671	3,7671

b. Cuadro 2: Sector *Fray Jorge*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/22/07	1	1,34	8,8158	6,2365	2,5792	15,0523
	2	1,34	8,2836	4,8220	3,4617	13,1056
	3	1,34	5,7100	5,3900	0,3200	11,1000
09/13/07	1	1,34	6,0091	0,3245	5,6845	6,3336
	2	1,34	4,9671	0,0000	4,9671	4,9671
	3	1,34	4,4734	0,0000	4,4734	4,4734

c. Cuadro 3: Sector *El Sauce 18*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
06/28/07	1	1,36	4,9395	6,3757	-1,4362	11,3152
	2	1,36	7,1057	4,1749	2,9309	11,2806
	3	1,36	7,0720	3,2966	3,7754	10,3686
08/21/07	1	1,36	2,0561	4,1014	-2,0454	6,1575
	2	1,36	1,9772	3,3477	-1,3705	5,3249
	3	1,36	2,4737	2,5272	-0,0535	5,0009
09/12/07	1	1,36	2,9502	10,4615	-7,5114	13,4117
	2	1,36	2,4271	0,0000	2,4271	2,4271
	3	1,36	2,5288	0,4037	2,1250	2,9325

d. Cuadro 4: Sector *Cogotí 18*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/20/07	1	1,81	4,8222	4,4710	0,3512	9,2931
	2	1,81	5,5117	4,2052	1,3065	9,7168
	3	1,81	5,0421	3,5051	1,5371	8,5472
09/11/07	1	1,81	6,5781	0,0540	6,5241	6,6322
	2	1,81	6,4025	0,0000	6,4025	6,4025
	3	1,81	5,4705	0,0000	5,4705	5,4705

e. Cuadro 5: Sector *Pichasca*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/23/07	1	1,33	3,9591	1,7218	2,2373	5,6809
	2	1,33	4,6079	1,9165	2,6914	6,5243
	3	1,33	3,7632	2,1857	1,5774	5,9489
09/20/07	1	1,33	3,4682	0,0205	3,4478	3,4887
	2	1,33	4,1962	0,0000	4,1962	4,1962
	3	1,33	4,9385	0,0000	4,9385	4,9385

f. Cuadro 6: Sector *La Coipa*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/23/07	1	1,3	5,3400	2,3100	3,0300	7,6500
	2	1,3	3,8093	2,6504	1,1589	6,4597
	3	1,3	6,2481	2,2271	4,0209	8,4752
09/20/07	1	1,3	6,0715	0,0000	6,0715	6,0715
	2	1,3	5,4519	0,1713	5,2806	5,6233
	3	1,3	5,0186	0,1814	4,8372	5,2000

g. Cuadro 7: Sector *Romeralsillo*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/23/07	1	1,39	8,2177	1,9238	6,2939	10,1414
	2	1,39	6,2764	2,1919	4,0845	8,4683
	3	1,39	5,1644	2,6838	2,4806	7,8482
09/20/07	1	1,39	8,0275	0,0000	8,0275	8,0275
	2	1,39	7,2601	0,0000	7,2601	7,2601
	3	1,39	7,0142	0,0000	7,0142	7,0142

h. Cuadro 8: Sector *Barraza*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/22/07	1	1,36	4,9550	1,3389	3,6161	6,2940
	2	1,36	4,0695	0,7802	3,2893	4,8496
	3	1,36	3,3968	2,3616	1,0353	5,7584
09/12/07	1	1,36	2,5422	0,0000	2,5422	2,5422
	2	1,36	3,4523	0,0000	3,4523	3,4523
	3	1,36	3,6337	0,0000	3,6337	3,6337

i. Cuadro 9: Sector *El Espinal*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/21/07	1	1,13	2,5729	1,8167	0,7562	4,3896
	2	1,13	2,8772	1,5846	1,2925	4,4618
	3	1,13	2,6598	1,1387	1,5212	3,7985
09/13/07	1	1,13	3,3639	0,0000	3,3639	3,3639
	2	1,13	4,4070	0,0261	4,3809	4,4331
	3	1,13	3,1640	0,0000	3,1640	3,1640

j. Cuadro 10: Sector *La Rinconada*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/21/07	1	1,32	0,8067	7,6434	-6,8368	8,4501
	2	1,32	1,4019	6,7535	-5,3516	8,1553
	3	1,32	1,8872	6,4763	-4,5891	8,3634
09/13/07	1	1,32	5,1265	0,0000	5,1265	5,1265
	2	1,32	5,1969	0,6964	4,5005	5,8932
	3	1,32	4,7860	0,0000	4,7860	4,7860

9.1.3. Provincia de Choapa

a. Cuadro 1: Sector *Huanque*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/11/07	1	1,37	3,8650	3,3972	0,4678	7,2621
	2	1,37	5,7192	2,9575	2,7617	8,6767
	3	1,37	3,1117	4,5688	-1,4571	7,6805
08/20/07	1	1,37	1,0382	4,8378	-3,7996	5,8760
	2	1,37	1,5281	4,9847	-3,4566	6,5128
	3	1,37	1,6270	5,2995	-3,6724	6,9265
09/11/07	1	1,37	3,2985	0,0000	3,2985	3,2985
	2	1,37	2,6557	0,0000	2,6557	2,6557
	3	1,37	2,8037	0,0000	2,8037	2,8037

b. Cuadro 2: Sector *Las Chinchillas*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/12/07	1	1,37	3,0322	5,2231	-2,1909	8,2553
	2	1,37	3,7540	6,5803	-2,8263	10,3343
	3	1,37	1,6527	8,0895	-6,4368	9,7422
08/20/07	1	1,37	4,2259	3,4598	0,7661	7,6857
	2	1,37	5,2643	2,6537	2,6106	7,9180
	3	1,37	4,0779	1,6590	2,4189	5,7369
09/11/07	1	1,37	3,7171	0,0000	3,7171	3,7171
	2	1,37	3,2710	0,0000	3,2710	3,2710
	3	1,37	3,8122	1,6917	2,1205	5,5038

c. Cuadro 3: Sector *Tunga Norte*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/10/07	1	1,19	4,4464	0,7472	3,6991	5,1936
	2	1,19	4,5495	1,9864	2,5631	6,5358
	3	1,19	4,7112	1,8825	2,8287	6,5938
08/12/07	1	1,19	2,5737	1,5682	1,0055	4,1419
	2	1,19	2,5737	1,5682	1,0055	4,1419
	3	1,19	2,0387	2,0848	-0,0461	4,1235
08/18/07	1	1,19	0,8487	3,9390	-3,0903	4,7877
	2	1,19	1,6843	4,0185	-2,3342	5,7028
	3	1,19	1,8726	2,7121	-0,8395	4,5847
09/09/07	1	1,19	3,3759	0,0000	3,3759	3,3759
	2	1,19	1,9589	0,0000	1,9589	1,9589
	3	1,19	2,2061	0,0000	2,2061	2,2061

d. Cuadro 4: Sector *Atelcura*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/12/07	1	1,34	2,4900	2,6600	-0,1700	5,1500
	2	1,34	1,7867	2,8830	-1,0964	4,6697
	3	1,34	1,0700	5,0300	-3,9600	6,1000
08/12/07	1	1,34	1,5683	6,6702	-5,1019	8,2385
	2	1,34	0,9658	7,3849	-6,4191	8,3507
	3	1,34	1,3301	5,4295	-4,0994	6,7596
08/18/07	1	1,34	0,8730	4,6300	-3,7570	5,5030
	2	1,34	0,6551	6,2960	-5,6409	6,9511
	3	1,34	0,7028	5,7848	-5,0821	6,4876
09/09/07	1	1,34	4,8164	2,8205	1,9960	7,6369
	2	1,34	3,4344	0,2680	3,1664	3,7024
	3	1,34	4,0299	0,6948	3,3351	4,7247

e. Cuadro 5: Sector *Agua fría*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/12/07	1	1,32	2,4456	3,3767	-0,9312	5,8223
	2	1,32	1,6706	3,9909	-2,3203	5,6616
	3	1,32	2,2846	5,5237	-3,2391	7,8083
08/13/07	1	1,32	5,6854	1,8189	3,8665	7,5043
	2	1,32	7,6966	1,4825	6,2142	9,1791
	3	1,32	5,4437	1,2688	4,1749	6,7126
08/18/07	1	1,32	1,3809	4,6809	-3,3000	6,0618
	2	1,32	1,1256	3,9907	-2,8651	5,1163
	3	1,32	0,7777	4,9730	-4,1953	5,7507
09/09/07	1	1,32	18,0707	0,0000	18,0707	18,0707
	2	1,32	13,5684	0,0000	13,5684	13,5684
	3	1,32	14,2763	0,0000	14,2763	14,2763

