



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA SÓLIDA  
UTILIZANDO UN SIMULADOR DE LLUVIA**

**ELIZABETH GABRIELA LAGOS FARÍAS**

**Memoria para optar al Título de:  
INGENIERO FORESTAL**

**Profesor Guía: Dr. Roberto Pizarro Tapia**

**TALCA – CHILE  
2006**



UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

La Srta. Elizabeth Gabriela Lagos Farías ha realizado la Memoria: “Caracterización del proceso precipitación-escorrentía sólida utilizando un simulador de lluvia”, como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El Profesor Guía es el Dr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Dr. Roberto Pizarro Tapia y el Dr. Carlos Mena Frau, han evaluado con nota 6,7 (seis coma siete).

**MARCIA VASQUEZ SANDOVAL**  
DIRECTORA  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

Talca, Enero de 2007

*Dedicada*

*A las personas más importantes en mi vida...  
mis padres Ruth y Juan*

*A mi familia..., tíos que me han apoyado siempre  
y primos que son mis hermanos*

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que han hecho posible la realización de este estudio; al igual que a todas aquellas que con su apoyo y amor han logrado, junto a mí, finalizar el largo camino de mi vida estudiantil...

Al Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC), por el financiamiento y apoyo en la implementación y realización del presente estudio.

Al Dr. Roberto Pizarro Tapia, mi profesor guía, el cual con sus constantes consejos y preocupación, facilitó el término de esta memoria, además de entregarme herramientas para desempeñarme y enfrentarme de mejor forma ante a la vida.

A mi familia..., ya que gracias a su constante apoyo, oraciones y amor incondicional, fue posible alcanzar este objetivo.

Finalmente agradezco a las amistades que forjé en la Universidad...gracias por su apoyo, amistad, cariño y comprensión.

Quisiera otorgar un especial agradecimiento a la *Chela*, por todo ese tiempo de estudio. A mí gran amigo *Manu*, *gracias por tú paciencia*. Y como no mencionar a,... *Nelly*, *Polaco*, *Héctor*, *kika*, *Cris*, *Carito*, *Elvisillo*, *Patana*,... ya que gracias a todos ustedes el camino se hizo más fácil.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	vi
SUMMARY .....	vii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1.    Objetivo General .....	3
2.2.    Objetivo Específico.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1.    Proceso de Erosión .....	5
3.1.1.    Definición y conceptos de erosión .....	5
3.1.2.    Mecanismos que intervienen en el proceso de erosión hídrica .....	6
3.1.3.    Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica .....	8
3.2.    Formas de Erosión Hídrica .....	10
3.2.1.    Erosión laminar o de manto.....	10
3.2.2.    Erosión por surcos o regueros.....	10
3.2.3.    Erosión en cárcavas o barrancos.....	10
3.3.    Erosión en Chile. Causas y Consecuencias .....	11
3.4.    Modelos de Evaluación de la Erosión Hídrica.....	12
3.4.1.    Modelos indirectos.....	13
3.4.2.    Modelos directos .....	13
3.5.    Simuladores de Lluvia .....	15
3.5.1.    El simulador utilizado por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC).....	17
3.5.2.    Construcción del simulador.....	17
4. METODOLOGÍA .....	20
4.1.    Antecedentes Generales de la Región .....	20
4.2.    Método de Trabajo y Descripción de las Actividades.....	21
4.2.1.    Revisión bibliográfica.....	21
4.2.2.    Lugar de emplazamiento de las parcelas.....	21
4.2.3.    Características de las parcelas.....	22
4.2.4.    Características del simulador de lluvia.....	23
4.2.5.    Instalación de los clavos de erosión .....	25
4.2.6.    Instalación de receptores para precipitación.....	26
4.2.7.    Medición de los clavos de erosión .....	27
4.2.8.    Cuantificación de la erosión hídrica .....	29
4.2.9.    Cuantificación de la escorrentía sólida.....	30
4.2.10.    Evaluación de la erosión a nivel del suelo.....	32
4.2.11.    Cuantificación de la precipitación.....	33
4.3.    Financiamiento .....	33
4.4.    Materiales.....	34

5.	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	35
5.1.	Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 1 .....	35
5.1.1.	Primera simulación de lluvia .....	35
5.1.2.	Segunda simulación de lluvia .....	38
5.2.	Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 2 .....	40
5.2.1.	Primera simulación de lluvia .....	40
5.2.2.	Segunda simulación de lluvia .....	43
5.3.	Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 3 .....	46
5.3.1.	Primera simulación de lluvia .....	46
5.4.	Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 4 .....	49
5.4.1.	Primera simulación de lluvia .....	49
5.4.2.	Segunda simulación de lluvia .....	52
5.5.	Evaluación de la Erosión a Nivel del Suelo.....	55
5.5.1.	Parcela N° 1 .....	55
5.5.2.	Parcela N° 2 .....	59
5.5.3.	Parcela N° 3 .....	64
5.5.4.	Parcela N° 4 .....	67
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
6.1.	Precipitación Efectiva .....	72
6.2.	Erosión.....	73
6.2.1.	Erosión calculada por el método de clavos de erosión .....	73
6.2.2.	Erosión calculada por el método de zanjas de recepción .....	74
6.2.3.	Erosión calculada por el método de muestras de sedimentos .....	74
6.3.	Comparación de Resultados entre Métodos.....	75
6.3.1.	Método clavos de erosión v/s método zanja de recepción .....	76
6.3.2.	Método clavos de erosión v/s método muestras de sedimentos .....	77
6.3.3.	Método muestras de sedimentos v/s método zanja de recepción .....	78
7.	CONCLUSIONES .....	79
7.1.	Conclusiones.....	79
7.2.	Recomendaciones.....	80
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	<i>APÉNDICES</i> .....	84
	<i>APÉNDICE 1.</i> Planillas de registro de las mediciones .....	85
	<i>APÉNDICE 2.</i> Mediciones de los clavos de erosión.....	88
	<i>APÉNDICE 3.</i> Datos pluviométricos simulador lluvia .....	94
	<i>APÉNDICE 4.</i> Cálculo de escorrentía sólida .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. El ciclo del agua.....	4
Figura 2. Etapas de la erosión hídrica.....	6
Figura 3. Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo.....	7
Figura 4. Clavo de erosión.....	15
Figura 5. Esquema general del simulador de lluvia utilizado por CAZALAC.....	18
Figura 6. Mapa de ubicación de la zona de estudio .....	20
Figura 7. Quebrada de Talca, zona de estudio. ....	21
Figura 8. Dimensión de la parcela tipo A. ....	23
Figura 9. Dimensión de la parcela tipo B. ....	23
Figura 10. Estanque y camioneta utilizados en el proceso de simulación.....	24
Figura 11. El simulador de lluvia en proceso.....	25
Figura 12. Disposición de los clavos de erosión en las parcelas.....	26
Figura 13. Disposición de receptores para precipitación.....	27
Figura 14. Medición de los clavos de erosión. ....	28
Figura 15. Clavo con altura de erosión. ....	29
Figura 16. Clavo con altura de sedimentación. ....	29
Figura 17. Disposición de los clavos dentro de la zanja de recepción.....	31
Figura 18. Recolección de muestras de sedimentos en las parcela tipo B.....	32
Figura 19. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 1 ..	55
Figura 20. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 1 ..	56
Figura 21. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 1 ..	57
Figura 22. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 1 ..	58
Figura 23. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 1 ..	59
Figura 24. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 2 ..	60
Figura 25. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 2 ..	60
Figura 26. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 2 ..	61
Figura 27. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 2 ..	62
Figura 28. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 2 ..	63
Figura 29. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 6 en la parcela N° 2 ..	63
Figura 30. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 3 ..	64
Figura 31. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 3 ..	65
Figura 32. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 3 ..	66
Figura 33. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 3 ..	66
Figura 34. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 3 ..	67
Figura 35. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 4 ..	68
Figura 36. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 4 ..	68
Figura 37. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 4 ..	69
Figura 38. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 4 ..	70
Figura 39. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 4 ..	70
Figura 40. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 6 en la parcela N° 4 ..	71
Figura 41. Gráfico de la erosión obtenida por los distintos métodos utilizados en el estudio.....	76

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Descripción de los materiales utilizados en el estudio.....	34
2. Volumen que sale del estanque en la primera simulación.....	35
3. Volumen que llega al suelo en la primera simulación.....	36
4. Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 1.....	36
5. Erosión producida en la primera simulación de lluvia.....	37
6. Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia.....	37
7. Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación.....	38
8. Volumen que llega al suelo en la segunda simulación.....	38
9. Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 1.....	39
10. Erosión producida en la segunda simulación de lluvia.....	39
11. Escorrentía sólida originada de la segunda simulación de lluvia.....	40
12. Volumen de agua que sale del estanque en la primera simulación.....	41
13. Volumen que llega al suelo en la primera simulación.....	41
14. Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 2.....	41
15. Erosión producida en la primera simulación de lluvia.....	42
16. Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia.....	43
17. Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación.....	44
18. Volumen que llega al suelo en la segunda simulación.....	44
19. Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 2.....	44
20. Erosión producida en la segunda simulación de lluvia.....	45
21. Escorrentía sólida producida en la segunda simulación de lluvia.....	45
22. Volumen que sale del estanque en la simulación realizada.....	46
23. Volumen que llega al suelo de la simulación de lluvia realizada.....	47
24. Resumen estadístico de precipitación para la parcela N° 3.....	47
25. Erosión producida en la primera simulación de lluvia.....	48
26. Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia.....	48
27. Volumen de agua que sale del estanque en la primera simulación.....	49
28. Volumen que llega al suelo en la primera simulación.....	50
29. Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 4.....	50
30. Erosión producida en la primera simulación de lluvia.....	51
31. Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia.....	51
32. Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación.....	52
33. Volumen que llega al suelo en la segunda simulación.....	53
34. Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 4.....	53
35. Erosión producida en la segunda simulación de lluvia.....	54
36. Escorrentía sólida producida en la segunda simulación de lluvia.....	54
37. Variación de cada punto de control presente en la columna 1.....	55
38. Variación de cada punto de control presente en la columna 2.....	56
39. Variación de cada punto de control presente en la columna 3.....	57
40. Variación de cada punto de control presente en la columna 4.....	58
41. Variación de cada punto de control presente en la columna 2.....	59
42. Variación de cada punto de control presente en la columna 1.....	60
43. Variación de cada punto de control presente en la columna 2.....	61
44. Variación de cada punto de control presente en la columna 3.....	61



<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
45. Variación de cada punto de control presente en la columna 4. ....	62
46. Variación de cada punto de control presente en la columna 5. ....	63
47. Variación de cada punto de control presente en la columna 6. ....	64
48. Variación de cada punto de control presente en la columna 1. ....	64
49. Variación de cada punto de control presente en la columna 2. ....	65
50. Variación de cada punto de control presente en la columna 3. ....	66
51. Variación de cada punto de control presente en la columna 4. ....	66
52. Variación de cada punto de control presente en la columna 5. ....	67
53. Variación de cada punto de control presente en la columna 1. ....	68
54. Variación de cada punto de control presente en la columna 2. ....	69
55. Variación de cada punto de control presente en la columna 3. ....	69
56. Variación de cada punto de control presente en la columna 4. ....	70
57. Variación de cada punto de control presente en la columna 5. ....	71
58. Variación de cada punto de control presente en la columna 6. ....	71
59. Resumen de la precipitación simulada en el estudio. ....	72
60. Resumen de la erosión obtenida a partir de los métodos utilizados. ....	73
61. Emisión de sedimentos en función de la precipitación en cada sub-parcela ....	75
62. Planilla para la parcelas. ....	86
63. Planilla para la zanja. ....	86
64. Planilla para la parcelas. ....	87
65. Primera y segunda medición (cm), parcela N° 1. Primera simulación ....	89
66. Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 1. Segunda simulación ....	89
67. Primera y segunda medición (cm) en la zanja. Primera simulación. ....	90
68. Segunda y tercera medición (cm) en la zanja. Segunda simulación. ....	90
69. Primera y segunda medición (cm), parcela N° 2. Primera simulación ....	90
70. Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 2. Segunda simulación ....	91
71. Primera medición (cm), parcela N° 3. Primera simulación. ....	92
72. Primera medición (cm) en la zanja. Primera simulación. ....	92
73. Primera y segunda (cm), parcela N° 4. Primera simulación ....	93
74. Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 4. Segunda simulación ....	93
75. Datos pluviométricos de la parcela N° 1. ....	95
76. Datos pluviométricos de la parcela N° 2. ....	96
77. Datos pluviométricos de la parcela N° 3. ....	97
78. Datos pluviométricos de la parcela N° 4. ....	98
79. Cálculo de la densidad aparente para cada parcela ....	100
80. Datos de sedimentos, parcela N° 2. Primera simulación ....	100
81. Resumen cálculo de la escorrentía. Primera simulación ....	101
82. Datos de sedimentos, parcela N° 2. Segunda simulación ....	101
83. Resumen cálculo de la escorrentía. Segunda simulación ....	101
84. Datos de sedimentos, parcela N° 4. Primera simulación ....	101
85. Resumen cálculo de la escorrentía. Primera simulación ....	102
86. Datos sedimentos, parcela N° 4. Segunda simulación ....	102
87. Resumen cálculo de la escorrentía. Segunda simulación ....	102

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar la generación de erosión superficial bajo condiciones de simulación de lluvias artificiales en la IV Región de Coquimbo, con el propósito de analizar cuantitativamente la generación del proceso precipitación escorrentía sólida. De esta manera, es posible reproducir el fenómeno erosivo y cuantificarlo, en una zona en que las precipitaciones son escasas, pero de gran torrencialidad, y caen sobre terrenos sin mayor cobertura vegetal.

El estudio se efectuó a 50 km de la ciudad de La Serena, en el sector Quebrada de Talca, donde se instalaron 4 parcelas experimentales. En tres de ellas se reprodujeron dos tormentas y en la cuarta, sólo se reprodujo una. La duración promedio de las tormentas, fue de 21 minutos; la precipitación promedio aportada por el simulador fue de 0,92 m<sup>3</sup>; y en promedio, el agua que efectivamente llegó al suelo, fue el 50,3%.

La erosión se determinó por tres métodos; el método de clavos de erosión, que arrojó en promedio un valor de 12,8 ton/ha; el método de la zanja de recepción, a la salida de la parcela, que se midió con clavos en su interior, la que arrojó un promedio de 437,9 ton/ha; y el método de muestras de sedimentos, que estimó un promedio de 41 ton/ha.

De los resultados entregados, se desprende la altísima variabilidad de los mismos, lo cual señalaría que alguno de los métodos no es el adecuado para la estimación de erosión. Parecería que la medición de los clavos, una vez ocurrido el proceso de simulación de la lluvia, no fue el adecuado, dado que el terreno estaba muy saturado y expandido, y ello explicaría la alta variación con los métodos en que se trabajó con clavos. Por tanto, y al parecer, el método más adecuado para la estimación de la erosión, sería el de muestras de sedimentos; asimismo, se recomienda medir con clavos, una vez que el suelo haya vuelto a su estado inicial de humedad.

Palabras claves: erosión, escorrentía, simulador de lluvia.

## SUMMARY

The objective of this study is to determine the generation of low superficial erosion under conditions of artificial rain simulation in the Region de Coquimbo, with the purpose of analyzing quantitatively the rain generated solid run-off. In this manner, it is possible to reproduce the erosive phenomenon and to quantify it in a zone in which rainfall is scarce, but of great intensity, and falls on lands without vegetable cover.

The study was performed 50 km from the city of La Serena, in the Quebrada de Talca sector, where 4 experimental plots were installed. In three of them two storms were simulated and in the fourth, only one. The average duration of the storms was 21 minutes; the average rain contributed by the simulator was 0.92 m<sup>3</sup>; and on the average, the water that really arrived on the ground was 50.3%.

The erosion was determined by three methods: the erosion nail method that gave on average a value of 12.8 ton/h; the receiving trench method on the way out of the plot measured with nails in its interior, which gave average of 437.9 ton/h; and the method of sediments samples that gave an average of 41 ton/h.

Of the results delivered, the high variation would indicate that some of the methods are not adequate for the estimation of erosion. It would seem that the measurement of the nails after the simulation process was not the adequate one, given that the soil was saturated and expanded which would explain the high variation with the methods nails. Therefore, seemingly, the most adequate method for the estimation of erosion would be that of sediment samples. Likewise, measuring the nails once the soil has returned to its initial state of humidity is recommended.

Key words: rain erosion, run-off, rainfall simulator.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el país ha ido adquiriendo relevancia el problema de la degradación de los recursos naturales y particularmente aquellos aspectos relacionados con la desertificación y la pérdida del suelo. Estos fenómenos están directamente asociados a actividades socioeconómicas y a aspectos naturales, entre los cuales destacan las condiciones climáticas, de relieve, las características del terreno y el uso del suelo.

En Chile, uno de los principales problemas en el proceso de degradación es la erosión. Ésta es causada por la acción del agua o del viento y se asocia a la falta y/o pérdida de la cobertura vegetal. La erosión hídrica se produce por el agua de lluvia que no infiltra y escurre superficialmente, generando el transporte de partículas.

La erosión también se relaciona con prácticas agrícolas en terrenos con pendiente, las cuales incrementan este proceso, siendo probable que en el futuro sea prácticamente irreversible recuperar el recurso suelo. Esto sería evitable manejando y administrando sosteniblemente los recursos.

El presente estudio tiene por objetivo evaluar la erosión hídrica, a través del método de parcelas con clavos de erosión y del método de muestras de sedimentos, empleando un simulador de lluvia. Así, los simuladores de lluvia son utilizados en proyectos de investigación, los que consisten en estimar la infiltración y el transporte de sedimentos en diferentes tipos de suelos y pendientes. Además permiten analizar la vulnerabilidad de suelos desnudos a la erosión y ello a través de la simulación de precipitaciones a una intensidad dada.

Estos estudios son particularmente importantes en zonas áridas y semiáridas, donde las precipitaciones, aunque escasas, a menudo presentan altas intensidades en cortos períodos, por lo cual provocan mayores daños en suelos sin protección. Asimismo, si se cuenta con simuladores de lluvia, es posible hacer estimaciones de erosión cuando las lluvias no ocurren, hecho altamente frecuente en estas zonas.

El estudio se realizó en la Región de Coquimbo, donde predominan problemas de erosión asociados a la deforestación, la expansión urbana, la degradación de material biológico, la escasez e irregularidad de las precipitaciones, el sobrepastoreo y el mal uso de la capacidad productiva de los suelos (Pérez y González, 2001).

Por otra parte, la Región de Coquimbo, en el último tiempo ha demostrado que sus tierras presentan una alta productividad. A pesar del clima existente, ha sido capaz de entregar generosos resultados en la actividad hortofrutícola, una de las principales actividades económicas, con lo cual ha logrado diversificar su propuesta, superando a la economía de tiempos pasados, dedicada exclusivamente a la minería.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Contribuir al conocimiento del proceso precipitación escorrentía-sólida, en la Región de Coquimbo, a través de un simulador de lluvia.

### **2.2. Objetivo Especifico**

- Determinar la generación de erosión superficial en parcelas experimentales, bajo condiciones de simulación.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Chow *et al.* (1994), explican que en el ciclo hidrológico los procesos ocurren en forma continua. El agua se evapora desde la superficie terrestre y los océanos, para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y eleva hasta que se condensa y precipita; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial; ésta por evaporación será devuelta a la atmósfera (Figura 1), completándose así el ciclo.

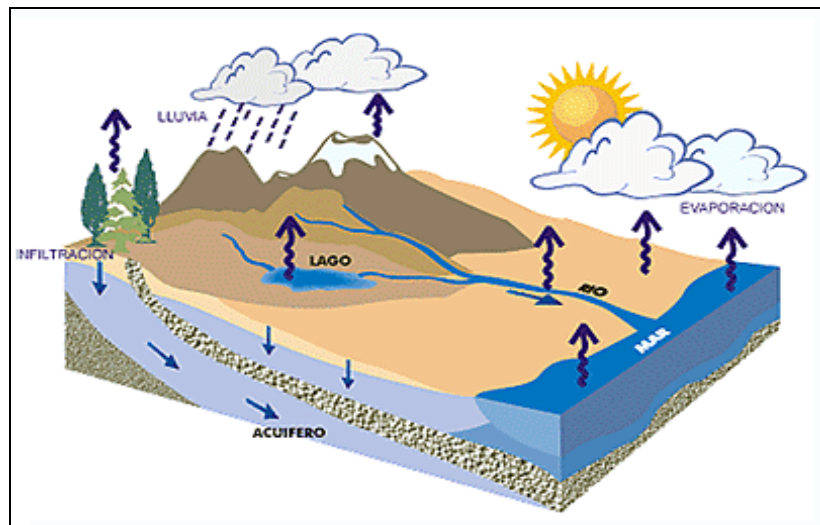


Figura 1. El ciclo del agua.

Fuente: [www.unesco.org](http://www.unesco.org)

Una porción del agua de lluvia que es interceptada por la vegetación es devuelta a la atmósfera por evaporación, perdiéndose así el efecto erosivo de la lluvia, ya que las gotas disminuyen su aceleración al chocar (CMPC, s.f.).

En este marco, se hace necesario conocer el ciclo hidrológico para introducirse en el proceso de la erosión hídrica, por el efecto de las precipitaciones y la escorrentía sobre el suelo.

### **3.1. Proceso de Erosión**

Honorato (2000), señala que los procesos erosivos se caracterizan por ser relativamente lentos, intermitentes y recurrentes en el tiempo, ya que están asociados a las lluvias o al viento. Son a la vez progresivos, ya que se va perdiendo el suelo superficial. Esto significa que se trata de procesos irreversibles y su recuperación es a menudo imposible.

Una de las principales causas de la desertificación es la degradación del suelo a través de los procesos erosivos. La acción de la precipitación y la escorrentía son los mecanismos primordiales que intervienen en la erosión hídrica.

#### **3.1.1. Definición y conceptos de erosión**

Erosión se define como el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado por el agua y el viento (Suárez, 1980). Si el agente es el agua, se habla de erosión hídrica y para el caso del viento se denomina erosión eólica.

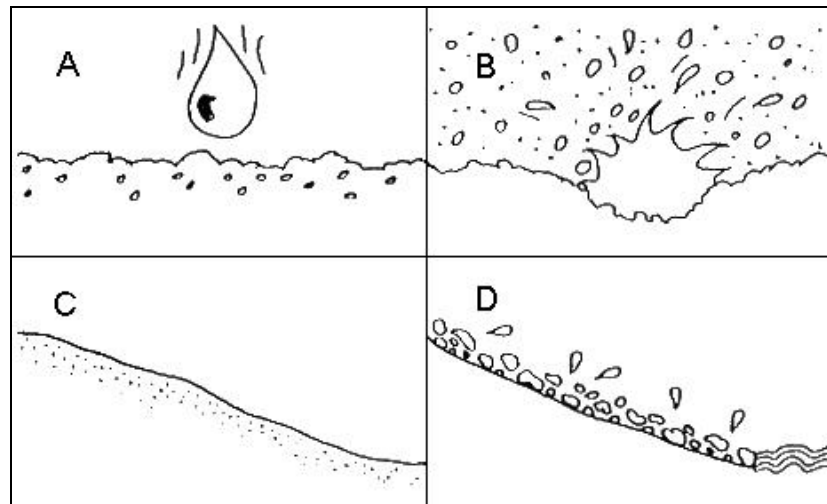
La erosión acelerada es el proceso de degradación que induce el hombre en los suelos, a través de prácticas incorrectas de uso y manejo. Esta erosión causa efectos dañinos al sitio, además de provocar una disminución de la productividad como consecuencia de la pérdida de nutrientes, de materia orgánica y parte del suelo mineral (Gayoso y Alarcón, 1999).

Al hablar de erosión hídrica se debe destacar que ésta será producida por dos factores; la velocidad de flujo y el tamaño de las partículas transportadas. Específicamente ésta es causada por acción de la energía cinética de las gotas de lluvia al impactar en una superficie de terreno desnudo, o no debidamente protegida por la vegetación. Esta acción separa las partículas de los agregados del suelo, las que posteriormente son arrastradas por el escurrimiento superficial de las aguas (Pérez y Gonzáles, 2001).



### 3.1.2. Mecanismos que intervienen en el proceso de erosión hídrica

Como se mencionó anteriormente, el agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas y mediante la escorrentía o agua de escurrimiento (Suárez, 1980). Por esta razón se hace necesario diferenciar la acción de la precipitación y de la escorrentía, ya que éstos son los mecanismos que intervienen en el proceso de erosión.



**Figura 2.** Etapas de la erosión hídrica.

Fuente: [www.rolf-derpsch.com](http://www.rolf-derpsch.com)

Como se exhibe en la figura 2, el proceso de erosión comienza por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A); sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B); que tapan los poros formando una selladura superficial (C); provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos (D), (Derpsch, 2004).

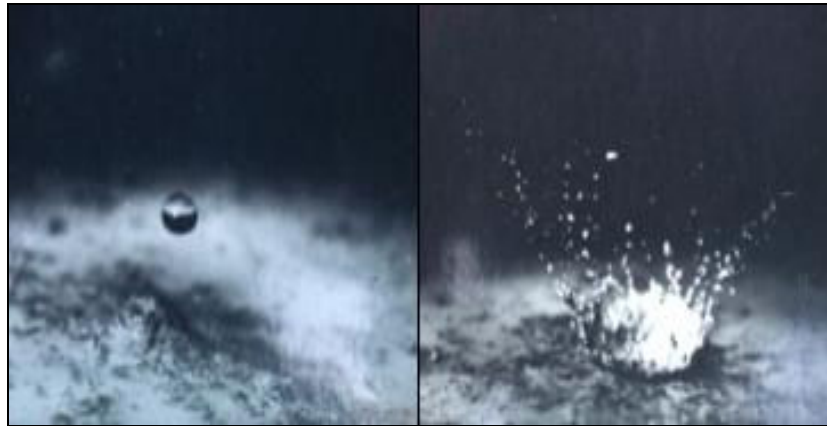
#### 3.1.2.1. Acción de la precipitación

Según Llamas (1993), las precipitaciones constituyen un fenómeno físico que describe la transferencia de agua, en su fase líquida o sólida, entre la atmósfera y el suelo. El término precipitación, se emplea para designar la caída de agua, bajo

cualquiera de sus formas, sobre la superficie terrestre: lluvia, nieve, granizo y sus modificaciones.

