



Facultad de Ciencias Forestales
Escuela de Ingeniería Forestal

**CONSTRUCCIÓN DE UN INDICADOR DE RIESGO DE
MOVIMIENTOS EN MASA EN LA COMUNA DE
SAN CLEMENTE, REGIÓN DEL MAULE.**

JAIRO HERNÁN IBARRA GONZÁLEZ

Memoria para optar al título de:
INGENIERO FORESTAL

Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia.

TALCA- CHILE
2008

*¡Jehová Dios de nuestros padres es
haga mil veces mas de lo que ahora sois
y os bendiga como os ha prometido!*

*Dedicada a quienes hoy no pueden disfrutar de esta mi alegría
pero desde lo alto seguramente me miran con orgullo.
Mis abuelos: José Anibal González Viranco
Rosa Albina Leiva Villar y
María Adelina Estay Bascallé,
y mi tía Verania del Carmen González Leiva
todos ellos Q. E. P. D.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar a esta instancia, porque tengo la seguridad que si no hubiese estado a mi lado, esto no hubiese sido posible.

Agradecer a mis padres, por su apoyo, sus consejos y también por esos enojos que me permitieron volverme al camino indicado cuando quise caminar por uno distinto. Gracias por su amor, por haber creído en mí y por el gran sacrificio que les demandó entregarme esta oportunidad.

A mis hermanas, porque directa e indirectamente me ayudaron y me apoyaron en esta etapa que ya se está terminando; por eso, gracias.

Quiero agradecer a mis primos, Rodrigo y Alex, por haberme brindado el privilegio de compartir con ellos la alegría de un término de semestre o la amargura de un mal resultado; gracias porque independiente del resultado, siempre me brindaron una mano amiga y me instaron a seguir adelante. Gracias Rodrigo por haber estado siempre y gracias Alex por la alegría que manifiestas al verme llegar al fin de esta etapa. También deseo agradecer a Jonathan y a Juan Pablo, porque también estuvieron conmigo en momentos en que los necesité.

Agradecer a mi profesor Dr. Roberto Pizarro Tapia, por la confianza que depositó en mí, por haber confiado en que mi trabajo podría generar buenos resultados y por exigirme ser mejor.

Agradecer a Maria Eliana por la ayuda que siempre me brindó y por haberme entregado su apoyo y cuidado.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	3
	2.1. Objetivo General	3
	2.2. Objetivos Específicos	3
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
	3.1. Amenaza Natural	4
	3.1.1. Tipología de Amenazas	5
	3.2. Vulnerabilidad	6
	3.3. Riesgo	7
	3.4. Desastre Natural	8
	3.5. Movimientos en Masa	10
	3.5.1. Factores que participan en la generación de Movimientos en Masa	12
	3.5.1.1. Factores Constantes	13
	i) Naturaleza de los Materiales	13
	ii) Pendiente topográfica y morfología de la ladera	13
	iii) Vegetación	14
	3.5.1.2. Factores Variables	14
	i) Climatología	15
	ii) Meteorización	16
	iii) Sismicidad	16
	iv) Acciones antrópicas	16
	3.5.2. Partes de un Movimiento en Masa	18
	3.5.3. Tipología de los Movimientos en Masa	20
	3.5.3.1. Caídas	20
	3.5.3.2. Basculamientos	21
	3.5.3.3. Separaciones laterales	21
	3.5.3.4. Deslizamientos	22
	3.5.3.5. Flujos	23

ÍNDICE DE CUADROS

N°		Página
1	Ranking de países expuestos a amenazas naturales	10
2	Puntos de estudio	30
3	Ejemplo de las notas que los expertos asignaron a cada variable	39
4	Coordenadas UTM de las estaciones pluviométricas seleccionadas	42
5	Registro histórico de la precipitación máxima mensual de las estaciones seleccionadas	42
6	Registro histórico de intensidad de precipitación en 24 horas de las estaciones seleccionadas	42
7	Valores estadísticos obtenidos para las variables precipitación máxima mensual e intensidad de precipitación en 24 horas	57
8	Ajuste de la función de Gumbel para los datos de precipitación máxima mensual	57
9	Ajuste de la Función de Gumbel para los datos de intensidad de precipitación en 24 horas	58
10	Valores de probabilidad para las precipitaciones máximas mensuales de las 5 estaciones estudiadas en diferentes periodos de retorno (T)	58
11	Valores de probabilidad para las intensidades de precipitación en 24 horas de las 5 estaciones estudiadas en diferentes periodos de retorno (T)	59
12	Datos máximos y mínimos de las precipitaciones máximas mensuales y valores obtenidos de la FDP de Gumbel y los periodos de retorno (T)	60
13	Datos máximos y mínimos de las intensidades de precipitación en 24 horas y valores obtenidos de la FDP de Gumbel y los periodos de retorno (T)	60
14	Calificación de las variables V1 y V2	61
15	Calificación de las variables V8 y V10	62
16	Calificación de las variables V4 y V6	64

ÍNDICE DE FIGURAS

N°		Página
1	Impactos de Desastres	8
2	Pérdidas económicas en relación con el número de desastres	9
3	Autopista Duarte, República Dominicana, 1999	11
4	Autopista Duarte, República Dominicana, 2000	12
5	Partes de un Movimiento en Masa	18
6	Desprendimiento	19
7	Caídas	20
8	Basculamiento	21
9	Separaciones laterales	21
10	Deslizamiento rotacional	22
11	Deslizamiento traslacional	22
12	Flujos	23
13	Comuna San Clemente, área de estudio	27
14	Movimiento en Masa, sector El Colorado, San Clemente (Punto 7)	31
15	Superficie vulnerable a un Movimiento en Masa, sector El Médano, San Clemente (Punto 15)	31
16	Distribución de probabilidades con diferentes desviaciones estándar	44
17	Áreas de influencia pluviométrica de los puntos estudiados	55
18	Porcentaje de los valores obtenidos para la variable precipitación máxima mensual según los valores máximos	76
19	Porcentaje de los valores obtenidos para la variable intensidad de precipitación en 24 horas según los valores máximos	76
20	Porcentaje de los valores obtenidos para la variable cobertura vegetal	77
21	Porcentaje de los valores obtenidos para la variable acción antrópica	78
22	Porcentaje de los valores obtenidos para la variable textura del suelo	79

ÍNDICE DE APÉNDICES

N°

- 1 Cuestionario para la valoración de variables para la construcción de un Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa, en la comuna de San Clemente, VII Región del Maule
- 2 Desarrollo realizado para la obtención del peso relativo de cada una de las variables
- 3 Desarrollo realizado para la obtención del indicador de riesgo de Movimientos en Masa
- 4 Precipitaciones Máximas Mensuales
- 5 Precipitaciones Máximas en 24 horas

ÍNDICE DE ANEXOS

N°

- 1 Personas de los diferentes sectores que proporcionaron información de las diferentes variables

RESUMEN

Este estudio evalúa el riesgo que poseen 15 puntos de la comuna de San Clemente, Región del Maule, Chile, en el fenómeno de Movimientos en Masa. La evaluación se realizó en base a la construcción de un modelo matemático que permite cuantificar el riesgo de generación de un movimiento en masa; este modelo es una función lineal que se denomina Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa (IRM), que varía entre 1 y 5, la cual se compone de una serie de variables que influyen, en forma relativa el riesgo que presenta cada punto. Las variables utilizadas se clasificaron en dinámicas; precipitación máxima mensual, intensidad de precipitación en 24 horas, cobertura vegetal y acción antrópica, y en variables estáticas; profundidad de suelo, textura del suelo, presencia de roca fragmentada, densidad aparente del suelo, pendiente máxima y profundidad de raíces. Por otra parte, la información de valoración de las variables, se obtuvo a través de bases de datos, trabajo en laboratorio y captura de información en terreno, y los pesos relativos de cada variable, se determinaron en base a la opinión de expertos y por medio de la metodología de "Comparación por pares".

De esta forma se obtuvo un indicador cuantitativo de riesgo de movimientos en masa para cada uno de los puntos estudiados.

Las variables que poseen mayor incidencia en el proceso de movimientos en masa son la intensidad de precipitación en 24 horas, la pendiente máxima y la acción antrópica, en tanto las que poseen menor relevancia son la profundidad de raíces y la densidad aparente del suelo.

Finalmente, los resultados permiten señalar que la metodología expuesta en este estudio, cumple con la finalidad de evaluar el riesgo que presenta un lugar a la generación de un movimiento en masa, y se entregan algunas propuestas de actuación, dirigidas a la Municipalidad de San Clemente.

SUMMARY

This study evaluates the phenomenon mass movements risk, they have on 15 points in San Clemente, Maule region of Chile. The evaluation was realized in base of the construction of a mathematical model which quantifies the risk of a mass movement; this model is a linear function is named Mass Movement Risk Indicator (IRM), which varies between 1 and 5, which consists of a series of variables that influence, in relative form the risk presented by each point. The variables used were classified as dynamic; highest monthly rainfall, intensity of precipitation in 24 hours, vegetative cover and anthropogenic action, and static variables; depth of soil, soil texture, presence of fragmented rock, soil bulk density, maximum slope and deep roots. Moreover, information valuation of the variables was obtained through databases, lab work and Capture of information in area, and the relative weights of each variable were determined based on the opinion of experts and by means of the methodology of "Comparison by pairs."

Of this form it was obtained quantitative indicator of risk of mass movements for each of the points studied.

The variables that have the greatest impact on the process of mass movements are the intensity of rainfall in 24 hours, the maximum slope and anthropogenic action, while those with lesser significance is the depth of roots and soil bulk density.

Finally, the results allow to note that the methodology presented in this study, complies with the purpose of assessing the risk that presents a rise to a mass movement, and some proposals for action, directed to the Municipality of San Clemente.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, Chile ha sido protagonista de un desarrollo urbano importante, situación que es común en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, dicha alteración ha traído consigo dificultades en el plano regulador de las ciudades, asociado esto a elementos como la ubicación espacial de los diferentes sectores productivos, la construcción de caminos y por consiguiente, la conectividad de la comunidad, entre otros aspectos.

Debido a este fenómeno, las zonas urbanas han avanzado hacia sectores periféricos que no poseen las características ideales para la edificación y, las rurales, se han visto afectadas por la intervención del ser humano, generando condiciones de vulnerabilidad en su entorno. Esta realidad no se asocia únicamente con poblaciones de estratos socioeconómicos bajos, sino que abarca un amplio espectro de realidades sociales.

En variadas ocasiones, las municipalidades no cuentan con los medios apropiados para mitigar el impacto que provoca un activo proceso de incremento poblacional, lo que se traduce en la dificultad de evaluación de los riesgos asociados, obstaculizando de esta manera una óptima reacción frente a las diferentes variables y sus implicancias, las que no se evalúan en muchas situaciones en su origen, siendo éste el causante en reiteradas ocasiones, de catástrofes que dañan directamente a las personas que habitan un lugar.

Por otro lado, factores hidrogeológicos, asociados al aumento de las superficies desprovistas de vegetación, han generado condiciones de gran vulnerabilidad en una importante cantidad de suelos en Chile, suelos que terminan por asociarse a bajos niveles de estabilidad física, lo que es atribuido a factores como la ausencia de especies arbóreas con un buen sistema radicular, a la cantidad e intensidad de las precipitaciones del lugar y el tipo de suelo presente, lo cual genera una alta probabilidad de desprendimiento, mayoritariamente si éste se encuentra en terrenos de fuertes pendiente.

En este contexto, la predicción de fenómenos de esta naturaleza, se torna en un factor de gran interés para las autoridades, debido a que permite evaluar diferentes sitios, antes de la ejecución de obras.

Por tanto, este proyecto pretende construir un indicador de riesgo de movimientos en masa, que les permita a las autoridades de la comuna de San Clemente, Región del Maule, Chile, conocer e identificar el grado de vulnerabilidad en los suelos presentes en los diferentes sectores de la comuna.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Construir un indicador de riesgo de movimientos en masa para la comuna de San Clemente.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las variables que poseen mayor incidencia en la generación de movimientos en masa.
- Establecer la importancia relativa de las variables identificadas, como generadoras de movimientos en masa.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Amenaza Natural

Diferentes estudios acogen y trabajan el concepto de amenaza natural, con la finalidad de intentar conocer la manera de predecir los fenómenos de tipo atmosférico, hidrológico y geológico, que forman parte de la historia y de la coyuntura de la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica del planeta, y que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, en sus estructuras y actividades. Amenaza natural también se define, como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso, durante un cierto periodo de tiempo en un sitio dado. Tales eventos, pueden ser de origen geológico, hidrológico y atmosférico, como terremotos, erupciones volcánicas, movimientos en masa, maremotos, inundaciones, huracanes, o de origen antropogénico, como guerras, terrorismo, explosiones, incendios, accidentes y contaminaciones (Cardona, 1993).

La capacidad de una persona para anticipar, sobrevivir, resistir o recuperarse del impacto de una amenaza natural, implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien quedan en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad (Blaikie *et al.*, 1996).

Según Duque (2006), la amenaza depende del evento detonante, de su grado de susceptibilidad y de la energía potencial que lo caracteriza, razón por la cual se puede definir de la siguiente manera:

Amenaza = Detonante x Susceptibilidad x Potencial

3.1.1. Tipología de amenazas

Según Meyer y Ferrando (2005), tradicionalmente se proponen cuatro tipos de amenaza, las que a continuación se definen según su origen:

i) Geotectónico: entre éstos se consideran los sismos, la actividad volcánica, los desplazamientos verticales y horizontales de porciones de tierra, y los tsunamis o maremotos.

ii) Geomórfico (Geodinámico): entre éstos se tienen en cuenta los fenómenos tales como los deslizamientos, las avalanchas, los hundimientos y la erosión terrestre y costera.

iii) Meteorológico o Climático: se incorporan en esta categoría los huracanes, las tormentas tropicales, los tornados, las granizadas, las sequías y las tormentas de nieve.

iv) Hidrológico: en este tipo se incluyen los desbordamientos de ríos e inundaciones, los anegamientos por acumulaciones superficiales de aguas lluvias y los agotamientos de acuíferos.

Este conjunto de amenazas se interrelacionan, manifestando ésto que cada una de ellas puede tener, o tiene relación, con las otras.

Sobre algunos de estos tipos de fenómenos no hay intervención humana directa o significativa; por otro lado, algunos fenómenos típicos de las amenazas naturales tienen una expresión o incidencia que es socialmente inducida, es decir, reproducen o se acentúan por algún tipo de intervención humana sobre la naturaleza y se confunden algunas veces con eventos propiamente naturales. En este sentido, desde el punto de vista de la gestión de desastres o de la gestión ambiental, representan un problema particular por las diversas interpretaciones que pueden darse entre pobladores o autoridades

en cuanto a sus orígenes, y por la responsabilidad que compete por su ocurrencia y por las opciones de control que existen (Meyer y Ferrando, 2005).

3.2. Vulnerabilidad

Se define como la propensión o susceptibilidad al daño, dada la ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico con potencial destructivo. Para el análisis de la vulnerabilidad, es necesario conocer las características de la población en estudio, en cuanto a su capacidad socioeconómica y su nivel de inclusión o exclusión en las redes de apoyo (públicas, privadas, familiares o comunitarias) que permiten sortear con éxito, momentos de crisis o evitar vivir en áreas expuestas a fenómenos naturales (Dehays, 2002).