f. Cuadro 6: Sector *Carquindaño*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/13/07	1	1,19	3,2139	1,0494	2,1645	4,2634
	2	1,19	2,5091	1,6900	0,8192	4,1991
	3	1,19	3,1671	1,8459	1,3212	5,0130
08/13/07	1	1,19	1,7571	1,6084	0,1487	3,3655
	2	1,19	2,8136	2,1033	0,7103	4,9168
	3	1,19	2,0341	1,3929	0,6411	3,4270
08/19/07	1	1,19	1,5221	1,3837	0,1384	2,9058
	2	1,19	1,6752	1,9864	-0,3112	3,6615
	3	1,19	1,5036	1,8542	-0,3505	3,3578
09/10/07	1	1,19	1,7301	0,0000	1,7301	1,7301
	2	1,19	1,9095	0,3690	1,5405	2,2785
	3	1,19	1,9910	0,0000	1,9910	1,9910

g. Cuadro 7: Sector *El Chilcal*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/13/07	1	1,25	5,7874	1,5157	4,2717	7,3031
	2	1,25	4,0154	1,3750	2,6404	5,3904
	3	1,25	2,9492	1,7090	1,2402	4,6582
08/13/07	1	1,25	2,7404	2,1250	0,6154	4,8654
	2	1,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	3	1,25	2,2115	2,8750	-0,6635	5,0865
08/19/07	1	1,25	1,8508	0,7558	1,0950	2,6066
	2	1,25	1,7345	1,1531	0,5814	2,8876
	3	1,25	2,2115	0,9712	1,2404	3,1827
09/10/07	1	1,25	5,7946	0,0000	5,7946	5,7946
	2	1,25	5,2885	0,0000	5,2885	5,2885
	3	1,25	4,4231	0,0192	4,4038	4,4423

h. Cuadro 8: Sector *Yerba Loca*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/02/07	1	1,40	6,9407	11,6983	-4,7576	18,6390
	2	1,40	7,7233	12,1450	-4,4217	19,8683
	3	1,40	9,2256	6,9402	2,2855	16,1658
07/13/07	1	1,40	3,8662	2,9400	0,9262	6,8062
	2	1,40	3,0078	2,0344	0,9734	5,0422
	3	1,40	2,7672	1,5641	1,2031	4,3312
08/13/07	1	1,40	3,3815	2,7569	0,6246	6,1385
	2	1,40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	3	1,40	1,1523	4,2969	-3,1446	5,4492
08/19/07	1	1,40	1,8523	1,4969	0,3554	3,3492
	2	1,40	2,1814	1,8102	0,3712	3,9916
	3	1,40	1,5543	1,8575	-0,3031	3,4118
09/10/07	1	1,40	4,2571	0,0000	4,2571	4,2571
	2	1,40	4,0902	0,0000	4,0902	4,0902
	3	1,40	4,4570	0,0000	4,4570	4,4570

i. Cuadro 9: Sector *Cañas del Choapa*

Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
07/11/07	1	1,24	3,8400	3,2500	0,5900	7,0900
	2	1,24	3,5000	5,6600	-2,1600	9,1600
	3	1,24	5,3400	2,7800	2,5600	8,1200
08/12/07	1	1,24	2,4991	3,0618	-0,5628	5,5609
	2	1,24	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	3	1,24	3,1830	3,1732	0,0098	6,3562
08/17/07	1	1,24	2,5194	3,9857	-1,4663	6,5051
	2	1,24	2,0165	2,9888	-0,9723	5,0053
	3	1,24	2,3734	3,6619	-1,2884	6,0353
09/08/07	1	1,24	4,5467	0,0000	4,5467	4,5467
	2	1,24	4,2896	0,9397	3,3499	5,2293
	3	1,24	4,7597	1,7932	2,9665	6,5529

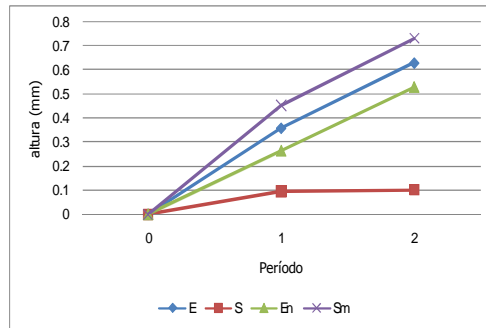


j. Cuadro 10: Sector *Caracas Los Vilos*

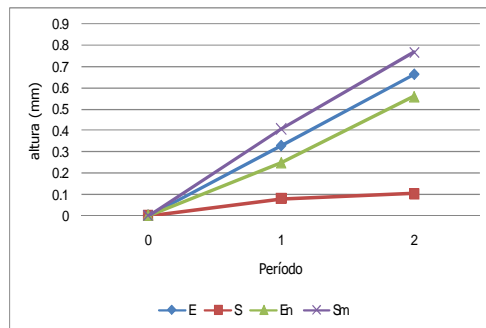
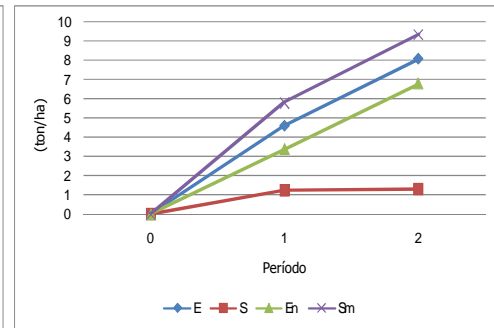
Fecha	Parcela	Densidad (gr/cc)	Erosión (ton/ha)	Sedimentación (ton/ha)	En (ton/ha)	Sm (ton/ha)
08/11/07	1	1,26	2,5103	1,0274	1,4829	3,5377
	2	1,26	4,7880	4,2258	0,5622	9,0138
	3	1,26	1,6574	1,9288	-0,2714	3,5862
08/17/07	1	1,26	1,6702	2,7740	-1,1037	4,4442
	2	1,26	0,6300	3,9867	-3,3567	4,6167
	3	1,26	1,0940	3,8064	-2,7124	4,9003
09/08/07	1	1,26	2,4809	0,3809	2,1000	2,8619
	2	1,26	2,5685	0,0000	2,5685	2,5685
	3	1,26	2,2263	0,0291	2,1972	2,2554

## 9.2. Apéndice 2. Resultados Gráficos Procesos Erosivos v/s Períodos por Sector

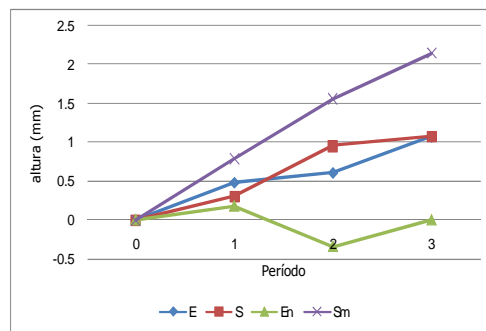
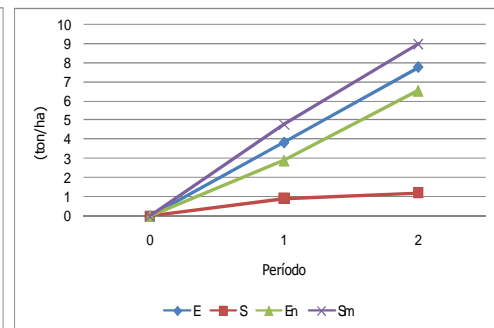
### 9.2.1. Provincia de Elqui