Stallings (1962), citado por Farfán (2002), señala que la precipitación puede evaporarse, infiltrarse o quedar en la superficie y si los terrenos presentan pendiente el agua escurre, pero solo cuando se supera la capacidad de infiltración. El exceso de precipitación, o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo (Chow *et al.*, 1994).

El efecto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo, se denomina erosión por salpicadura. Cuando la gota cae a través de la atmósfera, sufre cambios en su tamaño por condensación o evaporación; ésta cae por gravedad y al no encontrarse con obstáculos, golpea al suelo con una fuerza considerable, disgregando así las partículas terrosas. Son las lluvias violentas las de mayor poder destructor; las lluvias finas y lentas son poco erosivas (García, 1999).



**Figura 3.** Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo.

Fuente: [www.rolf-derpsch.com](http://www.rolf-derpsch.com)

Como se muestra en la figura 3, cuando llueve se verifica que gotas de hasta 6 mm de diámetro, bombardean la superficie del suelo a velocidades de impacto de hasta 32 km/h. El impacto de la gota lanza partículas de suelo y agua en todas direcciones a una distancia de hasta 1 metro (Derpsch, 2004).

### **3.1.2.2. Acción de la escorrentía**

Suárez (1980), define escorrentía como la porción de las lluvias que no penetra al perfil suelo y fluye hacia los ríos en forma de corriente superficial. Se entiende por escorrentía, el flujo por gravedad de la superficie del suelo, según la pendiente del terreno. Puede transcurrir mucho tiempo entre el momento en que caen las primeras gotas de la tormenta y aquel donde se observa un aumento del caudal (Llamas, 1993).

Según Peralta (1976), el agua de escurrimiento se mueve en la superficie del suelo de dos formas: como una delgada lámina de agua en toda la superficie del suelo, o concentrada, lo que también se llama, escurrimiento canalizado.

La formación de escurrimiento superficial dependerá del régimen de las precipitaciones y de las características del suelo. Si estas características permiten la infiltración de una cantidad de agua igual o superior a la que aporta la precipitación, no se producirá ninguna corriente superficial; en caso contrario, se formará una lámina superficial que escurrirá ladera abajo, en función de la pendiente del terreno (Mintegui y López, 1990). En este contexto, a medida que el agua se concentra va aumentando su cantidad, su velocidad y la cantidad de materiales en suspensión, lo cual le da un mayor poder socavante y transportador de partículas, situación que sólo se modifica por las variaciones de la lluvia y las variaciones de la erodabilidad del suelo (Peralta, 1976).

### **3.1.3. Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica**

Entre los principales factores que pueden influenciar la tasa de erosión en un lugar determinado, están la intensidad de las precipitaciones y su duración, el grado de inclinación de la pendiente y su longitud, la erodabilidad propia del suelo y la cobertura del suelo tanto en altura como en la superficie<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Comunicación personal de Rodolfo Neuenschwander, profesor de la cátedra de Sistema de Cosecha, Universidad de Talca, 2002.

Así y según Suárez (1980), citado por Pizarro (2005), el factor climático que más influye en la erosión es la precipitación. De su cantidad, intensidad y distribución depende el volumen del flujo que se desliza en capa uniforme sobre la tierra, llevando en suspensión las sustancias minerales.

Entre los factores topográficos que tienen influencia en la erosión hídrica, se encuentran esencialmente el ángulo de la pendiente; (mientras más pronunciada, mayor severidad de la erosión); el largo de la ladera (a mayor largo de la ladera se incrementa la severidad de la erosión); y la forma de la ladera (Gayoso y Alarcón, 1999).

En relación al suelo, la determinación de los efectos que las variables propias de éste ejercen sobre la escorrentía y la erosión, se asocian con las características físicas del mismo, tales como la textura y la estructura.

*La textura* de un perfil del suelo dado, afecta a la facilidad con que es absorbida el agua; por consiguiente, para que un perfil sea eficaz, es decir, para que continúe infiltrando después de haberse saturado el suelo es preciso que tenga una textura de suficiente uniformidad. *La estructura* del suelo, relacionada con los contenidos de humus y de cal, es otro factor determinante en la infiltración, por el efecto que ejerce la mayor o menor cantidad de poros (Ayres, 1960).

La cubierta vegetal constituye la más importante defensa contra la erosión y la escorrentía causada por la erosión hídrica. Sin embargo, no siempre es posible disponer de coberturas permanentes (praderas, bosques), ya que muchos terrenos se deben destinar a rotaciones de cultivos (Universidad de Chile, 1994). En este contexto, en general cualquier vegetal, vivo o muerto, que cubre la superficie del suelo y le presta protección, tiene como función principal detener y controlar la energía cinética de las gotas de lluvia, al mismo tiempo que detener y disminuir la velocidad del escurrimiento superficial y evitar que el agua canalice, aumentando la velocidad y acción erosiva (Peralta, 1976). Además, la presencia de vegetación permite estabilizar los terrenos cercanos a cursos de agua, evitando la sedimentación en sus orillas (CMPC, s.f.).

### **3.2. Formas de Erosión Hídrica**

Existen diferentes tipos de erosión hídrica, los cuales se pueden encontrar combinados en terreno. La definición de las formas en las cuales se distingue la erosión, normalmente se presenta en un orden creciente en función del daño producido al suelo.

#### **3.2.1. Erosión laminar o de manto**

Según Honorato (2000), la erosión laminar se define como el movimiento uniforme y difuso de una capa delgada de suelo sobre las laderas, como consecuencia del escurrimiento del agua.

Este tipo de erosión es altamente perjudicial, debido a que aporta grandes cantidades de sedimentos a los cursos de agua, además de remover la capa más fina de suelo, lo que se traduce en una notable disminución en la fertilidad (Mintegui y López, 1990). La erosión laminar deja al descubierto nuevas capas que son más erosionables.

#### **3.2.2. Erosión por surcos o regueros**

La erosión por surcos ocurre cuando por pequeñas irregularidades del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canalículos que se manifiestan en la superficie (Suárez, 1980). Este tipo de erosión se puede eliminar con la labranza (Honorato, 2000).

#### **3.2.3. Erosión en cárcavas o barrancos**

Ésta representa un estado avanzado de erosión; su formación es compleja y ha estado precedida por los tipos de erosión descritos anteriormente.

La erosión en cárcavas se genera por una gran concentración de escorrentía y se manifiesta por profundas incisiones en el terreno. Esto ocurre como consecuencia del flujo de agua que amplía y profundiza el surco o por la concentración del escurrimiento de varios surcos en uno, que posteriormente se agranda por socavamiento y por aceleración del proceso en dirección de la pendiente (Honorato, 2000).

### **3.3. Erosión en Chile. Causas y Consecuencias**

En Chile, en el siglo XIX diversos científicos evidenciaron que la deforestación era la principal causa de la erosión de suelos, ya que el bosque es una defensa natural contra la acción de la lluvia, el viento y los cambios climáticos. A mitad del siglo XX, ello pasó a ser un problema constante debido a la disminución en la fertilidad de los suelos. Por ésto, entre 1940 y 1960, se advierte que la nación se encontraba en riesgo y que era urgente realizar un plan de conservación de suelos (DIBAM, s.f.).

En el año 1979 el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), realizó un estudio para determinar la magnitud del proceso erosivo en el país, el cual señaló que la superficie total erosionada abarcaba 34.490.753 ha del territorio continental del país, lo que representaba el 45,7 %, presentando daños moderados a muy severos (Universidad de Chile, 1994).

Soto (1999), citado por Morgan (2005), señala que en la actualidad la erosión presenta características de extrema gravedad y afecta a una superficie de 47,3 millones de ha, lo que equivale al 60% del territorio nacional, concentrándose mayormente en las zonas áridas y semiáridas entre las regiones I y VIII y en las zonas sub-húmedas y secas de las regiones XI y XII.

Por lo tanto, se entiende que el fenómeno de la erosión ha ocurrido como resultado de un proceso gradual, a través del cual, además de los efectos erosivos del agua y el viento, tuvo lugar la desaparición del bosque nativo mediante devastadores incendios, el uso del suelo con fines agrícola-ganaderos y la explotación intensiva e irracional del bosque nativo para obtener madera y leña (CMPC, s.f.).

El daño o consecuencia directa de la erosión del suelo es la disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes; al deterioro físico del mismo, la pérdida de profundidad y en casos extremos, la pérdida total del suelo (Honorato *et al.*, 2001). Al daño directo de erosión provocado en terrenos de lomajes y cerros, se agrega una cadena de efectos asociados que se traducen en el deterioro de tierras bajas aledañas a los cursos de agua; alteración de los cauces de esteros y ríos; inundaciones que provocan daños en vías de comunicación, obras de riego y centros poblados, etc.

Lamentablemente, la erosión es un proceso lento que se detecta solamente en situaciones finales, cuando el daño resulta de enormes proporciones. Es más, un suelo erosionado a medida que pasa el tiempo continuará erosionándose. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos, para aplicar medidas que eviten la continua pérdida de este recurso. Además, para prevenir los efectos asociados de erosión, se debe orientar al reordenamiento del uso y manejo de las tierras agrícolas y de aptitud forestal.

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

Para la estimación o medición del grado de erosión existente en el suelo se han desarrollado distintos métodos, los cuales se han diferenciado en dos tipos; los modelos cualitativos y los modelos cuantitativos. En los modelos cualitativos destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad de la lluvia, suelo, vegetación, topografía), con otros atributos de ajustes más subjetivos (Honorato *et al.*, 2001). Por otra parte, los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y se diferencian en modelos de evaluación directa y en modelos de evaluación indirecta, donde estos últimos son los de mayor aplicación en la actualidad. Según López (1998), se ha intentado salvar el vacío existente entre los modelos de evaluación indirecta y los procesos físicos, pero se reconoce que falta mucho por hacer, tanto en la teoría del transporte de sedimentos en el flujo superficial, como en el trabajo experimental.

### **3.4.1. Modelos de evaluación indirecta**

Los métodos de evaluación indirecta están asociados a modelos que son representaciones simplificadas de la realidad (Honorato *et al.*, 2001); entre estos se pueden distinguir modelos estadísticos, modelos físicos y modelos paramétricos.

### **3.4.2. Modelos de evaluación directa**

Los modelos directos o de evaluación directa se desarrollan en terreno a través de modelos experimentales, por la medición en parcelas de erosión o por la medición de variables, tales como sedimentos en el agua y en algunos casos con la ayuda de los simuladores de lluvia, donde los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a zonas homogéneas (Honorato *et al.*, 2001).

En general, los modelos más conocidos son las parcelas de escurrimiento y las parcelas con clavos de erosión. Las parcelas de escurrimiento involucran la captación del caudal líquido y sólido, pero son difíciles de implementar por costos y tecnología. Las parcelas con clavos de erosión poseen una metodología experimental sencilla, directa, de gran precisión y principalmente de bajo costo, en los cuales la estimación de pérdida de suelo se realiza totalmente en terreno desnudo (Cuitiño, 1999).

#### **✓ Método de parcelas de escurrimiento**

El método de las parcelas de escurrimiento, igualmente conocidas como los medidores de erosión, es un sistema de captación de tierra que escurre de una parcela junto con el agua, la cual es almacenada en otros depósitos con el objetivo de medir su cantidad y calidad.

Según Peralta (1976), este es el único sistema que permite medir los kilos o toneladas de tierra que se pierden en un terreno bajo una pendiente, rotación y cobertura dada. Además, se debe enfatizar en que éste es un método inobjetable en su



exactitud de resultados, pero es un trabajo lento que requiere de años de trabajo sistemático.

#### ✓ **Método de parcelas con clavos de erosión**

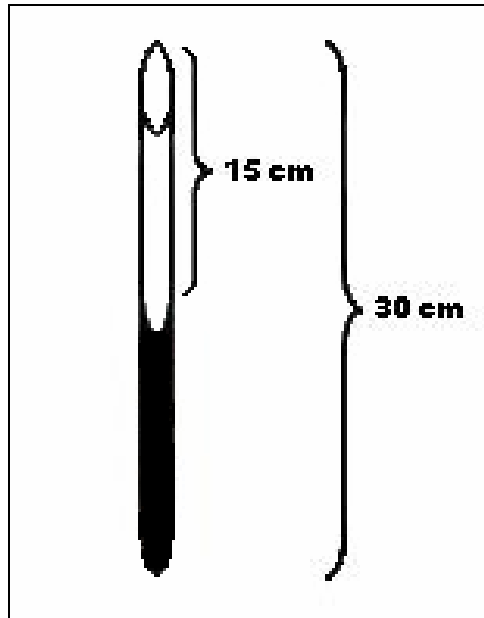
El método de las parcelas con clavos de erosión es un método adecuado para cuantificar la erosión hídrica producida en un sector determinado, ya que no sólo cuantifica la erosión hídrica propiamente tal, sino que también cuantifica la sedimentación producida en el mismo lugar (Cuitiño, 1999).

Peralta (1976), señala que este método corresponde a una medición cuali-cuantitativa. Y que para efectuar este tipo de mediciones se debe partir de la base que es posible evaluar la erosión conociendo previamente los suelos y su morfología.

Este método consiste simplemente en instalar parcelas a las cuales se les entierran clavos largos que marcan la línea inicial del suelo y donde las mediciones que se realizan, consisten en una medición topográfica al costado de cada clavo, obteniendo una medida de suelo perdido o sedimentado según el caso (Figura 4), la cual se efectúa después de ocurrida una tormenta.

Cada clavo presente en la parcela, se identifica a través de un sistema de coordenadas, lo que permite observar el comportamiento del suelo en cada punto de control a través del tiempo. Luego, por un sencillo cálculo volumétrico se puede medir la cantidad de suelo perdido.

La forma más económica y sencilla de implementar el método consiste en instalar la parcela y luego esperar que llueva; sin embargo la imprevisibilidad de las lluvias puede producir demoras indeseadas. La solución alternativa consiste en utilizar una lluvia "fabricada" artificialmente mediante el empleo de simuladores de lluvia (FAO, 1997).



**Figura 4.** Clavo de erosión.

Fuente: <http://eias.usalca.cl>

### **3.5. Simuladores de Lluvia**

La simulación y modelación de procesos, se ha aceptado como el recurso científico más viable para enfrentar problemas ambientales donde el agua es el factor principal. Para el caso de erosión de suelos, contaminación e infiltración, los simuladores de lluvia han venido a ofrecer una opción para cuantificar el efecto combinado de diferentes variables que involucran los procesos mencionados (Cepeda, 1999).

Según Meyer (1988), citado por Achutegui *et al.* (1996), los simuladores de lluvia han sido equipos diseñados con la finalidad de aplicar agua en forma similar a la lluvia natural, bajo condiciones controladas, empleándose para investigar sobre diferentes tipos de erosión de suelos y experimentos hidrológicos.

Por esta razón, los simuladores de lluvia son una de las herramientas desarrolladas en los últimos años para evaluar la erosión hídrica, las cuales intentan reproducir las lluvias naturales lo mejor posible en términos de sus características físicas y químicas.

El simulador de lluvia, tiene por objetivo analizar la vulnerabilidad a la erosión de suelos desnudos frente a eventos pluviométricos de diferente intensidad, a través de la

simulación de precipitaciones a una intensidad dada y la determinación de la infiltración y el transporte de sedimentos (CAZALAC, 2004). Así, éste puede ser un instrumento útil para ciertos fines; por ejemplo, en los estudios de las infiltraciones y la escorrentía, donde no es necesario que las precipitaciones simuladas tengan exactamente las mismas características que la lluvia natural. En otros estudios puede ser importante que los procesos de erosión no sean distorsionados a causa de que la lluvia simulada sea distinta de la lluvia natural.

Los principales factores a considerar en el uso de los simuladores, son las fuentes de energía, los suministros de agua y el acceso a éstos. La mayor parte de los simuladores requieren una fuente de energía para los motores y las bombas. Aunque existen pequeños generadores diesel o de petróleo confiables, ellos no son baratos y necesitan ser transportados (FAO, 1997).

La ventaja de utilizar un simulador, es que se puede acelerar la obtención de resultados y controlar la cantidad y tipo de precipitación; sin embargo, la repetición del uso del simulador en la misma parcela, aunque mejora la situación, no reemplaza las repeticiones del experimento debido a que no elimina los desvíos de la variación del suelo.

En las parcelas utilizadas para estos estudios, el desvío estará presente todas las veces en que se use el simulador; sólo se puede evitar estableciendo una parcela distinta para cada prueba. La dimensión requerida de las parcelas de ensayo, determinará el mejor tipo de simulador. Así por ejemplo, las parcelas pequeñas son idóneas para estudios de la erosión (FAO, 1997).

La desventaja en el uso de los simuladores, para parcelas grandes, es el alto costo y su funcionamiento requiere numerosa mano de obra. Los simuladores más sencillos y económicos se adaptan a parcelas de pocos metros cuadrados, aunque no reproducen las condiciones reales del flujo superficial. Otra desventaja, es que éstos se pueden ver afectados por el viento; de lo cual surge la necesidad de instalar cortavientos (FAO, 1997).

### **3.5.1. El simulador utilizado por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC)**

CAZALAC (2004), ha establecido ciertos requerimientos mínimos para el funcionamiento del simulador utilizado en sus investigaciones, los cuales se señalan a continuación.

#### *Dimensiones*

- Alto: Rango variable desde 1,2 a 2,5 m.
- Ancho: de 1 a 2 m.
- Largo: Para un número máximo de 10 aspersores.
- Distancia entre aspersores: 1 m.
- Tipo de aspersor: Spray nozzles.

*Superficie.* Se requiere cubrir una superficie máxima de 10 m<sup>2</sup>.

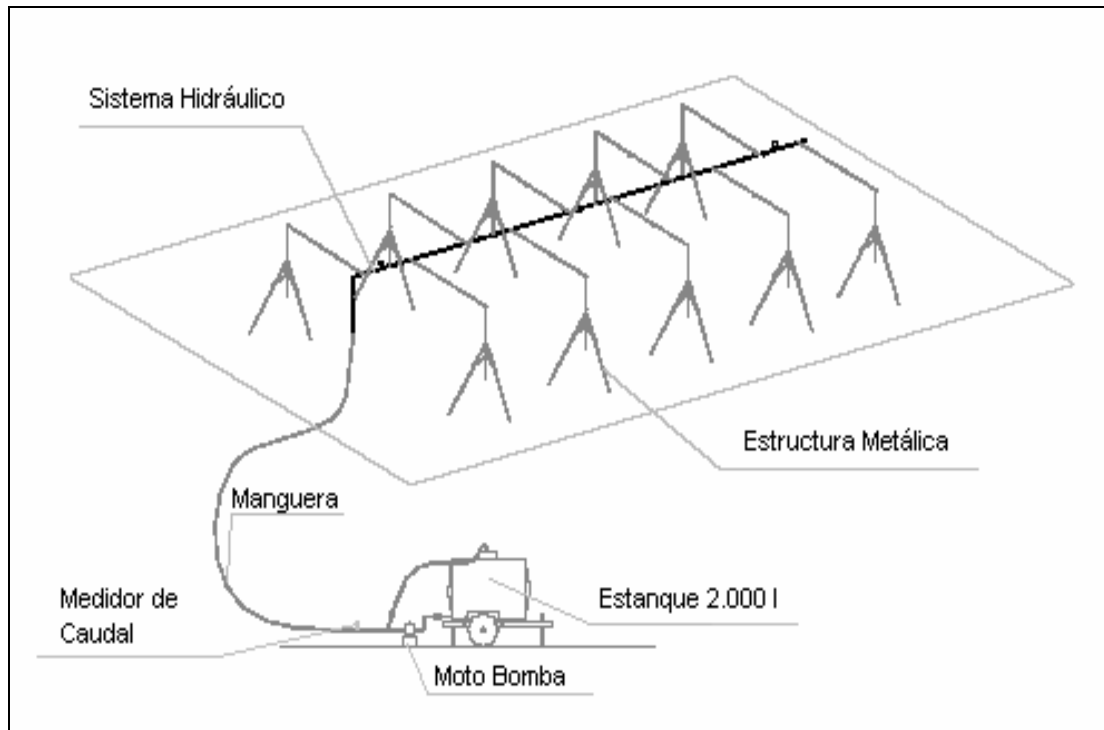
*Intensidades de lluvia.* La intensidad máxima requerida es de 100 mm/h, durante 30 minutos.

*Potencia de la bomba.* Para el requerimiento de la intensidad máxima, se considera una bomba que impulse desde 3.000 a 5.000 litros por hora, pero se recomienda para ampliaciones de las líneas de regadores, una bomba de 10.000 l/h.

*Presión del sistema.* El sistema debe trabajar en un rango de presiones, dependiendo de la intensidad de lluvia, desde 0,7 a 1,3 bar.

### **3.5.2. Construcción del simulador**

El simulador consta de dos partes fundamentales, que son el sistema hidráulico y la estructura metálica (Figura 5); además, corresponde señalar que antes de realizar cualquier simulación, se debe efectuar la calibración del sistema, lo cual se explica a continuación



**Figura 5.** Esquema general del simulador de lluvia utilizado por CAZALAC.

Fuente: [www.cazalac.org](http://www.cazalac.org)

### 3.5.2.1. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico consta de una tubería principal con un número máximo de 10 aspersores en línea, separados a 1 m. El sistema consiste en una tubería de PVC C-6 de 32 mm de diámetro y cubre una longitud de 10 m. La alimentación de agua proviene desde un estanque de almacenamiento de 2.000 l; el caudal y la presión necesaria para cada regador es generada por una motobomba que conecta al estanque con los regadores mediante una tubería flexible de 1" de diámetro de alta presión.

### 3.5.2.2. Estructura metálica

El soporte del sistema hidráulico consiste en 10 mini torres metálicas independientes. Cada mini torre consiste en un trípode con un vástago central regulable a diferentes alturas y un brazo metálico extensible. El trípode constituye el

soporte central de esta estructura y sus patas son ajustables a distintas alturas y ángulos para facilitar su fijación en terrenos no uniformes.

### **3.5.2.3. Calibración del simulador**

La calibración del simulador de lluvia, consiste en la realización de pruebas, las cuales verifican el funcionamiento y montaje de los equipos, establecen la presión de trabajo del sistema y se determina la intensidad promedio, además del control sobre la distribución de la precipitación obtenida.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Antecedentes Generales de la Región

La Región de Coquimbo se localiza aproximadamente entre los paralelos 29°20' y 32°15' de latitud Sur y desde los 69°49' longitud oeste del océano pacífico. Tiene una superficie de 40.707 km<sup>2</sup>; cuenta con tres provincias Elqui, Limarí y Choapa y con 15 comunas. La capital regional es la ciudad de La Serena.

El lugar en donde se realizó el estudio, se ubica aproximadamente a 50 km hacia el oriente de la ciudad de La Serena, en el sector de Quebrada de Talca (Figura 6).



Figura 6. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: [www.turistel.cl](http://www.turistel.cl)

En esta región el clima deja de ser desértico para entrar a un clima semiárido, lo que permite una variada vegetación; presenta diversos climas como el Estepárico Costero, de Estepa Cálido y Templado Frío de Altura. La vegetación que presenta se conoce como estepa arbustiva abierta; estas características varían por factores climáticos y topográficos. Es así como se puede observar un matorral arbustivo, poco denso, con especies como cactáceas, espinos y un tapiz herbáceo (CONAMA s.f.).

## **4.2. Método de Trabajo y Descripción de las Actividades**

### **4.2.1. Revisión bibliográfica**

En esta etapa, se recopiló la información relacionada con el proceso de precipitación, escorrentía y erosión, como también sobre el uso de simuladores de lluvia, además de otros temas de interés para el estudio.

### **4.2.2. Lugar de emplazamiento de las parcelas**

Lo principal en el estudio, fue definir el lugar de emplazamiento de cada parcela en el sector de Quebrada de Talca (Figura 7), considerando características de pendiente y vegetación.



**Figura 7.** Quebrada de Talca, zona de estudio.



Las parcelas se instalaron en terrenos elegidos al azar, los cuales presentaron un mínimo de vegetación; esto para evaluar de una forma más real el proceso de erosión. Otra consideración para elegir el lugar de instalación de cada parcela fue la pendiente, donde el rango varió entre 2% y 7%, la cual se determinó a través de un clinómetro marca Sunto, además de la orientación con referencia al norte magnético.

El estudio se realizó entre los meses de Septiembre y Octubre del año 2005. En el mes de Septiembre se efectuó la calibración del simulador de lluvia; en Octubre se realizaron los trabajos de instalación de las parcelas, del simulador de lluvia y de los clavos de erosión, como a su vez las mediciones correspondientes dentro de las parcelas.

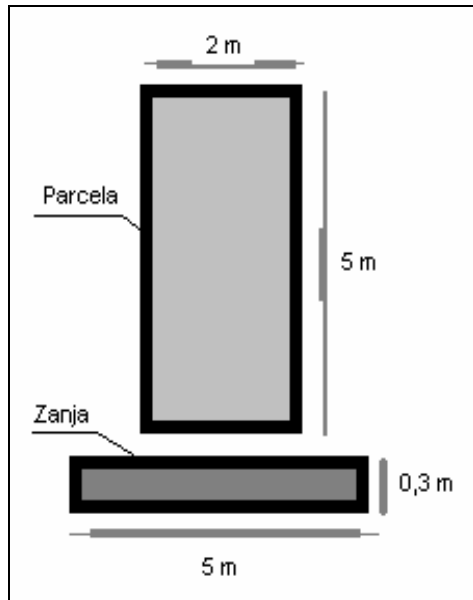
#### **4.2.3. Características de las parcelas**

El método de trabajo se desarrolló sobre la instalación de 4 parcelas, considerando una superficie de 10 m<sup>2</sup>, presentando una dimensión ideal de 5 m en el largo y 2 m en el ancho para realizar las mediciones. Las parcelas son cerradas, para evitar el transporte y depósito de sedimentos desde zonas altas y/o adyacentes, evitando así alterar los resultados.