En este marco se debe tomar en cuenta tanto la vulnerabilidad física, es decir el grado de exposición y la fragilidad, como la vulnerabilidad social, que a diferencia de la amenaza, es una condición que permanece en forma continua en el tiempo y está íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades (Maskrey, 1989).

Según Duque (2006), la vulnerabilidad depende de la resistencia o fragilidad de las personas y de los bienes expuestos, por lo tanto:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición} / \text{Resistencia}$$

3.3. Riesgo

Se define como la destrucción o pérdida esperada, obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un determinado periodo de tiempo (Cardona, 1993).

Riesgo se puede definir también como la probabilidad de ocurrencia de un hecho no deseado, o que el hecho deseado no ocurra y que esto afecte, en algún grado, la consecución de los objetivos. El riesgo está siempre presente, es contingente y sólo se debe administrar o gestionar de manera de reducirlo al mínimo (Ministerio de Agricultura, 2003).

La diferencia fundamental entre amenaza y riesgo reside en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con, la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Cardona, 1993).

Según Duque, la evaluación del riesgo (al desastre) puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

3.4. Desastre Natural

Se define como la ocurrencia de un fenómeno natural en un espacio y tiempo limitados que causa trastornos en los patrones normales de vida y ocasiona pérdidas humanas, materiales y económicas debido a su impacto sobre poblaciones, propiedades, instalaciones y ambiente (Cardona, 1993). En este sentido un desastre constituye una condición de anomalía, cuyas características están determinadas por el contexto de normalidad preexistente.

Según Jiménez (2006), las tendencias recientes a nivel mundial en materia de desastres naturales, se pueden observar en las siguientes figuras:

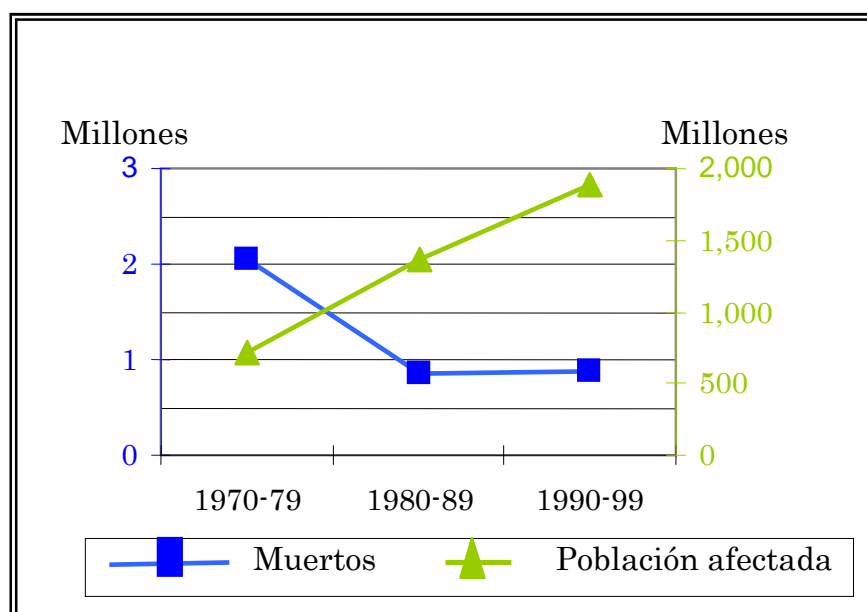
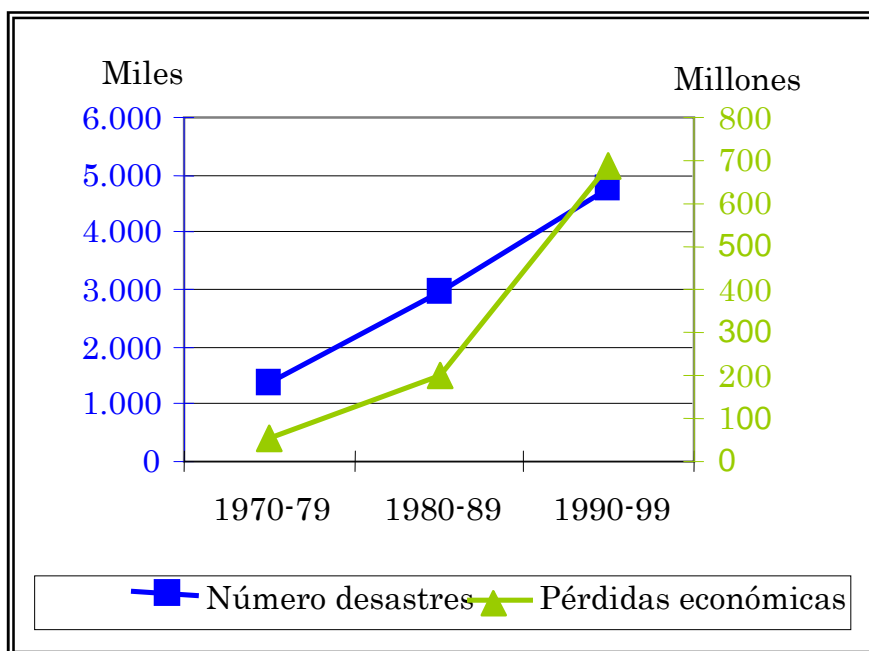


Figura nº 1: Impactos de Desastres

Fuente: www.unfccc.int

En la figura nº 1 se observa que a nivel mundial las tendencias recientes, en relación a los desastres naturales muestran una disminución en el número de muertos, pero a la vez un incremento en la cantidad de personas afectadas.



Fuente: www.unfccc.int

Figura nº 2: Pérdidas económicas en relación con el número de desastres.

En la figura nº 2 se observa que en las últimas décadas, tanto el número de desastres que ocurren en el mundo, como las pérdidas económicas que se producen por ellos, han aumentado de manera importante.

Según el estudio “Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Análisis” (Lugares en Riesgo de Desastre Naturales: un análisis global de riesgo), realizado por el Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia (EE.UU.) y el Banco Mundial (BM), se delimitaron las zonas del planeta más expuestas a peligros naturales, en las que se concentra más de la mitad de la población del mundo. Este estudio indica que más de 90 países tienen más de un 10% de su población en áreas con alto riesgo de mortalidad asociada a dos o más peligros naturales. Entre los países más expuestos a la ocurrencia de desastres naturales destacan Taiwán, que encabeza el ranking mundial, una estadística en la que Chile aparece en un nada despreciable séptimo lugar, como se aprecia en el cuadro nº 1.

Cuadro n° 1. Ranking de países expuestos a amenazas naturales

País	% total de área expuesta	% de la población expuesta
1. Taiwán	73.1	73.1
2. Costa Rica	36.8	41.1
3. Vanuatu	28.8	20.5
4. Filipinas	22.3	36.4
5. Guatemala	21.3	40.8
6. Ecuador	13.9	23.9
7. Chile	12.9	54.0
8. Japón	10.5	15.3
9. Vietnam	8.2	5.1
10. Islas Salomón	7.0	4.9

Fuente: www.lanacion.com.ar/archivo/

Según Dilley *et al* (2007), uno de los autores del informe, se consigue demostrar por medio de los mapas elaborados en el estudio, que en Chile existen lugares de alto o medio riesgo de mortalidad o pérdidas económicas, relacionadas con sequías, inundaciones, terremotos y deslizamientos de tierra.

Esto significa que Chile no puede enfocarse en las amenazas desde una perspectiva individual, porque son múltiples. Las vulnerabilidades en este panorama de amenazas son entonces, potencialmente amplias y complican el problema de cómo reducir los riesgos de pérdidas.

3.5. Movimientos en Masa

Según López (1994), éstos son procesos esencialmente gravitatorios por los cuales una parte de la masa del terreno se destaca del conjunto y se desplaza a una cota inferior a la original, sin que participe en ello algún agente de transporte, siendo tan sólo necesario para que se produzca el desplazamiento, que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras.

El desencadenamiento de los movimientos tiene normalmente efectos negativos, desde reducir intensamente la capacidad productiva del terreno afectado, hasta ocasionar daños catastróficos, tanto en lo económico como en vidas humanas. Así estudios de pérdidas debido a fenómenos naturales en España (Ayala *et al.*, 1987), sitúan a los deslizamientos en el tercer lugar de las pérdidas económicas, detrás de las inundaciones y la erosión hídrica superficial y delante de los terremotos y las erupciones volcánicas.

Aquí por ejemplo, en las figuras nº 3 y nº 4, que corresponden a fotografías tomadas en la Autopista Duarte de la República Dominicana en el periodo 1999 – 2000, se puede apreciar cómo se produce un deslizamiento ocasionando importantes daños.



Fuente: www.hercules.cedex.es

Figura nº 3: Autopista Duarte, República Dominicana, 1999.



Fuente: www.hercules.cedex.es

Figura nº 4: Autopista Duarte, República Dominicana, 2000.

3.5.1. Factores que participan en la generación de Movimientos en Masa

Según Martínez (1998), para que se produzca la inestabilidad y puesta en movimiento de una masa de terreno, deben intervenir y modificarse de forma conjunta varios factores. Aunque las formas de la superficie terrestre se pueden considerar como resultantes de un sistema evolutivo y, por tanto, en continuo cambio, en la escala de tiempo que se producen estos movimientos del terreno, a algunos de los factores que intervienen en ellos se les puede conceputar como constantes o con poca variabilidad a lo largo del tiempo y, a otros, como factores variables que sufren modificaciones con cierta periodicidad.

3.5.1.1. Factores constantes

Según Duque (2006) los factores constantes que participan en los fenómenos de Movimientos en Masa son:

i) Naturaleza de los materiales

La litología de los materiales y su grado de alteración condicionará sus características físico-mecánicas y, por tanto, su estabilidad potencial, por lo que el comportamiento variará de unos materiales a otros aún cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores. La ocurrencia de movimientos en masa dependerá de la composición mineralógica y de la textura, compactación, tamaño, forma y cementación de las partículas que formen la roca o sedimento. Por tanto, materiales poco cementados, con tamaños de grano fino (limo-arcilla o arenas limo-arcillosas), o de un amplio rango granulométrico, son litologías más propensas a la generación de movimientos en masa.

ii) Pendiente topográfica y morfología de la ladera

La pendiente topográfica es un factor que condiciona el desarrollo de procesos de movimientos en masa por su contribución a la inestabilidad de los materiales. En terrenos homogéneos, cada tipo de material tendrá un ángulo máximo, a partir del cual se producirá un desequilibrio gravitacional. No obstante, en zonas muy húmedas, la pendiente topográfica no tiene por qué ser necesariamente alta para que materiales arcillosos, debido a la saturación, puedan generar movimientos rápidos, del tipo flujo, con velocidad considerable.

Una topografía abrupta, con valles profundos, grandes diferencias de altura entre vaguadas, alto gradiente hidráulico, relieve escarpado, red de drenaje densa, formas acarcavadas y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas con alto potencial de inestabilidad.

iii) Vegetación

Éste es un factor discutible, tanto en su uso como parámetro de aporte a la estabilidad, o como un gatillador de movimientos en masa. Es un factor que no llega ser determinante para la estabilidad global de una masa de terreno, aunque sí condiciona de forma notable la acción de otros factores. El efecto positivo que produce la vegetación es el de mantener la estabilidad superficial del terreno y evitar su degradación, ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la disgregación de los niveles superficiales. La presencia de una cobertura vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica. Como contribución negativa, está la producida por el efecto de cuña realizado por algunas raíces al desagregar el suelo, provocando los consiguientes efectos mecánicos en grietas y fracturas.

3.5.1.2. Factores variables

Según Duque (2006) los factores variables que participan en los fenómenos de Movimientos en Masa son:

i) Climatología

Las causas que intervienen en los movimientos en masa están muy influidas por las características climatológicas de una zona. Los efectos del clima se derivan principalmente de la pluviometría y temperatura. En lo que respecta a las precipitaciones, no sólo influye el volumen total anual, sino también su intensidad; de esta manera, cuando las lluvias son torrenciales, el impacto físico de las gotas de agua ataca enérgicamente el suelo y provoca la disgregación y movilización de las partículas superficiales, que son arrastradas por el agua. A su vez, la cantidad de lluvia caída en tan poco tiempo, excede la capacidad de infiltración en el terreno, por lo que se produce una escorrentía superficial que intensifica el efecto erosivo del agua sobre las laderas durante el transporte del sedimento. Si por el contrario, el agua de lluvia se filtra lentamente, se produce un mayor grado de saturación del terreno, que puede llegar a formar un nivel de agua subterránea.

Existe una buena correlación entre la frecuencia de deslizamientos y la estación del año, correspondiendo un mayor número de aquellos a los meses más lluviosos. Este fenómeno se incrementa en zonas muy húmedas y, durante los periodos con lluvias más extensas e intensas, aumenta también la magnitud de los movimientos, ya que el terreno presenta un elevado grado de saturación como consecuencia de lluvias anteriores. Con respecto a las temperaturas, que es un parámetro de menor importancia, cuanto más altas y más extremas sean, mayor será su influencia sobre los ciclos de humedad-sequedad del suelo. Los cambios de temperatura originarán procesos de expansión y contracción de los poros del terreno, con los consiguientes efectos sobre su grado de esponjamiento y saturación.

ii) Meteorización

Este factor produce una alteración de la roca o del sedimento original del terreno, cambiando su resistencia y permeabilidad. Las transformaciones químicas, mineralógicas y de textura que se generan durante el desarrollo de este proceso, por la acción de reacciones de disolución, oxidación, hidrólisis, etc., destruyen el empaquetamiento de los materiales, disgregan el conjunto y generan una pérdida de la cohesión, lo que lleva en definitiva a una disminución de su resistencia.

iii) Sismicidad

Los movimientos sísmicos son factores que pueden acelerar y desencadenar grandes movimientos en masa como resultado de la generación de una serie de vibraciones que se asocian a un incremento de la aceleración vertical y horizontal. Además, como resultado de la alteración del empaquetamiento de los granos del terreno, se disminuye la cohesión, lo que en materiales poco compactados y saturados se traduce en fenómenos de licuefacción, generados por la compactación y el aumento de la presión intersticial producida por las vibraciones.

iv) Acciones antrópicas

Las actividades humanas pueden modificar parte de los factores que se han tratado anteriormente.

La intervención en laderas naturales o la construcción de taludes artificiales, tenderá a variar las condiciones de equilibrio iniciales, y podrá originar procesos de inestabilidad. Estas actividades pertenecen principalmente

al campo de la obra civil y a las actuaciones urbanas, sobre todo en aquellos municipios ubicados en zonas de montaña.