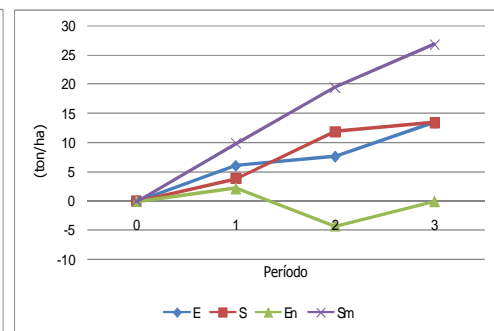
a. Gráfico 1: sector *El Tambo*

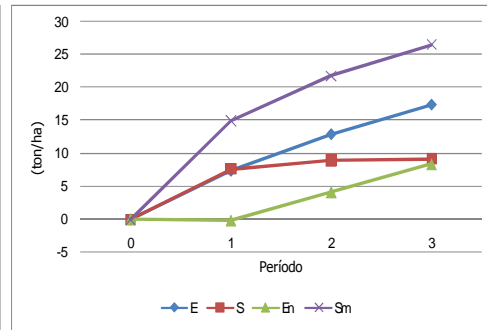
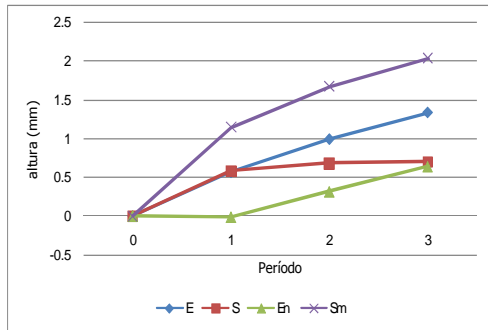


b. Gráfico 2: sector *Gualliguaica*

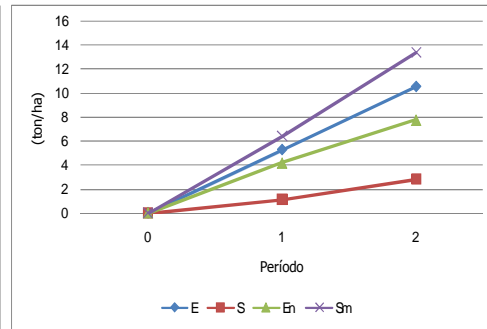
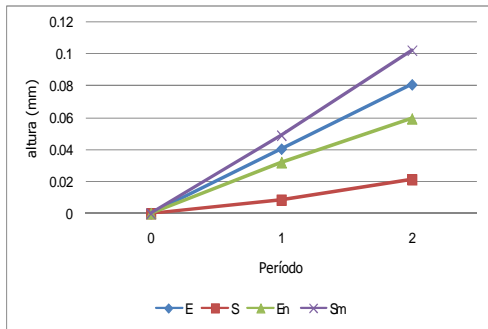


c. Gráfico 3: sector *Quebrada Talca*

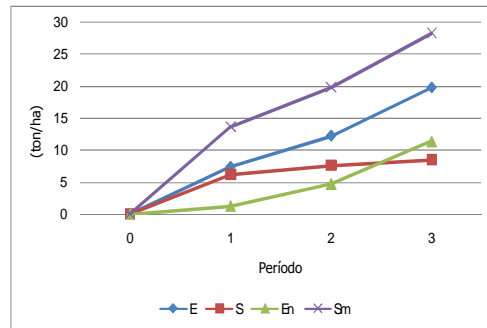
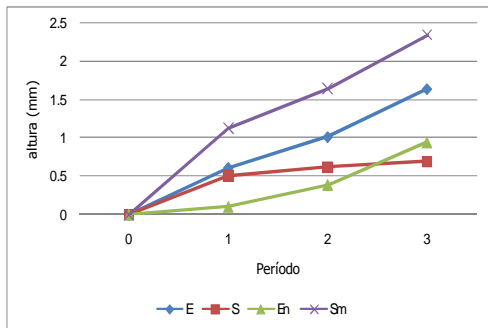




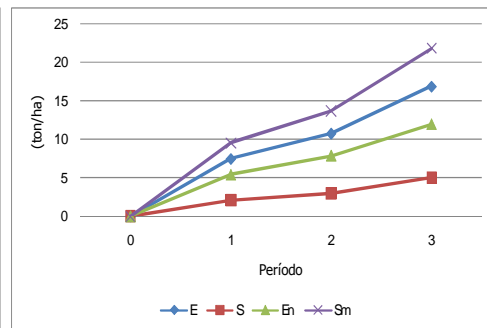
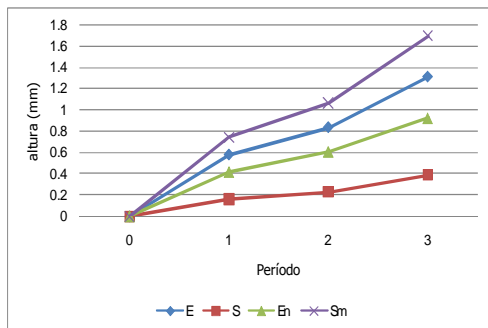
d. Gráfico 4: sector *Quebrada Honda*



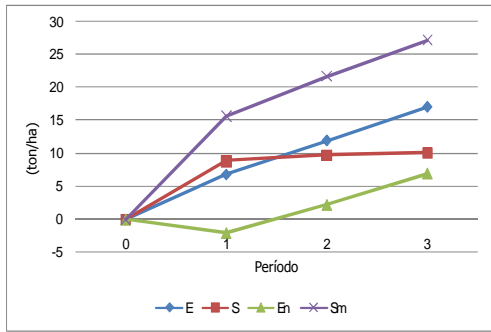
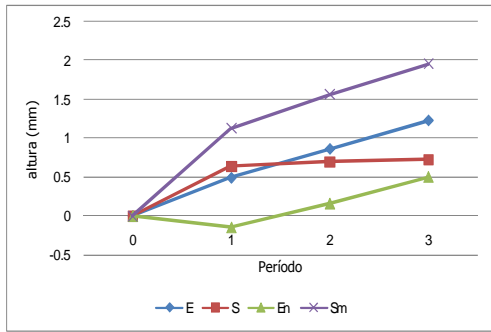
e. Gráfico 5: sector *Caldera y Damas*



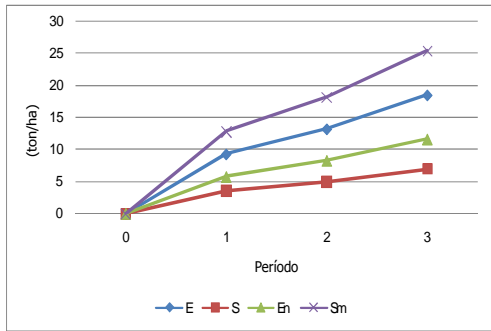
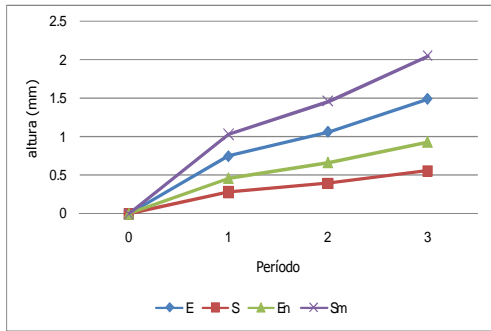
f. Gráfico 6: sector *Las Cardas*



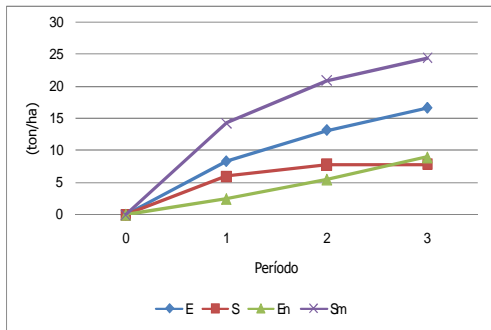
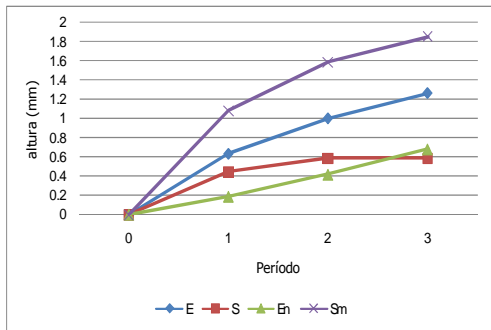
g. Gráfico 7: Medias totales acumuladas sector *El Chacay*



h. Gráfico 8: sector *Quitallaco*

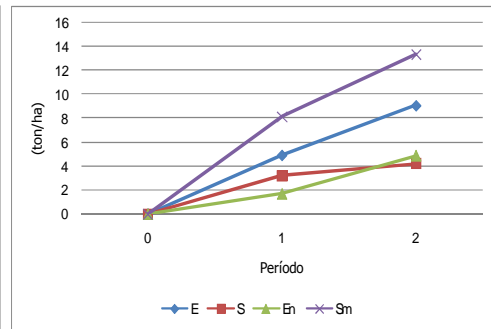
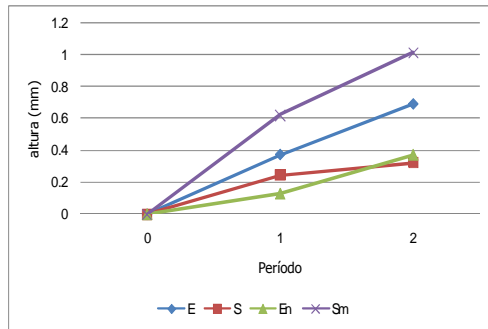