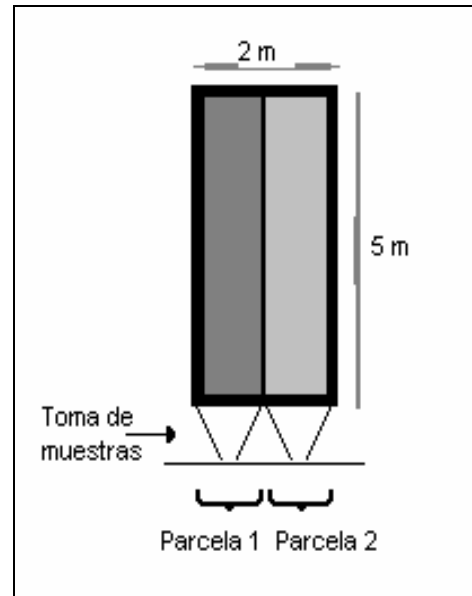
Cada una de las parcelas se puede definir como un ensayo diferente, puesto que a sólo dos de éstas se les construyó una zanja de recepción, la cual se ubicó en la zona baja de la parcela; en cambio, a las parcelas restantes no se les construyó. A las parcelas que presentan zanja de recepción se les denominó parcelas tipo A, en cambio las que no presentan esta situación se nombraron como parcelas tipo B.

Las parcelas tipo A, son la parcela N° 1 y la parcela N° 3, las cuales presentan dimensiones de 5 m de largo y 2 m de ancho. Las dimensiones de cada zanja de recepción presente en la parcela son de 0,4 x 0,3 x 5 m (ancho x alto x largo) para capturar el material proveniente de la parcela proveniente del arrastre de las precipitaciones como producto de las simulaciones de lluvia realizadas (Figura 8).

Las parcelas denominadas tipo B son la parcela N° 2 y la parcela N° 4; dentro de estas parcelas se realizó una división, creándose así dos mini-parcelas denominadas como sub-parcela 1 y sub-parcela 2, donde la sub-parcela 1 se ubica a la izquierda y la sub-parcela 2 a la derecha; cada mini-parcela presenta una dimensión de 5 m x 1 m; en este tipo de parcelas se tomaron muestras de sedimentos para realizar el cálculo de la escorrentía sólida (Figura 9).



**Figura 8.** Dimensión de la parcela tipo A.



**Figura 9.** Dimensión de la parcela tipo B.

#### 4.2.4. Características del simulador de lluvia

Sobre cada una de las parcelas instaladas se situó el simulador de lluvia, donde se realizaron 2 simulaciones por situación, exceptuando a la parcela N°3 (parcela tipo A), sobre la cual sólo se realizó una simulación debido a un estudio simultáneo que se realizaba en la parcela. Cada simulación dispuso de un tiempo determinado, el cual no superó los 30 minutos.

Los pasos a seguir para el funcionamiento y utilización del simulador de lluvia se señalan a continuación.

Lo principal fue situar el simulador de lluvia sobre la parcela en estudio, lo cual consistió en ubicar la estructura metálica alrededor de la parcela; luego de efectuado ésto, se procedió a instalar el sistema hidráulico.

Luego de haber instalado la estructura, se conectó el sistema hidráulico con la moto bomba a través de una manguera; entre la bomba y el sistema se encuentra el medidor de caudal, además de una llave de paso para detener el agua y darle presión al sistema; la bomba está conectada al estanque de 2.000 litros, el cual es llenado con anterioridad en un curso de agua cercano, con la ayuda de la bomba.

Para el transporte del estanque, la bomba y todo el equipo hacia y en la zona de estudio, fue necesaria la utilización de una camioneta (Figura 10).

Luego de instalada toda la estructura en el suelo, dentro de la parcela se instalaron los vasos (receptores) de los cuales se obtuvo la información pluviométrica del estudio; a su vez se colocaron los clavos de erosión en la parcela y en las zanjas para determinar erosión y escorrentía sólida.



**Figura 10.** Estanque y camioneta utilizados en el proceso de simulación.

Con el montaje de los equipos, se procede al funcionamiento del sistema, lo cual se traduce en activar la bomba y darle la presión de trabajo necesaria; así, los aspersores comienzan a expulsar el agua con lo cual se da comienzo al proceso de simulación (Figura 11).



**Figura 11.** El simulador de lluvia en proceso.

Finalmente, en cada una de las parcelas se tomaron muestras de suelo, para determinar características de densidad aparente en laboratorio; en cambio el valor de la densidad real no fue calculado, dado que, éste varía según la materia de que se trate y suele oscilar entre 2,5 - 3 para la mayoría de los suelos de origen mineral.

#### **4.2.5. Instalación de los clavos de erosión**

El método de los clavos de erosión consiste en instalar clavos sobre la parcela, los cuales se ubicaron en columnas, distanciados a 30 cm en el ancho y en el largo (Figura 12). Esto se realizó después de emplazado el simulador de lluvia, para evitar así que los clavos sufran alteraciones por pisaduras o golpes.

En el caso de las parcelas tipo A, que son las parcelas N° 1 y N° 3, se dispusieron 5 columnas en cada parcela, con un número total de 70 y 75 clavos instalados (parcela N° 1 = 70; parcela N° 3 = 75). La diferencia que se presenta en el número de clavos entre parcelas, de debe al mayor largo de la parcela N° 3, por lo cual se dispuso de una fila extra de clavos.

Dentro de cada zanja de recepción, los clavos de erosión se instalaron de igual forma como en la parcela, pero éstos se dispusieron de acuerdo a las dimensiones de

la zanja, es decir, a 40 cm en el ancho y 10 cm en el largo. Así, cada zanja presenta un total de 12 clavos.

En cambio, en el caso de las parcelas tipo B se colocaron 6 columnas con clavos por parcela, situando en cada sub-parcela 3 columnas, instalando un número total de 96 clavos (parcela N° 2 y N° 4).



**Figura 12.** Disposición de los clavos de erosión en las parcelas.

Como se observa en la figura 12, la fotografía 1 muestra los clavos instalados en columnas en las parcelas tipo A; la fotografía 2 exhibe la disposición de los clavos dentro de la zanja de recepción; en tanto, en la fotografía 3 se observa una parcela tipo B, específicamente una sub-parcela.

El largo de los clavos es de 30 cm, los cuales presentan una marca a los 15 cm, con el objetivo de marcar el nivel inicial del suelo. Cada clavo fue elaborado a partir de rayos de bicicleta; este tipo de material es apropiado para su uso en terreno, ya que es rígido, ligero, delgado, penetrante y económico.

#### **4.2.6. Instalación de receptores para precipitación**

Sobre cada parcela, ya instalado el simulador de lluvia y los clavos de erosión, se colocaron los receptores de precipitación (pequeños pluviómetros); éstos se

dispusieron en 4 columnas dentro de la parcela (Figura 13). El distanciamiento de cada receptor en las columnas que limitan la parcela, fue de 50 cm entre ellos; en cambio, en las columnas internas el distanciamiento fue de 90 cm. La diferencia que presenta el espaciado entre columnas se estableció, para evitar así que los vasos interfirieran en el proceso de escorrentía.

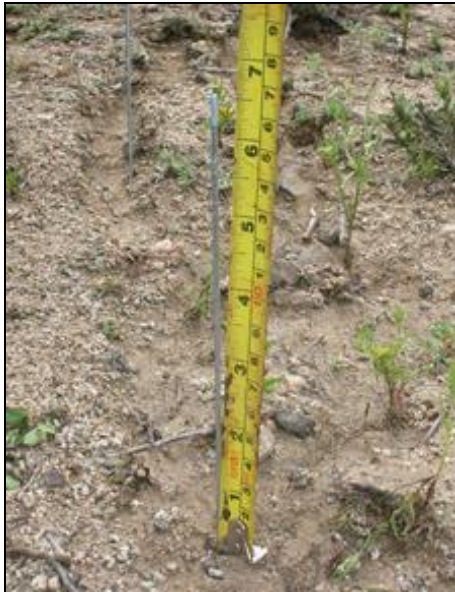


**Figura 13.** Disposición de receptores para precipitación.

#### **4.2.7. Medición de los clavos de erosión**

La medición de los clavos de erosión se realizó de igual forma, para los clavos instalados en la parcela, como para los clavos dispuestos en la zanja de recepción; éstas siempre se realizaron antes de efectuar cada simulación de lluvia (suelo seco) y después, esperando un tiempo apropiado, para no alterar el registro de los datos.

Estas mediciones consisten en medir al costado de cada clavo (siempre el mismo lado), con una huincha graduada milimétricamente, no obstante, los datos fueron obtenidos en centímetros (Figura 14). Cada clavo se identifica a través de un sistema de coordenadas, para registrar de forma ordenada la información y evitar así medir reiteradamente el mismo clavo. Los datos obtenidos fueron registrados en un formulario, el cual fue diseñado para el estudio (ver apéndice 1).



**Figura 14.** Medición de los clavos de erosión.

Siempre se debe tener el cuidado de no modificar cada clavo, y de ningún modo ingresar a la parcela mientras se estén realizando las mediciones.

✓ **Clavos con altura de erosión**

Los clavos con altura de erosión (Figura 15), son aquellos que al ser medidos después de cada lluvia, presentan mayor altura al ser comparada con la altura inicial, es decir, si el nivel inicial del clavo desciende existe erosión, lo que se debe al efecto del agua de lluvia, ya que su acción erosiva provoca la pérdida o remoción del suelo en ese punto de control establecido.

✓ **Clavos con altura de sedimentación**

El material removido por la acción de la lluvia y escorrentía, genera aguas abajo, clavos con altura de sedimentación (Figura 16). Estos clavos presentan una altura menor al ser comparados con la medida de la altura inicial; es decir, si el nivel inicial del clavo asciende, hay sedimentación.

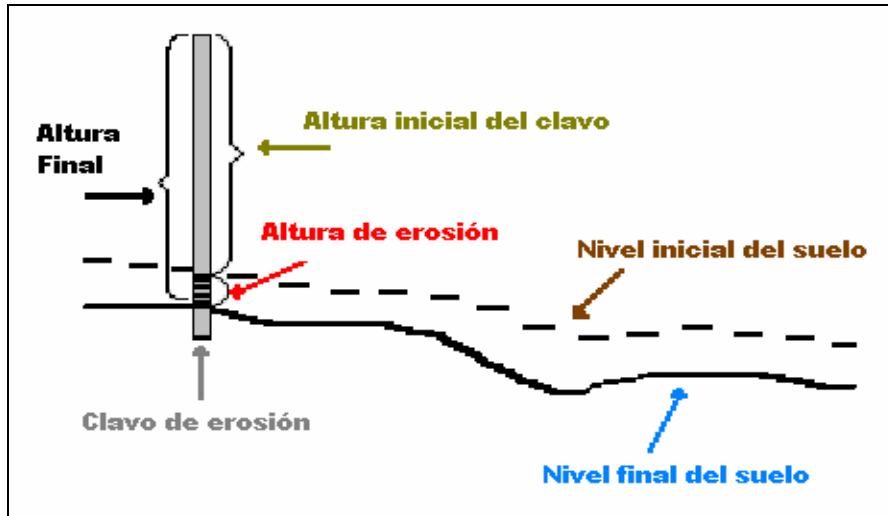


Figura 15. Clavo con altura de erosión.

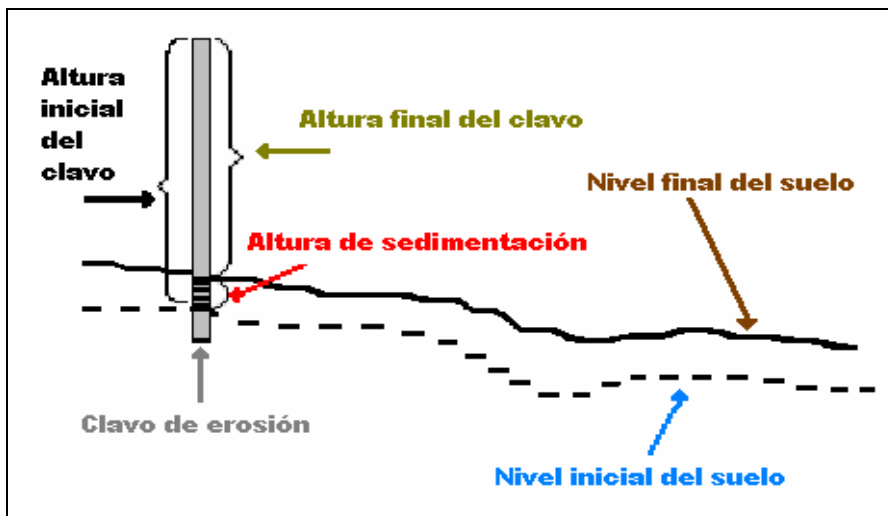


Figura 16. Clavo con altura de sedimentación.

#### 4.2.8. Cuantificación de la erosión hídrica

Con los datos de la medición de los clavos obtenidos en cada parcela, los que se encuentran registrados en formularios (ver apéndice 2), se procedió a cuantificar la erosión producida por cada simulación.

A partir de la medición en cada clavo se cuantificó la erosión o sedimentación en toneladas por hectárea (ton/ha), obteniéndose así una medida de suelo perdido o sedimentado según el caso, lo cual se obtuvo del cálculo de las diferencias que se



presentaron entre simulaciones. El cálculo en los clavos con altura de erosión se realizó de la siguiente forma:

$$Y = \frac{\Sigma \text{ en mm de los clavos que descienden en nivel}}{\text{N}^\circ \text{ total de clavos}}$$

Donde:

Y: Altura media de suelo erosionado (mm).

En el caso que los clavos presenten sedimentación, éstos tomarán valor cero, al igual que aquellos que no presenten variación.

Obtenida la diferencia y calculada la altura media de suelo erosionado, se procede a multiplicar este resultado por la densidad aparente del suelo y por 10 para expresar el resultado en ton/ha, lo cual queda como:

$$X = Y \times 10 \times Da$$

Donde:

X: Suelo erosionado (ton/ha).

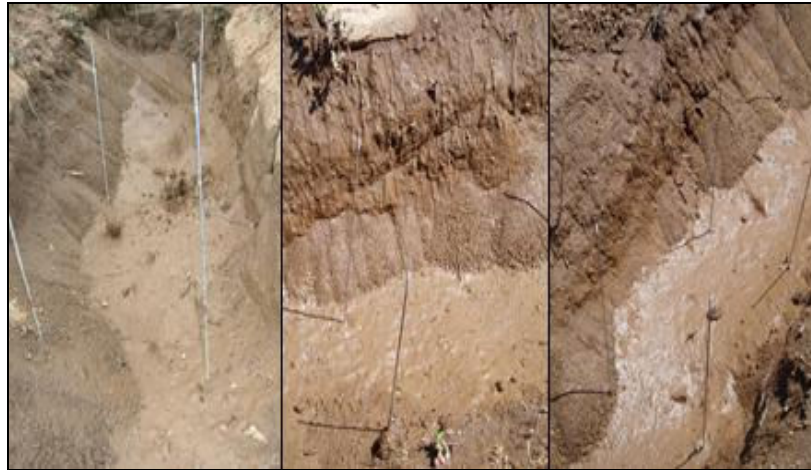
Y: Altura media de suelo erosionado (mm).

Da: Densidad aparente del suelo (ton/m<sup>3</sup>).

#### **4.2.9. Cuantificación de la escorrentía sólida**

Los datos de escorrentía sólida se generaron de dos formas. La primera, en las parcelas tipo A, a través del método de los clavos de erosión, los cuales se encuentran presentes en la zanja de recepción. La segunda forma, implicó la toma de muestras de sedimentos desde las parcela tipo B y para cada sub-parcela.

En las parcelas tipo A, el método de los clavos se aplica en las zanjas de recepción de igual modo que para el cálculo de la erosión. Al término de cada simulación, después de infiltrada el agua de escorrentía y depositados los sedimentos en la zanja (Figura 17), se midió cada clavo presenta en la zanja de recepción y se registró cada dato en el formulario.



**Figura 17.** Disposición de los clavos dentro de la zanja de recepción.

Los datos derivados de la simulación entregan una medida del suelo sedimentado; éstos se obtienen a través de la diferencia de altura, entre la medición inicial y la medición registrada luego de haber efectuado la simulación.

Con esta diferencia se procede a calcular la sumatoria de las mediciones realizadas en los clavos de erosión expresadas en milímetros y se divide por el número total de clavos presentes en la zanja, como se señala en la expresión siguiente.

$$Y = \frac{\Sigma \text{ en mm de los clavos que ascienden en el nivel}}{\text{N}^\circ \text{ total de clavos}}$$

Donde:

Y: Altura media de suelo sedimentado (mm)

Obtenida la altura de suelo sedimentado, se procede a calcular la escorrentía sólida generada de la simulación; donde se debe multiplicar la altura media por la densidad real del suelo y por 10 para expresarla en ton/ha; lo cual se queda como:

$$E = Y \times 10 \times Dr$$

Donde:

E: Escorrentía sólida (ton/ha).

Y: Altura media de suelo sedimentado (mm).

Dr: Densidad real del suelo (ton/m<sup>3</sup>).

En las parcelas tipo B, se destinó la parte inferior de la parcela para la construcción de zonas de conducción con el objetivo de recolectar muestras de sedimentos en cada sub-parcelas (Figura 18); las muestras tomadas presentan una porción de volumen sólido y líquido; las cuales fueron llevadas al laboratorio de la Universidad de La Serena, donde fueron pesadas y secadas en una estufa a 105 °C durante 24 horas (ver apéndice 4).



**Figura 18.** Recolección de muestras de sedimentos en las parcela tipo B.

A partir de la porción de volumen sólido obtenido de las muestras, se calculó la escorrentía producida por las simulaciones de lluvia realizadas; la expresión utilizada se expresa a continuación.

$$E = V_s \times D_r$$

Donde:

E: Escorrentía sólida (ton/ha).

Vs: Volumen sólido erosionado (m<sup>3</sup>/ha).

Dr: Densidad real del suelo (ton/m<sup>3</sup>).

#### **4.2.10. Evaluación de la erosión a nivel del suelo**

Para evaluar la fluctuación del nivel del suelo, se utilizaron las mediciones realizadas para el método de los clavos de erosión, en donde se debió observar y analizar el comportamiento del suelo en cada punto de control, al comparar las mediciones del nivel inicial del suelo y las mediciones siguientes (ocurridas cada

tormenta simulada); los puntos de control corresponden a cada clavo presente en cada parcela.

La evaluación corresponde al análisis de cada columna presente en la parcela a través de gráficos y de los promedios de las alturas registradas, los cuales expresan la comparación realizada entre mediciones; así se conoció en cuál punto se produjo erosión o sedimentación, generado por la precipitación y la escorrentía.

#### **4.2.11. Cuantificación de la precipitación**

La información pluviométrica se obtuvo en cada simulación de lluvia. Los datos para cuantificar la precipitación se recogieron una vez efectuada cada simulación, donde se procedió a medir el volumen (ml) capturado por cada receptor; cada volumen fue registrado para ser transformado a precipitación en milímetros (ver apéndice 3); esta transformación se tuvo que realizar debido a que los receptores para precipitación no presentaban forma cilíndrica.

El método de la media aritmética es el utilizado para cuantificar precipitación; éste método considera las alturas de los datos (de cada receptor) expresados en milímetros, de donde se obtiene el promedio aritmético de los valores registrados. Así se obtuvo la precipitación media para cada simulación de lluvia; la expresión matemática se describe a continuación.

$$P_m = \sum P_i / n$$

Donde:

P<sub>m</sub>: Precipitación media del área de estudio (mm).

P<sub>i</sub>: Precipitación del receptor i (mm).

n: Numero de receptores en el análisis.

#### **4.3. Financiamiento**

El financiamiento para la realización del proyecto fue aportado por CAZALAC (Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe), el

cual consistió en el traslado Talca-Santiago-La Serena y La Serena-Santiago, alojamiento y estadía, alimentación y traslado dentro y desde La Serena a Quebrada de Talca, además de los materiales para la realización del estudio.

#### 4.4. Materiales

Los materiales utilizados, su descripción y la cantidad utilizada en la realización del estudio, se señalan a continuación en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Descripción de los materiales utilizados en el estudio

ITEM	CANTIDAD
Motobomba 1 HP de 1"x1".	1
Estanque 2.000 l.	1
Medidor de caudal 1".	1
Manguera plástica 1".	100 metros
Carro porta-manguera.	1
Llave punta corona 13 mm.	2
Bastón de 1,8 m.	1
Huinchas métricas plegables 10 m.	1
Huinchas métricas 10 m.	1
Nivel de agua.	1
Malla Rachel.	20 metros
Pala.	2
Martillo.	1
Lámina plástica impermeable.	2
Vaso plástico (captación de lluvia).	100
Pesos para fijar los vasos.	100
Vaso graduado cilíndrico (500 ml).	1
Cronómetro.	2
Vaso de 500 ml.	4
Frasco pequeño con tapa.	100
Bolsa plástica.	100
Barrena de mano (pequeña).	1
Colorante (manganato de potasio).	1 litro
Simulador de lluvia.	1
Rayos de bicicleta.	100
Camioneta Chevrolet 4x4.	1
Clinómetro.	1

## 5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de cada simulación de lluvia realizada en el estudio, han sido extrapolados a la superficie de una hectárea, los cuales son presentados a continuación. La información obtenida se muestra por parcela, en cuadros y figuras.

### 5.1. Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 1

La parcela N° 1 fue instalada en la zona de estudio el día 02 de Octubre; ésta presenta una orientación de 270° con referencia al norte magnético, y 4,5% de pendiente. Esta es una parcela tipo A, la cual presenta una dimensión de 5 m x 2 m y posee una zanja de recepción.

#### 5.1.1. Primera simulación de lluvia

Los resultados obtenidos en el proceso de la modelación de la erosión en la parcela en estudio, producto de la primera simulación de lluvia, se señalan a continuación.

#### A. Precipitación aportada por el sistema

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2.** Volumen que sale del estanque en la primera simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Duración de la simulación	25	minutos
Consumo desde el estanque	1	m <sup>3</sup>
Caudal	2,4	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro 2, durante los 25 minutos que duró la primera simulación de lluvia, se utilizó 1 m<sup>3</sup>.

## B. Precipitación captada a nivel del suelo

La precipitación, capturada en cada receptor presente en la parcela, se exhibe en el apéndice 3, cuadro 79. A continuación, en los cuadros 3 y 4 se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 3.** Volumen que llega al suelo en la primera simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	45,47	mm
Duración de la simulación	25	minutos
Volumen capturado	0,50	m <sup>3</sup>
Caudal	1,2	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,50	m <sup>3</sup>

Como se observa en los cuadros 2 y 3, al comparar el agua que sale del estanque con la que realmente llega al suelo, se presenta una diferencia de 0,5 m<sup>3</sup>, lo cual significa que la mitad del agua simulada cayó dentro de la parcela y llegó al suelo; el volumen restante se evaporó antes de llegar o simplemente precipitó fuera de ésta.

**Cuadro 4.** Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 1

Número de vasos	Promedio recolectado en mm	Coefficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
28	45,47	40,75 %	86,68	14,46	1.406

En el resumen estadístico se muestra una precipitación media de 45,47 mm de agua caída, derivada de la 1ª simulación; entre el valor máximo y mínimo registrado se presenta una alta diferencia, lo cual evidencia la variabilidad de la distribución de la lluvia simulada. La desviación estándar corresponde a un 40,75 % del valor promedio.

## C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de erosión a través de la simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos, de los cuales a continuación se presentan los resultados obtenidos.

### C.1. Método de clavos de erosión

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la simulación de lluvia en la parcela a través del método de los clavos, se presenta en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Erosión producida en la primera simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad aparente	1,45	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	70	unidades
Erosión en mm	61	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	8,71	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	12,67	ton/ha

El resultado entregado en el cuadro 5 indica que se perdió un total de 12,67 ton/ha de suelo en el proceso de precipitación simulada.

### C.2. Método de zanja de recepción

Los resultados de la escorrentía sólida, generada por la lluvia simulada, y esto definido por el método de la zanja de recepción, se exhiben a continuación en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	12	unidades
Escorrentía en mm	198	mm
Escorrentía en m <sup>3</sup> /ha	165,0	m <sup>3</sup> /ha
Escorrentía en ton/ha	437,25	ton/ha

En el resultado expuesto, se observa que la zanja capturó un total de 437,25 ton/ha de material producto de la simulación realizada.

Al comparar los resultados entregados por ambos métodos, clavos de erosión y zanja de recepción, se advierte la gran diferencia existente entre ellos; estas diferencias son mayores a 30 veces, por lo cual se necesita analizar estos resultados.



### 5.1.2. Segunda simulación de lluvia

Los resultados obtenidos en el proceso de modelación de la erosión en la parcela N° 1, producto de la segunda simulación de lluvia, se señalan a continuación.

#### A. Precipitación aportada por el sistema

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7.** Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Duración	27	minutos
Consumo	1,47	m <sup>3</sup>
Caudal	3,28	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro, durante los 27 minutos que duró la segunda simulación de lluvia, se utilizó 1,47 m<sup>3</sup> desde el estanque.

#### B. Precipitación captada a nivel del suelo

En los cuadros se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 8.** Volumen que llega al suelo en la segunda simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	49,49	mm
Duración	27	minutos
Volumen capturado	0,50	m <sup>3</sup>
Caudal	1,1	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,97	m <sup>3</sup>

Para la segunda simulación, como muestran los cuadros 7 y 8, la diferencia existente entre el volumen de agua que sale del sistema con la que llega al suelo, es de 0,97 m<sup>3</sup>, lo cual evidencia que más de la mitad del agua lanzada por el simulador no

cayó dentro de la parcela, debido a la evaporación, y a la actividad del viento que se verificó al momento del ensayo.