Una ladera en equilibrio puede ponerse en movimiento cuando se sobrecarga en su parte superior, situación que se ocasiona por la construcción de edificios, depósitos de agua o carreteras sobre materiales que no pueden mantenerse estables bajo las nuevas condiciones de carga adicional. A su vez, una excavación en la base de una vertiente natural disminuye las tensiones estabilizadoras normales y aumenta las restantes; esta circunstancia se produce en las construcciones al pie de un talud o, con mucha más frecuencia, en el caso de la ejecución de obras lineales, principalmente carreteras, cuyo trazado tiene una alta probabilidad de atravesar zonas con desprendimientos y deslizamientos activos, además de ser la causa de la generación de dichos movimientos. En las obras públicas, las inestabilidades de ladera pueden constituir un grave problema en las entradas de los túneles, que además pueden generar subsidencia en zonas urbanas.

Asimismo, la actividad humana modifica las condiciones hidrogeológicas del área urbanizada, ya que, al estar ocupada por edificaciones y pavimento, la casi totalidad del suelo urbano, no queda casi superficie para que se produzca una infiltración de agua de lluvia y un drenaje natural.

3.5.2. Partes de un Movimiento en Masa

Según López (1994), la relación y descripción de las diferentes partes de los movimientos en masa más corrientes, permiten determinar tanto el tipo de movimiento, como algunos aspectos de su génesis, lo que se presenta en las figuras nº 5 y nº 6.

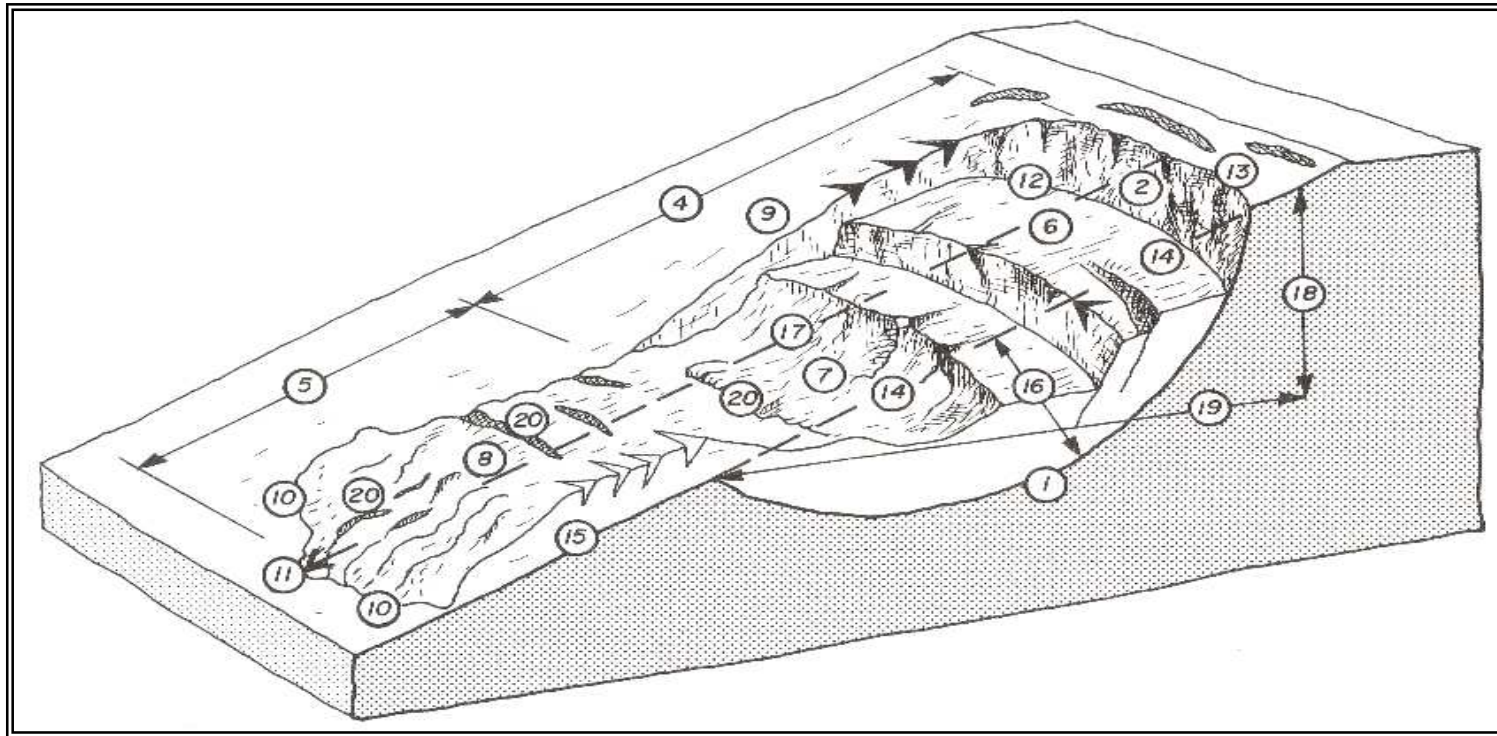


Figura nº 5: Partes de un Movimiento en Masa.

Fuente: López, F. 1994.

3.5.3. Tipología de los Movimientos en Masa

Según Meyer y Ferrando (2005), bajo esta denominación se agrupan varios tipos de procesos, los que difieren en las características de los materiales, su mecánica y sus efectos. La siguiente clasificación, busca obtener mejores resultados a la problemática hidrogeológica. Asimismo, se realiza una descripción de los tipos.

3.5.3.1. Caídas

Son masas desprendidas de pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando tumbos (saltos) o ruedan ladera abajo. (Figura nº 7).

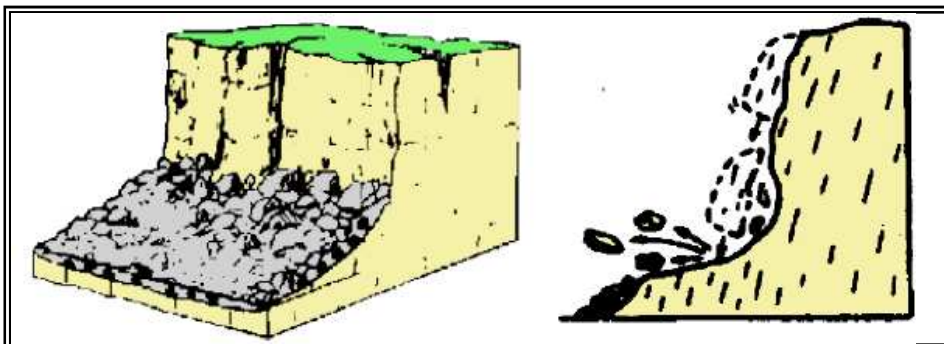


Figura nº 7: Caídas

Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

Se plantea aquí una diferenciación entre los desplomes, que representan una caída libre separada de la pared de origen y los derrumbes, que están referidos al desmoronamiento en contacto permanente con la superficie (Meyer y Ferrando, 2005).

3.5.3.2. Basculamientos

Estos ocurren con la rotación de uno o más elementos alrededor de un punto pivote (Figura nº 8).

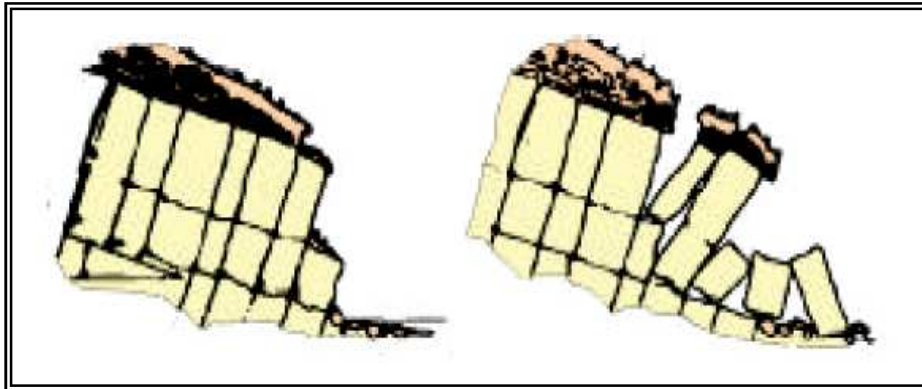


Figura nº 8: Basculamiento Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

3.5.3.3. Separaciones laterales

Éstos ocurren cuando el movimiento de extensión lateral es acompañado por fracturamiento cortante o tensional (Figura nº 9).

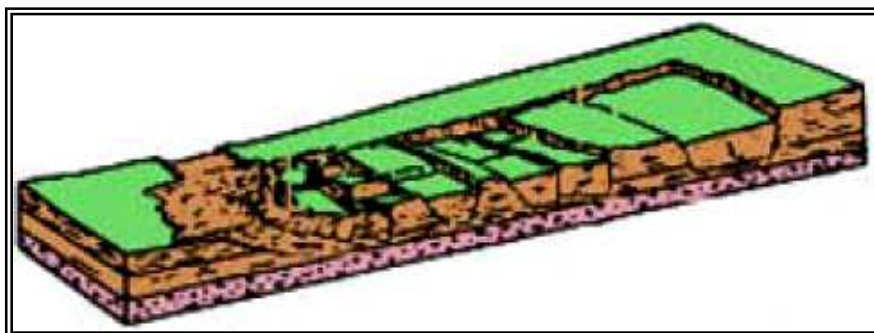


Figura nº 9: Separaciones laterales Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

3.5.3.4. Deslizamientos

Son masas que se desplazan a lo largo de uno o más planos discretos. Pueden ser rotacionales o traslacionales en su movimiento. El movimiento rotacional se da donde la superficie de ruptura es curva; la masa se rompe hacia atrás, alrededor de un eje paralelo a la ladera (Figura nº 10).

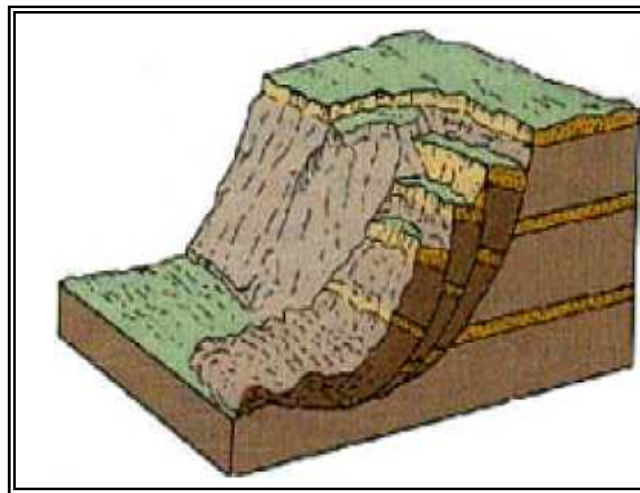


Figura nº 10: Deslizamiento rotacional Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

El movimiento traslacional (Figura nº 11), se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o suavemente ondulante y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno.

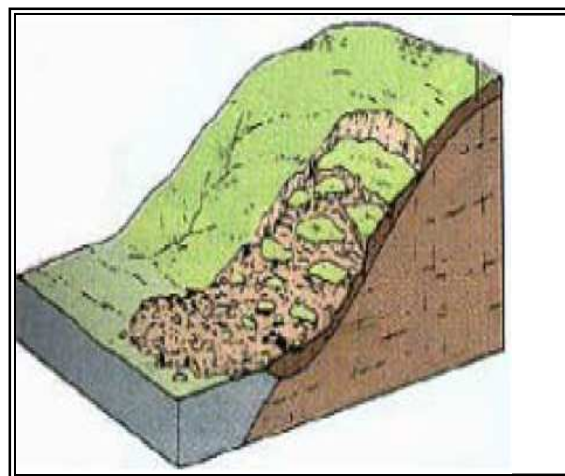


Figura nº 11: Deslizamiento traslacional. Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

3.5.3.5. Flujos

Son masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura. El término Corriente o Flujo de Barro corresponde a una denominación general utilizada para designar un movimiento de remoción en masa de materiales terrosos finos y clásticos, con alto grado de fluidez debido a su elevado contenido de agua, que es aproximadamente un 60 % (Figura nº 12).

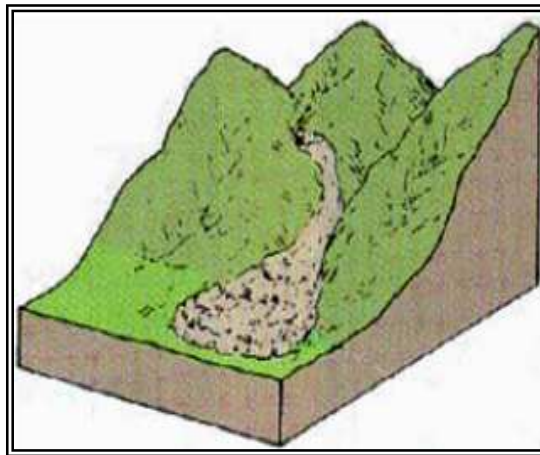


Figura nº 12: Flujos. Fuente: Meyer, P; Ferrando, F. 2005.

Los depósitos de flujos de barro son macizos, carentes de estructuras sedimentarias, y secos suelen alcanzar resistencias similares a las de los hormigones pobres (120-150 Kg./cm²); alcanzan pesos de hasta 2 ton/m³ y una viscosidad muy alta. Estas propiedades retardan el hundimiento de bloques de gran tamaño.

3.6. Estudios Realizados de Movimientos en Masa.

Un estudio realizado por el departamento de Geografía y Ordenación del territorio de la Universidad de Zaragoza en el año 2004, analizó los tipos principales de movimientos en masa identificados en el curso alto del río Gallego (Pirineo Aragonés). Así, concluyeron que los movimientos de plano profundo están muy vinculados con la existencia de relieves marcados y una estructura lito-estructural particular, con extensos afloramientos de pizarras paleozoicas, muy alteradas en el tramo de cabecera. En cuanto a los movimientos superficiales, estos están en gran parte ligados a actividades humanas; con deforestación del piso subalpino y de la montaña media, que provoca predominantemente episodios de saturación del regolito y una disminución de la resistencia frente a las fuerzas de cizalle. En cualquiera de los dos casos, su ocurrencia es un factor de riesgo importante para la conservación de infraestructura (García-Ruiz *et al.*, 2004).

Al establecer como objetivo la reducción de daños producidos por los movimientos en masa, se plantea la necesidad de zonificar las zonas de peligro, entregar indicaciones a la comunidad y las autoridades, y elaborar un reglamento que permita establecer un uso apropiado para estas áreas o mantener a la población alejada de ellas. (Esmali, 2006).

Trabajos realizados en laboratorio se han llevado a cabo en la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. Con el propósito de estudiar los efectos de la lluvia simulada a diversas propiedades del suelo, entre ellas las que producen los desprendimientos, se analizaron dos tipos de suelos; La primera arena fina y la segunda un limo greda. Los suelos se exponen a una lluvia simulada con intensidades que oscilan entre 10 y 140 mm h⁻¹. El sedimento fue recogido, separado y pesado, mientras que la intensidad de la lluvia, la caída de diámetro, y la velocidad de caída de las lluvias, se midieron cada uno con una óptica espectropluviométrica. Los resultados de este estudio manifiestan que existe una relación entre la segregación de los sedimentos, el tamaño de gota (D) y la velocidad de caída (V), es decir, $D V^\alpha$

β con valores de α que oscila entre 1 y 6 y los valores de β que varía entre 0 y 2 (Salles *et al*, 2000).