i. Gráfico 9: sector *Tangué N° 1*

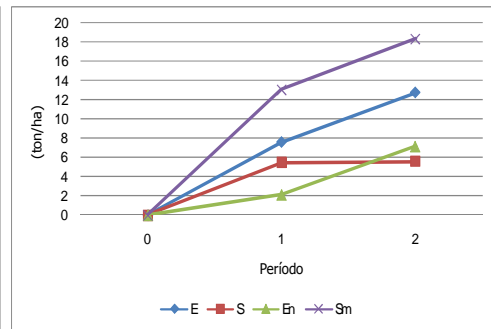
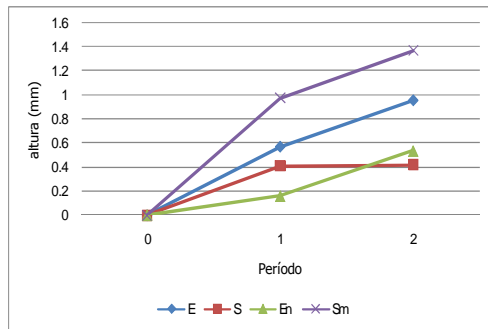


j. Gráfico 10: sector *Tangué N° 2*

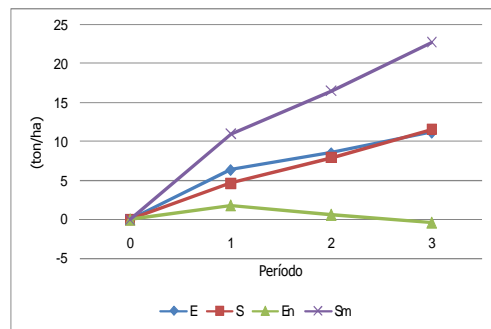
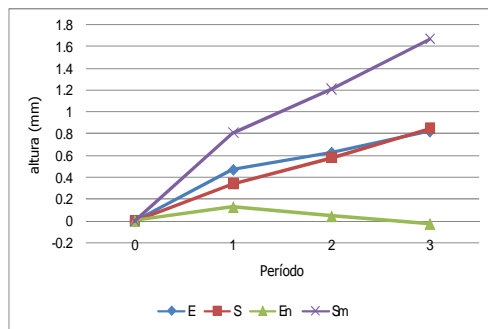
## 9.2.2. Provincia de Limarí



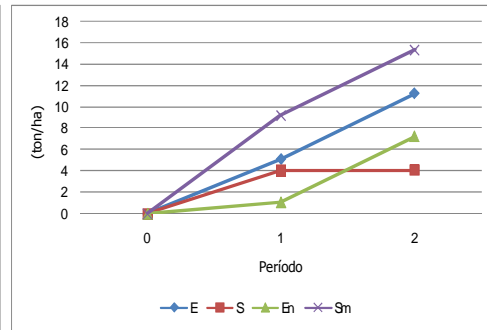
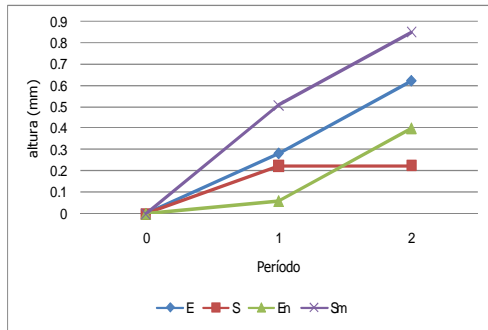
a. Gráfico 1: sector *Alcones*



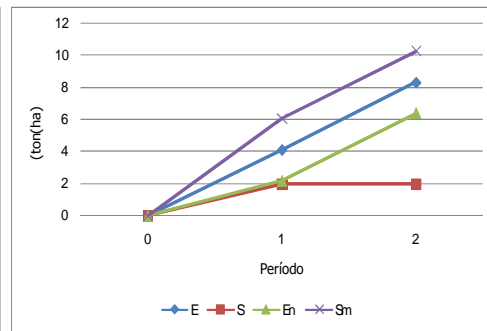
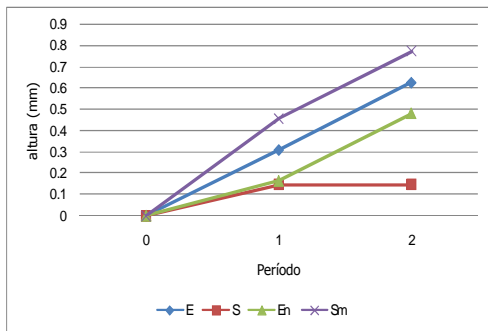
b. Gráfico 2: sector *Fray Jorge*



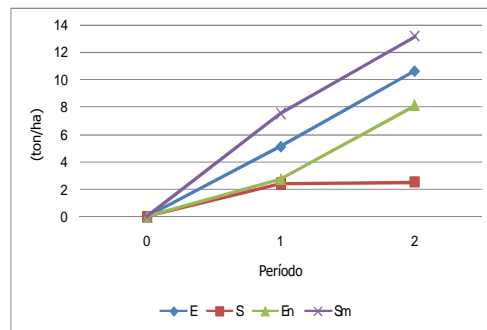
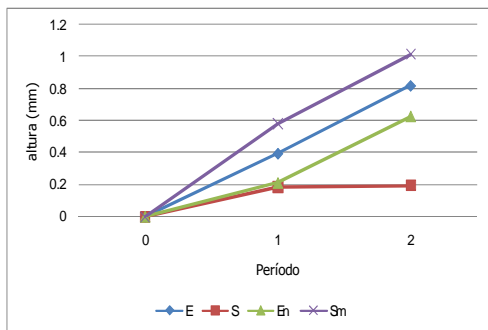
c. Gráfico 3: sector *El Sauce*



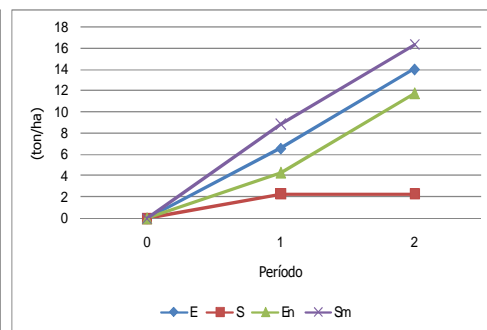
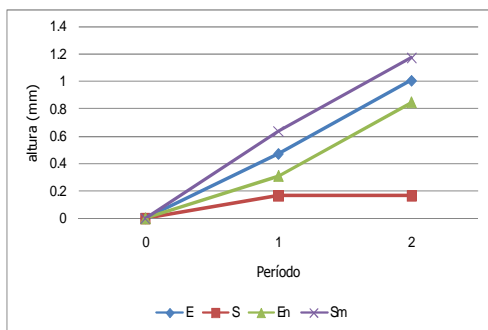
d. Gráfico 4: Medias totales acumuladas sector *Cogotí 18*



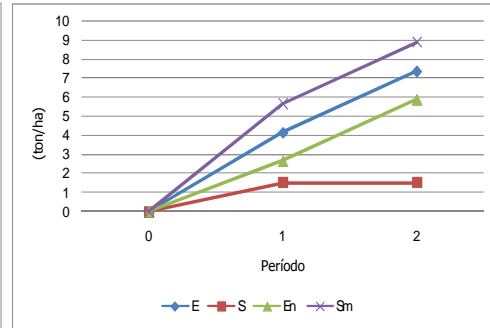
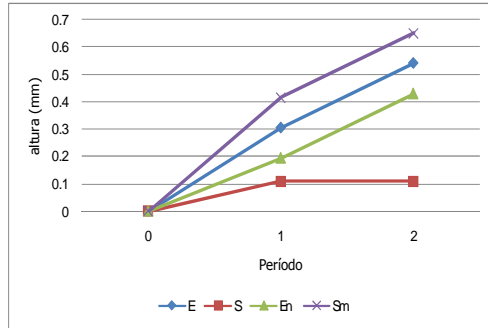
e. Gráfico 5: sector *Pichasca*