**Cuadro 9.** Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 1

Número de vasos	Promedio recolectado en mm	Coefficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
28	49,49	16,79 %	66,33	34,58	1.404,9

El resumen descrito en el cuadro muestra una precipitación media de 49,49 mm, derivada de la segunda simulación. Entre el valor máximo y mínimo se registra diferencia, lo cual evidencia variabilidad en la distribución de la lluvia. El coeficiente de variación señala que la desviación estándar corresponde a un 16,79 % del valor promedio, el cual es menor que la primera simulación.

### C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de erosión a través de la simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos, de los cuales a continuación se presentan los resultados obtenidos.

#### 1. Método de clavos de erosión

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la segunda simulación de lluvia, a través del método de los clavos de erosión, se presentan en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** Erosión producida en la segunda simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad aparente	1,45	ton/m <sup>3</sup>
N° de clavos	70	unidades
Erosión en mm	92	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	13,14	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	19,11	ton/ha

El resultado entregado en el cuadro, indica que se perdió un total de 19,11 ton/ha de suelo en el proceso de precipitación simulada.

## 2. Método de zanja de recepción

Los resultados de la escorrentía sólida por el método de la zanja de recepción y generada por la lluvia simulada, se exhiben a continuación en el cuadro 11.

**Cuadro 11.** Escorrentía sólida originada de la segunda simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	12	unidades
Escorrentía en mm	189	mm
Escorrentía en m <sup>3</sup> /ha	157,5	m <sup>3</sup> /ha
Escorrentía en ton/ha	417,38	ton/ha

En el resultado expuesto se observa que la zanja capturó un total de 417,4 ton/ha de material producto de la simulación realizada.

Al comparar los resultados entregados por ambos métodos, clavos de erosión y zanja de recepción, se advierte la gran diferencia existente entre ellos; estas diferencias son mayores a 20 veces en este caso, por lo cual se necesita analizar estos resultados, ya que alguno de los métodos no representa correctamente el proceso precipitación–escorrentía sólida.

### 5.2. Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela Nº 2

La parcela fue instalada en la zona de estudio el 03 de Octubre de 2005, presentó una orientación de 250° con referencia al norte magnético, y un 5% de pendiente. Esta es una parcela tipo B y posee una dimensión de 5 m x 2 m, la cual fue dividida formando mini-parcelas de 5 m x 1 m cada una, nombradas sub-parcela 1 y sub-parcela 2; esta experiencia no presentó zanja de recepción.

#### 5.2.1. Primera simulación de lluvia

Los resultados obtenidos en el proceso de la modelación de la erosión en la parcela en estudio, producto de la primera simulación de lluvia, se señalan a continuación.

## A. Precipitación aportada por el sistema

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 12.** Volumen de agua que sale del estanque en la primera simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Duración	20	minutos
Consumo	0,85	m <sup>3</sup>
Caudal	2,55	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro 12, durante los 20 minutos que duró la simulación de lluvia, se utilizó 0,85 m<sup>3</sup> de agua desde el estanque.

## B. Precipitación captada a nivel del suelo

Los datos de la precipitación captados en cada receptor presente en la parcela, se exhiben en el apéndice 3, cuadro 80. A continuación, en los cuadros 13 y 14 se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 13.** Volumen que llega al suelo en la primera simulación.

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	40,21	mm
Duración	20	minutos
Volumen capturado	0,42	m <sup>3</sup>
Caudal	1,26	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,43	m <sup>3</sup>

Para la simulación realizada, como se exhibe en los cuadros 12 y 13, la diferencia existente entre el volumen de agua que sale del sistema con la que llega al suelo es de 0,43 m<sup>3</sup>, lo cual significa que un poco más de la mitad del agua precipitada se perdió, por efecto de la evaporación y del viento que la empujó fuera de la parcela.

**Cuadro 14.** Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 2

Número de Vasos	Promedio recolectado en mm	Coefficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
31	40,21	20,01 %	59,42	25,46	1.293,9

El resumen descrito en el cuadro muestra una precipitación media de 40,21 mm, derivada de la 1ª simulación. El coeficiente de variación señala que la desviación estándar corresponde a un 27,01 % del valor promedio.

### C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de erosión a través de la simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos, de los cuales a continuación se presentan los resultados obtenidos.

#### 1. Método de clavos de erosión

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la simulación de lluvia realizada en la parcela, a través del método de los clavos, se presenta en el cuadro 15.

**Cuadro 15.** Erosión producida en la primera simulación de lluvia

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Densidad aparente	1,52	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	96	unidades
Erosión en mm	58	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	6,04	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	9,19	ton/ha

El resultado entregado en el cuadro 15 indica que se perdió un total de 9,19 ton/ha de suelo, en el proceso de precipitación simulada.

#### 2. Método de las muestras de sedimentos

Los resultados de la escorrentía sólida generada de la lluvia simulada, obtenidos a través de las muestras de sedimentos, se exhiben a continuación en el cuadro 16. Los datos de las muestras de sedimentos captados en el proceso de simulación, se exhiben en el apéndice 4, cuadro 83 y 84.

**Cuadro 16.** Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia

Sub-parcela 1			Sub-parcela 2		
Variable	Cantidad	Unidad de medida	Variable	Cantidad	Unidad de medida
Pp efectiva	34,4	mm	Pp efectiva	49,8	mm
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>	Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Volumen sólido	26,07	m <sup>3</sup> /ha	Volumen sólido	16,51	m <sup>3</sup> /ha
Masa sólida	69,09	ton/ha	Masa sólida	43,74	ton/ha

Del resultado enseñado en el cuadro 16, se evidencia que la mayor cantidad de material capturado se verificó en la sub-parcela 1, donde se generaron 69,09 ton/ha de escorrentía sólida.

En cambio, la precipitación efectiva que registró cada sub-parcela en promedio fue mayor para la sub-parcela 2, siendo ésta la que registró una menor cantidad de material erosionado; presentándose la situación inversa para la sub-parcela 1, por lo cual, se debe realizar un análisis de esta situación.

Al comparar los resultados entregados por ambos métodos, clavos de erosión y muestras de sedimentos, se advierte que la diferencia existente entre ellos, son mayores a 7 veces en la sub-parcela 1 en donde se generó mayor cantidad de material removido; en cambio, en la sub-parcela 2, la diferencia es 2 veces mayor. Por lo antes mencionado, se necesita analizar estos resultados.

### **5.2.2. Segunda simulación de lluvia**

Los resultados obtenidos en el proceso de modelación de la erosión en la parcela N° 2, producto de la segunda simulación de lluvia, se señalan a continuación.

#### **A. Precipitación aportada por el sistema**

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 17.** Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Duración	20	minutos
Consumo	0,93	m <sup>3</sup>
Caudal	2,82	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro 17, durante los 20 minutos que duró la segunda simulación de lluvia, se utilizaron 0,93 m<sup>3</sup> de agua desde el estanque.

### B. Precipitación captada a nivel del suelo

A continuación en los cuadros se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 18.** Volumen que llega al suelo en la segunda simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	38,93	mm
Duración	20	minutos
Volumen capturado	0,41	m <sup>3</sup>
Caudal	1,26	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,52	m <sup>3</sup>

Para la simulación realizada, como se exhibe en los cuadros 17 y 18, la diferencia existente entre el volumen de agua que sale del sistema con la que llega al suelo, es de 0,52 m<sup>3</sup>, lo cual significa que un poco menos de la mitad del agua precipitada se perdió, por efecto de la evaporación y del viento que la desvió fuera de la parcela.

**Cuadro 19.** Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 2

Número de vasos	Promedio recolectado en mm	Coficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
31	38,93	27,66 %	61,93	22,63	1.255,9

El resumen descrito muestra una precipitación media de 38,93 mm, derivada de la segunda simulación. El coeficiente de variación señala que la desviación estándar corresponde a un 27,66 % del valor promedio.

### C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de erosión a través de la simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos; a continuación se presentan los resultados obtenidos.

#### 1. Método de clavos de erosión

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la simulación de lluvia realizada en la parcela N° 2, a través del método de los clavos, se presenta en el cuadro 20.

**Cuadro 20.** Erosión producida en la segunda simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad aparente	1,52	ton/m <sup>3</sup>
N° de clavos	96	unidades
Erosión en mm	100	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	10,42	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	15,84	ton/ha

El resultado entregado indica que se perdió un total de 15,84 ton/ha de suelo en el proceso de precipitación simulada.

#### 2. Método de las muestras de sedimentos

Los resultados de la escorrentía sólida generada de la lluvia simulada, obtenidos a través de las muestras de sedimentos, se exhiben a continuación en el cuadro 21.

**Cuadro 21.** Escorrentía sólida producida en la segunda simulación de lluvia

Sub-parcela 1			Sub-parcela 2		
Variable	Cantidad	Unidad de medida	Variable	Cantidad	Unidad de medida
pp efectiva	49,3	mm	pp efectiva	32,0	mm
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>	Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Volumen sólido	31,21	m <sup>3</sup> /ha	Volumen sólido	29,94	m <sup>3</sup> /ha
Masa sólida	82,75	ton/ha	Masa sólida	79,33	ton/ha



Del cuadro 21, se aprecia que las muestras de sedimentos evidenciaron una mayor cantidad de material capturado en la sub-parcela 1, donde se generaron 82,72 ton/ha de escorrentía sólida. Además, se puede advertir la relación existente entre la precipitación efectiva captada en cada sub-parcela y la cantidad de material transportado en cada una, lo cual amerita un análisis posterior.

Al comparar los resultados entregados en la parcela por ambos métodos, clavos de erosión y muestras de sedimentos, se advierte la diferencia existente entre ellos; estas diferencias son mayores a 5 veces para ambas sub-parcelas. Por ello se necesita analizar estos resultados.

### **5.3. Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 3**

La parcela N° 3 fue la instalada el día 05 de Octubre de 2005, la cual presenta una orientación de 285° con referencia al norte magnético y un 6,5% de pendiente. La parcela es tipo A, posee una dimensión de 5 m x 2 m, la cual dispone de una zanja de recepción.

#### **5.3.1. Primera simulación de lluvia**

Los resultados obtenidos en el proceso de la modelación de la erosión, producto de la primera y única simulación de lluvia realizada, se señalan a continuación.

#### **A. Precipitación aportada por el sistema**

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 22.** Volumen que sale del estanque en la simulación realizada

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Duración de la simulación	20	minutos
Consumo desde el estanque	0,51	m <sup>3</sup>
Caudal	1,55	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro 22, durante los 20 minutos que duró la primera simulación de lluvia, se utilizó desde el estanque 0,51 m<sup>3</sup>.

## B. Precipitación captada a nivel del suelo

Los datos de la precipitación, captados en cada receptor presente en la parcela, se exhiben en el apéndice 3, cuadro 81. A continuación en los cuadros 23 y 24 se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 23.** Volumen que llega al suelo de la simulación de lluvia realizada

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	42,99	mm
Duración de la simulación	20	minutos
Volumen capturado	0,43	m <sup>3</sup>
Caudal	1,32	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,07	m <sup>3</sup>

Como se observa en los cuadros 22 y 23, la simulación realizada presenta una mínima diferencia al comparar el agua que sale del estanque con la que llega al suelo, lo cual significa que casi la totalidad del agua precipitada, llegó al suelo, y sólo 0,08 m<sup>3</sup> del agua se perdió.

**Cuadro 24.** Resumen estadístico de precipitación para la parcela N° 3

Número de Vasos	Promedio recolectado en mm	Coefficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
31	42,99	16,59 %	58,47	32,38	1.350,4

En el resumen estadístico se muestra una precipitación media de 42,99 mm de agua caída; entre el valor máximo y mínimo registrado, se presenta una diferencia pequeña, en comparación a los otros experimentos. La desviación estándar corresponde a un 16,59 % del valor promedio.

### C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos; de éstos se presentan a continuación los resultados obtenidos.

#### 1. Método de clavos de erosión

Los resultados derivados de la erosión que produjo la simulación de lluvia en la parcela, a través del método de los clavos, se exhiben en el cuadro 25.

**Cuadro 25.** Erosión producida en la primera simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad aparente	1,80	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	75	unidades
Erosión en mm	57	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	7,60	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	13,66	ton/ha

Del resultado expuesto en el cuadro 25, producto de la única simulación de lluvia efectuada, se deduce que la erosión producida es de 13,66 ton/ha.

#### 2. Método de zanja de recepción

Los resultados de la escorrentía sólida capturada, por el método de la zanja de recepción, se enseñan a continuación en el cuadro 26.

**Cuadro 26.** Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	12	unidades
Escorrentía en mm	208	mm
Escorrentía en m <sup>3</sup> /ha	173,33	m <sup>3</sup> /ha
Escorrentía en m <sup>3</sup> /ha	459,33	ton/ha

En el resultado expuesto, se observa que la zanja capturó un total de 459,33 ton/ha de material, en la simulación de lluvia realizada.

Al comparar los resultados entregados por ambos métodos, clavos de erosión y zanja de recepción, se advierte la gran diferencia existente entre ellos; estas diferencias son mayores a 30 veces, por lo cual se necesita analizar estos resultados, ya que al menos alguno de los métodos no representa correctamente el proceso precipitación–escorrentía sólida.

#### 5.4. Proceso de Modelación de la Erosión en la Parcela N° 4

La última parcela situada en la zona de estudio se designó como parcela N° 4; ésta fue instalada el día 06 de Octubre, con una orientación de 305° con referencia al norte magnético y presentó 2,5% de pendiente; la parcela es del tipo B y posee 5 m x 2 m de dimensión, siendo dividida formando mini-parcelas de 5 m x 1 m cada una, nombradas sub-parcela 1 y sub-parcela 2; este experimento no presenta zanja de recepción.

##### 5.4.1. Primera simulación de lluvia

Los resultados obtenidos en el proceso de la modelación de la erosión, producto de la primera simulación de lluvia, se señalan a continuación.

##### A. Precipitación aportada por el sistema

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 27.** Volumen de agua que sale del estanque en la primera simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Duración	17	minutos
Consumo	0,75	m <sup>3</sup>
Caudal	2,65	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro 27, durante los 20 minutos que duró la precipitación simulada, se utilizaron 0,85 m<sup>3</sup> de agua desde el estanque.

## B. Precipitación captada a nivel del suelo

Los datos de la precipitación captados en cada receptor presente en la parcela, se exhiben en el apéndice 3, cuadro 82. A continuación, en los cuadros 28 y 29 se indica el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 28.** Volumen que llega al suelo en la primera simulación

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Precipitación media	33,76	mm
Duración	17	minutos
Volumen capturado	0,34	m <sup>3</sup>
Caudal	1,45	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,41	m <sup>3</sup>

Como se observa en los cuadros 27 y 28, la simulación realizada presenta una diferencia de 0,41 m<sup>3</sup> al comparar el agua que sale del estanque con la que llega al suelo, lo cual significa que una porción menor al 50% de la totalidad del agua caída llegó al suelo; el resto del agua precipitada se perdió por efecto de la evaporación y del viento.

**Cuadro 29.** Resumen estadístico de precipitación, primera simulación parcela N° 4

Número de vasos	Promedio recolectado en mm	Coefficiente de variación	Valor máximo en mm	Valor mínimo en mm	Total recolectado en mm
31	33,76	18,86 %	44,64	22,48	1.065,7

En el resumen se muestra una precipitación media de 33,76 mm de agua caída, derivada de la primera simulación. El coeficiente de variación señala que la desviación estándar corresponde a un 18,86 % del valor promedio

## C. Escorrentía sólida

La escorrentía sólida generada en el proceso de simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos; a continuación se presentan los resultados obtenidos.

## 1. Método de clavos de erosión

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la simulación de lluvia realizada en la parcela, a través del método de los clavos, se presenta en el cuadro 30.

**Cuadro 30.** Erosión producida en la primera simulación de lluvia

Variable	Cantidad	Unidad de medida
Densidad aparente	1,54	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	96	unidades
Erosión en mm	43	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	4,48	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	6,90	ton/ha

El resultado expuesto en el cuadro 30, indica que se perdieron un total de 6,9 ton/ha de suelo en el proceso de precipitación simulada.

## 2. Método de las muestras de sedimentos

A partir de la escorrentía sólida generada a través de la precipitación simulada, se obtuvieron distintos resultados por medio de las muestras de sedimentos, los cuales se exponen a continuación en el cuadro 31.

**Cuadro 31.** Escorrentía sólida originada de la primera simulación de lluvia

Sub-parcela 1			Sub-parcela 2		
Variable	Cantidad	Unidad de medida	Variable	Cantidad	Unidad de medida
pp efectiva	33,9	mm	Pp efectiva	35,1	mm
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>	Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Volumen sólido	4,00	m <sup>3</sup> /ha	Volumen sólido	4,21	m <sup>3</sup> /ha
Masa sólida	10,60	ton/ha	Masa sólida	11,16	ton/ha

Del resultado enseñado, se aprecia que de las muestras de sedimentos tomadas, la que evidenció captar mayor cantidad de material fue la sub-parcela 2, donde se generaron 11,16 ton/ha de escorrentía sólida.

Además, se debe señalar que la precipitación captada en cada sub-parcela se relaciona con el material transportado, lo cual amerita un análisis posterior.

Al comparar los resultados entregados por ambos métodos, clavos de erosión y muestras de sedimentos, se advierten diferencias que representan valores cercanos al 100%.

#### **5.4.2. Segunda simulación de lluvia**

Los resultados obtenidos en el proceso de la modelación de la erosión en la parcela N° 4, producto de la segunda simulación de lluvia, se señalan a continuación.

##### **A. Precipitación aportada por el sistema**

La precipitación aportada por el simulador de lluvia, la cual sale del estanque, se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 32.** Volumen de agua que sale del estanque en la segunda simulación

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Duración	20	minutos
Consumo	0,93	m <sup>3</sup>
Caudal	2,79	m <sup>3</sup> /h

Como se observa en el cuadro, durante los 20 minutos que duró la segunda simulación de lluvia, se utilizaron 0,93 m<sup>3</sup> de agua desde el estanque.

##### **B. Precipitación captada a nivel del suelo**

A continuación, en los cuadros 33 y 34 se muestra el volumen de agua que llega al nivel del suelo y el resumen estadístico de los datos recogidos de la simulación de lluvia.

**Cuadro 33.** Volumen que llega al suelo en la segunda simulación

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Precipitación media	38,66	mm
Duración	20	minutos
Volumen capturado	0,40	m <sup>3</sup>
Caudal	1,2	m <sup>3</sup> /h
Diferencia	0,53	m <sup>3</sup>

Se observa una diferencia de 0,53 m<sup>3</sup> de agua caída entre el volumen de agua que sale del sistema con la que llega al suelo, la cual se disipó por efecto del viento y de la evaporación.

**Cuadro 34.** Resumen estadístico de precipitación, segunda simulación parcela N° 4

<b>Número de vasos</b>	<b>Promedio recolectado en mm</b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Valor máximo en mm</b>	<b>Valor mínimo en mm</b>	<b>Total recolectado en mm</b>
31	38,66	21,11 %	55,17	22,16	1.225,2

El resumen descrito en el cuadro muestra una precipitación media de 38,66 mm, derivada de la segunda simulación. El coeficiente de variación señala que la desviación estándar corresponde a un 21,11 % del valor promedio.

### **C. Escorrentía sólida**

La escorrentía sólida generada en el proceso de erosión a través de la segunda simulación de precipitaciones, se obtuvo a través de dos métodos.

#### **1. Método de clavos de erosión**

Los resultados obtenidos de la erosión que produjo la simulación de lluvia realizada en la parcela N° 4, a través del método de los clavos, se presentan en el cuadro 35.



**Cuadro 35.** Erosión producida en la segunda simulación de lluvia

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Densidad aparente	1,54	ton/m <sup>3</sup>
Nº de clavos	96	unidades
Erosión en mm	76	mm
Erosión en m <sup>3</sup> /ha	7,92	m <sup>3</sup> /ha
Erosión en ton/ha	12,20	ton/ha

El resultado señala que se perdió un total de 12,2 ton/ha de suelo en el segundo proceso de precipitación simulada.

## 2. Método de las muestras de sedimentos

Los resultados de la escorrentía sólida generada por la lluvia simulada, obtenidos a través de las muestras de sedimentos, se exhiben en el cuadro 36.

**Cuadro 36.** Escorrentía sólida producida en la segunda simulación de lluvia.

<b>Sub-parcela 1</b>			<b>Sub-parcela 2</b>		
<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
pp efectiva	34,0	mm	pp efectiva	45,1	mm
Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>	Densidad real	2,65	ton/m <sup>3</sup>
Volumen sólido	3,44	m <sup>3</sup> /ha	Volumen sólido	9,12	m <sup>3</sup> /ha
Masa sólida	9,12	ton/ha	Masa sólida	24,17	ton/ha

Del resultado expuesto en el cuadro 36, se aprecia que de las muestras de sedimentos tomadas, las que evidenciaron una mayor cantidad de material, son las provenientes de la sub-parcela 2, donde se produjeron 24,17 ton/ha de escorrentía sólida.

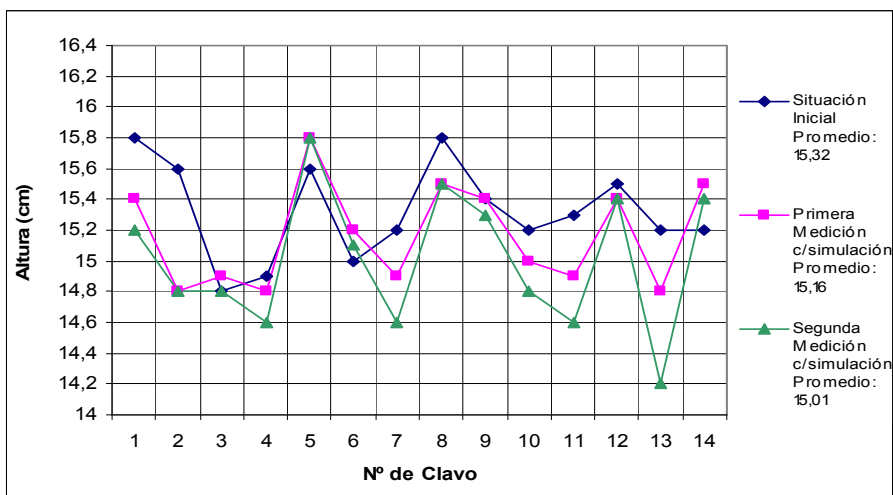
A su vez, se debe indicar que la precipitación efectiva registrada en cada sub-parcela, se asocia a la cantidad de material removido desde cada una de estas.

## 5.5. Evaluación de la Erosión a Nivel del Suelo (Método de los clavos de erosión)

La evaluación del nivel del suelo corresponde a una comparación entre el nivel inicial que presenta el suelo, al momento de comenzar con las mediciones, con respecto al nivel final de éste. Para evaluar el comportamiento del suelo, se observará cada columna dentro de la parcela, a través de los gráficos, donde se puede observar la variación existente en cada punto de control tras cada simulación de lluvia realizada, los cuales corresponden a un clavo de erosión.

### 5.5.1. Parcela N° 1

A continuación se presentan los gráficos comparativos de la fluctuación del nivel del suelo obtenidos de las simulaciones de lluvia, para cada columna de la parcela N° 1.



**Figura 19.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 1

**Cuadro 37.** Variación de cada punto de control presente en la columna 1.

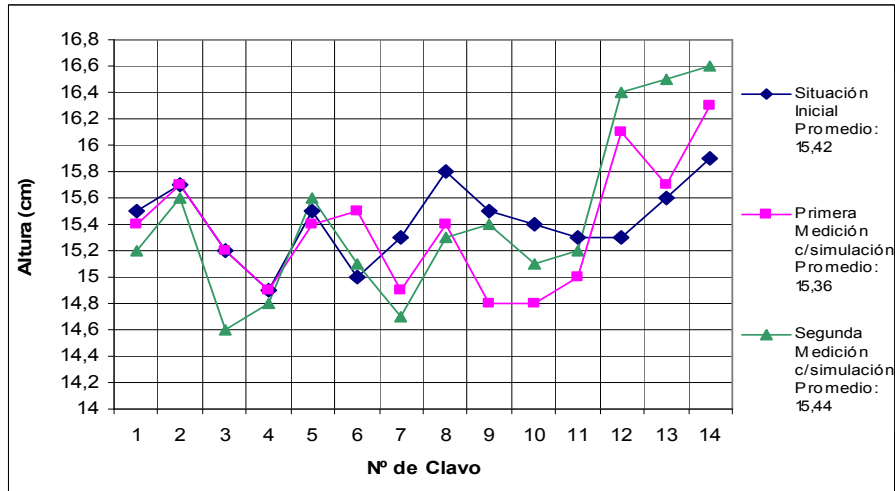
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1ª Simulación	S	S	E	S	E	E	S	S	SD	S	S	S	S	E
2ª Simulación	S	SD	S	S	E	E	S	SD	S	S	S	SD	S	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 19, se advierte que en la mayoría de los puntos de control, las simulaciones de lluvia realizadas produjeron sedimentación, lo que es evidenciado al observar y comparar el promedio de las mediciones; los clavos en los cuales se produjo erosión fueron los N° 3, 5, 6 y 14, como se observa en el cuadro 37.



**Figura 20.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 1

En la figura 20 se observa la tendencia que exhiben los clavos a los procesos de sedimentación tras la primera simulación de lluvia; en cambio en la segunda simulación se observa tendencia a la erosión.