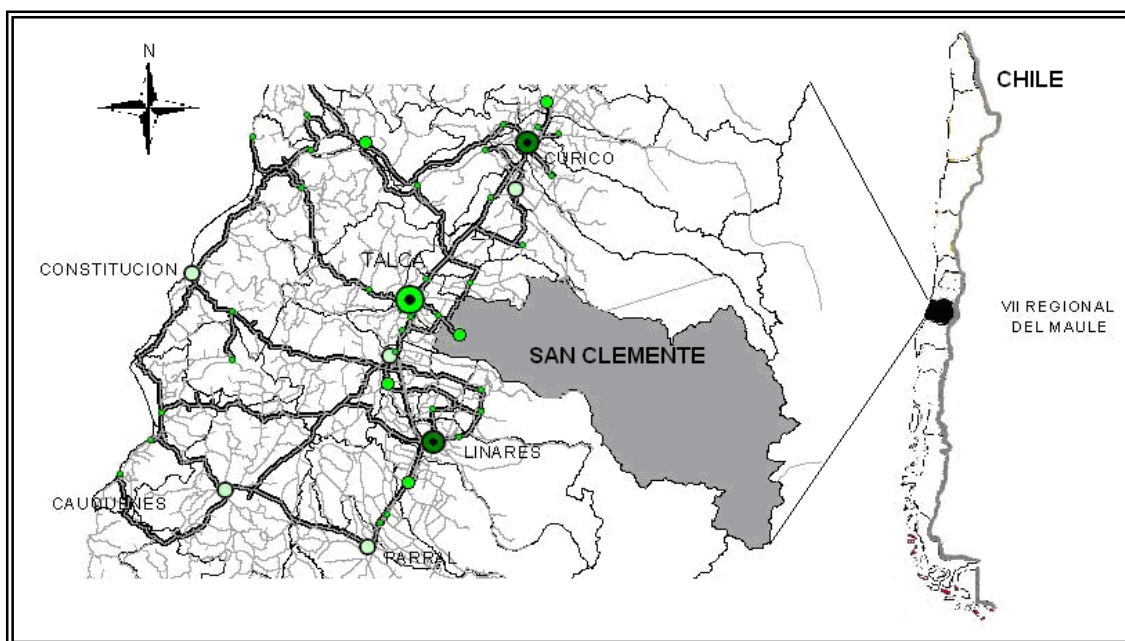
4. METODOLOGÍA

4.1. Marco General

La presente investigación, estudió diferentes puntos de la comuna de San Clemente que presentan una alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, con el propósito de construir un indicador de riesgo que permita predecir este fenómeno, considerando la vulnerabilidad y la amenaza que presentan los diferentes puntos. Esta herramienta le permitirá al Municipio de la comuna de San Clemente, dimensionar en parte la magnitud de este problema, con el propósito de tomar medidas de ingeniería que les permita prevenir los efectos negativos de los movimientos en masa y así mitigar los daños en vidas humanas y en bienes económicos.

4.2. Ubicación del Área de Estudio

La comuna de San Clemente se encuentra en la zona central de Chile, Región del Maule, ubicada a 22 kilómetros hacia el oriente de la ciudad de Talca. Se extiende por la depresión intermedia hacia un área plana de pie de monte cordillerano; limita al norte con las comunas de Molina, Río Claro y Pelarco, por medio del río Lircay y más al oriente el Estero Auqui; al sur con las comunas de Yervas Buenas y Colbún, y el límite corresponde a la barrera natural del Río Maule; al poniente limita con las comunas de Talca y Maule y, al oriente, con la República Argentina (Ver figura nº 13, plan regulador comunas de San Clemente, 2007).



Fuente: Plan regulador comuna de San Clemente. 2007.

Figura nº 13: Comuna San Clemente, área de estudio.

4.3. Antecedentes Generales del Área de Estudio

La comuna de San Clemente presenta una superficie de 4.503,5 km², lo que equivale al 45% de la superficie provincial; posee un porcentaje de superficie comunal destinada a usos urbanos e industriales, que sólo alcanza al 0.07%. El resto de los usos predominantes en el territorio comunal corresponden a suelos desprovistos de vegetación, con un 44, 28%; praderas y matorrales, representan un 18, 28%; los bosques alcanzan un 15, 72%; y las áreas agrícolas un 11, 73% de la superficie comunal.

El total de la población comunal equivale a 37.261 habitantes censados al año 2002, con una densidad promedio de 8,27 habitantes/ km². El porcentaje de población urbana alcanza sólo al 35,96% al año 2002, con un leve ritmo de concentración paulatina, ya que al año 1999 los habitantes urbanos representaban el 31,03% de la población comunal. En consecuencia, la población rural representa el 64,04 % del total.

En el ámbito interregional, la comuna de San Clemente tiene un mayor potencial de desarrollo turístico e intercambio comercial por la conexión con la ciudad de Malargüe, de la provincia de San Rafael, República de Argentina. Esto se verifica a través de la ruta CH - 115 y el paso fronterizo Pehuenche.

4.4. Movimientos en Masa en el Área de Estudio

La comuna de San Clemente presenta una gran probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, debido a que posee una superficie de 2012.28 km² de altas cumbres, que presentan una altura sobre los 2000 m.s.n.m., y en donde además, las diferentes variables que generan estos problemas poseen una fuerte presencia en esta área.

Los antecedentes históricos de la comuna, permiten conocer el gran número de problemas que ha debido sufrir la población a causa de estos fenómenos, dejando en evidencia la vulnerabilidad que presentan las autoridades para prevenir estos desastres.

Según Rojas (2006)¹, el municipio de esta comuna ha recibido denuncias de diferentes sectores rurales, que viven bajo la amenaza de movimientos en masa; por ello, se ha implementado un plan de trabajo a través de su Dirección de Obras, con el fin de localizar los puntos de mayor vulnerabilidad, lo cual se ha hecho difícil, por no contar con profesionales especializados en este tema.

(¹) Juan Rojas Vergara, Alcalde de la comuna de San Clemente.

4.5. Reuniones de Coordinación del Estudio

Como parte de las instancias iniciales de este estudio, se sostuvieron reuniones entre el Municipio de San Clemente, representado por su alcalde Sr. Juan Rojas Vergara, sumándose personal de la Dirección de Obras y del Departamento de Operaciones de la comuna y los investigadores.

Estas reuniones permitieron conocer de parte de dichas autoridades, las dificultades que existen en la comuna, en cuanto a los fenómenos de movimientos en masa, además de permitir exponer a los investigadores, los requerimientos necesarios para llevar a cabo el estudio.

4.6. Fases Metodológicas

Para llevar a cabo la construcción del indicador de riesgo en movimientos en masa en la comuna de San Clemente, se aplicó la siguiente metodología.

4.6.1. Revisión Bibliográfica

Antes de comenzar la investigación y durante el transcurso de ésta, se realizó una investigación bibliográfica con el propósito de recoger la mayor cantidad de información posible con respecto al tema de movimientos en masa. Dicha información fue recopilada para tratar de comprender los aspectos conceptuales y así estructurar un marco teórico del problema que se abordó.

La información que se presenta en esta memoria, se obtuvo a través de libros, memorias de grado, revistas, sitios de Internet y por medio de comunicaciones personales.

4.6.2. Ubicación de los puntos de estudio

Esta etapa se concretó por medio de viajes a terreno, visualizando bajo criterio bibliográfico los distintos sectores que presentan una alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, y además identificando las superficies que han sufrido anteriormente este fenómeno; para ello se contó con información entregada por vecinos de los diferentes sectores.

Para llevar a cabo esta etapa de la investigación, se visitó la totalidad de los sectores rurales de la comuna y para ello el municipio de San Clemente facilitó un medio de transporte y un chofer, identificándose los siguientes puntos de estudio, que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro nº 2: Puntos de estudio

Puntos	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
1. Pan de Azúcar	6061228	284536
2. Bajo Perquín Bajo	6062581	287126
3. Bajo Perquín Alto	6061842	288323
4. Vilches 007	6063012	298568
5. Vilches Cruce Tortillas	6063311	299745
6. Las Lomas	6072204	296139
7. El Colorado Bajo	6057746	295721
8. El Colorado Alto	6056314	296208
9. Paso Nevado	6047681	307737
10. Ruta CH-115	6047750	309827
11. La Placeta	6075195	304562
12. Armerillo	6048746	312338
13. San Carlos	6045133	314191
14. Curillinque	6036331	329684
15. El Médano	6034184	342702

Los puntos 2, 3, 5, 8, 9, 10, 13, 14 y 15 corresponden a lugares en que se verificó la ocurrencia de movimientos en masa en el pasado, lo cual aumenta la probabilidad de que se repita este fenómeno en el futuro.

La comunicación con los residentes de los diferentes sectores rurales fue de gran importancia, ya que gracias a ello se capturó información referente a la ocurrencia previa de movimientos en masa.

En las figuras nº 14 y nº 15 se pueden observar algunos de los puntos seleccionados. En la primera se observa un punto en el que se aprecia claramente el fenómeno de movimiento en masa; en la segunda figura se muestra un punto vulnerable a la ocurrencia de un movimiento en masa.

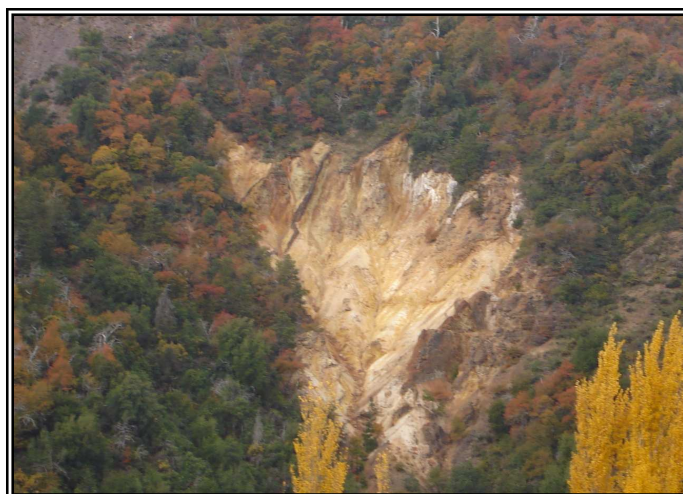


Figura nº 14: Movimiento en Masa, sector El Colorado, San Clemente (Punto 7).



Figura nº 15: Superficie vulnerable a un Movimiento en Masa, sector El Médano, San Clemente (Punto 15).

4.6.3. Construcción de un Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa

Este indicador se construyó para tener una respuesta numérica y estimativa acerca de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de movimientos en masa, en distintos puntos de la comuna de San Clemente. Con esto es posible obtener un valor numérico del riesgo existente, el cual se alcanza a partir de una función lineal denominada Indicador de Riesgo en Movimientos en Masa (IRM), la cual está compuesta por variables o elementos cuantitativos definidos de acuerdo a las características más relevantes que inciden en este tema, en virtud de sus respectivas ponderaciones.

La función propuesta fue la siguiente:

$$\text{IRM} = V1 * W1 + V2 * W2 + V3 * W3 + \dots + Vn * Wm$$

Donde:

IRM: Indicador de riesgo de movimientos en masa para un punto cualquiera.

V(i): Variable o elemento (i) utilizada para evaluar, donde $i = 1, 2, \dots, m$.

W(i): Peso o ponderación asignada a cada variable (i) a partir de la opinión de expertos, donde $i = 1, 2, \dots, n$.

4.6.4. Determinación de las variables para la construcción del Indicador

Con respecto a la elección de las variables, se eligieron luego de numerosas consultas a diferentes autores, que registran publicaciones con relación al tema de movimientos en masa y en base a conversaciones entre el personal de la Dirección de Obras de la Municipalidad de San Clemente y los

investigadores. Sobre la base de este procedimiento, las variables que se han definido en este estudio, son las siguientes:

i) PRECIPITACIÓN MAXIMA MENSUAL (V1): Caída máxima de partículas líquidas o sólidas de agua, en una determinada superficie en el transcurso de un mes. Por medio de esta variable se busca establecer una relación con el contenido de humedad del suelo. Medición registrada en milímetros.

ii) INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (V2): Caída máxima de partículas líquidas o sólidas de agua, medida en milímetros en 24 horas. Por medio de esta variable se pretende conocer la concentración de las precipitaciones y la agresividad climática que presentan en una determinada zona.

iii) PROFUNDIDAD DEL SUELO (V3): Profundidad del suelo de la zona, medida hasta la roca madre, considerando un suelo residual (in situ), es decir no movilizado.

iv) TEXTURA DEL SUELO (V4): Cantidad o proporción relativa de los diferentes tipos o clases de tamaño de las partículas que constituyen el suelo.

v) PRESENCIA DE ROCA FRAGMENTADA (V5): Formaciones de rocas fragmentadas en capas muy delgadas, que presentan alternancia de capas fuertes y débiles o permeables e impermeables.

vi) DENSIDAD APARENTE DEL SUELO (V6): Peso de una unidad de volumen de partículas sólidas de suelo, expresado en gramos por centímetro cúbico.

vii) PENDIENTE MÁXIMA (V7): Se define como la inclinación de una superficie con respecto a la horizontal. Suele definirse como un ángulo o como un porcentaje.

viii) COBERTURA DE VEGETACIÓN (V8): Identificación del porcentaje arbóreo, arbustivo y herbáceo que cubre una superficie determinada.

ix) PROFUNDIDAD DE RAÍCES (V9): Identificación del tipo de raíces que presentan los individuos arbóreos y arbustivos presentes en una superficie determinada, considerando que la profundidad de raíces, debe ser menor que la profundidad del suelo en que éstas se encuentran.

x) ACCIÓN ANTRÓPICA (V10): Intervención del hombre en la estructura de las laderas, lo que se ejemplifica en actividades agrícolas, roce forestal, movimientos de tierra, obras civiles, etc., que en general alteran la geodinámica del sector.

4.6.5. Determinación del Valor numérico de cada variable.

A las variables ya definidas, se les otorgó un valor de acuerdo a una segmentación que tiene valores entre 1 y 5 (sin decimales), la cual se estructuró de la siguiente manera:

i) V1: La precipitación máxima mensual se analizó en base a los valores asociados a diferentes periodos de retorno (T), entendiendo por T al tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales.

Rango T	Valor de la Variable
$2 \leq T < 10$	1
$10 \leq T < 20$	2
$20 \leq T < 30$	3
$30 \leq T < 40$	4
$T \geq 40$	5

ii) V2: La intensidad de precipitación se analizó con registros medidos en 24 horas, valores que fueron asociados a diferentes periodos de retorno (T).

Rango T	Valor de la Variable
$2 \leq T < 10$	1
$10 \leq T < 20$	2
$20 \leq T < 30$	3
$30 \leq T < 40$	4
$T \geq 40$	5

iii) V3: La profundidad de suelo (Ps), se evaluó considerando que a una mayor profundidad de suelo, menor es la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa.

Rango	Valor de la Variable
$Ps > 1.5 \text{ m}$	1
$1 \text{ m.} < Ps \leq 1.50 \text{ m}$	2
$0.6 \text{ m.} < Ps \leq 1 \text{ m}$	3
$0.3 \text{ m.} < Ps \leq 0.6 \text{ m}$	4
$Ps \leq 0.3 \text{ m}$	5

iv) V4: La textura del suelo fue medida estableciendo la granulometría de los suelos presentes en cada uno de los puntos estudiados, asignando el valor mínimo a los suelos en que se registró presencia de materia orgánica.