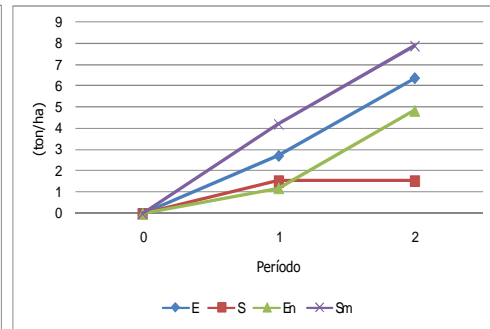
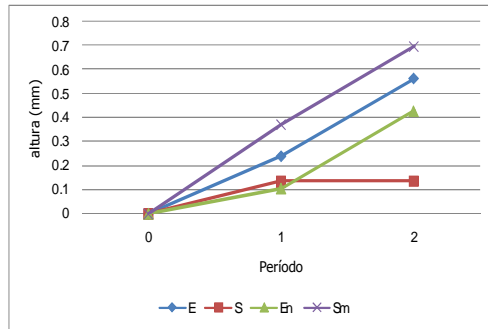
f. Gráfico 6: sector *La Coipa*



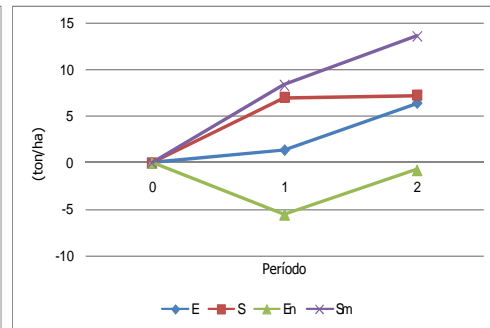
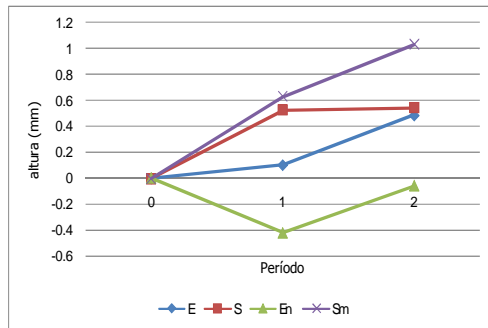
g. Gráfico 7: sector *Romeralsillo*



h. Gráfico 8: sector *Barraza*

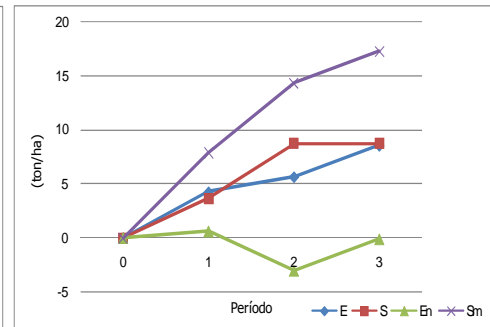
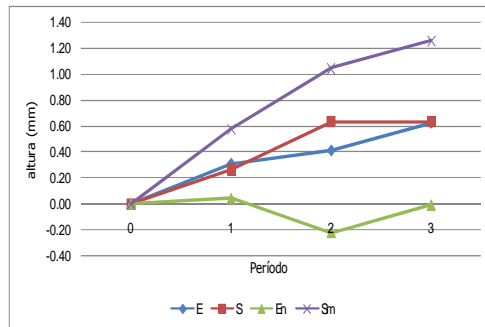


i. Gráfico 9: sector *El Espinal*

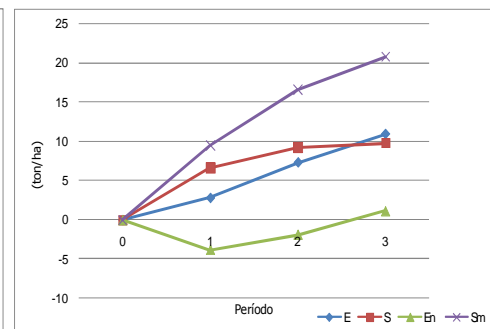
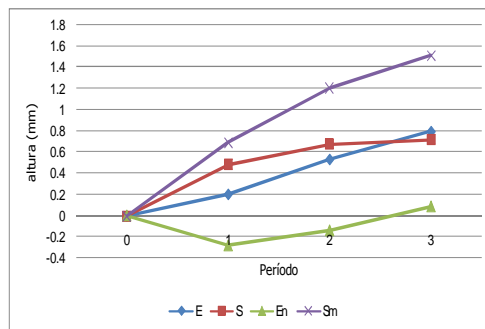


j. Gráfico 10: sector *La Rinconada*

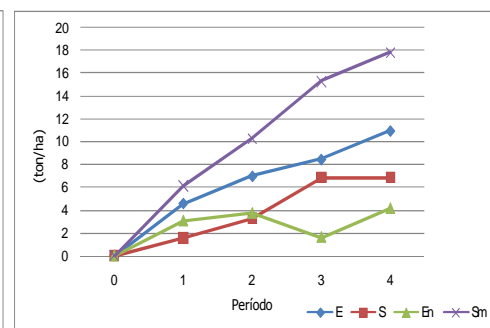
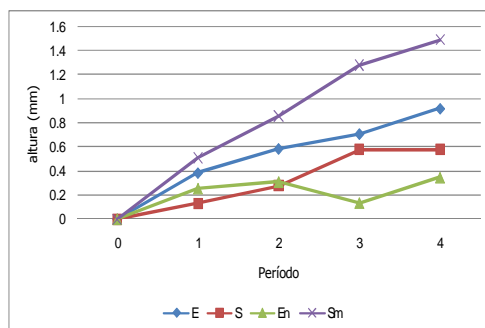
### 9.2.3. Provincia de Choapa



a. Gráfico 1: sector *Huanque*

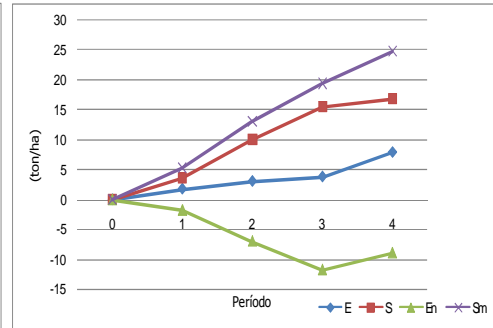
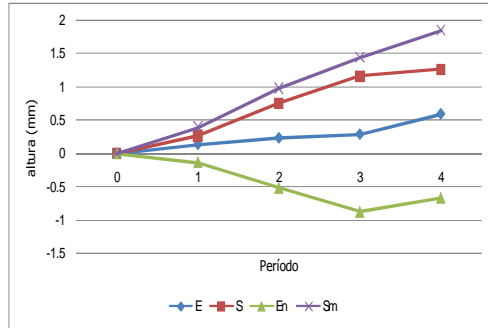


b. Gráfico 2: sector *Las Chinchillas*

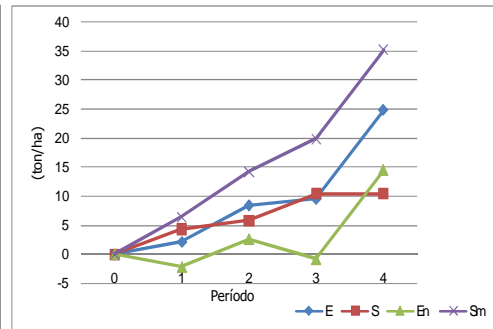
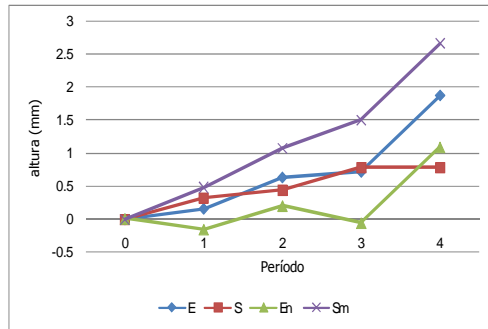


c. Gráfico 3: sector *Tunga Norte*

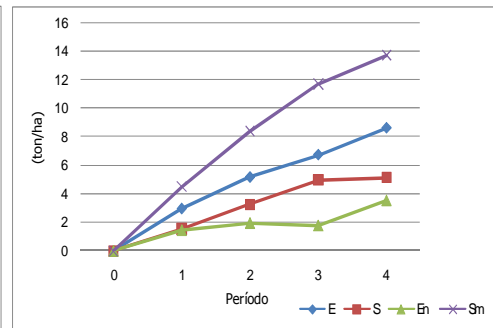
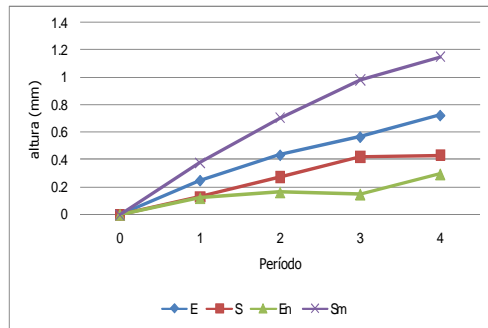