**Cuadro 38.** Variación de cada punto de control presente en la columna 2

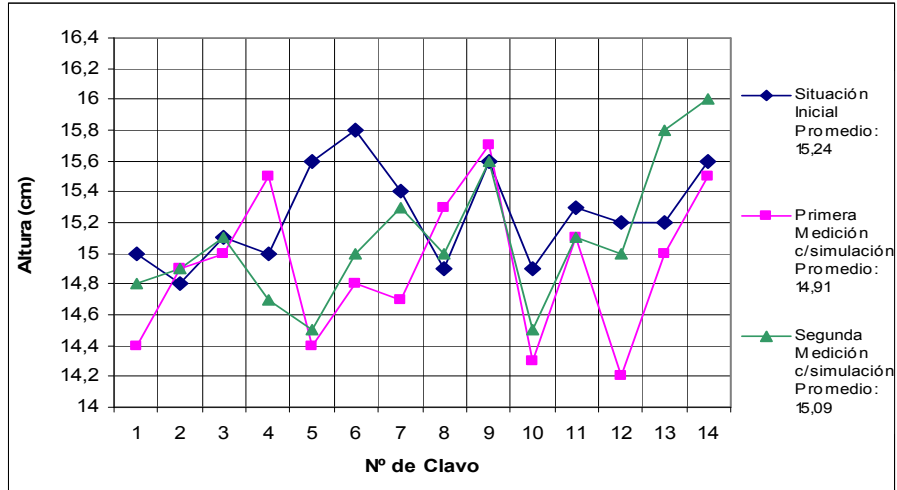
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1ª Simulación	S	SD	SD	SD	S	E	S	S	S	S	S	E	E	E
2ª Simulación	S	S	S	S	E	S	S	S	E	E	E	E	E	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

Del cuadro 38, se comprueba que tras realizadas las simulaciones de lluvia, los clavos desde el N° 5 al N° 4 presentaron erosión, en cambio, en el resto de los puntos predominó la sedimentación. Las tendencias antes mencionadas, se confirman al comparar los promedios de las mediciones.



**Figura 21.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 1

En la figura 21, se exhibe una fuerte sedimentación en gran parte de los puntos de control, producto de la primera precipitación simulada; en cambio, realizada la segunda lluvia, se aprecia que aumentaron los procesos erosivos, lo cual se evidencia al observar y comparar el promedio de las mediciones.

**Cuadro 39.** Variación de cada punto de control presente en la columna 3

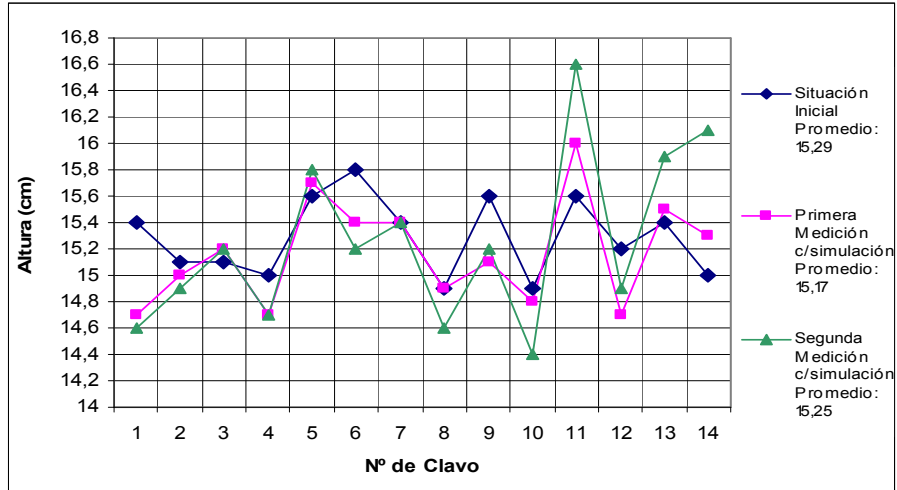
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1ª Simulación	S	E	S	E	S	S	S	E	E	S	S	S	S	S
2ª Simulación	S	SD	SD	S	E	E	E	S	SD	E	SD	E	E	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

Lo antes mencionado, se confirma al observar el cuadro, en el cual se denota el cambio de erosión a sedimentación, y viceversa, en la mayoría de los puntos.



**Figura 22.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela Nº 1

En la figura 22, se puede deducir que las simulaciones de lluvia realizadas provocaron erosión en 4 puntos, verificándose en mayor grado en la parte final de la parcela. En el resto de la columna se produjo sedimentación, con excepción del clavo Nº 7, el cual no muestra diferencia para ninguna simulación.

**Cuadro 40.** Variación de cada punto de control presente en la columna 4

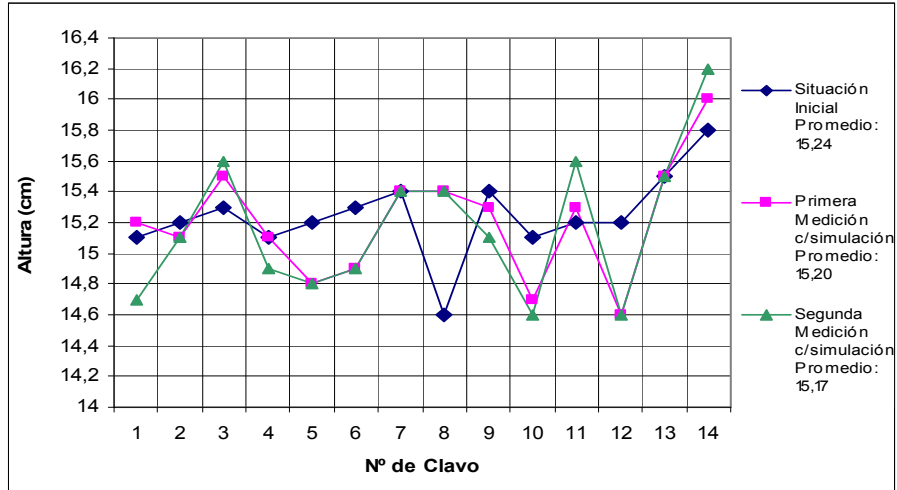
Clavo Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1ª Simulación	S	S	E	E	E	S	SD	SD	S	S	E	S	E	E
2ª Simulación	S	S	SD	SD	E	S	SD	S	E	S	E	E	E	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

Al observar el cuadro, se comprueba que los puntos 5, 11, 13 y 14 mantuvieron la tendencia a la erosión en ambas simulaciones; la segunda lluvia provocó una mayor erosión, lo cual es comparable con los promedios de las mediciones.



**Figura 23.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 1

El gráfico de la columna 5 (figura 23), muestra dos puntos de control sin variación, a saber, N° 7 y 13; además, se observa la tendencia de los clavos a la sedimentación para ambas simulaciones, lo cual se reafirma al comparar los promedios de las mediciones; aunque en algunos de los clavos se produjo erosión.

**Cuadro 41.** Variación de cada punto de control presente en la columna 5

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1ª Simulación	E	S	E	SD	S	S	SD	E	S	S	E	S	SD	E
2ª Simulación	S	SD	E	S	SD	SD	SD	SD	S	S	E	SD	SD	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

Lo antes mencionado se puede confirmar al observar el cuadro 41, donde tras la primera lluvia, los puntos 1, 3, 8, 11 y 14 presentan erosión; para la segunda precipitación simulada, sólo los puntos 11 y 14 mantuvieron esta tendencia.

### 5.5.2. Parcela N° 2

A continuación se presentan los gráficos comparativos de la fluctuación del nivel del suelo obtenidos de las simulaciones de lluvia, para cada columna de la parcela N° 2.

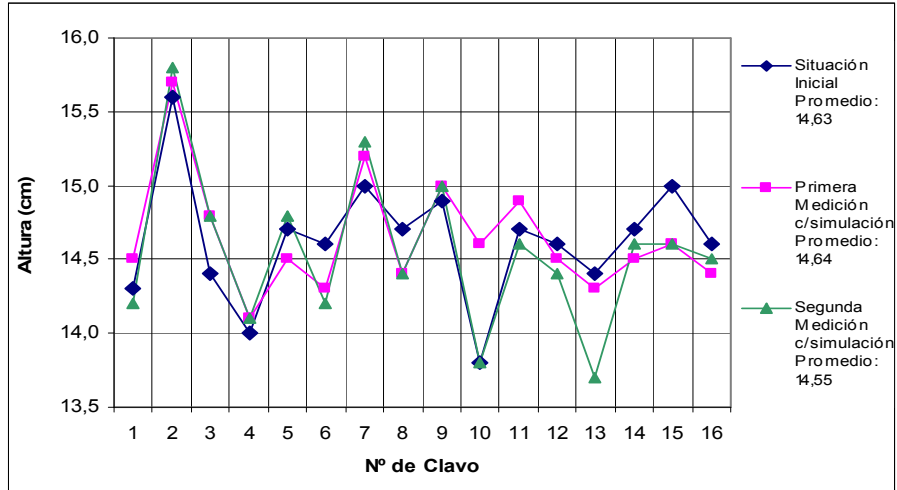


Figura 24. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 2

Cuadro 42. Variación de cada punto de control presente en la columna 1

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	E	E	E	E	S	S	E	S	E	E	E	S	S	S	S	S
2ª Simulación	S	E	SD	SD	E	S	E	SD	SD	S	S	S	S	E	SD	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

De la figura 24, se desprende que la primera simulación en la mayoría de los puntos generó erosión; en cambio, para la segunda lluvia se puede apreciar una tendencia al proceso de sedimentación. Además, del cuadro se distingue que solo los clavos N° 2 y 7 mantuvieron su tendencia, y los clavos N° 3, 4, 8, 9 y 15, no presentaron diferencias, luego de ocurrida la segunda simulación.

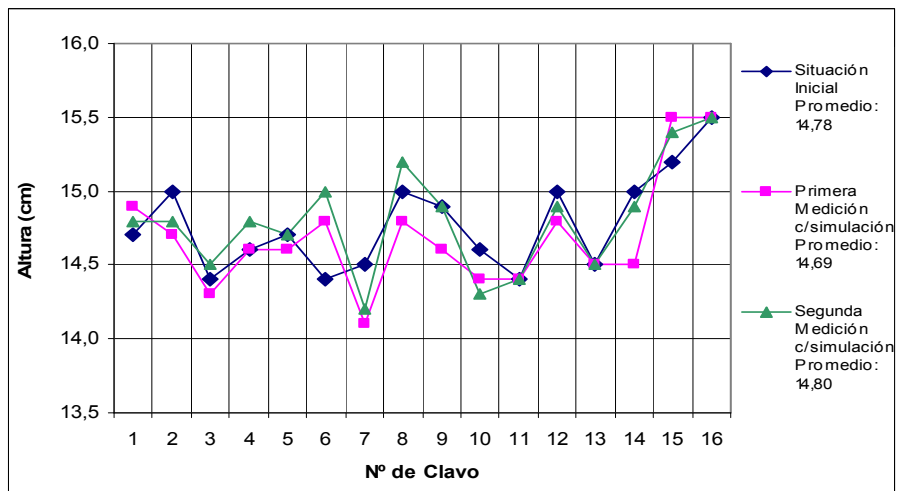


Figura 25. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 2

En la figura 25, se pueden observar los puntos 11, 13 y 16 sin variación durante el proceso de precipitación; además se aprecia que la primera simulación generó sedimentación en la mayoría de los clavos; en cambio, la segunda lluvia produjo erosión en la mayor parte de éstos. Ello se puede reafirmar al comparar los promedios de las mediciones y al observar el cuadro 43, donde se aprecian claramente las tendencias adoptadas por cada simulación de precipitaciones.

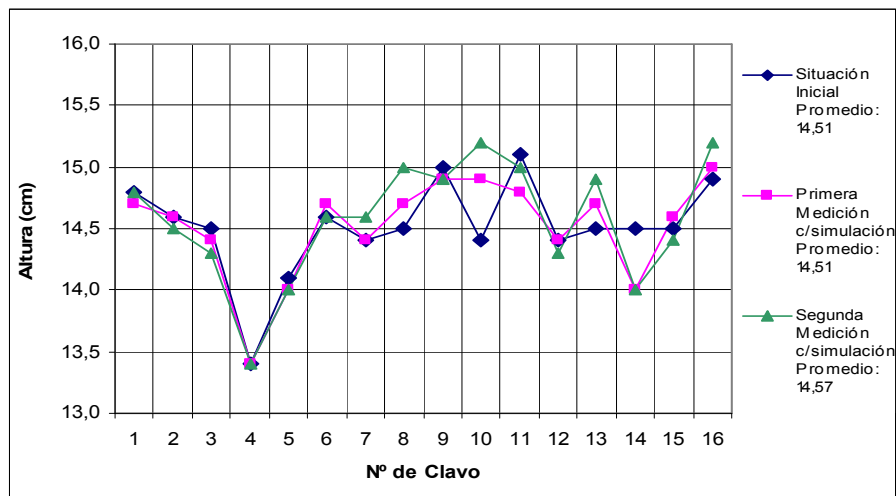
**Cuadro 43.** Variación de cada punto de control presente en la columna 2

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	E	S	S	SD	S	E	S	S	S	S	SD	S	SD	S	E	SD
2ª Simulación	S	E	E	E	E	E	E	E	E	S	SD	E	SD	E	S	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.



**Figura 26.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 2

**Cuadro 44.** Variación de cada punto de control presente en la columna 3.

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	E	SD	S	SD	D	E	SD	S	S	E	S	SD	E	S	E	E
2ª Simulación	SD	S	S	SD	SD	D	E	E	SD	E	E	S	E	SD	S	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

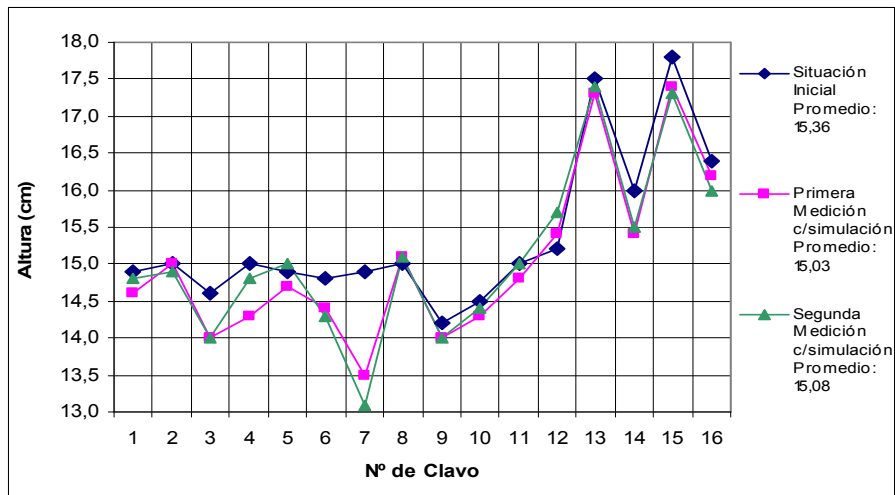
SD: Sin diferencia.

Del gráfico 26 se puede inferir que la primera simulación en general muestra tendencia al proceso de sedimentación, en la segunda lluvia la mayor parte de los clavos evidencian una tendencia a la erosión; el clavo N° 4 no muestra diferencia un ninguna de las lluvias simuladas. Al comparar los promedios de las mediciones se advierte que entre la situación inicial y la primera medición con simulación no se



presentan diferencias; en cambio, la comparación entre las dos restantes, exhibe tendencia a la erosión.

Del cuadro 44 se advierte que en los puntos 8, 10, 13 y 16 se mantuvo la tendencia a la erosión tras las precipitaciones simuladas.



**Figura 27.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 2

**Cuadro 45.** Variación de cada punto de control presente en la columna 4

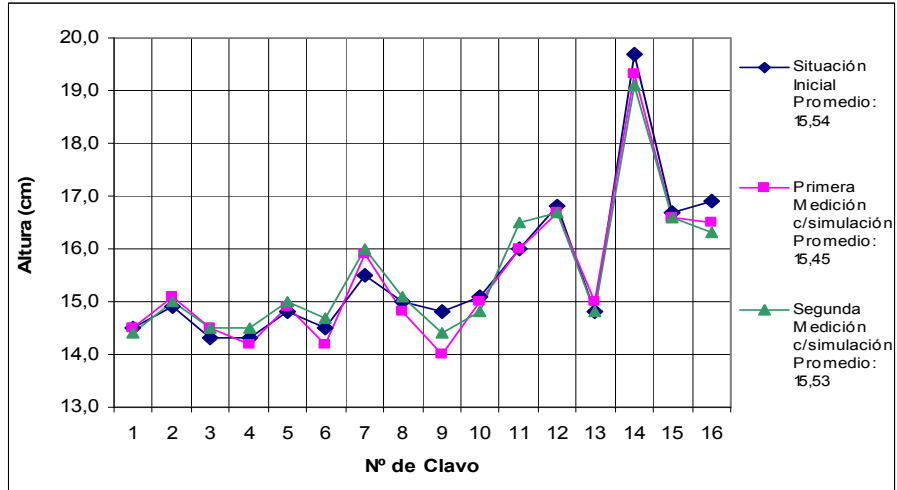
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>1ª Simulación</b>	S	SD	S	S	S	S	S	E	S	S	S	E	S	S	S	S
<b>2ª Simulación</b>	E	S	SD	E	E	S	S	SD	SD	E	E	E	SD	SD	S	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

La columna 4 (figura 27), muestra claramente que en el clavo N° 7 se acumulo una gran cantidad de sedimentos, así como en la mayor parte de la columna, se produjo sedimentación tras la primera simulación. Asimismo, se observó una tendencia a la erosión, luego de producida la segunda lluvia, lo cual se confirma al observar el cuadro.



**Figura 28.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 2

**Cuadro 46.** Variación de cada punto de control presente en la columna 5

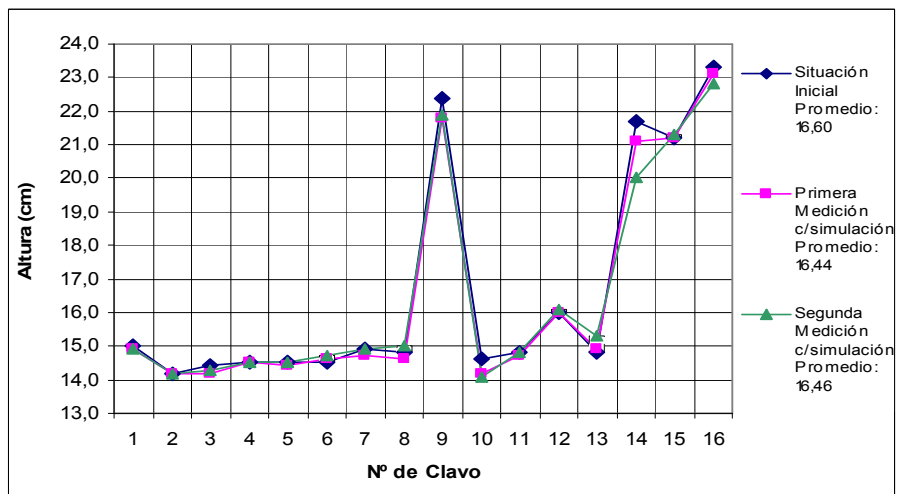
Clavo Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	SD	E	E	S	E	S	E	S	S	S	SD	S	E	S	S	S
2ª Simulación	S	SD	SD	E	SD	E	SD	E	E	S	E	SD	S	S	SD	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

La figura 28 evidencia que la primera simulación de lluvia produjo sedimentación en la mayoría de los puntos; para la segunda lluvia se presenta una tendencia a la erosión en la mayor parte de los clavos.



**Figura 29.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 6 en la parcela N° 2

El gráfico 29 muestra que en general no se produjeron variaciones en los puntos de control con las simulaciones de lluvia efectuadas; sin embargo, los puntos que presentan diferencias exhiben tendencia al proceso de sedimentación.

**Cuadro 47.** Variación de cada punto de control presente en la columna 6

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	S	SD	S	SD	SD	E	S	S	S	S	SD	SD	E	S	SD	S
2ª Simulación	SD	SD	SD	SD	SD	SD	E	E	SD	S	SD	SD	E	S	SD	S

S: Sedimentación.

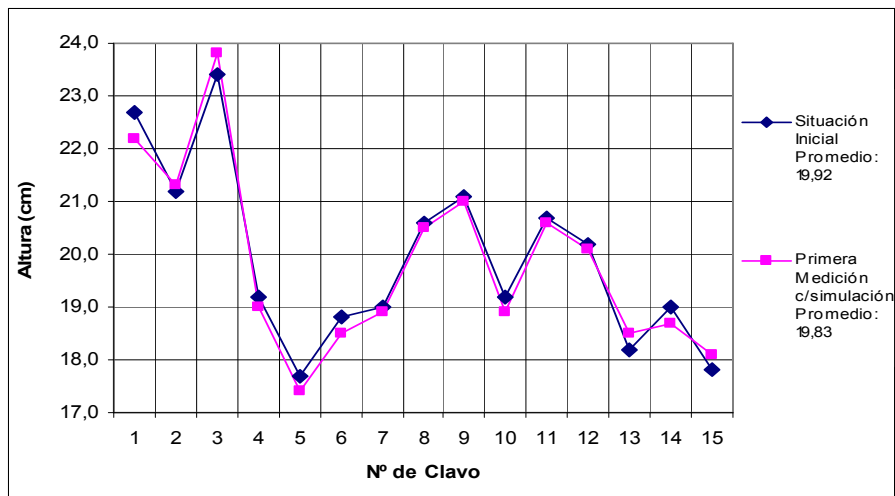
E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

Del cuadro 47 se aprecia que los puntos que no presentan variaciones muestran sedimentación para ambas simulaciones, con excepción del punto N° 13, en el cual se mantiene la tendencia a la erosión.

### 5.5.3. Parcela N° 3

A continuación se presentan los gráficos comparativos de la fluctuación del nivel del suelo obtenidos de las simulaciones de lluvia, para cada columna de la parcela N° 3.



**Figura 30.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 3

**Cuadro 48.** Variación de cada punto de control presente en la columna 1

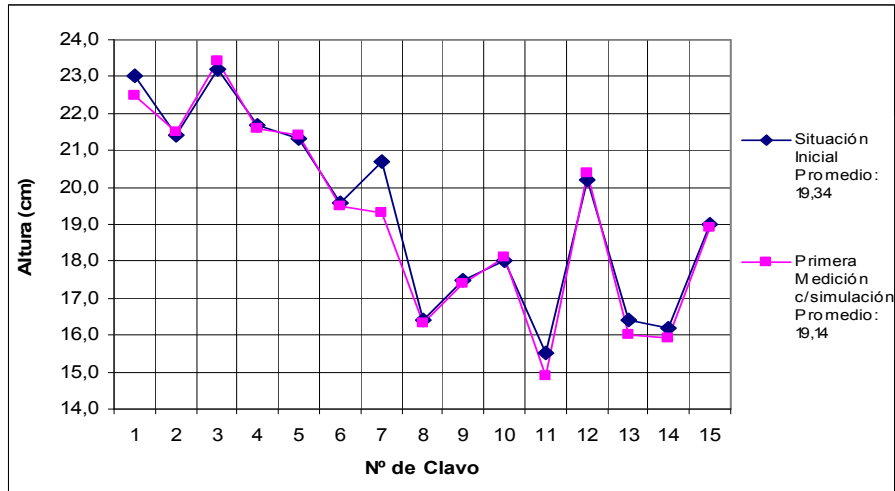
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª Simulación	S	E	E	S	S	S	S	SD	SD	SD	SD	S	E	S	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

La figura 30, muestra que en general la simulación de lluvia no produjo variación; los puntos presentan reiteradamente una tendencia a la sedimentación; el clavo N° 3 ostentó una leve erosión, al igual que los puntos 13 y 15; lo cual se puede comprobar al observar el cuadro y los promedios de las mediciones.



**Figura 31.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 3

**Cuadro 49.** Variación de cada punto de control presente en la columna 2

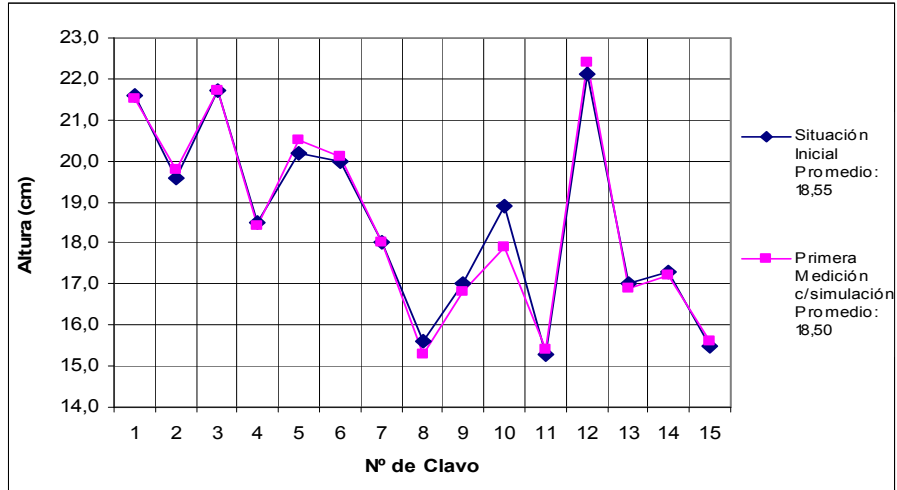
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª Simulación	S	SD	E	SD	SD	SD	S	SD	SD	SD	S	E	S	S	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

La figura 31 muestra que en general la simulación de lluvia no produjo variación; los puntos presentan reiteradamente una tendencia a la sedimentación, especialmente el punto 7; el clavo N° 3 es el único que exhibe tendencia a la erosión.