Rango	Valor de la Variable
Suelo franco arcilloso, con un alto nivel de materia orgánica	1
Suelo franco arcilloso a arenoso, con bajo nivel de materia orgánica	2
Franco (aprox. el 50% de su composición es arena y el otro 50% es arcilla y limo)	3
Suelo franco arenoso	4
Suelos arenosos, rocas sueltas y gravas	5

v) V5: La presencia de roca fragmentada fue medida estableciendo la existencia de fracturas en el material, las que pueden aumentar el riesgo de generar movimientos en masa.

Rango	Valor de la Variable
No existe presencia de roca fragmentada	1
Presencia de roca levemente fragmentada	2
Presencia de roca moderadamente fragmentada	3
Presencia de roca considerablemente fragmentada	4
Presencia de roca fuertemente fragmentada	5

vi) V6: La densidad aparente del suelo (D_a), se evaluó considerando que un valor mayor disminuye la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, debido a que existe una mayor cohesión de las partículas del suelo.

Rango	Valor de la Variable
$D_a > 1.5$ (gr/cc)	1
1 (gr/cc) $< D_a \leq 1.5$ (gr/cc)	2
0.7 (gr/cc) $< D_a \leq 1$ (gr/cc)	3
0.5 (gr/cc) $< D_a \leq 0.75$ (gr/cc)	4
0.26 (gr/cc) $< D_a \leq 0.5$ (gr/cc)	5

vii) V7: La pendiente máxima del terreno (P), posee un valor máximo para las laderas que presentaban un valor mayor al 100%.

Rango	Valor de la Variable
$0\% \leq P < 20\%$	1
$20\% \leq P < 40\%$	2
$40\% \leq P < 70\%$	3
$70\% \leq P < 100\%$	4
$100\% \geq P$	5

viii) V8: La cobertura vegetal (C_v) se midió de manera porcentual en cada uno de los puntos estudiados, estableciendo que una mayor presencia de vegetación en un punto, disminuiría el riesgo de movimientos en masa.

Rango	Valor de la Variable
$80\% \leq Cv < 100\%$	1
$60\% \leq Cv < 80\%$	2
$40\% \leq Cv < 60\%$	3
$20\% \leq Cv < 40\%$	4
$0\% \leq Cv < 20\%$	5

ix) V9: La profundidad de raíces (Pr) presenta un rango en el cual las raíces más profundas poseen un valor mayor, ya que la penetración del terreno origina un separación de las partículas del terreno.

Rango	Valor de la Variable
$Pr \leq 0.3 \text{ m}$	1
$0.3 \text{ m.} < Pr \leq 0.6 \text{ m}$	2
$0.6 \text{ m.} < Pr \leq 1 \text{ m}$	3
$1 \text{ m.} < Pr \leq 1.50 \text{ m}$	4
$Pr > 1.5 \text{ m}$	5

x) V10: La acción antrópica (Aa) presenta un rango en el que el máximo valor que puede presentar la variable, se obtiene si la ladera presenta una fuerte intervención.

Rango	Valor de la Variable
Sin intervención	1
Intervención leve	2
Intervención moderada	3
Intervención considerable	4
Intervención fuerte	5

Como ejemplo se puede decir que una intervención fuerte corresponde a un terraceo de la ladera, movimientos de suelo para abertura de caminos, instalación de torres de alta tensión, etc.

4.6.6. Determinación del peso relativo para cada una de las variables

El objetivo de ponderar diferentes variables que influyen en un tema específico, es llegar a expresar en términos cuantitativos la importancia de los distintos elementos en el tema desarrollado. Sobre la base de esta aseveración, se determinó un peso relativo para cada una de las variables o elementos que fueron definidos con anterioridad. Este peso se obtuvo a partir de la opinión de expertos, los cuales evaluaron estas variables utilizando una metodología de asignación de pesos denominada “Comparación por Pares” (Gómez, 1994).

Esta metodología elige una mejor variable o elemento, considerando el número de veces en que cada variable es elegida como “*mejor*” en sus enfrentamientos de a dos con los demás, y el número de veces que una variable es considerada como “*mejor que otras*” en un enfrentamiento con el total de las variables.

i) Los expertos que participaron en esta evaluación (n expertos) colocaron notas de 1 a 10 (sin decimales) a cada una de las variables que se identificaron como generadoras de movimientos en masa (m variables). Éstos otorgaron nota 10 a la variable que a su criterio incidía totalmente en la ocurrencia de movimientos en masa; nota 9 a las variables que tuvieran menor influencia que la anterior; nota 8 a las variables que incidían menos que las dos anteriores y así sucesivamente, hasta otorgar nota 1 a la variable que no tenía influencia alguna en la ocurrencia de movimientos en masa. En el cuadro nº 3 se aprecia la forma en que los expertos asignan las calificaciones.

Cuadro n° 3: Ejemplo de las notas que los expertos asignaron a cada variable.

Variable (i)	Expertos (j)				
	1	2	3	.....	n
1	C 11	C 12	C 13	.....	C 1n
2	C 21	C 22	C 23	.....	C 2n
3	C 31	C 32	C 33	.....	C 3n
.
.
m	C m1	C m2	C m3	.....	C mn

Donde Cij es la nota con que calificó la variable i el experto j.

ii) Una vez obtenidas las notas, se comparó cada una, considerando cuántas veces es mejor que las restantes y se incorporó como frecuencia.

$$f_{ij} = \sum_{i=1}^m f(i^j)$$

Donde:

f_{ij} : Cantidad de veces en que el elemento o variable i es elegido como mejor que los otros, por el experto j.

f (i^j) : Frecuencia de elección del elemento i como mejor que i^j por el experto j.

m : Número de variables.

iii) Posteriormente, se dividió cada una de las frecuencias por la cantidad total de juicios (m*n) y se obtuvo el peso relativo de la variable “i” otorgado por el experto “j”.

$$W_{ij} = f_{ij} / J$$

Wij : Peso relativo de la variable i otorgado por el experto j.

J : Numero de juicios hechos ($m \cdot n$).

iv) Luego, se sumaron todos los W_{ij} , y se obtuvo un fij total (W_t).

$$\begin{array}{c} m \cdot n \\ W_t = \sum_{i=1} W_{ij} \end{array}$$

W_t : Sumatoria total de los pesos.

v) Finalmente el peso de la variable se obtuvo, sumando los pesos otorgados por los expertos a cada una de las variables ($\sum W_{ij}$) y dividiéndolos por W_t .

$$\begin{array}{c} n \\ W_i = (\sum_{j=1} W_{ij}) / W_t \end{array}$$

W_i : Peso total de la variable i.

vi) Con esto se obtiene el peso relativo perteneciente a cada una de las variables, el que será incluido en el indicador de riesgo de movimientos en masa, junto con el valor de la variable (V_i).

4.6.7. Obtención de información para el cálculo numérico de las variables

Para cada uno de los puntos seleccionados se adquirió información de las variables que se definieron como generadoras de movimientos en masa. Ésta se obtuvo por medio de información obtenida de bases de datos y mediciones en terreno.

Las diez variables utilizadas se dividieron en dinámicas y estáticas, las primeras sufren fuertes variaciones a través del tiempo, originando cambios en su calificación y las segundas mantienen su evaluación, debido a que sus propiedades no se alteran a través del tiempo.

4.6.7.1. Obtención de información de las variables dinámicas

Las variables que se establecieron como dinámicas son la precipitación máxima mensual (V1), la intensidad de precipitación en 24 horas (V2), la cobertura vegetal (V8) y la acción antrópica (V10).

Los datos necesarios de las variables 1 y 2, fueron obtenidos de estaciones meteorológicas y la información de las variables 8 y 10 por medio de trabajos realizados en terreno.

i) Datos requeridos de estaciones meteorológicas

La información necesaria para la realización de esta investigación, se obtuvo de estaciones meteorológicas de la región del Maule, pertenecientes a la Dirección General de Aguas (D.G.A).

Ésta fue de tipo pluviométrica, correspondiente a precipitaciones máximas mensuales e intensidades de precipitación en 24 horas de 5 estaciones seleccionadas, todas ubicadas dentro de la comuna de San Clemente.

Cuadro nº 4. Coordenadas UTM de las estaciones pluviométricas seleccionadas.

Estación	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
Armerillo	6047229	309995
Colorado	6056138	294700
El Durazno	6070825	289822
Huapi	6059871	296125
Vilches	6061955	306658

Los registros históricos de información pluviométrica fueron distintos para la precipitación máxima mensual e intensidad de precipitación en 24 horas. Los conjuntos de series de datos de precipitaciones máximas mensuales utilizados son los siguientes:

Cuadro nº 5. Registro histórico de la precipitación máxima mensual de las estaciones seleccionadas.

Estación	Precipitación Máxima Mensual	
	Periodo de Registro	Años sin datos
Armerillo	1917-2004	1919 -1921 - 1929 - 1944-1947 -1959-1963
Colorado	1964-2004	1968
El Durazno	1993-2004	0
Huapi	1970-2004	0
Vilches	1993-2004	0

Cuadro nº 6: Registro histórico de intensidad de precipitación en 24 horas de las estaciones seleccionadas.

Estación	Precipitación Máxima en 24 horas	
	Periodo de Registro	Años sin datos
Armerillo	1916-2007	1922-1923-1924-1925- 1926-1927-1928-1959- 1960-1961-1962-1963
Colorado	1963-2007	0
El Durazno	1992-2007	0
Huapi	1969-2007	0
Vilches	1992-2007	0

Para definir qué estación pluviométrica es representativa para cada punto en estudio, se trabajó con el método de los Polígonos de Thiessen (Th), estableciendo un área de influencia pluviométrica para cada estación y con ello se define la o las estaciones que influyen en cada uno de los puntos que se estudiaron.

a) Cálculo de parámetros estadísticos para los datos pluviométricos

En esta etapa se calcularon para cada serie de datos pluviométricos, los estadísticos principales como: promedio y desviación estándar, con el propósito de extraer información de cada muestra, señalando las características de la población.

La definición y los procedimientos para obtener estos parámetros son los siguientes:

Media: Muestra la tendencia central de la distribución. Es considerado el primer momento respecto al origen.

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

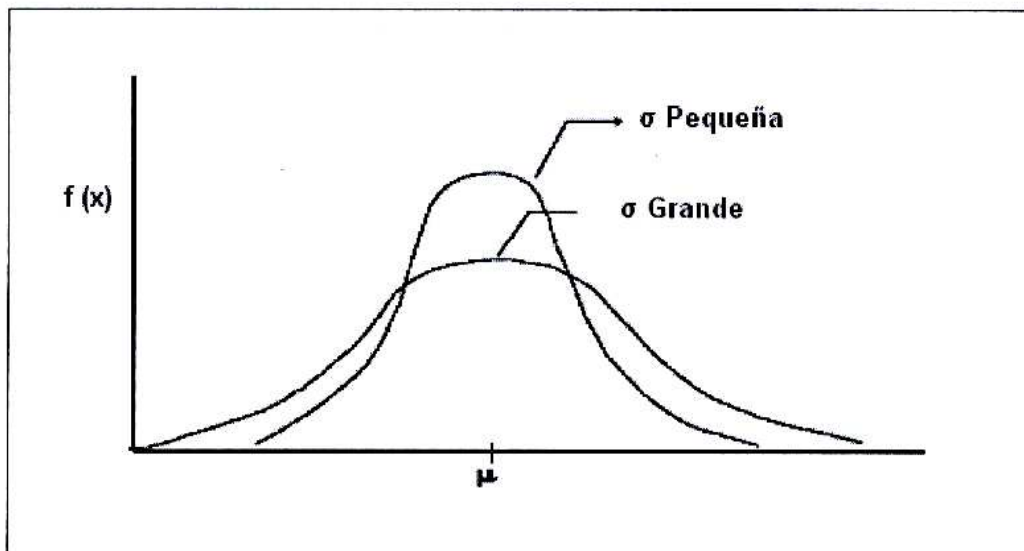
El valor estimado de la media a partir de la muestra es:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi$$

Desviación Estándar: La desviación estándar, es una medida de la variabilidad, ya que es la raíz cuadrada y su valor estimado se denota por:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Mientras mayor sea el valor de la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos (ver figura n° 16).



Fuente: Aguilera, A. 2007.

Figura n° 16. Distribución de probabilidades con diferentes desviaciones estándar.

b) Determinación de parámetros para la Función de Distribución de Probabilidad (FDP)

Una vez finalizado el análisis estadístico de las series de precipitaciones máximas mensuales e intensidades de precipitación en 24 horas, se realizó un ajuste para cada variable con la función de distribución de probabilidad

Gumbel, la cual es usada en hidrología para predecir con cierta probabilidad los valores que puede tomar una variable hidrológica.

c) Función de distribución de Gumbel

Para la determinación de los parámetros requeridos por el modelo, se utilizaron las siguientes expresiones que los definen.

$$d = \frac{1}{0,779696 * S} \quad ; \quad \mu = \bar{x} - 0,450047 * S$$

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$$

Donde:

X : Valor a asumir por la variable aleatoria.

μ, d : Parámetros.

e : Constante de Neper.

Y luego despejando en la función de distribución, se obtuvo el valor de x.

$$x = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(x)))}{d}$$

d) Determinación de la probabilidad de precipitación a partir de la FDP de Gumbel para distintos periodos de retorno (T)

Los años asignados para los periodos de retorno fueron 2, 10, 20, 30 y 50 años; con esta información se procedió a la confección de una tabla asociada a estos periodos de retorno, para la función de distribución de probabilidad y para las distintas estaciones en estudio. La fórmula que se utilizó para este trabajo fue la siguiente.

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T}$$

Posteriormente, se obtuvo el periodo de retorno para los datos máximos, mínimos y promedio históricos de precipitación máxima mensual y precipitación máxima en 24 horas a partir de los valores obtenidos de $F(x)$, los que fueron considerados para la valoración de las variables precipitación máxima mensual ($V1$) e intensidad de precipitación en 24 horas ($V2$), con el propósito de conocer cómo influyen en el resultado del valor del indicador de riesgo de movimientos en masa (IRM).

e) Determinación del mejor ajuste

Se entiende por bondad de ajuste a la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida. A través de ésta es posible predecir el comportamiento de la variable en estudio (Pizarro, 1986).

Para determinar la calidad del ajuste, se realizó una contrastación para cada dato que se obtenga en la frecuencia acumulada y en la frecuencia teórica acumulada; para ello se utilizarán métodos cuantitativos, como el coeficiente de determinación R^2 y el test de Kolmogorov-Smirnov.

f) Coeficiente de Determinación R^2

Este coeficiente indica qué proporción de la variación total de la frecuencia observada, es explicada por la frecuencia teórica acumulada. Se encuentra definido por la siguiente expresión (Pizarro *et al*, 1986).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación; $0 \leq R^2 \leq 1$.

$\overline{F_n(x)_i}$: Media de las frecuencias observadas acumuladas.

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada.