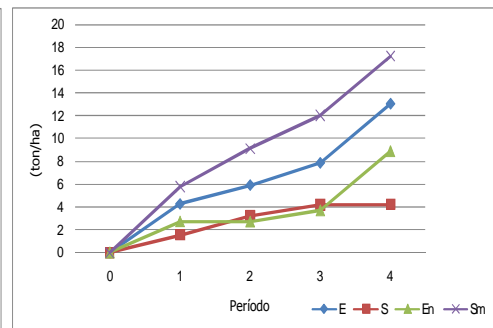
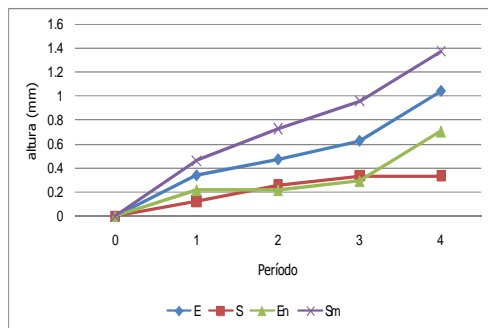
d. Gráfico 4: sector *Atelcura*



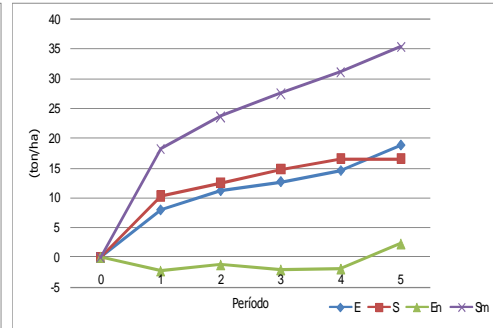
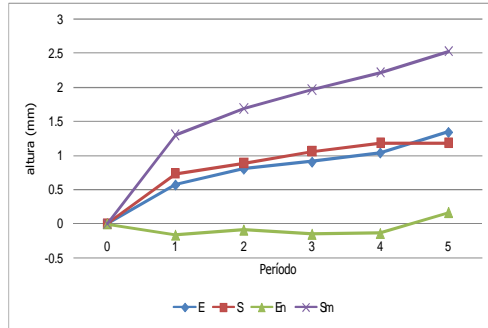
e. Gráfico 5: sector *Agua fría*



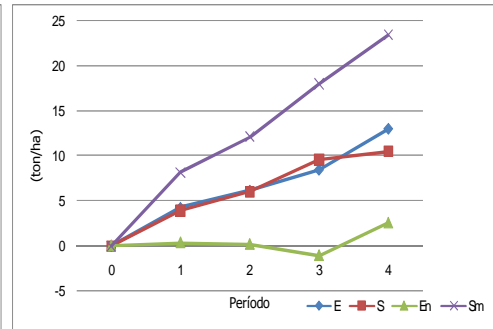
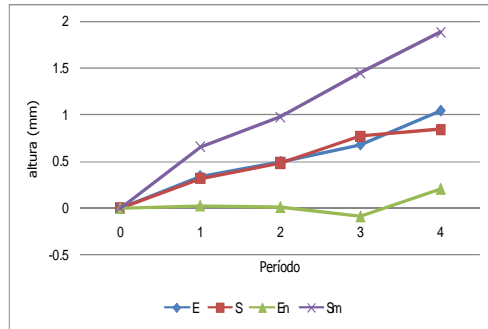
f. Gráfico 6: sector *Carquindaño*



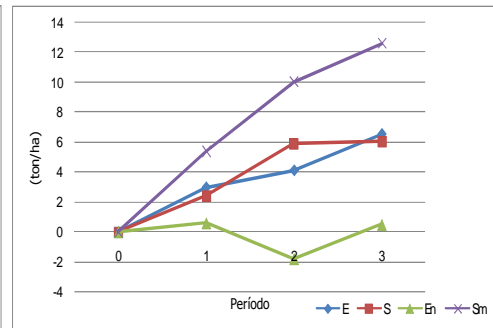
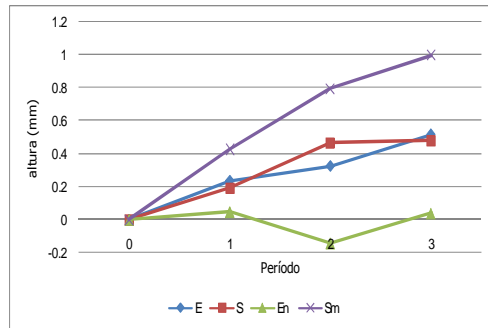
g. Gráfico 7: sector *El Chilcal*



h. Gráfico 8: sector *Yerba Loca*

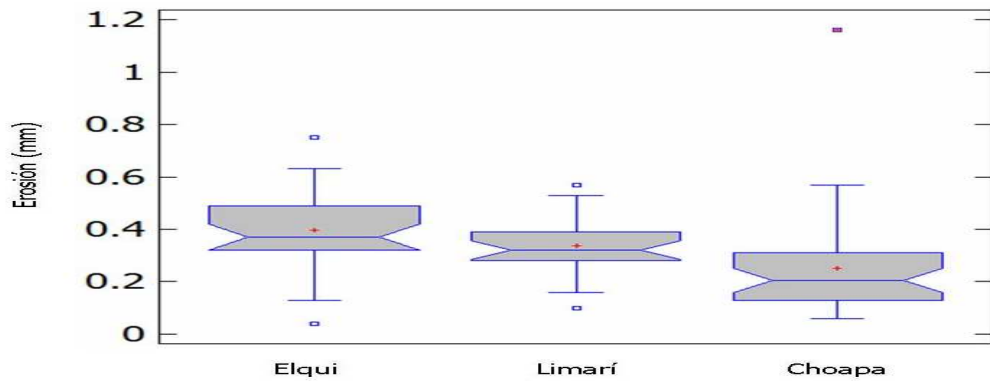


i. Gráfico 9: sector *Cañas del Choapa*

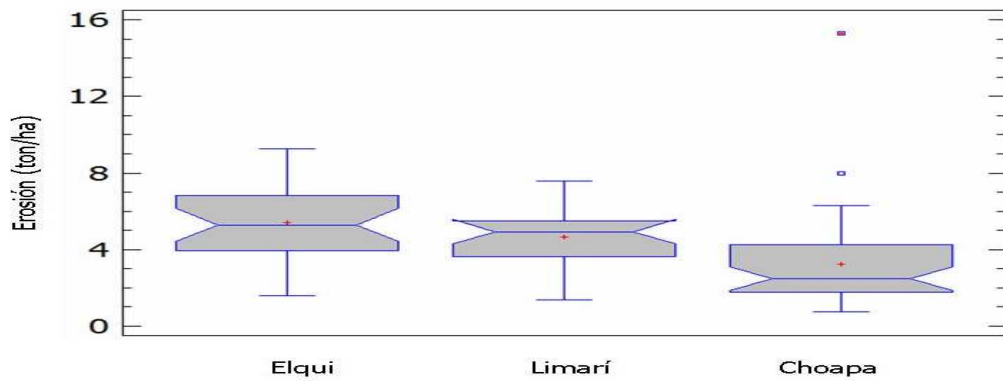


j. Gráfico 10: sector *Caracas Los Vilos*

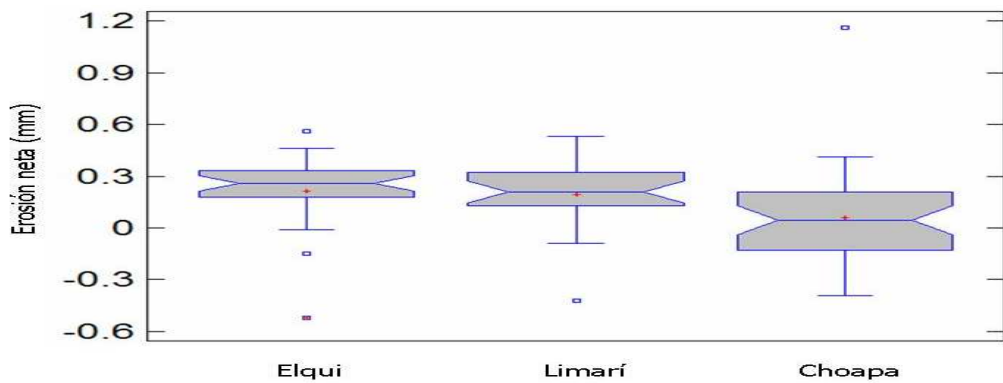
### 9.3. Apéndice 3: Análisis de Caja y Bigotes