**Figura 32.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 3

**Cuadro 50.** Variación de cada punto de control presente en la columna 3

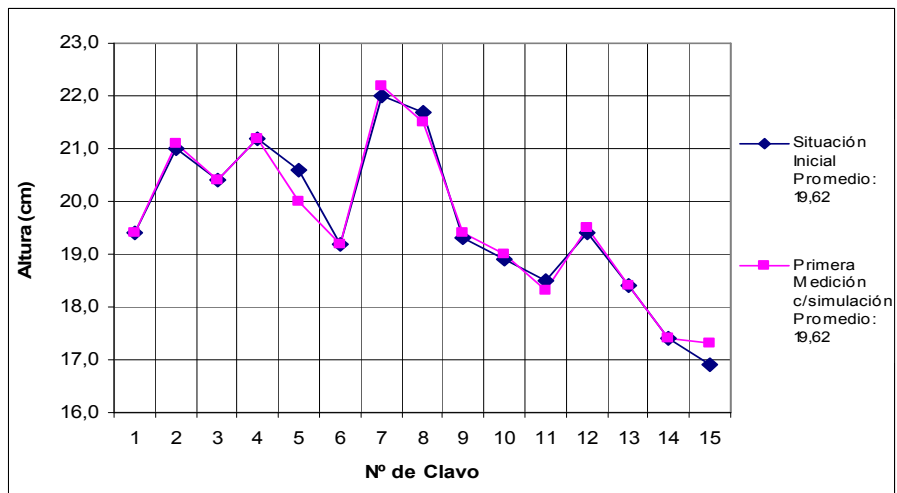
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª Simulación	SD	E	SD	SD	E	E	SD	S	S	S	SD	E	SD	SD	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 32 se muestra que en la columna, en general la simulación no produjo variación; los puntos 2, 5, 6 y 12 presentan tendencia a la erosión; los clavos N° 8, 9 y 10 denotan sedimentación, lo cual se puede comprobar al observar el cuadro 50.



**Figura 33.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 3

La figura 33, evidencia reiteradamente que no se produjo diferenciación frente a la simulación de lluvia realizada; los puntos que presentan sedimentación son el 5, 8 y 11; en cambio los clavos N° 7, 9, 10, 12 y 15 exhiben erosión; el resto de los puntos no

exhiben variación. Lo cual se puede comprobar al observar el cuadro 51 y los promedios de las mediciones.

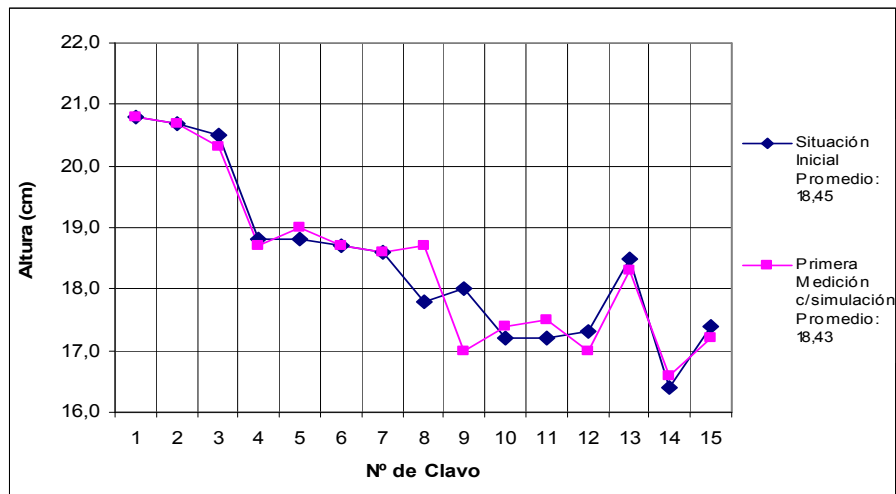
**Cuadro 51.** Variación de cada punto de control presente en la columna 4

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª Simulación	SD	SD	SD	SD	S	SD	E	S	E	E	S	E	SD	SD	E

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.



**Figura 34.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 3

**Cuadro 52.** Variación de cada punto de control presente en la columna 5

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1ª Simulación	SD	SD	S	S	E	SD	SD	E	S	E	E	S	S	E	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 34, el gráfico muestra una diferencia desde el clavo N° 3, ya que este clavo, además del N° 9, 13 y 15, evidencian sedimentación, los puntos restantes presentan una tendencia a la erosión, con excepción de los clavos 2, 6 y 7 que no demuestran variación tras la lluvia simulada. Ésto se puede comprobar al observar el cuadro y los promedios de las mediciones.

#### 5.5.4. Parcela N° 4

A continuación se presentan los gráficos comparativos de la fluctuación del nivel del suelo obtenidos de las simulaciones de lluvia, para cada columna de la parcela N° 4.

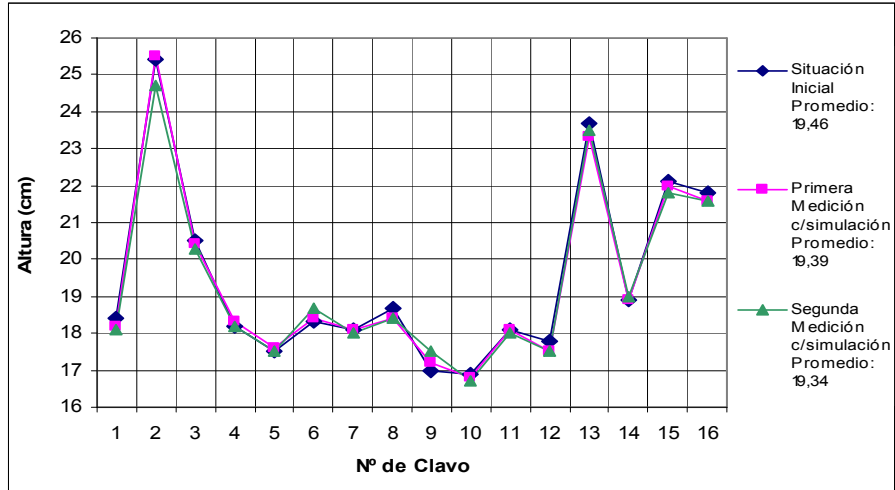


Figura 35. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 1 en la parcela N° 4

Cuadro 53. Variación de cada punto de control presente en la columna 1

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	S	SD	SD	SD	SD	E	SD	S	E	S	SD	S	S	SD	S	S
2ª Simulación	SD	S	SD	SD	SD	E	S	SD	E	S	SD	SD	E	SD	S	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 35, el gráfico de la columna 1 evidencia reiteradamente que no se produjeron diferencias frente a las simulaciones de lluvia; que el punto 2, presenta claramente sedimentación en la segunda simulación; en cambio los clavos N° 6 y 9 muestran erosión para ambas simulaciones, lo cual se puede comprobar al observar el cuadro 53.

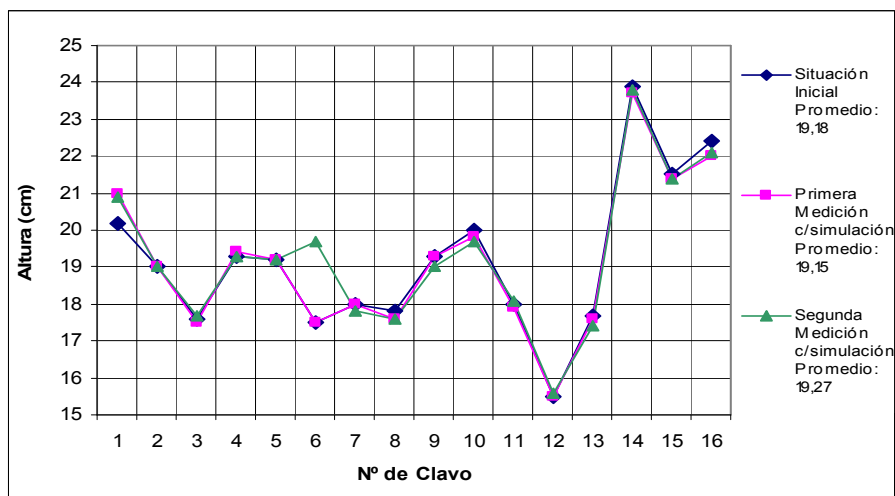


Figura 36. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 2 en la parcela N° 4

**Cuadro 54.** Variación de cada punto de control presente en la columna 2

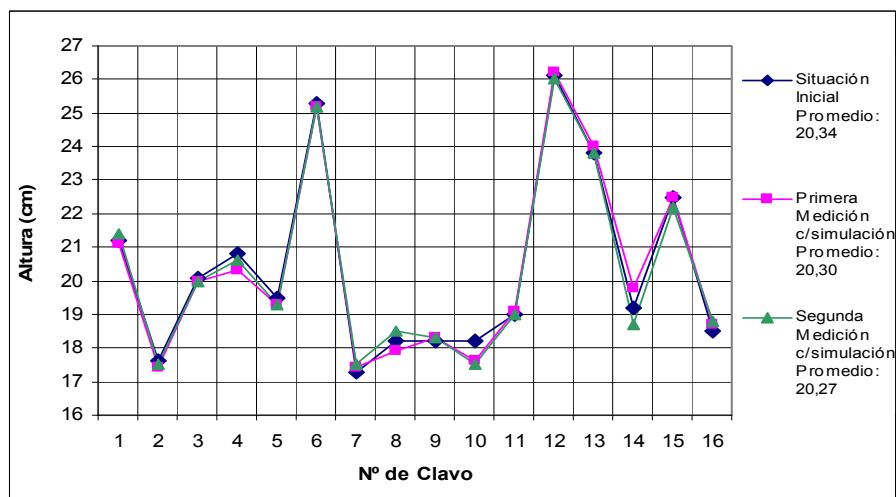
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	E	SD	SD	SD	SD	SD	SD	S	SD	S	SD	SD	S	S	SD	S
2ª Simulación	SD	SD	SD	SD	SD	E	S	SD	S	S	SD	SD	S	SD	SD	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 36, el gráfico muestra que en los puntos 1 y 6 se produjo erosión; en los puntos 10 y 13 sedimentación; en cambio, en los clavos restantes se distingue que reiteradamente no se produjo variación en el suelo, frente a las simulaciones de lluvia realizadas.



**Figura 37.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 3 en la parcela N° 4

**Cuadro 55.** Variación de cada punto de control presente en la columna 3

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	SD	SD	SD	S	S	S	E	S	E	S	SD	SD	E	E	SD	E
2ª Simulación	SD	SD	SD	E	SD	S	SD	E	SD	SD	SD	SD	S	S	S	SD

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En este caso y al igual que en las columnas anteriores, en el gráfico de la figura 37 se distingue que no se produjeron diferencias frente a las simulaciones realizadas; los puntos que presentan algún grado de diferencia son el 8 10 y 14, lo cual se puede comprobar al observar el cuadro 55.



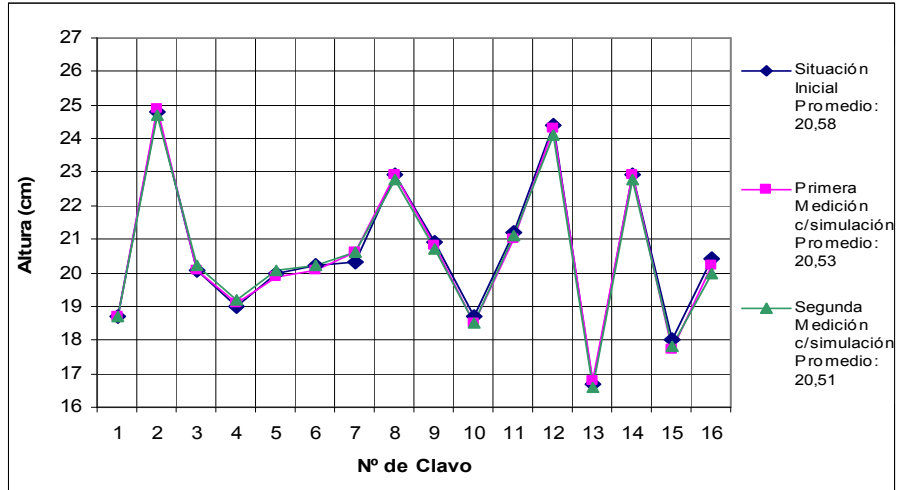


Figura 38. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 4 en la parcela N° 4

Cuadro 56. Variación de cada punto de control presente en la columna 4

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	SD	SD	SD	E	SD	SD	E	SD	SD	S	SD	S	SD	SD	S	S
2ª Simulación	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	S	SD	S	SD	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 38, en el gráfico se distingue a primera vista que las simulaciones no produjeron mayores diferencias sobre el nivel del suelo. En los puntos 4, 7 y 16, se observan fluctuaciones menores.

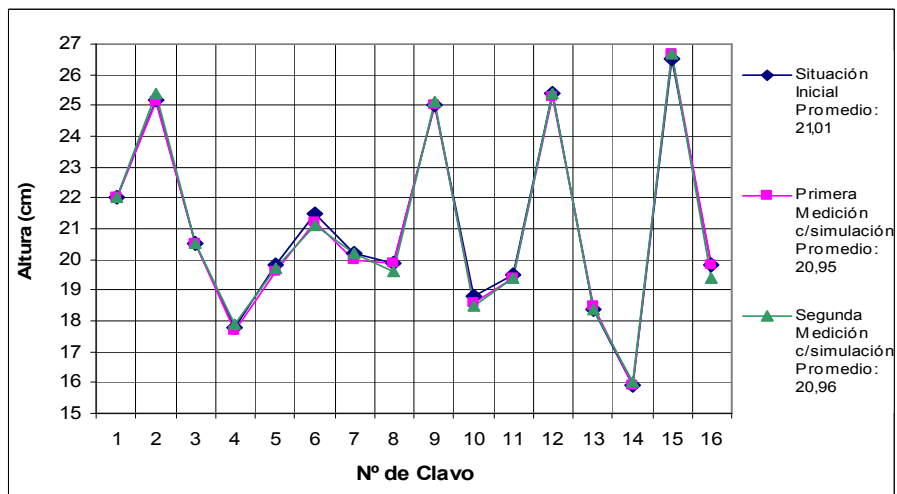


Figura 39. Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 5 en la parcela N° 4

**Cuadro 57.** Variación de cada punto de control presente en la columna 5

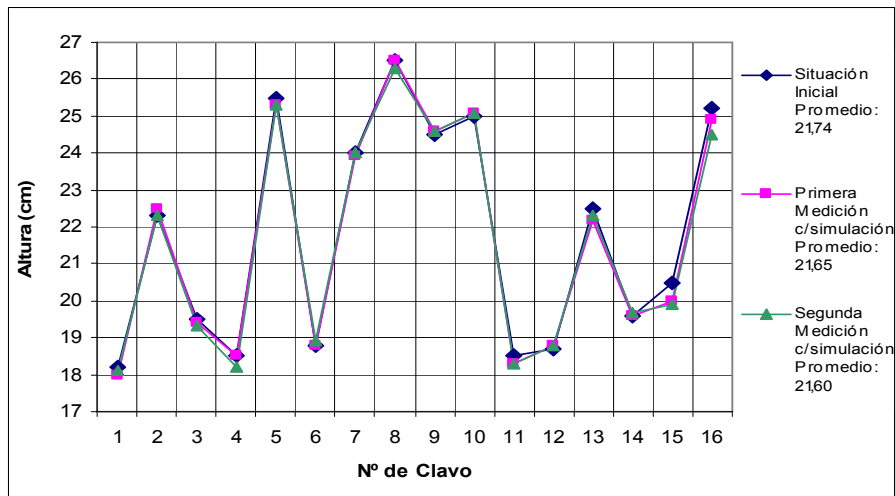
Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	SD	SD	SD	SD	S	S	SD	SD	SD	S	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2ª Simulación	SD	SD	SD	SD	SD	S	SD	S	SD	S	SD	SD	SD	SD	SD	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 39, columna 5, muestra claramente la mínima variación existente dentro de la misma. La acumulación de sedimentos se distingue en el punto 5, 6, 8 y 10; en cambio, no se distingue erosión.



**Figura 40.** Gráfico fluctuación del nivel del suelo de la columna 6 en la parcela N° 4

**Cuadro 58.** Variación de cada punto de control presente en la columna 6

Clavo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Simulación	S	E	SD	SD	S	SD	SD	SD	SD	SD	S	SD	S	SD	S	S
2ª Simulación	SD	S	SD	S	SD	SD	SD	S	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	S

S: Sedimentación.

E: Erosión.

SD: Sin diferencia.

En la figura 40 se observa que dentro de la columna 6, no se produjeron variaciones en el nivel del suelo realizadas las simulaciones de lluvia. Visiblemente los puntos 15 y 16 presentan sedimentación; en cambio, en el clavo N° 2 se distingue que se produjo erosión.

## 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 6.1. Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva es aquella que efectivamente llega a la superficie del suelo en una tormenta, por lo cual se hace necesario conocer la cantidad de agua que provoca una determinada erosión. De los resultados entregados por el estudio, al comparar el volumen de agua que lanza el simulador de lluvia, con la precipitación que realmente llega al suelo, se puede indicar que existe una notoria diferencia entre ambas, lo cual se visualiza en el cuadro, donde se exhiben los resultados entregados por cada simulación para cada una de las parcelas.

**Cuadro 59.** Resumen de la precipitación simulada en el estudio

Parcela	Nº de simulación	Duración (min)	pp media (mm)	Volumen utilizado (m <sup>3</sup> )	Volumen captado (m <sup>3</sup> )	Diferencia volumen (m <sup>3</sup> )	pp efectiva (%)	Agua perdida (%)
Nº 1	1	25	45,5	1,00	0,50	0,50	50,00	50,00
	2	27	49,5	1,47	0,50	0,97	34,00	66,00
Nº 2	1	20	40,2	0,85	0,42	0,43	49,41	50,59
	2	20	38,9	0,93	0,41	0,52	44,09	55,91
Nº 3	1	20	43	0,51	0,44	0,07	86,27	13,73
Nº 4	1	17	33,8	0,75	0,34	0,41	45,33	54,67
	2	20	38,7	0,93	0,40	0,53	43,01	56,99
$\bar{X}$	-	21,3	41,4	0,92	0,43	0,49	50,3	49,7

Como lo evidencia el cuadro, del total del volumen precipitado, en promedio se pierde igual cantidad de agua al ser comparado con el volumen que efectivamente llegó al suelo. Esto se debería principalmente a factores climáticos que imperaban en el lugar al momento de realizar el estudio, específicamente el viento y la temperatura. El fuerte viento provocaría la disipación de las gotas de lluvia fuera de la parcela, aunque se dispuso de un corta viento, para disminuir este efecto. Lo anterior, sumado a la temperatura ambiente, induciría a la evaporación del agua antes de tocar el suelo.

Se debe señalar, que en la precipitación simulada, los factores climáticos temperatura y viento, no pueden ser controlados, pero se pueden llegar a disminuir sus

efectos con medidas más eficientes. Además, que la acción del viento es uno de los principales inconvenientes en las prácticas donde se simulan precipitaciones.

## 6.2. Erosión

De la erosión generada por la simulación de precipitaciones, es importante destacar la gran diferencia existente en los resultados obtenidos a partir de los distintos métodos, por lo cual se debe analizar y discutir cada uno de éstos; en el cuadro 60 se presenta un resumen para cada una de las parcelas estudiadas.

**Cuadro 60.** Resumen de la erosión obtenida a partir de los métodos utilizados

Parcela	% Pendiente	Nº de Simulación	Duración (min)	pp (mm)	Erosión por Método (ton/ha)			
					Clavos	Zanja	Sedimentos	
							Sub-1	Sub-2
Nº 1	4,5	1	25	45,5	12,67	437,25	-	-
		2	27	49,5	19,11	417,38	-	-
Nº 2	5	1	20	40,2	9,19	-	69,09	43,74
		2	20	38,9	15,84	-	82,72	79,33
Nº 3	6,5	1	20	43	13,66	459,33	-	-
Nº 4	2,5	1	17	33,8	6,9	-	10,59	11,16
		2	20	38,7	12,2	-	9,12	24,17
$\bar{X}$	-	-	21,3	41,4	12,80	437,99	43,08	39,60

### 6.2.1. Erosión calculada por el método de clavos de erosión

Para cada una de las parcelas evaluadas a través del método de los clavos de erosión y luego de efectuar cada simulación de lluvia, se obtuvieron resultados similares para cada evento, lo que se traduce en una erosión promedio de 12,8 ton/ha de suelo perdido o movilizado. Aunque los valores de erosión obtenidos no son altos, se debe discrepar sobre su validez, ya que al analizar los gráficos que evalúan la fluctuación del nivel del suelo en el capítulo anterior (5.5), se distingue que en la mayoría de las columnas estudiadas se verifica una tendencia a la sedimentación, lo cual se reafirma al observar los promedios de las alturas en cada columna. Sin embargo, esto es discutible, dado que lo esperable es obtener mayores valores de erosión.

En este contexto, se hace mención a la etapa de la toma de datos, la cual se realizó cuando el suelo aún presentaba un alto contenido de humedad, el que era muy superior al inicial, por lo cual, los poros y microporos se encontraban muy expandidos, dando como resultado una altura menor a la inicial. Sin que ello necesariamente signifique la presencia de sedimentación.

### **6.2.2. Erosión calculada por el método de zanjas de recepción**

Los resultados de erosión, obtenidos por el método de la zanja de recepción, alcanzan valores muy elevados con respecto a los obtenidos a través de los clavos, los cuales representan en promedio 438 ton/ha de suelo transportado desde la parcela hasta la zanja, después de realizada cada simulación.

Lo antes mencionado se justificaría porque la zanja se encontraba saturada en el momento de efectuar la medición; los datos registrados provocaron una sobrestimación del material depositado en la zanja, proveniente de la parcela por acción de la escorrentía. Al igual que en el método mencionado anteriormente, el tiempo esperado entre la simulación de precipitaciones y la toma de datos, no fue el adecuado, por lo que se explicaría el alto grado de erosión estimado, que no se ajustaría a la realidad.

### **6.2.3. Erosión calculada por el método de muestras de sedimentos**

La erosión determinada por el método de las muestras de sedimentos, entregó distintos valores para cada sub-parcela y sus respectivas simulaciones; en promedio se capturaron 43 ton/ha en la sub-parcela 1 y 40 ton/ha en la sub-parcela 2.

En el cuadro 61 se puede observar la relación existente entre la precipitación efectiva y el transporte de material, por lo cual se diseñó un coeficiente para determinar la emisión de sedimentos, desde cada sub-parcela, en función de la precipitación registrada.

**Cuadro 61.** Emisión de sedimentos en función de la precipitación en cada sub-parcela

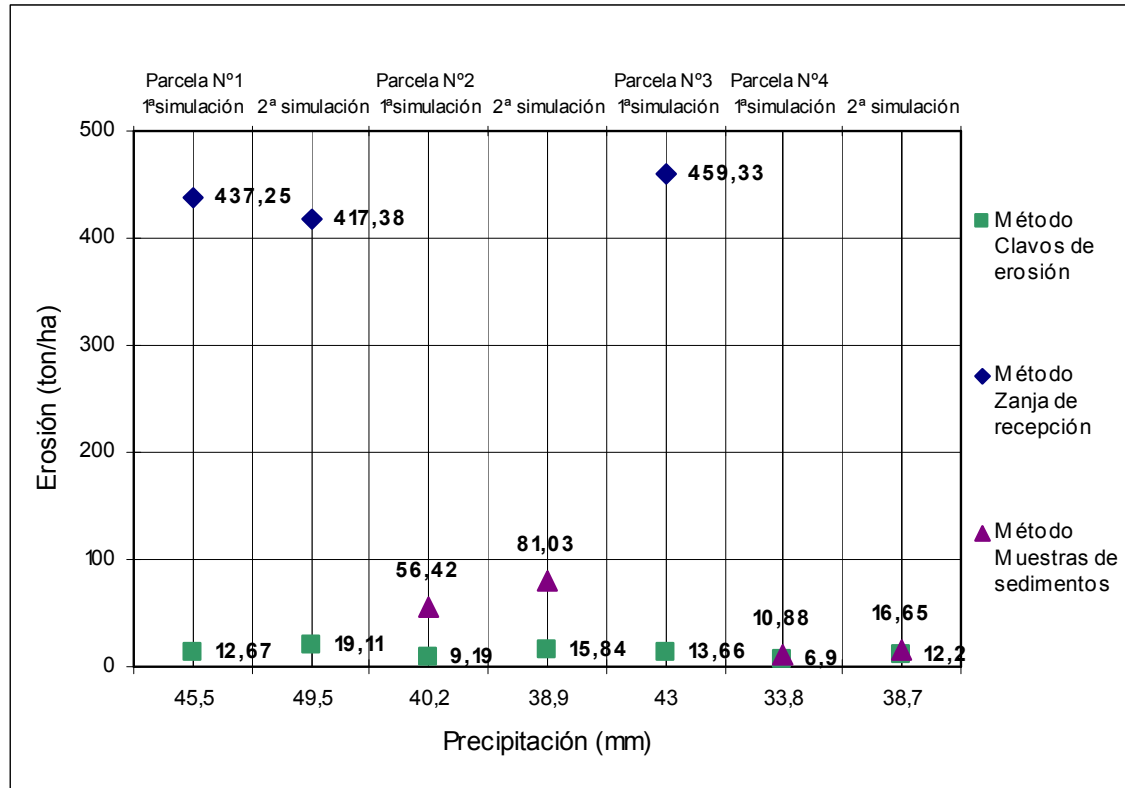
Parcela	Simulación	Sub-parcela	Precipitación efectiva (mm)	Masa sólida (ton/ha)	Emisión de sedimentos en función de la pp
N° 2	1	1	34,3	69,03	2,01
		2	49,8	43,74	0,88
N° 2	2	1	49,3	82,72	1,68
		2	32,0	79,33	2,48
N° 4	1	1	33,9	10,59	0,31
		2	35,1	11,16	0,32
N° 4	2	1	34,0	9,12	0,27
		2	45,1	24,17	0,54

De lo cual se puede advertir que los mayores valores se presentan, para la parcela N° 2 en la sub-parcela 1, en cambio, en la parcela N° 4 esta situación se muestra en la sub-parcela 2, en ambas simulaciones. Además, en la parcela N° 4, esto se asocia directamente con la precipitación, lo que no ocurre en la parcela N° 2

El método de la toma de muestras de sedimentos sería el que presentó posiblemente los mejores resultados en el estudio, aunque fueron variados entre sub-parcelas. Esto se explicaría, porque las muestras recolectadas lograron capturar una cantidad homogénea de material arrastrado desde la parcela durante el proceso precipitación–escorrentía.