Cuando $R^2 \geq 0,9$ se aceptará el ajuste considerándolo como bueno (Ashkar *et al.*,1993).

g) Test de Kolmogorov-Smirnov

Este procedimiento es un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico. Así mismo en él se hace referencia que es necesario determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas.

Este test es válido para distribuciones continuas y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas (Pizarro *et al*, 1986).

Para la aplicación de este test, se necesita en primer lugar determinar la frecuencia observada acumulada.

$$Fn(x) = \frac{n}{N + 1}$$

Donde:

$F_n(x)$: Frecuencia observada acumulada.

n : N° de orden del dato.

N : N° total de datos.

Luego se debe calcular la frecuencia teórica acumulada $F(X)$, determinada para cada una de las funciones. Una vez obtenidas ambas frecuencias, se procede a calcular el valor supremo de las diferencias entre ambas, en la i -ésima posición de orden, que se denomina D_c .

$$D_c = \text{Sup} |F_n(x)_i - F(x)_i|$$

Si la diferencia suprema es menor que la diferencia tabulada por tabla, definida en base al tamaño de la muestra, se está en presencia de un buen

ajuste con el nivel de confianza asumido. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y la distribución propuesta, entonces se rechaza (Canavos, 1988).

ii) Medición de la cobertura vegetal

En cada uno de los puntos se estableció la cobertura vegetal (V8) del terreno, identificando las especies arbóreas y arbustivas que habitan el lugar y la profundidad de raíces (V9) que presentaban éstas, con el propósito de determinar la influencia de estos en la estabilización o desencadenamiento de movimientos en masa.

El método utilizado para medir la cobertura vegetal, fue el de Braun-Blanquet, el cual consiste en una estimación cualitativa del área estudiada, lo cual define una directa relación entre el número de individuos y la ocupación de superficie.

iii) Medición de la acción antrópica

La acción antrópica (V10) se valorizó por medio de un criterio visual de parte del investigador y del personal del departamento de operaciones de la municipalidad de San Clemente, estableciendo la intervención que poseían los puntos en cuanto a la carga de los terrenos. Se estableció en el rango de sin intervención sitios que no registraban alteración alguna, e intervención fuerte las laderas en las que se ubicaban obras civiles que su construcción generaron importantes movimientos de tierra, tales como la ubicación de torres de alta tensión y la construcción de canales.

4.6.7.2. Obtención de información de las variables estáticas

Las variables que fueron denominadas como estáticas son la profundidad de suelo (V3), la textura del suelo (V4), la presencia de roca fragmentada (V5), la densidad aparente del suelo (V6), la pendiente máxima (V7) y la profundidad de raíces (V9).

La información de las variables 4 y 6 se obtuvo en laboratorio y para las variables 3, 5, 7 y 9 se capturó la información en terreno. A continuación se describen los procedimientos que se utilizaron para las mediciones:

i) Mediciones de las variables del suelo

Se tomaron muestras de suelo en la mayoría de los puntos seleccionados, exceptuando el punto 9 y 10, en donde el material que presentaba el terreno era roca fragmentada. En cada uno de los puntos se recogieron las muestras en la zona baja, media y alta de la ladera. Para cada una de estas muestras se determinó su textura (V4) y su densidad aparente (V6). Estas muestras fueron enviadas al Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos, de la Universidad de Talca, el cual entregó los datos necesarios para la investigación.

En el punto 14 o Curillinque la muestra permitió obtener la textura del suelo, pero no su densidad aparente debido a las características del suelo, que era deleznable al tacto.

Otra variable estudiada fue la profundidad de suelo (V3), la cual fue determinada a través de información entregada por personas residentes de los distintos lugares en los cuales se ubicaban los puntos.

ii) Medición de la variable presencia de roca fragmentada

La variable roca fragmentada (V5) se evaluó visualmente, identificándose si el punto presentaba una importante presencia de material rocoso que presentara características que aumentaran la probabilidad de generar un movimiento en masa.

iii) Medición de la variable pendiente máxima

Se realizó esta medición, utilizando un clinómetro óptico; este procedimiento se ejecutó en cada uno de los puntos seleccionados.

Se decidió realizar esta medida debido a que se consideró que es en el área de pendiente máxima (V7), en donde es mayor la probabilidad de que se genere un movimiento en masa.

iv) Medición de la variable profundidad de raíces

Para la definición de la profundidad de raíces, se realizó el desprendimiento de algunos individuos arbustivos, realizando una medición de la profundidad que presentaba en el suelo estos sistemas radicales, además, se estableció comunicación con las personas que habitan los sectores estudiados, las que proporcionaron una estimación de la profundidad radicular que presenta la vegetación en los diferentes puntos.

4.6.8. Obtención del peso o ponderación de las variables (W(i))

Esta información se obtuvo por medio de la aplicación de una encuesta, denominada Encuesta N° 1, (apéndice N° 2), confeccionada para ser enviada a los 21 expertos que valorizaron a las 10 variables ya definidas, lo que se realizó por medio de correo electrónico y de forma personal. Los evaluadores, fueron elegidos de acuerdo a la experiencia reconocida que tienen en el tema de movimientos en masa.

Así, los expertos seleccionados se encontraron tanto en el sector académico, como en organismos públicos y privados.

i) Las organizaciones a las que pertenecen los expertos del sector académico son:

- Maria Castillo (Universidad de Chile).
- Manuel Casanova (Universidad de Chile).
- Bonifacio Fernández (Pontificia Universidad Católica de Chile).
- Francisco Ferrando (Universidad de Chile).
- Amanda García (Universidad de Córdoba, Argentina).
- José Luís García Rodríguez (Universidad Politécnica de Madrid, España).
- Antón Huber (Universidad Austral de Chile)
- Francisco Matus (Universidad de la Frontera)
- Andrés Rivera (Centro de Estudios Científicos, Valdivia)
- Aldo Tamburrino (Universidad de Chile).

ii) Expertos del ámbito público.

- José Betancourt (Dirección Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, Venezuela).

- Alberto Bisbal (Dirección Nacional de Prevención del Instituto Nacional de defensa Civil, Perú).
- Julio Castiglione (ONEMI, Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior).
- Carlos Cruz (DGA, Dirección General de Aguas).
- Rene Gaete (Dirección de Operaciones de la Municipalidad de San Clemente).
- Bilberto Zabala (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú).

iii) Expertos del ámbito privado

- Andrés Benítez (Consultor Particular).
- Axel Dourojeanni (Consultor Particular).
- Héctor Fuentes (Consultor Particular).
- Manuel Muñoz (Apires Holding. Soporte Ambiente S.A.).
- Marcelo Rivano (Constructora Marcelo Rivano).

Prácticamente la totalidad de estas encuestas fueron enviadas por correo electrónico, excepto al Departamento de Operaciones de la Municipalidad de San Clemente y a la Constructora Marcelo Rivano, a quienes se les entregó personalmente.

5. RESULTADOS

5.1. Polígonos de Thiessen que Definen las Áreas de Influencia Pluvial para cada uno de los Puntos Estudiados

La generación de los polígonos de Thiessen en el área de estudio, permitió establecer cuáles eran los datos pluviométricos que influían de mejor manera a cada uno de los puntos estudiados.

Los resultados fueron que los puntos Bajo Perquín bajo, Pan de Azúcar y Las Lomas se ubicaron dentro del área de influencia pluviométrica de la estación El Durazno; los puntos Bajo Perquín alto, Vilches 007 y Vilches cruce Tortillas, se encontraron dentro del área de influencia pluviométrica de la estación Huapi; los puntos Colorado Bajo y Colorado Alto se situaron dentro del área de influencia pluviométrica de la estación Colorado; el punto La Placeta se ubicó dentro del área de influencia pluviométrica de la estación Vilches y, los puntos Paso Nevado, Ruta CH- 115, Armerillo, San Carlos, Curillinque y El Médano, se situaron dentro del área de influencia de la estación Armerillo. Esto se puede apreciar gráficamente en la figura nº 17.

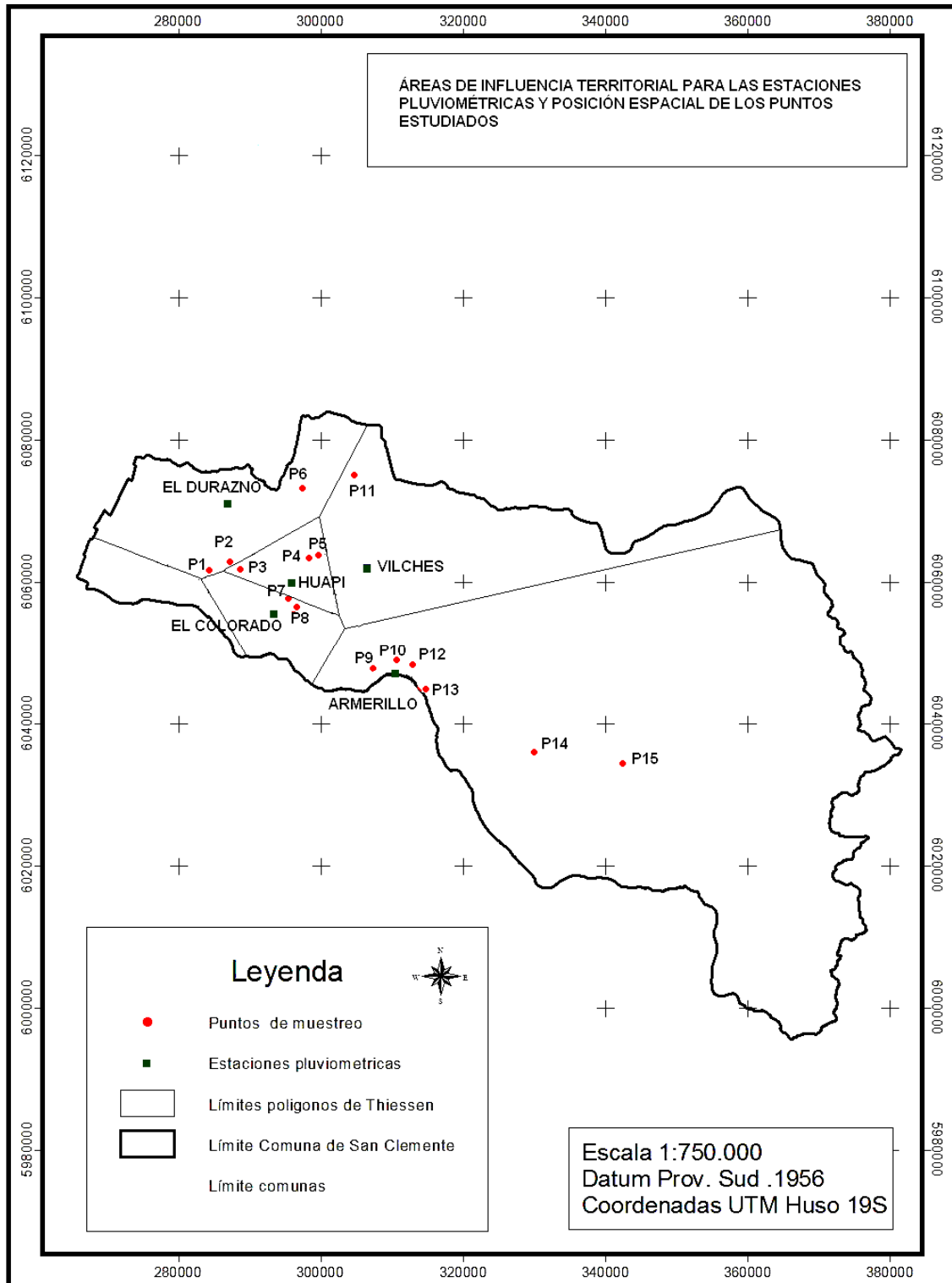


Figura nº 17. Áreas de influencia pluviométrica de los puntos estudiados.

- | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------|
| P1: Pan de Azúcar | P6: Las Lomas | P11: La Placeta |
| P2: Bajo Perquín bajo | P7: El Colorado bajo | P12: Armerillo |
| P3: Bajo Perquín alto | P8: El Colorado alto | P13: San Carlos |
| P4: Vilches 007 | P9: Paso nevado | P14: Curillinque |
| P5: Vilches cruce Tortillas | P10: Ruta CH-115 | P15: El Médano |

5.2. Variables Pertenecientes al IRM

Las variables determinadas e incorporadas al IRM se obtuvieron de dos formas distintas. Los datos de precipitación máxima mensual (V1) y de la intensidad de precipitación en 24 horas (V2) fueron facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA), de la ciudad de Talca. Un posterior tratamiento matemático estadístico de tales datos permitió adecuarlos para el índice en construcción, en tanto, las variables restantes fueron obtenidas por medio de la captura de información en terreno.

5.2.1. Resultados de las variables pertenecientes al IRM.

Las variables pertenecientes al indicador, se analizaron de acuerdo al lugar donde se obtuvo la información.

5.2.1.1. Resultados de las variables dinámicas

i) Variables obtenidas por medio de bases de datos.

a) Se obtuvieron los valores de los principales parámetros estadísticos, para cada una de las estaciones.

Cuadro n° 7: Valores estadísticos obtenidos para las variables precipitación máxima mensual e intensidad de precipitación en 24 horas

Estación	Precipitación máxima mensual		Intensidad de precipitación en 24 hrs.	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Armerillo	805,13	300,19	181,47	68,8272
Vilches	588,98	257,68	139,41	56,5097
Colorado	463,49	175,00	106,73	30,0891
El Durazno	263,64	119,77	70,59375	16,9186
Huapi	331,10	126,38	80,72	27,1107

b) Para las series de datos de precipitación máxima mensual e intensidad de precipitación en 24 horas se ajustó la función de distribución de probabilidad de Gumbel. Asimismo, para la calidad del ajuste se calculó el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y el coeficiente de determinación R^2 . A continuación se presentan los resultados del ajuste de las series de caudales máximos instantáneos anuales, para las funciones de distribución de probabilidad utilizadas en este estudio. De igual forma se muestran los resultados de las pruebas usadas para determinar la calidad de los ajustes.