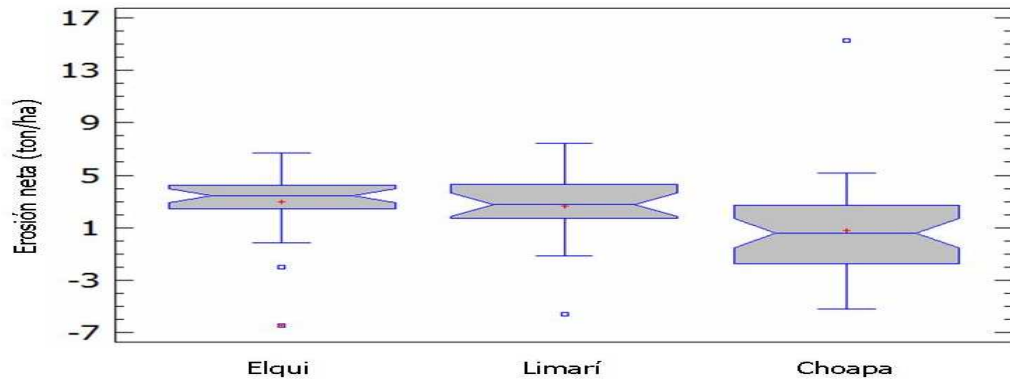
a. Gráfico 1. Resultados de erosión (mm)



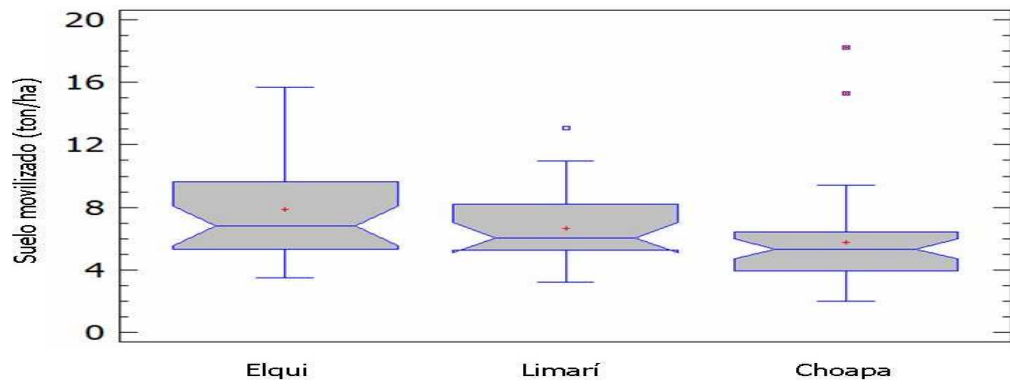
b. Gráfico 2. Resultados de erosión (ton/ha)



c. Gráfico 3. Resultados de erosión neta (mm)



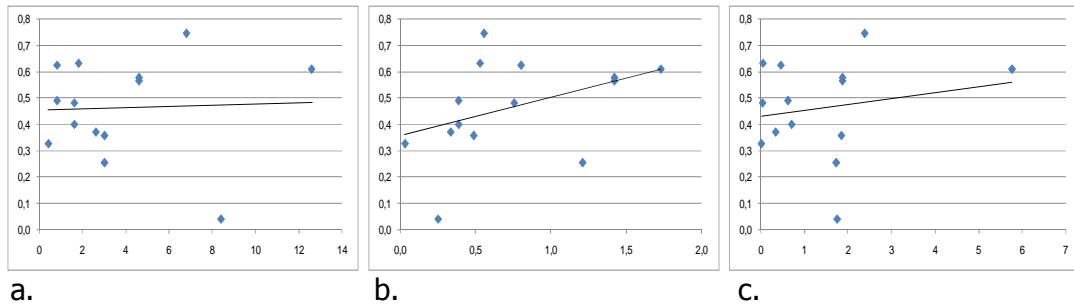
d. Gráfico 4. Resultados de erosión neta (ton/ha)



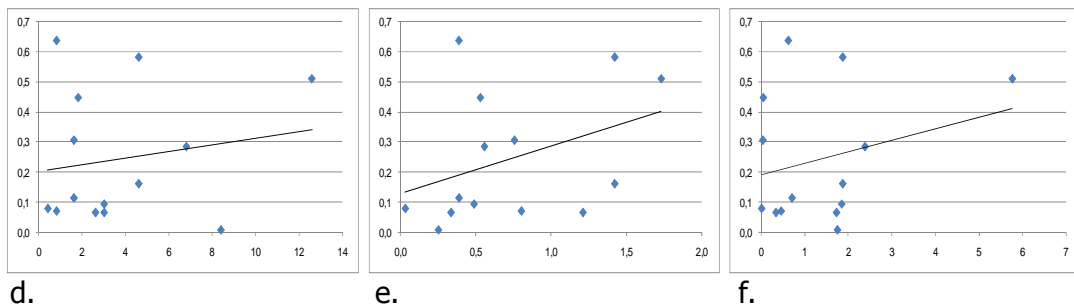
e. Gráfico 5. Resultados de suelo movilizado (ton/ha)

#### 9.4. Apéndice 4: Resultados Gráficos para los Procesos Erosivos v/s Variables Pluviométricas

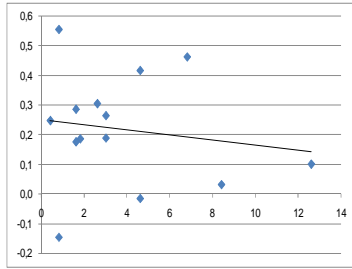
##### 9.4.1. Provincia de Elqui



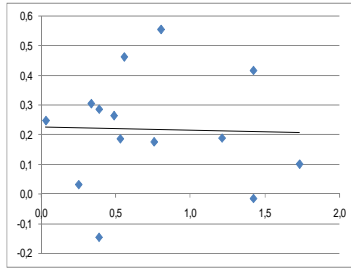
- a. Gráfico 1. Erosión (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)
- b. Gráfico 2. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)
- c. Gráfico 3. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



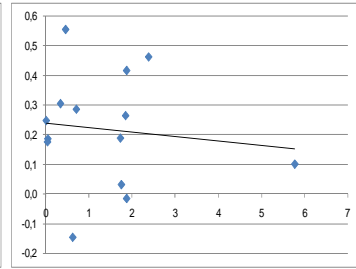
- d. Gráfico 4. Sedimentación (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)
- e. Gráfico 5. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)
- f. Gráfico 6. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad máxima en 1 hora (mm)



g.



h.

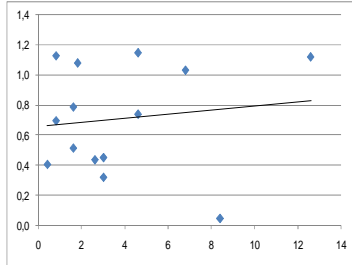


i.

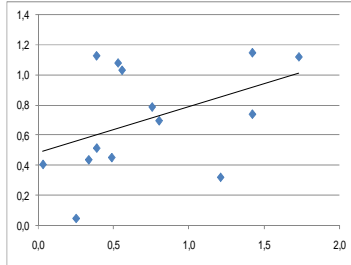
g. Gráfico 7. Erosión neta (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

h. Gráfico 8. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

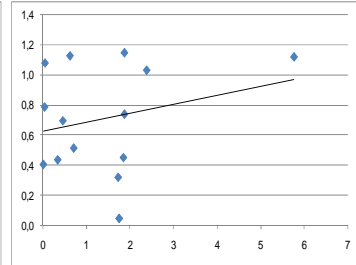
i. Gráfico 9. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



j.



k.



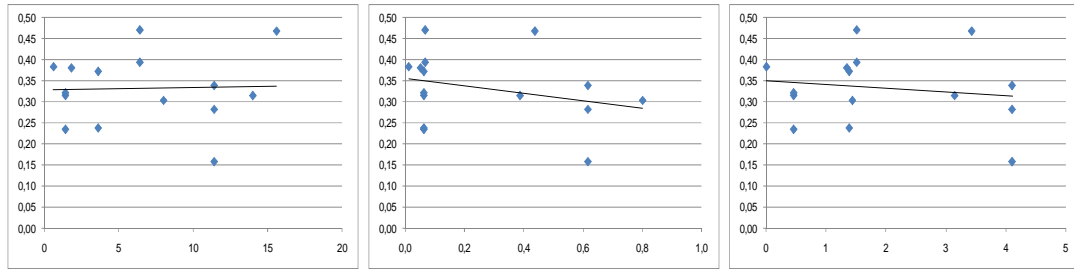
l.

j. Gráfico 10. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

k. Gráfico 11. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

l. Gráfico 12. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)

## 9.4.2. Provincia de Limarí



a.