### **6.3. Comparación de Resultados entre Métodos**

La variación presente en los resultados entre los métodos utilizados, para el cálculo de la erosión, lo cual fue expuesto en el punto anterior, hace necesaria la comparación entre éstos. El gráfico siguiente exhibe la erosión generada de cada simulación en las parcelas en estudio.



**Figura 41.** Gráfico de la erosión obtenida por los distintos métodos utilizados en el estudio

### 6.3.1. Método clavos de erosión v/s método zanja de recepción

Al observar el gráfico se evidencia claramente la diferencia existente entre el método de los clavos de erosión y el método de la zanja de recepción, para cada simulación realizada y en las parcelas que presentan este tipo de medición (parcelas tipo A).

De los resultados entregados del estudio, se ha determinado que la mayor erosión es obtenida por el método de los clavos de erosión presentes en la zanja de recepción; en cambio, el que presenta menores resultados, es el método de los clavos en la parcela. Esta situación se repite en ambas simulaciones de lluvia.

Al analizar la desigualdad demostrada entre métodos, se destaca la excesiva diferencia existente, alcanzando ésta un valor de 30 veces.

Lo anterior se explicaría por el efecto del escurrimiento superficial, dado que todo el material transportado debe sedimentar en la zona baja de la parcela, la cual corresponde a la zanja de recepción, con excepción del material que queda depositado entre la vegetación o simplemente en las irregularidades del terreno. Esto se traduce en la igualdad que correspondería encontrar en los resultados obtenidos entre métodos; por esta razón no se sabe cual de éstos indicadores de pérdida de suelo presentan la realidad del proceso precipitación–escorrentía. En la zanja los valores serían mayores porque el suelo perdió su estructura original y está altamente hidratado; por tanto, habría que haber esperado a que se secase el suelo, para poder comparar eficientemente.

### **6.3.2. Método clavos de erosión v/s método muestras de sedimentos**

La pérdida de suelo producto de las simulaciones de lluvia realizadas, determinada a través del método de parcelas con clavos de erosión, entregó como resultado una erosión menor comparada con los resultados obtenidos de las muestras de sedimentos, lo que se aprecia en la figura 41, aunque además se aprecia que la segunda simulación, para ambas situaciones, genera un efecto erosivo en el suelo.

Al igual que en el caso anterior, no se muestra relación entre la cantidad de precipitación y el desprendimiento y transporte de material en las parcelas tipo B.

Al analizar la erosión determinada por ambos métodos, se debe destacar la pequeña variación existente entre resultados, comparados con el caso anterior. Por tanto se advierte que, por efecto del escurrimiento superficial, todo el material transportado debe sedimentar en la zona baja de la parcela, donde fueron recolectadas las muestras, lo cual debió ser reafirmado y evidenciado por los clavos que perdieron material.



### **6.3.3. Método muestras de sedimentos v/s método zanja de recepción**

Al analizar los resultados obtenidos de erosión por el método de las muestras de sedimentos y el método de la zanja de recepción, se confirma la alta diferencia existente entre ambos; de lo cual se deduce que, por lo mencionado en las comparaciones anteriores, el primer método mencionado presenta resultados mas representativos del proceso precipitación–escorrentía, debido a la manera en la cual se obtuvieron los datos.

Además, se debe hacer énfasis en los resultados obtenidos, los que debieron presentar valores similares; ésto se relaciona con el material transportado, el cual tendría que ser el mismo que fue depositado en la zanja de recepción, con respecto al que fue recolectado por cada muestra. Aunque, no existe comparación para las parcelas en estudio, ya que corresponden a parcelas tipo A y tipo B, y estas sólo tienen en común el método de los clavos de erosión, las diferencias son demasiado abundantes, hecho que aunque no invalida el tema, hace que la comparación solo sirva de referencia para estudios posteriores.

## 7. CONCLUSIONES

Después de obtener, discutir y analizar los resultados de este estudio, el cual fue realizado en el sector de Quebrada de Talca, IV Región de Coquimbo, es posible concluir y entregar algunas recomendaciones, las cuales son expuestas a continuación.

### 7.1. Conclusiones

- En el estudio, el método de los clavos de erosión no resultó un buen indicador de la pérdida de suelo en la parcela y en la zanja, debido a que el margen de tiempo de esperado para la recolección de datos no fue el adecuado, de lo cual se desprende la necesidad de realizar las mediciones considerando condiciones de humedad similares para cada control.
- De los métodos utilizados para determinar la pérdida de suelo provocada por el arrastre de las partículas, producto de la simulación de precipitaciones, el que presenta al parecer los mejores resultados en el estudio, es el método de la muestras de sedimentos, ya que los datos entregados por este parecían representar de mejor forma la realidad del proceso precipitación-escorrentía.
- En el estudio, la precipitación que efectivamente llega al suelo es menor al 50% en la mayoría de las simulaciones de lluvia realizadas para cada una de las parcelas estudiadas; con respecto al volumen de agua que es expulsado por el simulador. En relación a lo antes mencionado, se puede concluir que en promedio la mitad del agua expulsada por los aspersores se pierde en el proceso de simulación antes de llegar al suelo, por efecto del viento y la evaporación.
- La lluvia obtenida para las diferentes posiciones y cargas del simulador, en general presenta un patrón de distribución homogéneo, es decir un coeficiente de variación

útil, por lo que la utilización de simuladores de lluvia en estudios de este tipo resulta efectivo.

## **7.2. Recomendaciones**

- Para obtener resultados de mayor precisión se recomienda en estudios posteriores, aumentar el número de parcelas y las repeticiones de simulaciones de lluvia realizadas en éstas, además de efectuar más de un tipo de medición (métodos), en cada parcela, para así poder confirmar y comparar los resultados obtenidos.
- Se debe considerar, al realizar las mediciones, la humedad que presenta la parcela al momento de la medición inicial, con el objetivo de no sobre o subestimar los resultados.
- Se recomienda continuar con investigaciones sobre la problemática de los procesos erosivos, usando los diferentes modelos de evaluación que existen, adecuándose a las condiciones del país. Esto debido a que estos problemas tienen consecuencias económicas, sociales y ambientales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Achutegui, A; Abreu, X; Páez, M. 1996. Diseño y evaluación de un simulador de lluvias tipo gotero con efecto vibratorio. Venezuela. (en línea). Consultado el 20 de marzo 2006. Disponible en [http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v04\\_1-2/v412a050.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v04_1-2/v412a050.html)
- Ayres, Q. 1960. La erosión del suelo y su control. Barcelona, España. Ediciones Omega S.A. 441 p.
- BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile). Región de Coquimbo: ubicación, vegetación, clima. (en línea). Consultado el 20 de marzo de 2006. Disponible en <http://www.bcn.cl/pags/siit/region4.htm>.
- DIBAM (Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, Chile). La erosión de suelos y la supervivencia de Chile: una alarma ambiental nacional. (en línea). Consultado el 19 de octubre de 2006. Disponible en <http://www.memoriachilena.cl/mchilena01/temas/index.asp?id-ut=laerosiondesuelos.htm>.
- CAZALAC (Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe, Chile). 2004. Simulador de lluvia, construcción y especificaciones. La Serena, Chile. 12 p. (Nota técnica).
- Cepeda, M. 1999. Simulador de lluvia para demostrar sus efectos de erosión en el suelo. México. 10 p. (Folleto Técnico N° 3)
- Chow, V; Maidment, D; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia. Ed. McGraw-Hill Interamericana, S.A. 584 p.
- CMPC (Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, Chile). Medio ambiente. (en línea). Consultado el 15 de mayo de 2006. Disponible en [http://www.papelnet.cl/ambiente/ley\\_medio.htm](http://www.papelnet.cl/ambiente/ley_medio.htm).
- CONAMA (Corporación Nacional del Medio Ambiente, Chile). Recursos hídricos, región de Coquimbo. (en línea). Consultado el 26 de noviembre de 2005. Disponible en [http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-29099\\_recurso\\_3.pdf](http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-29099_recurso_3.pdf).

- CONAMA (Corporación Nacional del Medio Ambiente, Chile). 1994. Plan Nacional de conservación de suelos. Santiago, Chile. 137 p.
- 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. Escuela de Ingeniería Forestal. 64 p.
- Derpsch, R. 2004. Entender el proceso de la erosión y de la infiltración de agua en el suelo (en línea). Consultado el 20 de marzo de 2005. Disponible en <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (en línea). Roma. Consultado el 15 de noviembre de 2005. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.htm#Contents>.
- Farfán, J. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial (r) de la ecuación universal de la pérdida de suelo, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule. Memoria Ing. Forestal. Talca. Chile. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Forestal. 111 p.
- García, J. 1999. La erosión hídrica: Mecanismos y modelos. Curso: Evaluación y Control de erosión. España. 49 p.
- Gayoso, J.; Alarcón, D.; 1999. Guía de conservación de suelos forestales. Programa de producción forestal y medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 91 p.
- Honorato, R. 2000. Manual de edafología. 4a. edición. Distrito Federal, México. Ediciones Universidad Católica de Chile. Alfaomega Grupo Editor S.A. 267 p.
- 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). Cien. Inv. Agr. 28(1): 7-14. Consultado el 11 de marzo de 2006. Disponible en <http://www.uc.cl/agronomia/rcia/Espanol/pdf/28-1/7-14.pdf>.
- Llamas, J. 1993. Hidrología general, Principios y aplicaciones. Bilbao, España. Servicio Ed. de la Universidad del País Vasco. 635 p.

- López, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. *In* Erosión en superficie: Modelos de evaluación. 2ª edición. Editorial MUNDI-PRENSA. Madrid, España. p. 179-232.
- Mintegui, J.; López, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. Vitoria, España. 306 p.
- Morgan, I. 2005. Sistema de información ambiental de la IX región de Chile: deforestación y erosión del suelo. (en línea). Consultado el 19 de octubre de 2006. Disponible en <http://www.ima.ufro.cl/siamb/p06011.html>
- Peralta, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura, SAG. 337 p.
- Pérez, C.; Gonzáles, J. 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Chillán, Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Quilamapu. 194 p. (Boletín INIA N° 15)
- Pizarro, R.; Sangüesa, C.; Flores, P.; Martínez, E. 2005. Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Talca, Chile. 178 p.
- Suárez, F. 1980. Conservación de suelos. 3a. edición. San José, Costa Rica. Editorial IICA. 315 p.
- Universidad de Chile. 1994. Suelos, una visión actualizada del recurso. 2a. ed. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 345 p. (Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38).

# ***APÉNDICES***

## ***APÉNDICE 1***

### **PLANILLAS DE REGISTRO DE LAS MEDICIONES EN LOS CLAVOS DE EROSIÓN**



## Planilla para la toma de datos en parcelas con zanja

**Cuadro 62.** Planilla para la parcelas

Lugar	
Nº Parcela	
Fecha	
% Pendiente	
Orientación	

Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	

**Cuadro 63.** Planilla para la zanja

Nº Parcela	
Nº Zanja	
Dimensiones	

Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	
Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°		Clavo N°	
Altura		Altura		Altura		Altura		Altura	



## ***APÉNDICE 2***

### **MEDICIONES DE LOS CLAVOS DE EROSIÓN**

## Parcela N° 1

$$\Delta H = V_i - V_f$$

$V_i$ : Valor de la primera medición en cm.

$V_f$ : Valor de la segunda medición en cm.

$\Delta H$ : Diferencia de altura en cm.

$\Sigma \Delta H$ : Sumatoria de la diferencia de altura en cm.

**Cuadro 65.** Primera y segunda medición (cm), parcela N° 1. Primera simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5		
	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$
1	15,8	15,4	0,4	15,5	15,4	0,1	15	14,4	0,6	15,4	14,7	0,7	15,1	15,2	-0,1
2	15,6	14,8	0,8	15,7	15,7	0	14,8	14,9	-0,1	15,1	15	0,1	15,2	15,1	0,1
3	14,8	14,9	-0,1	15,2	15,2	0	15,1	15	0,1	15,1	15,2	-0,1	15,3	15,5	-0,2
4	14,9	14,8	0,1	14,9	14,9	0	15	15,5	-0,5	15	14,7	0,3	15,1	15,1	0
5	15,6	15,8	-0,2	15,5	15,4	0,1	15,6	14,4	1,2	15,6	15,7	-0,1	15,2	14,8	0,4
6	15	15,2	-0,2	15	15,5	-0,5	15,8	14,8	1	15,8	15,4	0,4	15,3	14,9	0,4
7	15,2	14,9	0,3	15,3	14,9	0,4	15,4	14,7	0,7	15,4	15,4	0	15,4	15,4	0
8	15,8	15,5	0,3	15,8	15,4	0,4	14,9	15,3	-0,4	14,9	14,9	0	14,6	15,4	-0,8
9	15,4	15,4	0	15,5	14,8	0,7	15,6	15,7	-0,1	15,6	15,1	0,5	15,4	15,3	0,1
10	15,2	15	0,2	15,4	14,8	0,6	14,9	14,3	0,6	14,9	14,8	0,1	15,1	14,7	0,4
11	15,3	14,9	0,4	15,3	15	0,3	15,3	15,1	0,2	15,6	16	-0,4	15,2	15,3	-0,1
12	15,5	15,4	0,1	15,3	16,1	-0,8	15,2	14,2	1	15,2	14,7	0,5	15,2	14,6	0,6
13	15,2	14,8	0,4	15,6	15,7	-0,1	15,2	15	0,2	15,4	15,5	-0,1	15,5	15,5	0
14	15,2	15,5	-0,3	15,9	16,3	-0,4	15,6	15,5	0,1	15	15,3	-0,3	15,8	16	-0,2
$\Sigma \Delta H$			<b>2,2</b>			<b>0,8</b>			<b>4,6</b>			<b>1,6</b>			<b>0,6</b>
$\Sigma \Delta H (+)$			<b>3,0</b>			<b>2,6</b>			<b>5,7</b>			<b>2,6</b>			<b>2,0</b>
$\Sigma \Delta H (-)$			<b>-0,8</b>			<b>-1,8</b>			<b>-1,1</b>			<b>-1,0</b>			<b>-1,4</b>

**Cuadro 66.** Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 1. Segunda simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5		
	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$	$V_i$	$V_f$	$\Delta H$
1	15,4	15,2	0,2	15,4	15,2	0,2	14,4	14,8	-0,4	14,7	14,6	0,1	15,2	14,7	0,5
2	14,8	14,8	0	15,7	15,6	0,1	14,9	14,9	0	15	14,9	0,1	15,1	15,1	0
3	14,9	14,8	0,1	15,2	14,6	0,6	15	15,1	-0,1	15,2	15,2	0	15,5	15,6	-0,1
4	14,8	14,6	0,2	14,9	14,8	0,1	15,5	14,7	0,8	14,7	14,7	0	15,1	14,9	0,2
5	15,8	15,8	0	15,4	15,6	-0,2	14,4	14,5	-0,1	15,7	15,8	-0,1	14,8	14,8	0
6	15,2	15,1	0,1	15,5	15,1	0,4	14,8	15	-0,2	15,4	15,2	0,2	14,9	14,9	0
7	14,9	14,6	0,3	14,9	14,7	0,2	14,7	15,3	-0,6	15,4	15,4	0	15,4	15,4	0
8	15,5	15,5	0	15,4	15,3	0,1	15,3	15	0,3	14,9	14,6	0,3	15,4	15,4	0
9	15,4	15,3	0,1	14,8	15,4	-0,6	15,7	15,6	0,1	15,1	15,2	-0,1	15,3	15,1	0,2
10	15	14,8	0,2	14,8	15,1	-0,3	14,3	14,5	-0,2	14,8	14,4	0,4	14,7	14,6	0,1
11	14,9	14,6	0,3	15	15,2	-0,2	15,1	15,1	0	16	16,6	-0,6	15,3	15,6	-0,3

12	15,4	15,4	0	16,1	16,4	-0,3	14,2	15	-0,8	14,7	14,9	-0,2	14,6	14,6	0
13	14,8	14,2	0,6	15,7	16,5	-0,8	15	15,8	-0,8	15,5	15,9	-0,4	15,5	15,5	0
14	15,5	15,4	0,1	16,3	16,6	-0,3	15,5	16	-0,5	15,3	16,1	-0,8	16	16,2	-0,2
$\Sigma\Delta H$			<b>2,2</b>			<b>-1,0</b>			<b>-2,5</b>			<b>-1,1</b>			<b>0,4</b>
$\Sigma\Delta H (+)$			<b>2,2</b>			<b>1,7</b>			<b>1,2</b>			<b>1,1</b>			<b>1,0</b>
$\Sigma\Delta H (-)$			<b>0</b>			<b>-2,7</b>			<b>-3,7</b>			<b>-2,2</b>			<b>-0,6</b>

**Cuadro 67.** Primera y segunda medición (cm) en la zanja. Primera simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5			Columna N°6		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	23,1	22,8	0,3	22	21,9	0,1	23	22	1	21,2	20,8	0,4	21,3	18	3,3	23,4	14,6	8
2	22,3	20,1	2,2	20	19,5	0,5	21,8	21,6	0,2	22,4	22,0	0,4	21,4	20,9	0,5	24	21,9	2
$\Sigma\Delta H$			<b>2,5</b>			<b>0,6</b>			<b>1,2</b>			<b>0,8</b>			<b>3,8</b>			<b>10</b>

**Cuadro 68.** Segunda y tercera medición (cm) en la zanja. Segunda simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5			Columna N°6		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	22,8	21	1,8	21,9	21,2	0,7	22	17,5	4,5	20,8	19,3	1,5	18	15,5	2,5	14,6	13,5	1,1
2	20,1	19,8	0,3	19,5	19	0,5	21,6	20,9	0,7	22,0	21,8	0,2	20,9	17,8	3,1	21,9	19,9	2
$\Sigma\Delta H$			<b>2,1</b>			<b>1,2</b>			<b>5,2</b>			<b>1,7</b>			<b>5,6</b>			<b>3,1</b>

## Parcela N° 2

$$\Delta H = V_i - V_f$$

Vi: Valor de la primera medición en cm.

Vf: Valor de la segunda medición en cm.

$\Delta H$ : Diferencia de altura en cm.

$\Sigma \Delta H$ : Sumatoria de la diferencia de altura en cm.

**Cuadro 69.** Primera y segunda medición (cm), parcela N° 2. Primera simulación

Clavo	Sub-parcela 1									Sub-parcela 2								
	Columna 1			Columna 2			Columna 3			Columna 1			Columna 2			Columna 3		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	14,3	14,5	-0,2	14,7	14,9	-0,2	14,8	14,7	0,1	14,9	14,6	0,3	14,5	14,5	0	15,0	14,9	0,1
2	15,6	15,7	-0,1	15,0	14,7	0,3	14,6	14,6	0	15,0	15,0	0	14,9	15,1	-0,2	14,2	14,2	0
3	14,4	14,8	-0,4	14,4	14,3	0,1	14,5	14,4	0,1	14,6	14,0	0,6	14,3	14,5	-0,2	14,4	14,2	0,2
4	14,0	14,1	-0,1	14,6	14,6	0	13,4	13,4	0	15,0	14,3	0,7	14,3	14,2	0,1	14,5	14,5	0
5	14,7	14,5	0,2	14,7	14,6	0,1	14,1	14,0	0,1	14,9	14,7	0,2	14,8	14,9	-0,1	14,5	14,4	0,1
6	14,6	14,3	0,3	14,4	14,8	-0,4	14,6	14,7	-0,1	14,8	14,4	0,4	14,5	14,2	0,3	14,5	14,6	-0,1
7	15,0	15,2	-0,2	14,5	14,1	0,4	14,4	14,4	0	14,9	13,5	1,4	15,5	15,9	-0,4	14,9	14,7	0,2
8	14,7	14,4	0,3	15,0	14,8	0,2	14,5	14,7	-0,2	15,0	15,1	-0,1	15,0	14,8	0,2	14,8	14,6	0,2
9	14,9	15,0	-0,1	14,9	14,6	0,3	15,0	14,9	0,1	14,2	14,0	0,2	14,8	14,0	0,8	22,4	21,8	0,6

10	13,8	14,6	-0,8	14,6	14,4	0,2	14,4	14,9	-0,5	14,5	14,3	0,2	15,1	15,0	0,1	14,6	14,2
11	14,7	14,9	-0,2	14,4	14,4	0	15,1	14,8	0,3	15,0	14,8	0,2	16,0	16,0	0	14,8	14,7
12	14,6	14,5	0,1	15,0	14,8	0,2	14,4	14,4	0	15,2	15,4	-0,2	16,8	16,7	0,1	16,0	16,0
13	14,4	14,3	0,1	14,5	14,5	0	14,5	14,7	-0,2	17,5	17,3	0,2	14,8	15,0	-0,2	14,8	14,9
14	14,7	14,5	0,2	15,0	14,5	0,5	14,5	14,0	0,5	16,0	15,4	0,6	19,7	19,3	0,4	21,7	21,1
15	15,0	14,6	0,4	15,2	15,5	-0,3	14,5	14,6	-0,1	17,8	17,4	0,4	16,7	16,6	0,1	21,2	21,2
16	14,6	14,4	0,2	15,5	15,5	0	14,9	15,0	-0,1	16,4	16,2	0,2	16,9	16,5	0,4	23,3	23,1
$\sum \Delta H$			-0,3			1,4			0			5,3			1,4		
$\sum \Delta H (+)$			1,8			2,3			1,2			5,6			2,5		
$\sum \Delta H (-)$			-2,1			-0,9			-1,2			-0,3			-1,1		

**Cuadro 70.** Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 2. Segunda simulación

Clavo	Sub-parcela 1									Sub-parcela 2								
	Columna 1			Columna 2			Columna 3			Columna 1			Columna 2			Columna 3		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	14,5	14,2	0,3	14,9	14,8	0,1	14,7	14,8	-0,1	14,6	14,8	-0,2	14,5	14,4	0,1	14,9	14,9	
2	15,7	15,8	-0,1	14,7	14,8	-0,1	14,6	14,5	0,1	15,0	14,9	0,1	15,1	15,0	0,1	14,2	14,2	
3	14,8	14,8	0	14,3	14,5	-0,2	14,4	14,3	0,1	14,0	14,0	0	14,5	14,5	0	14,2	14,3	
4	14,1	14,1	0	14,6	14,8	-0,2	13,4	13,4	0	14,3	14,8	-0,5	14,2	14,5	-0,3	14,5	14,5	
5	14,5	14,8	-0,3	14,6	14,7	-0,1	14,0	14,0	0	14,7	15,0	-0,3	14,9	15,0	-0,1	14,4	14,5	
6	14,3	14,2	0,1	14,8	15,0	-0,2	14,7	14,6	0,1	14,4	14,3	0,1	14,2	14,7	-0,5	14,6	14,7	
7	15,2	15,3	-0,1	14,1	14,2	-0,1	14,4	14,6	-0,2	13,5	13,1	0,4	15,9	16,0	-0,1	14,7	14,9	
8	14,4	14,4	0	14,8	15,2	-0,4	14,7	15,0	-0,3	15,1	15,1	0	14,8	15,1	-0,3	14,6	15,0	
9	15,0	15,0	0	14,6	14,9	-0,3	14,9	14,9	0	14,0	14,0	0	14,0	14,4	-0,4	21,8	21,9	
10	14,6	13,8	0,8	14,4	14,3	0,1	14,9	15,2	-0,3	14,3	14,4	-0,1	15,0	14,8	0,2	14,2	14,1	
11	14,9	14,6	0,3	14,4	14,4	0	14,8	15,0	-0,2	14,8	15,0	-0,2	16,0	16,5	-0,5	14,7	14,8	
12	14,5	14,4	0,1	14,8	14,9	-0,1	14,4	14,3	0,1	15,4	15,7	-0,3	16,7	16,7	0	16,0	16,1	
13	14,3	13,7	0,6	14,5	14,5	0	14,7	14,9	-0,2	17,3	17,4	-0,1	15,0	14,8	0,2	14,9	15,3	
14	14,5	14,6	-0,1	14,5	14,9	-0,4	14,0	14,0	0	15,4	15,5	-0,1	19,3	19,1	0,2	21,1	20,0	
15	14,6	14,6	0	15,5	15,4	0,1	14,6	14,4	0,2	17,4	17,3	0,1	16,6	16,6	0	21,2	21,3	
16	14,4	14,5	-0,1	15,5	15,5	0	15,0	15,2	-0,2	16,2	16,0	0,2	16,5	16,3	0,2	23,1	22,8	
$\sum \Delta H$			1,5			-1,8			-0,9			-0,9			-1,2			
$\sum \Delta H (+)$			2,2			0,3			0,6			0,9			1,0			
$\sum \Delta H (-)$			-0,7			-2,1			-1,5			-1,8			-2,2			

### Parcela N° 3

$$\Delta H = V_i - V_f$$

Vi: Valor de la primera medición en cm.

Vf: Valor de la segunda medición en cm.

$\Delta H$ : Diferencia de altura en cm.

$\sum \Delta H$ : Sumatoria de la diferencia de altura en cm.