Cuadro n° 8: Ajuste de la función de Gumbel para los datos de precipitación máxima mensual

Estación	Función de Gumbel Ajustada	R^2	K-S		
			Dt	Dc	Resultado
Armerillo	$F(x) = e^{-e^{-0,0043(x-670,1)}}$	0,99	0,163	0,083	Acepta Ho
Vilches	$F(x) = e^{-e^{-0,0050(x-473,0)}}$	0,99	0,375	0,068	Acepta Ho
Colorado	$F(x) = e^{-e^{-0,0073(x-384,7)}}$	0,99	0,214	0,130	Acepta Ho
El Durazno	$F(x) = e^{-e^{-0,0107(x-209,7)}}$	0,97	0,375	0,088	Acepta Ho
Huapi	$F(x) = e^{-e^{-0,0101(x-274,2)}}$	0,98	0,230	0,121	Acepta Ho

Cuadro nº 9: Ajuste de la Función de Gumbel para los datos de intensidad de precipitación en 24 horas

Estación	Función de Gumbel Ajustada	R ²	K-S		
			Dt	Dc	Resultado
Armerillo	$F(x) = e^{-e^{-0,0186(x-150,5)}}$	0,98	0,230	0,076	Acepta Ho
Vilches	$F(x) = e^{-e^{-0,0227(x-113,9)}}$	0,93	0,193	0,071	Acepta Ho
Colorado	$F(x) = e^{-e^{-0,0426(x-93,2)}}$	0,97	0,328	0,129	Acepta Ho
El Durazno	$F(x) = e^{-e^{-0,0758(x-62,98)}}$	0,97	0,216	0,072	Acepta Ho
Huapi	$F(x) = e^{-e^{-0,0473(x-68,52)}}$	0,99	0,328	0,175	Acepta Ho

Se aceptó el ajuste obtenido con el método R², considerándolo como bueno, ya que el valor obtenido en cada uno de los casos es mayor a 0,9. Con respecto al método Kolmogorov-Smirnov, también se obtuvieron valores que demuestran que se generó un buen ajuste de los datos, esto debido a que en todas las estaciones el valor calculado fue menor al valor tabulado, por lo que se acepta la hipótesis nula (Ho).

c) Por otra parte, se obtuvieron las probabilidades de precipitación máxima mensual, así como las de intensidad de precipitación en 24 horas, para los diferentes periodos de retorno. Estos valores se presentan en los siguientes cuadros:

Cuadro nº 10: Valores de probabilidad para las precipitaciones máximas mensuales de las 5 estaciones estudiadas en diferentes periodos de retorno (T)

T	F(X)	Estación				
		Armerillo	Vilches	Colorado	El Durazno	Huapi
		X	X	X	X	X
2	0,5	755,82	546,64	434,74	243,97	310,3407
10	0,9	1196,74	925,13	691,78	419,89	495,9781
20	0,95	1365,22	1069,75	790	487,11	566,9109
30	0,97	1462,14	1152,95	846,5	525,78	607,7168
50	0,98	1583,3	1256,95	917,13	574,12	658,7261

Cuadro n° 11: Valores de probabilidad para las intensidades de precipitación en 24 horas de las 5 estaciones estudiadas en diferentes periodos de retorno (T)

T	F(X)	Estación				
		Armerillo	Vilches	Colorado	El Durazno	Huapi
		X	X	X	X	X
2	0,5	170,17	130,12	101,79	67,81	76,27
10	0,9	271,26	213,13	145,98	92,67	116,09
20	0,95	309,89	244,84	162,87	102,16	131,31
30	0,97	332,11	263,09	172,58	107,62	140,06
50	0,98	359,89	285,9	184,73	114,45	151

d) En el siguiente cuadro se presentan los datos pluviométricos máximos y mínimos utilizados para la construcción del IRM y la probabilidad que se obtuvo por medio de la función de distribución de probabilidad Gumbel y el periodo de retorno asociado a esa probabilidad.

Cuadro nº 12: Datos máximos y mínimos de las precipitaciones máximas mensuales y valores obtenidos de la FDP de Gumbel y los periodos de retorno (T).

Estación	Valor máximo Precipitación máxima mensual (mm)	F(x) valor Máximo	T	Valor mínimo Precipitación máxima mensual (mm)	F (x) valor Mínimo	T
Armerillo	1566,5 (1934)	0,9785	46,51	129,0 (1968)	0,00004	1,00
Vilches	1162,5 (2000)	0,9682	31,45	214,1 (1998)	0,0266	1,03
Colorado	823,3 (2000)	0,9606	25,38	118,0 (1998)	0,0009	1,00
El Durazno	482,3 (2001)	0,9474	19,01	83,5 (1998)	0,021	1,02
Huapi	613 (2000)	0,9684	31,65	77,0 (1998)	0,0006	1,00

Cuadro nº 13: Datos máximos y mínimos de las intensidades de precipitación en 24 horas y valores obtenidos de la FDP de Gumbel y los periodos de retorno (T).

Estación	Valor máximo de Intensidad de Precipitación en 24 horas (mm)	F(x) valor Máximo	T	Valor mínimo de Intensidad de Precipitación en 24horas (mm)	F (x) valor Mínimo	T
Armerillo	372,8 (1929)	0,9875	79,90	57,1 (1944)	0,0004	1,00
Vilches	303,5 (2004)	0,9865	74,31	52,0 (2007)	0,0169	1,026
Colorado	219,5 (1972)	0,9954	218,41	54,5 (1968)	0,0055	1,01
El Durazno	100,0 (2002)	0,9414	17,06	48,0 (1993)	0,0445	1,05
Huapi	156,0 (1972)	0,9842	63,20	39,0 (1998)	0,0176	1,02

e) En el cuadro nº 14 se muestra la valoración que alcanzan las variables precipitación máxima mensual (V1) e intensidad de precipitación en 24 horas (V2), en cada uno de los puntos estudiados, en función de los rangos definidos.

Así estos se definen de la siguiente forma:

Rango T	P (x > X)	Valor de la Variable
$2 \leq T < 10$	0,5 – 0,1	1
$10 \leq T < 20$	0,1 – 0,05	2
$20 \leq T < 30$	0,05 – 0,03	3
$30 \leq T < 40$	0,03 – 0,02	4
$T \geq 40$	< 0,02	5

Se eligió esta clasificación, en base a las probabilidades de excedencia involucradas, que deberían ser de tipo extremas, dado que el indicador, trabajó sobre situaciones límites. En base a esta calificación, se puede señalar que los puntos estudiados presentan las siguientes calificaciones máximas y mínimas.

Cuadro nº 14: Calificación de las variables V1 y V2.

Sector	Calificación según valor máximo		Calificación según valor mínimo	
	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
1. Pan de Azúcar	2	2	1	1
2. Bajo Perquín Bajo	2	2	1	1
3. Bajo Perquín Alto	4	5	1	1
4. Vilches 007	4	5	1	1
5. Vilches C. tortillas	4	5	1	1
6. La Lomas	2	2	1	1
7. El Colorado Bajo	3	5	1	1
8. El Colorado Alto	3	5	1	1
9. Paso Nevado	5	5	1	1
10. Ruta CH-115	5	5	1	1
11. La Placeta	4	5	1	1
12. Armerillo	5	5	1	1
13. San Carlos	5	5	1	1
14. Curillinque	5	5	1	1
15. El Médano	5	5	1	1

Variable 1: Precipitación máxima mensual.

Variable 2: Intensidad de precipitación en 24 horas.

ii) Resultados de las variables dinámicas obtenidas por medio de la captura de datos en terreno

a) En el cuadro nº 15 se muestra la valoración que denotan las variables cobertura vegetal (V8) y acción antrópica (V10), en cada uno de los puntos, según la clasificación definida en el punto Metodología.

Cuadro nº 15: Calificación de las variables V8 y V10

Sector	Variable 8	Variable10
1. Pan de Azúcar	3	1
2. Bajo Perquín Bajo	4	5
3. Bajo Perquín Alto	1	3
4. Vilches 007	1	3
5. Vilches C. tortillas	1	5
6. La Lomas	2	5
7. El Colorado Bajo	5	4
8. El Colorado Alto	4	4
9. Paso Nevado	3	1
10. Ruta CH-115	5	5
11. La Placeta	5	1
12. Armerillo	3	4
13. San Carlos	3	1
14. Curillinque	5	4
15. El Médano	5	5

Variable 8: Cobertura vegetal

Variable 10: Acción antrópica

5.2.1.2. Resultados de las variables estáticas obtenidas por medio de la captura de información en terreno y en laboratorio

Algunas variables recogidas en terreno, fueron obtenidas por medio de información entregada por las personas que viven alrededor de los puntos estudiados; sin embargo, en algunos de estos puntos se verificó la veracidad de esta información.

i) Calificación de las variables estáticas obtenidas en laboratorio

En el siguiente cuadro se muestra la calificación de las variables textura del suelo (V4) y densidad aparente del suelo (V6), las cuales fueron analizadas por el laboratorio de suelos y cultivos de la Universidad de Talca.

Cuadro nº 16: Calificación de las variables V4 y V6

Sector	Variable 4	Variable 6
1. Pan de Azúcar	1	2
2. Bajo Perquín Bajo	3	2
3. Bajo Perquín Alto	1	2
4. Vilches 007	3	3
5. Vilches C. tortillas	4	3
6. La Lomas	2	2
7. El Colorado Bajo	1	2
8. El Colorado Alto	1	2
9. Paso Nevado	5	5
10. Ruta CH-115	5	5
11. La Placeta	1	2
12. Armerillo	3	4
13. San Carlos	1	2
14. Curillinque	4	5
15. El Médano	4	5

Variable 4: Textura del suelo.

Variable 5: Densidad aparente del suelo.

Para los puntos Paso Nevado y Ruta CH-115, no fue posible obtener un valor para la variable densidad aparente, debido a que en estos puntos no se tomaron muestras de suelo, dado que el terreno se calificó en la categoría de roca fragmentada, por lo que la valoración que se le asignó a esta variable fue la máxima, dada la escasa cohesión del suelo. En el punto de Curillinque se realizó una toma de muestras de suelo, pudiéndose obtener sólo su textura, debido a que las características de suelo no permitieron tomar una muestra para la obtención de la densidad aparente, por lo que igualmente se le asignó la valoración máxima, es decir, 5.

b) Calificación de las variables estáticas obtenidas por captura de información en terreno

En el cuadro n° 17 se muestra la calificación de las variables profundidad de suelo (V3), presencia de roca fragmentada (V5), pendiente máxima (V7) y profundidad de raíces (V9).

Cuadro n° 17: Calificación de las variables V3, V5, V7 y V9.

Sector	Variable 3	Variable 5	Variable 7	Variable 9
1. Pan de Azúcar	3	3	5	2
2. Bajo Perquín Bajo	1	1	5	2
3. Bajo Perquín Alto	1	1	5	3
4. Vilches 007	2	3	5	3
5. Vilches C. tortillas	1	1	5	3
6. La Lomas	1	1	5	2
7. El Colorado Bajo	2	1	5	2
8. El Colorado Alto	2	1	5	2
9. Paso Nevado	3	5	5	4
10. Ruta CH-115	5	5	5	2
11. La Placeta	3	3	4	1
12. Armerillo	4	4	5	4
13. San Carlos	3	3	5	4
14. Curillinque	3	5	5	3
15. El Médano	5	5	5	2

Variable 3: Profundidad del suelo.

Variable 7: Pendiente máxima.

Variable 5: Presencia de roca fragmentada.

Variable 9: Profundidad de raíces.

5.3. Peso Relativo Otorgado a cada una de las Variables Pertencientes al IRM

El peso relativo se determinó a partir de la metodología denominada “comparación por pares”, metodología descrita en el punto 4.6.6. La evaluación se basó en la opinión de 20 expertos seleccionados de acuerdo a la experiencia que estos tienen en el tema de Movimientos en Masa.

Los expertos se dividieron de acuerdo al ámbito en el que se desempeñan, por lo que los ámbitos de trabajo fueron el Académico, el Público y el Privado.

5.3.1. Notas Otorgadas por los Expertos

i) Expertos del ámbito académico

Los expertos elegidos de este ámbito fueron 10 (diez), todos ellos de universidades y centros de investigación nacionales e internacionales. Sus notas están expresadas en el cuadro nº 18.

Cuadro n° 18: Notas otorgadas por los expertos del ámbito académico.

Variables (i)	Expertos (j)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9	10	8	5	8	9	7	8	10	3
2	10	9	10	10	10	8	10	9	8	9
3	8	2	5	9	6	9	9	9	3	6
4	7	4	6	7	4	9	9	9	5	8
5	7	3	6	1	7	7	8	8	7	6
6	8	5	7	9	3	9	8	8	3	7
7	9	8	9	10	9	9	9	9	10	10
8	9	7	10	8	2	9	9	9	3	5
9	8	6	5	6	1	8	9	9	4	7
10	10	1	10	9	5	9	10	9	8	9

ii) Expertos del ámbito público.

Los expertos elegidos en este ámbito fueron 10 (diez). Éstos se desempeñan en instituciones pertenecientes al Estado y sus notas se muestran en el cuadro n° 19.

Cuadro n° 19: Notas otorgadas por los expertos del ámbito público.

Variables (i)	Expertos (j)					
	1	2	3	4	5	6
1	9	8	8	8	8	4
2	8	7	10	10	10	10
3	4	7	9	9	5	2
4	5	8	9	10	10	3
5	7	8	7	7	4	5
6	3	8	8	8	5	7
7	7	9	9	10	8	8
8	4	7	10	9	8	6
9	4	7	7	7	5	1
10	9	9	9	9	9	9

iii) Expertos del ámbito privado.

Los expertos elegidos en este ámbito fueron 5, los que se desempeñan en empresas privadas, especialmente en faenas de obras civiles y consultoras de ingeniería, sus notas están expresadas en el cuadro n° 20.

Cuadro nº 20: Notas otorgadas por los expertos del ámbito privado.

Variables (i)	Expertos (j)				
	1	2	3	4	5
1	10	7	6	6	9
2	10	10	8	6	9
3	8	8	6	5	8
4	6	4	5	9	5
5	7	5	9	6	8
6	7	3	4	5	8
7	10	9	7	7	9
8	8	1	4	5	9
9	7	2	4	5	5
10	8	6	8	9	9

5.3.2. Aplicación del Método de Comparación por Pares.

i) Puntaje otorgado por los expertos a cada variable

Cuadro nº 21: Puntajes totales otorgados por los expertos a cada una de las Variable.

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Puntaje Total	160	191	137	142	133	133	185	142	117	174

ii) **Peso relativo de las variables pertenecientes al IRM**

Luego de obtener las diferentes notas otorgadas a cada una de las variables por los diferentes expertos, se procedió a aplicar la metodología de comparación por pares, dio como resultado el cuadro n° 22.

Cuadro n° 22: Pesos relativos otorgados a cada una de las Variables.

Variables	1	2	3	4	5
Pesos Relativos	0,1081	0,1714	0,0646	0,0919	0,0634
Variables	6	7	8	9	10
Pesos Relativos	0,0634	0,1677	0,087	0,0335	0,1491

Se puede apreciar a través de los pesos relativos otorgados, que el rango que se obtiene entre el mayor peso, obtenido por la variable intensidad de precipitación en 24 horas (V2) y el menor valor, obtenido por la variable profundidad de raíces (V9), entrega una valor igual a 0,14, es decir existe una diferencia importante en las ponderaciones.

5.4. Modelo del Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa (IRM)

Una vez obtenidos los pesos relativos asignado por cada uno de los expertos consultados para cada una de las variables, se procedió a establecer un modelo, el cual se debería adaptar a las características de un punto en particular, permitiendo obtener en el sitio en estudio un valor del riesgo de movimientos en masa. Así;

$$\text{IRM} = \text{Pmm} * 0.1081 + I_{24} * 0.1714 + \text{PS} * 0.0646 + \text{Ts} * 0.0919 + \text{Prf} * 0.0634 + \text{Das} * 0.0634 + \text{Pm} * 0.1677 + \text{Cv} * 0.087 + \text{Pr} * 0.0335 + \text{Aa} * 0.1491$$

Donde:

IRM:

Pmm: Precipitación máxima mensual.

I₂₄: Intensidad de precipitación en 24 horas.