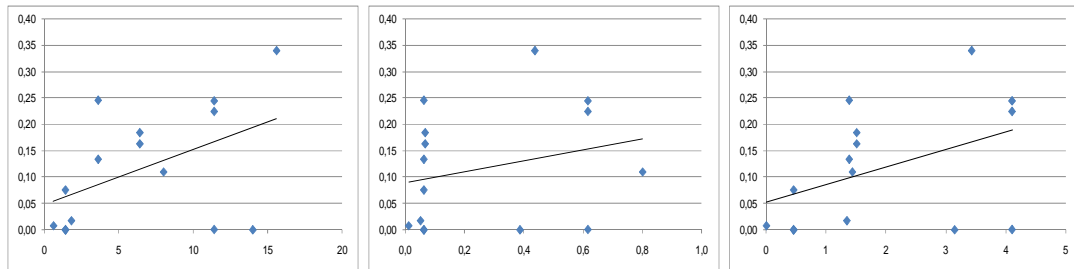
b.

c.

a. Gráfico 1. Erosión (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

b. Gráfico 2. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

c. Gráfico 3. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



d.

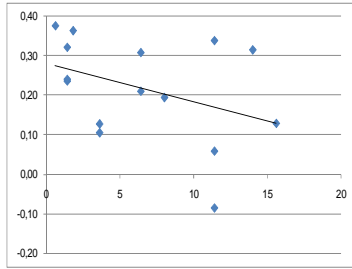
e.

f.

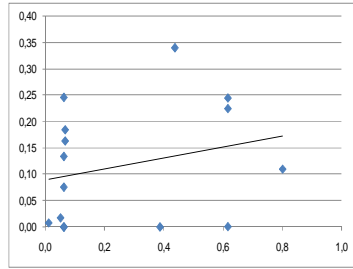
d. Gráfico 4. Sedimentación (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

e. Gráfico 5. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

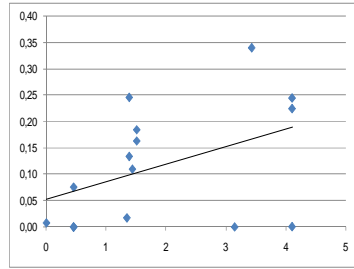
f. Gráfico 6. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad máxima en 1 hora (mm)



g.



h.

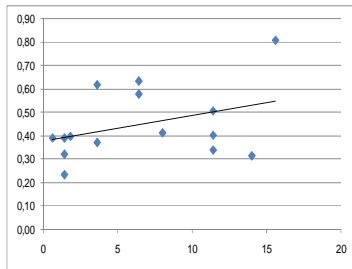


i.

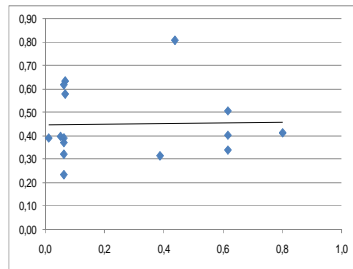
g. Gráfico 7. Erosión neta (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

h. Gráfico 8. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

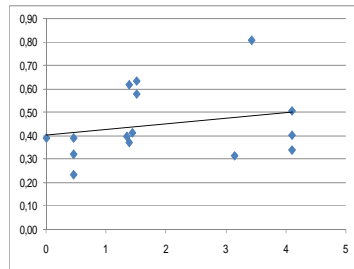
i. Gráfico 9. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



j.



k.



l.

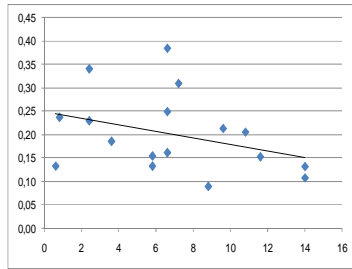
j. Gráfico 10. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

k. Gráfico 11. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

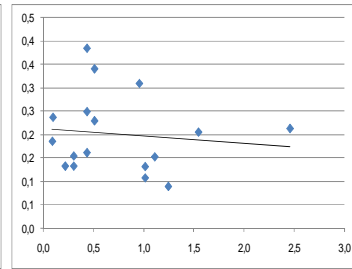
l. Gráfico 12. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



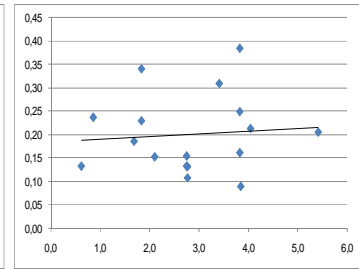
### 9.4.3. Provincia de Choapa



a.



b.

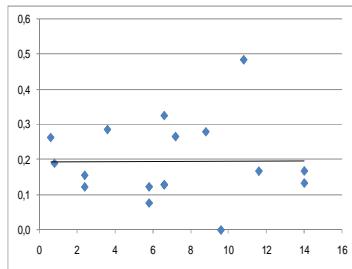


c.

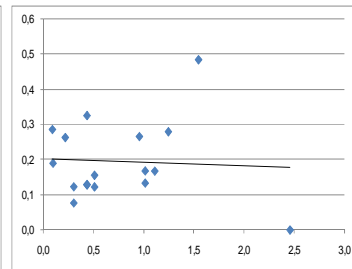
a. Gráfico 1. Erosión (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

b. Gráfico 2. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

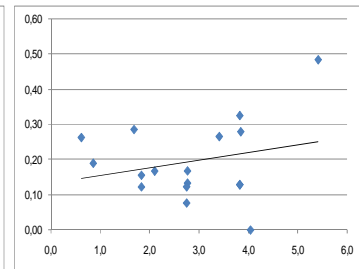
c. Gráfico 3. Erosión (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



d.



e.

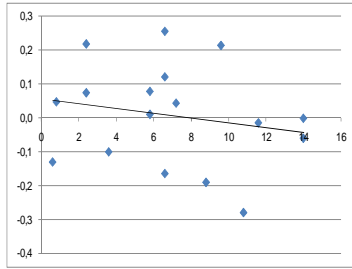


f.

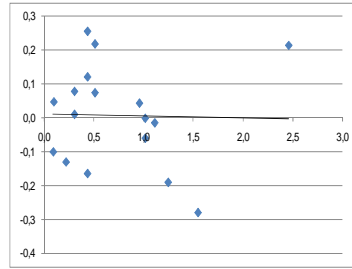
d. Gráfico 4. Sedimentación (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

e. Gráfico 5. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

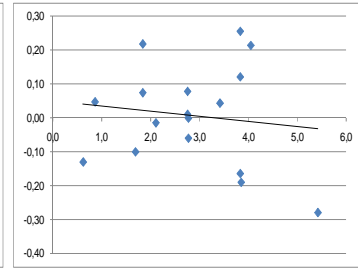
f. Gráfico 6. Sedimentación (ton/ha) v/s Intensidad máxima en 1 hora (mm)



g.



h.

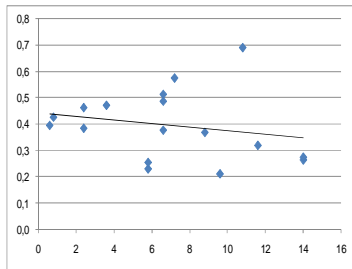


i.

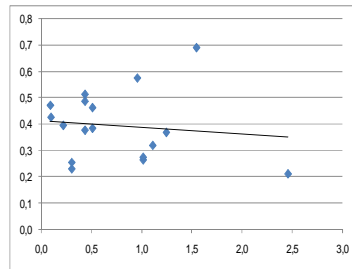
g. Gráfico 7. Erosión neta (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

h. Gráfico 8. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

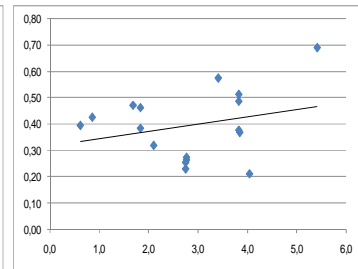
i. Gráfico 9. Erosión neta (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)



j.



k.



l.

j. Gráfico 10. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Monto total de precipitación (mm)

k. Gráfico 11. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad de la tormenta (mm)

l. Gráfico 12. Suelo movilizado (ton/ha) v/s Intensidad máxima para 1 hora (mm)