**Cuadro 71.** Primera medición (cm), parcela N° 3. Primera simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5		
	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H
1	22,7	22,2	0,5	23,0	22,5	0,5	21,6	21,5	0,1	19,4	19,4	0	20,8	20,8	0
2	21,2	21,3	-0,1	21,4	21,5	-0,1	19,6	19,8	-0,2	21,0	21,1	-0,1	20,7	20,7	0
3	23,4	23,8	-0,4	23,2	23,4	-0,2	21,7	21,7	0	20,4	20,4	0	20,5	20,3	0,2
4	19,2	19,0	0,2	21,7	21,6	0,1	18,5	18,4	0,1	21,2	21,2	0	18,8	18,7	0,1
5	17,7	17,4	0,3	21,3	21,4	-0,1	20,2	20,5	-0,3	20,6	20,0	0,6	18,8	19,0	-0,2
6	18,8	18,5	0,3	19,6	19,5	0,1	20,0	20,1	-0,1	19,2	19,2	0	18,7	18,7	0
7	19,0	18,9	0,1	20,7	19,3	1,4	18,0	18,0	0	22,0	22,2	-0,2	18,6	18,6	0
8	20,6	20,5	0,1	16,4	16,3	0,1	15,6	15,3	0,3	21,7	21,5	0,2	17,8	18,7	-0,9
9	21,1	21,0	0,1	17,5	17,4	0,1	17,0	16,8	0,2	19,3	19,4	-0,1	18,0	17,0	1
10	19,2	18,9	0,3	18,0	18,1	-0,1	18,9	17,9	1	18,9	19,0	-0,1	17,2	17,4	-0,2
11	20,7	20,6	0,1	15,5	14,9	0,6	15,3	15,4	-0,1	18,5	18,3	0,2	17,2	17,5	-0,3
12	20,2	20,1	0,1	20,2	20,4	-0,2	22,1	22,4	-0,3	19,4	19,5	-0,1	17,3	17,0	0,3
13	18,2	18,5	-0,3	16,4	16,0	0,4	17,0	16,9	0,1	18,4	18,4	0	18,5	18,3	0,2
14	19,0	18,7	0,3	16,2	15,9	0,3	17,3	17,2	0,1	17,4	17,4	0	16,4	16,6	-0,2
15	17,8	18,1	-0,3	19,0	18,9	0,1	15,5	15,6	-0,1	16,9	17,3	-0,4	17,4	17,2	0,2
<b>ΣΔH</b>			<b>1,3</b>			<b>3,0</b>			<b>0,8</b>			<b>0</b>			<b>0,2</b>
<b>ΣΔH (+)</b>			<b>2,4</b>			<b>3,7</b>			<b>1,9</b>			<b>1,0</b>			<b>2,0</b>
<b>ΣΔH (-)</b>			<b>-1,1</b>			<b>-0,7</b>			<b>-1,1</b>			<b>-1,0</b>			<b>-1,8</b>

**Cuadro 72.** Primera medición (cm) en la zanja. Primera simulación

Clavo	Columna N°1			Columna N°2			Columna N°3			Columna N°4			Columna N°5			Columna N°6		
	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H	Vi	Vf	Δ H
1	13,5	11,8	1,7	16,8	13,2	3,6	16,8	15,0	1,8	15,0	12,6	2,4	16,5	13,5	3	13,1	9,3	3,8
2	15,0	15,1	-0,1	18,0	17,7	0,3	20,7	20,4	0,3	19,9	19	0,9	19,2	19,0	0,2	17,1	14,3	2,8
<b>ΣΔH</b>			<b>1,6</b>			<b>3,9</b>			<b>2,1</b>			<b>3,3</b>			<b>3,2</b>			<b>6,6</b>

**Parcela N° 4**

$$\Delta H = V_i - V_f$$

Vi: Valor de la primera medición en cm.

Vf: Valor de la segunda medición en cm.

ΔH: Diferencia de altura en cm.

Σ ΔH: Sumatoria de la diferencia de altura en cm.

**Cuadro 73. Primera y segunda (cm), parcela N° 4. Primera simulación**

Clavo	Sub-parcela 1									Sub-parcela 2								
	Columna 1			Columna 2			Columna 3			Columna 4			Columna 5			Columna 6		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	18,4	18,2	0,2	20,2	21,0	-0,8	21,2	21,1	0,1	18,7	18,7	0,0	22,0	22,0	0	18,2	18,0	-0,2
2	25,4	25,5	-0,1	19,0	19,0	0	17,6	17,4	0,2	24,8	24,9	-0,1	25,2	25,1	0,1	22,3	22,5	-0,2
3	20,5	20,4	0,1	17,6	17,5	0,1	20,1	20,0	0,1	20,1	20,1	0	20,5	20,5	0	19,5	19,4	0,1
4	18,2	18,3	-0,1	19,3	19,4	-0,1	20,8	20,3	0,5	19,0	19,1	-0,1	17,8	17,7	0,1	18,5	18,5	0
5	17,5	17,6	-0,1	19,2	19,2	0	19,5	19,3	0,2	20,0	19,9	0,1	19,8	19,6	0,2	25,5	25,3	0,2
6	18,3	18,4	-0,1	17,5	17,5	0	25,3	25,2	0,1	20,2	20,1	0,1	21,5	21,2	0,3	18,8	18,8	0
7	18,1	18,1	0	18,0	18,0	0	17,3	17,4	-0,1	20,3	20,6	-0,3	20,2	20,0	0,2	24,0	23,9	0,1
8	18,7	18,4	0,3	17,8	17,6	0,2	18,2	17,9	0,3	22,9	22,9	0	19,9	19,9	0	26,5	26,5	0
9	17,0	17,2	-0,2	19,3	19,3	0	18,2	18,3	-0,1	20,9	20,8	0,1	25,0	25,0	0	24,5	24,6	-0,1
10	16,9	16,8	0,1	20,0	19,8	0,2	18,2	17,6	0,6	18,7	18,5	0,2	18,8	18,6	0,2	25,0	25,1	-0,1
11	18,1	18,1	0	18,0	17,9	0,1	19,0	19,1	-0,1	21,2	21,0	0,2	19,5	19,4	0,1	18,5	18,3	0,2
12	17,8	17,5	0,3	15,5	15,5	0	26,1	26,2	-0,1	24,4	24,3	0,1	25,4	25,3	0,1	18,7	18,8	-0,1
13	23,7	23,3	0,4	17,7	17,6	0,1	23,8	24,0	-0,2	16,7	16,8	-0,1	18,4	18,5	-0,1	22,5	22,2	0,3
14	18,9	18,9	0	23,9	23,7	0,2	19,2	19,8	-0,6	22,9	22,9	0	15,9	15,9	0	19,6	19,6	0
15	22,1	22,0	0,1	21,5	21,4	0,1	22,5	22,5	0	18,0	17,7	0,3	26,5	26,7	-0,2	20,5	20,0	0,5
16	21,8	21,6	0,2	22,4	22,0	0,4	18,5	18,7	-0,2	20,4	20,2	0,2	19,8	19,8	0	25,2	24,9	0,3
$\Sigma\Delta H$			<b>1,1</b>			<b>0,5</b>			<b>0,7</b>			<b>0,7</b>			<b>1,0</b>			
$\Sigma\Delta H (+)$			<b>1,7</b>			<b>1,4</b>			<b>2,1</b>			<b>1,3</b>			<b>1,3</b>			
$\Sigma\Delta H (-)$			<b>-0,6</b>			<b>-0,9</b>			<b>-1,4</b>			<b>-0,6</b>			<b>-0,3</b>			

**Cuadro 74. Segunda y tercera medición (cm), parcela N° 4. Segunda simulación**

Clavo	Sub-parcela 1									Sub-parcela 2								
	Columna 1			Columna 2			Columna 3			Columna 4			Columna 5			Columna 6		
	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$	Vi	Vf	$\Delta H$
1	18,2	18,1	0,1	21,0	20,9	0,1	21,1	21,4	-0,3	18,7	18,7	0,0	22,0	22,0	0	18,0	18,1	-0,1
2	25,5	24,7	0,8	19,0	19,0	0	17,4	17,5	-0,1	24,9	24,7	0,2	25,1	25,4	-0,3	22,5	22,3	0,2
3	20,4	20,3	0,1	17,5	17,7	-0,2	20,0	20,0	0	20,1	20,2	-0,1	20,5	20,5	0	19,4	19,3	0,1
4	18,3	18,2	0,1	19,4	19,3	0,1	20,3	20,6	-0,3	19,1	19,2	-0,1	17,7	17,9	-0,2	18,5	18,2	0,3
5	17,6	17,5	0,1	19,2	19,2	0	19,3	19,3	0	19,9	20,1	-0,2	19,6	19,7	-0,1	25,3	25,3	0
6	18,4	18,7	-0,3	17,5	19,7	-2,2	25,2	25,2	0	20,1	20,2	-0,1	21,2	21,1	0,1	18,8	18,9	-0,1
7	18,1	18,0	0,1	18,0	17,8	0,2	17,4	17,5	-0,1	20,6	20,6	0	20,0	20,2	-0,2	23,9	24,0	-0,1
8	18,4	18,4	0	17,6	17,6	0	17,9	18,5	-0,6	22,9	22,8	0,1	19,9	19,6	0,3	26,5	26,3	0,2
9	17,2	17,5	-0,3	19,3	19,0	0,3	18,3	18,3	0	20,8	20,7	0,1	25,0	25,1	-0,1	24,6	24,6	0
10	16,8	16,7	0,1	19,8	19,7	0,1	17,6	17,5	0,1	18,5	18,5	0	18,6	18,5	0,1	25,1	25,1	0
11	18,1	18,0	0,1	17,9	18,1	-0,2	19,1	19,0	0,1	21,0	21,1	-0,1	19,4	19,4	0	18,3	18,3	0
12	17,5	17,5	0	15,5	15,6	-0,1	26,2	26,0	0,2	24,3	24,1	0,2	25,3	25,4	-0,1	18,8	18,8	0
13	23,3	23,5	-0,2	17,6	17,4	0,2	24,0	23,8	0,2	16,8	16,6	0,2	18,5	18,4	0,1	22,2	22,3	-0,1
14	18,9	19,0	-0,1	23,7	23,8	-0,1	19,8	18,7	1,1	22,9	22,8	0,1	15,9	16,0	-0,1	19,6	19,7	-0,1
15	22,0	21,8	0,2	21,4	21,4	0	22,5	22,2	0,3	17,7	17,8	-0,1	26,7	26,7	0	20,0	19,9	0,1
16	21,6	21,6	0	22,0	22,1	-0,1	18,7	18,8	-0,1	20,2	20,0	0,2	19,8	19,4	0,4	24,9	24,5	0,4
$\Sigma\Delta H$			<b>0,8</b>			<b>-1,9</b>			<b>0,5</b>			<b>0,4</b>			<b>-0,1</b>			
$\Sigma\Delta H (+)$			<b>1,7</b>			<b>1,0</b>			<b>2,0</b>			<b>1,1</b>			<b>1,0</b>			
$\Sigma\Delta H (-)$			<b>-0,9</b>			<b>-2,9</b>			<b>-1,5</b>			<b>-0,7</b>			<b>-1,1</b>			



## ***APÉNDICE 3***

### **DATOS PLUVIOMÉTRICOS SIMULADOR LLUVIA**

## Parcela N° 1

### Primera Simulación

Duración: 25 min.

Caudal: 2,38 m<sup>3</sup>/h.

### Segunda Simulación

Duración: 27 min.

Caudal: 3,28 m<sup>3</sup>/h.

**Cuadro 75.** Datos pluviométricos de la parcela N° 1

Primera simulación				Segunda simulación			
N° vaso	vol (ml)	vol (lt)	pp (mm)	N° vaso	vol (ml)	vol (lt)	pp (mm)
1	170	0,17	26,721	1	280	0,28	44,011
2	206	0,206	32,378	2	372	0,372	58,472
3	264	0,264	41,496	3	422	0,422	66,331
4	250	0,25	39,296	4	266	0,266	41,811
5	276	0,276	43,383	5	372	0,372	58,472
6	228	0,228	35,838	6	294	0,294	46,211
7	194	0,194	30,494	7	318	0,318	49,984
8	142	0,142	22,320	8	296	0,296	46,526
9	104	0,104	16,347	9	314	0,314	49,355
10	92	0,092	14,461	10	276	0,276	43,382
11	202	0,202	31,751	11	316	0,316	49,669
12	526	0,526	82,678	12	328	0,328	51,556
13	426	0,426	66,960	13	280	0,28	44,011
14	516	0,516	81,107	14	272	0,272	42,753
15	416	0,416	65,388	15	220	0,22	34,580
16	503	0,503	79,063	16	248	0,248	38,981
17	402	0,402	63,188	17	290	0,29	45,583
18	324	0,324	50,927	18	330	0,33	51,870
19	374	0,374	58,787	19	254	0,254	39,924
20	372	0,372	58,472	20	244	0,244	38,352
21	164	0,164	25,778	21	370	0,37	58,157
22	332	0,332	52,185	22	402	0,402	63,187
23	388	0,388	60,987	23	412	0,412	64,759
24	336	0,336	52,814	24	376	0,376	59,100
25	370	0,37	58,158	25	342	0,342	53,756
26	516	0,516	81,107	26	350	0,35	55,014
27	468	0,468	73,562	27	350	0,35	55,014
28	384	0,384	60,358	28	344	0,344	54,071
		<b>Promedio</b>	<b>50,214</b>			<b>Promedio</b>	<b>50,175</b>

## Parcela Nº 2

### Primera Simulación

Duración: 20 min.

Caudal: 2,55 m<sup>3</sup>/h.

### Segunda Simulación

Duración: 20 min.

Caudal: 2,82 m<sup>3</sup>/h.

**Cuadro 76.** Datos pluviométricos de la parcela Nº 2

Primera simulación				Segunda simulación				
Nº vaso	vol (ml)	vol (lt)	pp (mm)	Nº vaso	vol (ml)	vol (lt)	pp (mm)	
1	192	0,192	30,179	1	207	0,207	32,536	
2	188	0,188	29,550	2	262	0,262	41,182	
3	188	0,188	29,550	3	313	0,313	49,198	
4	202	0,202	31,751	4	306	0,306	48,098	
5	188	0,188	29,550	5	328	0,328	51,556	
6	187	0,187	29,393	6	311	0,311	48,883	
7	188	0,188	29,550	7	350	0,35	55,014	
8	183	0,183	28,764	8	293	0,293	46,054	
9	178	0,178	27,978	9	326	0,326	51,241	
10	190	0,19	29,864	10	316	0,316	49,669	
11	162	0,162	25,463	11	296	0,296	46,526	
12	196	0,196	30,807	12	228	0,228	35,837	
13	200	0,2	31,436	13	182	0,182	28,607	
14	252	0,252	39,610	14	157	0,157	24,677	
15	308	0,308	48,412	15	197	0,197	30,965	
16	302	0,302	47,469	16	187	0,187	29,393	
17	322	0,322	50,613	17	203	0,203	31,908	
18	326	0,326	51,241	18	163	0,163	25,621	
19	315	0,315	49,512	19	175	0,175	27,507	
20	358	0,358	56,271	20	175	0,175	27,507	
21	306	0,306	48,098	21	196	0,196	30,807	
22	336	0,336	52,813	22	160	0,16	25,149	
23	277	0,277	43,539	23	144	0,144	22,634	
24	294	0,294	46,211	24	312	0,312	49,041	
25	325	0,325	51,084	25	394	0,394	61,930	
26	318	0,318	49,984	26	357	0,357	56,114	
27	299	0,299	46,997	27	338	0,338	53,127	
28	347	0,347	54,542	28	270	0,27	42,439	
29	359	0,359	56,428	29	266	0,266	41,811	
30	378	0,378	59,415	30	289	0,289	45,426	
31	368	0,368	57,843	31	289	0,289	45,426	
			<b>Promedio</b>				<b>Promedio</b>	<b>40,115</b>
			<b>40,009</b>					

### Parcela N° 3

#### Simulación

Duración: 20 min.

Caudal: 1,55 m<sup>3</sup>/h.

**Cuadro 77.** Datos pluviométricos de la parcela N° 3

<b>Primera simulación</b>			
<b>N° vaso</b>	<b>vol (ml)</b>	<b>Vol (lt)</b>	<b>pp (mm)</b>
1	237	0,237	37,252
2	301	0,301	47,312
3	206	0,206	32,379
4	306	0,306	48,098
5	224	0,224	35,209
6	273	0,273	42,911
7	262	0,262	41,182
8	252	0,252	39,610
9	257	0,257	40,396
10	267	0,267	41,967
11	261	0,261	41,024
12	247	0,247	38,824
13	215	0,215	33,794
14	209	0,209	32,851
15	256	0,256	40,238
16	316	0,316	49,669
17	312	0,312	49,041
18	258	0,258	40,553
19	234	0,234	36,781
20	250	0,25	39,296
21	253	0,253	39,767
22	268	0,268	42,125
23	228	0,228	35,838
24	352	0,352	55,329
25	372	0,372	58,472
26	353	0,353	55,486
27	306	0,306	48,098
28	341	0,341	53,599
29	319	0,319	50,141
30	334	0,334	52,499
31	322	0,322	50,613
<b>Promedio</b>			<b>42,754</b>

## Parcela N° 4

### Primera Simulación

Duración: 17 min. (Motor sin bencina)

Caudal: 2,65 m<sup>3</sup>/h.

### Segunda Simulación

Duración: 20 min.

Caudal: 2,79 m<sup>3</sup>/h.

**Cuadro 78.** Datos pluviométricos de la parcela N° 4

Primera simulación				Segunda simulación				
N° vaso	vol (ml)	Vol (lt)	pp (mm)	N° vaso	vol (ml)	Vol (lt)	pp (mm)	
1	166	0,166	26,092	1	141	0,141	22,163	
2	241	0,241	37,881	2	171	0,171	26,878	
3	192	0,192	30,179	3	192	0,192	30,179	
4	250	0,25	39,295	4	210	0,21	33,008	
5	212	0,212	33,323	5	220	0,22	34,580	
6	234	0,234	36,781	6	206	0,206	32,379	
7	221	0,221	34,738	7	231	0,231	36,309	
8	143	0,143	22,477	8	206	0,206	32,379	
9	195	0,195	30,651	9	215	0,215	33,794	
10	227	0,227	35,681	10	198	0,198	31,122	
11	176	0,176	27,664	11	206	0,206	32,379	
12	198	0,198	31,122	12	242	0,242	38,038	
13	175	0,175	27,507	13	234	0,234	36,781	
14	202	0,202	31,751	14	252	0,252	39,610	
15	194	0,194	30,494	15	284	0,284	44,640	
16	284	0,284	44,640	16	319	0,319	50,141	
17	246	0,246	38,667	17	313	0,313	49,198	
18	279	0,279	43,854	18	299	0,299	46,997	
19	203	0,203	31,908	19	268	0,268	42,125	
20	208	0,208	32,694	20	272	0,272	42,754	
21	179	0,179	28,134	21	273	0,273	42,911	
22	150	0,15	23,577	22	242	0,242	38,038	
23	150	0,15	23,577	23	200	0,2	31,437	
24	243	0,243	38,196	24	266	0,266	41,811	
25	254	0,254	39,925	25	276	0,276	43,383	
26	259	0,259	40,710	26	276	0,276	43,383	
27	222	0,222	34,895	27	231	0,231	36,309	
28	281	0,281	44,169	28	351	0,351	55,171	
29	281	0,281	44,169	29	346	0,346	54,385	
30	264	0,264	41,496	30	345	0,345	54,228	
31	251	0,251	39,453	31	310	0,31	48,727	
			<b>Promedio</b>				<b>Promedio</b>	<b>38,139</b>
			<b>33,592</b>					

## ***APÉNDICE 4***

### **CÁLCULO DE ESCORRENTÍA SÓLIDA**

### Cálculo de la Densidad aparente

$$\text{Densidad Aparente} = Da = \frac{\text{Peso del Suelo Seco (gr)..}}{\text{Volumen Total del Suelo (cc)}}$$

**Cuadro 79.** Cálculo de la densidad aparente para cada parcela

Parcela N°	Peso del Suelo Seco (gr)..	Volumen Total del Suelo (cc)	Densidad Aparente (ton/m <sup>3</sup> )
1	181,8	125	1,45
2	190,1	125	1,52
3	269,6	150	1,80
4	231,1	150	1,54

### Cálculo de la escorrentía

$$\text{Escorrentía Sólida (ton/ha)} = Dr \text{ (ton/m}^3\text{)} \times \text{Escorrentía (m}^3\text{/ha)}$$

$$\text{Sedimentos} = \frac{V1 + V2 + \dots + V5}{VT}$$

#### Parcela N° 2

**Cuadro 80.** Datos de sedimentos, parcela N° 2. Primera simulación

Sub-Parcela	Muestra	Peso bandeja (g)	Peso muestra (g)	Peso seco (g)	Volumen total (VT)	Volumen sólido (VS)	Volumen líquido (VL)	Porción VS / VT
	1	4,7	254,7	8,7	250	4	246	0,01600
<u>1</u>	2	4,7	246,7	13,1	242	8,4	233,6	0,03471
	3	4,7	264,4	9,6	259,7	4,9	254,8	0,01887
	4	4,7	251,9	6,5	247,2	1,8	245,4	0,00728
	5	4,7	257,7	11,6	253	6,9	246,1	0,02727
	1	4,4	259,3	7,6	254,9	3,2	251,7	0,01255
<u>2</u>	2	4,4	262,6	7,4	258,2	3	255,2	0,01162
	3	4,6	262,1	7,4	257,5	2,8	254,7	0,01087
	4	4,6	263,0	8,1	258,4	3,5	254,9	0,01354
	5	4,7	260,2	8,7	255,5	4	251,5	0,01566

**Cuadro 81.** Resumen cálculo de la escorrentía. Primera simulación

<b>Sub-parcela 1</b>		<b>Sub-parcela 2</b>	
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Promedio Porción	0,0208	Promedio Porción	0,0129
Suma Volumen Total	1251,9	Suma Volumen Total	1284,5
Volumen sólido erosionado	26,07	Volumen sólido erosionado	16,51
Volumen liquido erosionado	1225,83	Volumen liquido erosionado	1268,00

**Cuadro 82.** Datos de sedimentos, parcela N° 2. Segunda simulación

<b>Sub-parcela</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso bandeja (g)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Volumen total (VT)</b>	<b>Volumen sólido (VS)</b>	<b>Volumen liquido (VL)</b>	<b>Porción VS / VT</b>
	1	4,5	264,2	13,3	259,7	8,8	250,9	0,03389
<b>1</b>	2	4,6	254,9	9,9	250,3	5,3	245	0,02117
	3	4,6	260,2	10,5	255,6	5,9	249,7	0,02308
	4	4,6	254,1	10,3	249,5	5,7	243,8	0,02285
	5	4,6	251	10,2	246,4	5,6	240,8	0,02273
	1	4,5	262	10	257,5	5,5	252	0,02136
<b>2</b>	2	4,5	255,4	9,6	250,9	5,1	245,8	0,02033
	3	4,6	267	12,9	262,4	8,3	254,1	0,03163
	4	4,6	256,4	11,2	251,8	6,6	245,2	0,02621
	5	4,7	230,4	9,3	225,7	4,6	221,1	0,02038

**Cuadro 83.** Resumen cálculo de la escorrentía. Segunda simulación

<b>Sub-parcela 1</b>		<b>Sub-parcela 2</b>	
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Promedio Porción	0,0247	Promedio Porción	0,0240
Suma Volumen Total	1261,5	Suma Volumen Total	1248,3
Volumen sólido erosionado	31,21	Volumen sólido erosionado	29,93
Volumen liquido erosionado	1230,28	Volumen liquido erosionado	1218,36

**Parcela N° 4****Cuadro 84.** Datos de sedimentos, parcela N° 4. Primera simulación

<b>Sub-parcela</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso bandeja (g)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Volumen total (VT)</b>	<b>Volumen sólido (VS)</b>	<b>Volumen liquido (VL)</b>	<b>Porción VS / VT</b>
	1	4,6	258,9	5,3	254,3	0,7	253,6	0,00275
<b>1</b>	2	4,7	246,1	5,4	241,4	0,7	240,7	0,00290
	3	4,4	261,8	5,4	257,4	1	256,4	0,00389
	4	4,6	252,5	5,6	247,9	1	246,9	0,00403
	5	4,6	256,6	5,2	252	0,6	251,4	0,00238



**“Continuación del cuadro 84...”**

Sub-parcela	Muestra	Peso bandeja (g)	Peso muestra (g)	Peso seco (g)	Volumen total (VT)	Volumen sólido (VS)	Volumen líquido (VL)	Porción VS / VT
	1	4,7	260,3	5,4	255,6	0,7	254,9	0,00274
<u>2</u>	2	4,6	251,6	5,4	247	0,8	246,2	0,00324
	3	4,6	255,4	5,2	250,8	0,6	250,2	0,00239
	4	4,6	247,7	5,6	243,1	1	242,1	0,00411
	5	4,6	253,5	5,7	248,9	1,1	247,8	0,00442

**Cuadro 85.** Resumen cálculo de la escorrentía. Primera simulación

Sub-parcela 1		Sub-parcela 2	
Variable	Valor	Variable	Valor
Promedio Porción	0,0032	Promedio Porción	0,0034
Suma Volumen Total	1253	Suma Volumen Total	1245,4
Volumen sólido erosionado	4,00	Volumen sólido erosionado	4,21
Volumen líquido erosionado	1249,00	Volumen líquido erosionado	1241,19

**Cuadro 86.** Datos sedimentos, parcela N° 4. Segunda simulación

Sub-parcela	Muestra	Peso bandeja (g)	Peso muestra (g)	Peso seco (g)	Volumen total (VT)	Volumen sólido (VS)	Volumen líquido (VL)	Porción VS / VT
	1	3,8	252,5	4,63	248,7	0,83	247,87	0,00334
<u>1</u>	2	3,8	244,6	4,53	240,8	0,73	240,07	0,00303
	3	3,8	242,3	4,42	238,5	0,62	237,88	0,00260
	4	3,8	257,1	4,34	253,3	0,54	252,76	0,00213
	5	3,8	257,7	4,52	253,9	0,72	253,18	0,00284
	1	3,8	235,2	5,19	231,4	1,39	230,01	0,00601
<u>2</u>	2	3,8	253,6	5,41	249,8	1,61	248,19	0,00645
	3	3,8	225,5	5,73	221,7	1,93	219,77	0,00871
	4	3,8	252,1	5,85	248,3	2,05	246,25	0,00826
	5	3,8	243,7	5,93	239,9	2,13	237,77	0,00888

**Cuadro 87.** Resumen cálculo de la escorrentía. Segunda simulación

Sub-parcela 1		Sub-parcela 2	
Variable	Valor	Variable	Valor
Promedio Porción	0,0028	Promedio Porción	0,0077
Suma Volumen Total	1235,2	Suma Volumen Total	1191,1
Volumen sólido erosionado	3,44	Volumen sólido erosionado	9,12
Volumen líquido erosionado	1231,76	Volumen líquido erosionado	1181,98