Ps: Profundidad de suelo.

Ts: Textura del suelo.

Prf: Presencia de roca fragmentada.

Das: Densidad aparente del suelo.

Pm: Pendiente máxima.

Cv: Cobertura vegetal.

Pr: Profundidad de raíces.

Aa: Acción antrópica.

5.5. Validación del Modelo del Indicador de Riesgo en Movimientos en Masa

La validación del modelo se realizó en cada uno de los puntos estudiados de la comuna de San Clemente, considerando el valor que obtuvo cada variable según la segmentación que se definió (valores entre 1 y 5, sin decimales). Se realizaron 2 cálculos del indicador para cada punto; el primero, considerando los máximos valores históricos de las variables pluviométricas y, el segundo; el valor mínimo de los mismos.

Cuadro n° 23: Valores del Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa (IRM) para cada punto estudiado

Puntos	IRM *	IRM**
1. Pan de Azúcar	2,1978	2,4773
2. Bajo Perquín Bajo	2,809	3,0885
3. Bajo Perquín Alto	2,0995	3,1094
4. Vilches 007	2,5381	3,548
5. Vilches Cruce tortillas	2,7368	3,7467
6. La Lomas	2,5431	2,8226
7. El Colorado Bajo	2,6277	3,5295
8. El Colorado Alto	2,5407	3,4425
9. Paso Nevado	2,9494	4,0674
10. Ruta CH-115	3,782	4,9
11. La Placeta	2,1706	3,1805
12. Armerillo	3,1507	4,2687
13. San Carlos	2,8612	3,9792
14. Curillínque	3,4526	4,2838
15. El Médano	3,5633	4,2116

* Indicador considerando los valores pluviométricos mínimos.

** Indicador considerando los valores pluviométricos máximos.

En general se aprecia que el indicador sometido a esta primera validación, se corresponde en sus resultados con la apreciación de terreno, que señala por ejemplo que algunas zonas con presencia continua de Movimientos en Masa, son la Ruta CH -115 y Curillínque, las que presentan los valores más altos del IRM.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Análisis de las áreas de influencia territorial para las estaciones pluviométricas generadas con los Polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen permitieron identificar qué estación pluviométrica era la más influyente para cada uno de los puntos estudiados. Los resultados obtenidos permiten observar que muchos de estos puntos se ubican dentro del área de influencia de una estación, pero muy próximos al polígono de influencia de una estación distinta, por lo cual se puede asumir que en alguna medida las precipitaciones de otras estaciones influyen en estos puntos.

La gran superficie que posee el área de influencia de la estación Armerillo y por ende, la presencia del mayor número de puntos de estudio dentro de ella, se debe a que en la zona oriente de la comuna de San Clemente, sólo se ubica esta estación pluviométrica.

6.2. Análisis de las Variables Pertenecientes al IRM

Las variables pertenecientes al indicador, se analizaron de acuerdo a la división que se estableció para ellas; la cual las separa en variables dinámicas y variables estáticas.

6.2.1. Análisis de las variables dinámicas

Como ya se ha dicho, dentro de estas variables se encuentra la precipitación máxima mensual (V1) y la intensidad de precipitación en 24 horas (V2), (las que fueron obtenidas por medio de bases de datos de la Dirección General de Aguas), y las variables Cobertura vegetal (V8) y Acción antrópica (V10); la información de estas últimas variables, se obtuvo por medio de captura de datos en terreno.

6.2.1.1. Análisis de las variables obtenidas por medio de bases de datos

Este estudio posee como base la información pluviométrica obtenida y procesada de 5 estaciones de tipo pluvial, abarcando toda la comuna de San Clemente. Sin embargo, esto no significa que representen en forma fidedigna los valores de precipitación máxima mensual, o a la intensidad de precipitación en 24 horas, para cada punto estudiado, debido a la falta de pluviómetros en la zona. No obstante, se puede considerar que la información con la que se ha contado, representa de un modo importante el comportamiento de las precipitaciones en la comuna de San Clemente, dado que en promedio existe una estación por cada 900,7 Km², lo cual es una cifra alta comparada con otras regiones del país, como la Región Metropolitana.

Otro aspecto importante a mencionar, es la forma en la que se ha obtenido la información estadística considerada válida por este estudio. En este marco, se ha preferido trabajar solamente con información real, es decir, no se han completado registros estadísticos, lo cual asegura la fidelidad de dicha información.

Como tercer punto, se puede señalar que la media y la desviación estándar calculadas como parámetros estadísticos, presentaron los valores

más altos en la estación Armerillo, verificándose una media de 805,13 milímetros de precipitación máxima mensual y una desviación estándar de 300,19, lo que refleja que esta estación presenta la serie de datos que posee la mayor dispersión. La estación El Durazno presentó el menor valor para la media, a saber, 263,64 milímetros de precipitación máxima mensual y el menor valor para la desviación estándar, 119,77. En relación a los datos de intensidad de precipitación en 24 horas, también fue la estación Armerillo la que presentó el mayor valor para la media y la desviación estándar, 191,47 mm y 68,82 mm, respectivamente. La estación que presentó los valores más bajos para la media y la desviación estándar para los datos de intensidad de precipitación en 24 horas, fue la estación Huapi, con un valor de 70,59 para la media y 16,91 para la desviación estándar.

Como cuarto punto a señalar, debe mencionarse que los datos de precipitación utilizados en este estudio, presentaron un buen ajuste con la función de distribución de probabilidad de Gumbel, de acuerdo al test de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov, presentando una aceptación del 100%. Con respecto al coeficiente de determinación R^2 , éste alcanzó una bondad promedio de 98,21 % para los datos de precipitación máxima mensual y 96,76 % para los datos de intensidad de precipitación en 24 horas.

Como quinto punto, se debe mencionar que los valores obtenidos por la función de distribución de probabilidad de Gumbel, tanto para la precipitación máxima mensual como para la intensidad de precipitación en 24 horas, entregó altos valores de probabilidad para los datos máximos; éstos se encuentran asociados a amplios periodos de retorno. Por otro lado, los valores mínimos presentaron una probabilidad muy baja de volver a repetirse y, el periodo de retorno que presenta esta probabilidad es reducido, lo que quiere decir, que puede ser superada con una alta probabilidad, esa precipitación, en un futuro muy próximo.

Como sexto punto, es preciso señalar que la calificación que presentaron las variables precipitación máxima mensual e intensidad de

precipitación en 24 horas para los valores máximos considerados en el estudio, fue muy variable en relación a cada punto, debido a que los periodos de retorno obtenidos para cada uno de ellos, presentaron una considerable variabilidad entre uno y otro. Asimismo, los valores obtenidos para los periodos de retorno de los valores mínimos para la precipitación máxima mensual y para la intensidad de precipitación en 24 horas presentaron valores muy poco variables, lo cual posicionó ésta valoración sólo en el rango de menor riesgo; esto ocurrió para todos los puntos estudiados. En las siguientes figuras se muestra la calificación que se obtuvo para las variables precipitación máxima mensual e intensidad de precipitación en 24 horas, considerando los datos máximos. No presentan una figura estas variables, para sus valores mínimos, ya que el 100% de estas calificaciones, se ubican en el rango 1.

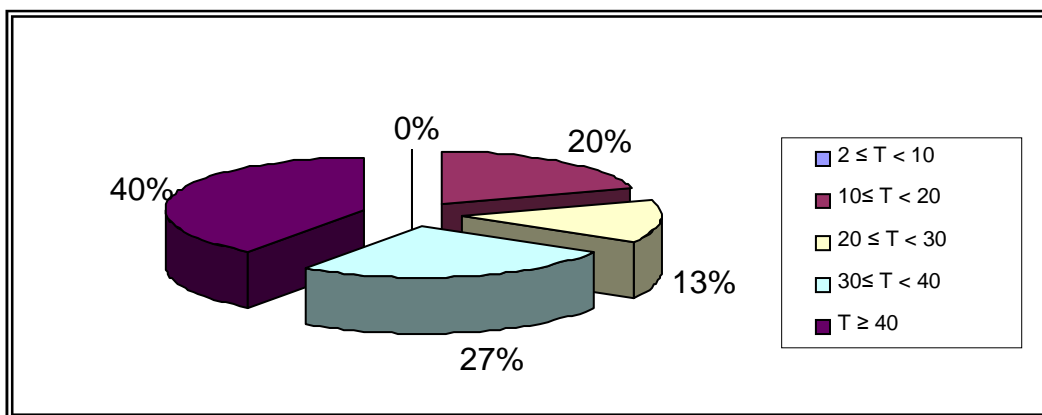


Figura nº 18: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable precipitación máxima mensual según los valores máximos.

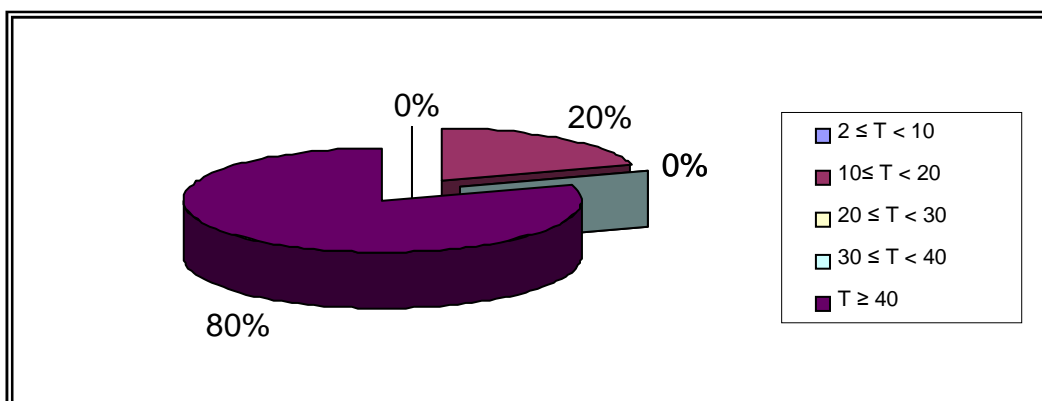


Figura nº 19: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable intensidad de precipitación en 24 horas según los valores máximos.

6.2.1.2. Análisis de las variables dinámicas obtenidas por medio de captura de datos en terreno

Las variables dinámicas obtenidas por medio de captura de información en terreno, fueron Cobertura vegetal (V8) y Acción antrópica (V10).

La variable Cobertura vegetal (V8) entregó como resultado que un 20% de los puntos presentan desde un 80% a un 100% de superficie cubierta con vegetación; que un 7% se encuentra entre 60% a 79% de superficie cubierta; un 27% de los puntos presentan una cobertura vegetal que va desde un 40% a un 59%; un 13% presentan una cobertura entre 20% y 39% y un 33% de los puntos presentan una cobertura entre el 0% y 19%.

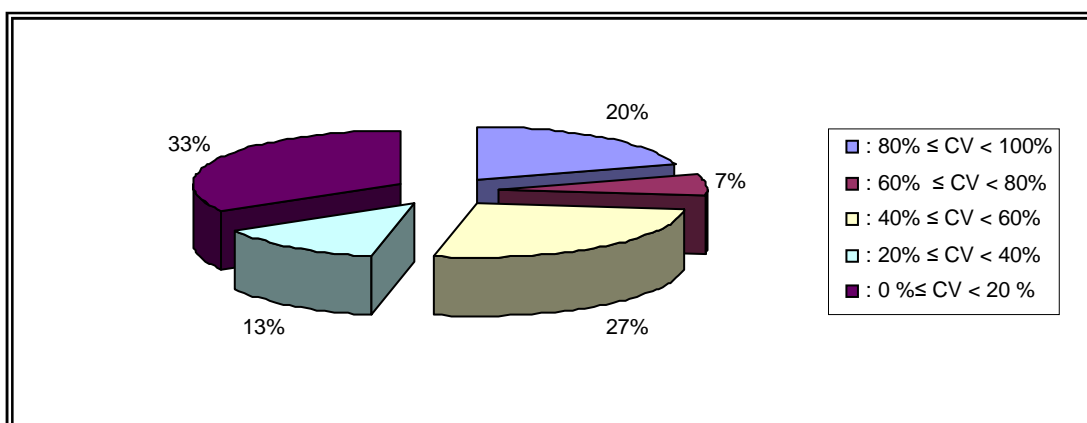


Figura nº 20: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable cobertura vegetal.

Los valores que se presentan en esta figura dan a conocer que del 100% de los puntos estudiados, el mayor porcentaje de ellos presenta una cobertura vegetal menor al 20%; este valor hace que estos puntos presenten una mayor probabilidad de sufrir un movimiento en masa.

Para la variable acción antrópica (V10), se puede apreciar en la figura nº 23 que un 33% de los puntos no presentaba intervención del hombre; un 13% presentaba una intervención moderada; un 27% una intervención considerable y un 27% una fuerte intervención.

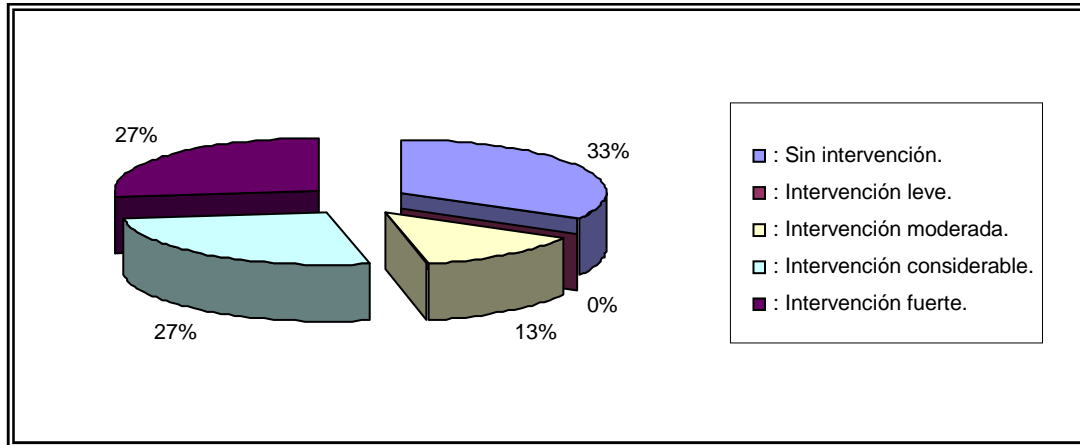


Figura nº 21: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable acción antrópica

Para esta variable, del 100% de los puntos estudiados, se obtuvo que el mayor porcentaje, un 33% de los puntos se presentaban sin intervención, lo que se traduce en que la ladera no presenta cambios en su morfología, por lo tanto, existe una menor probabilidad de que se produzca un movimiento en masa en ella. Pero es necesario tomar en cuenta que al sumar los porcentajes de intervención considerable e intervención moderada, resulta un valor total del 54%, por lo que se debe considerar que existiría una importante posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

6.2.2. Análisis de las variables estáticas

Dentro de estas variables, se encuentra la profundidad de suelo (V3), la textura del suelo (V4), la presencia de roca fragmentada (V5), la densidad aparente (V6), la pendiente máxima (V7) y la profundidad de raíces (V9), las que fueron obtenidas por medio de captura de información en terreno.

6.2.2.1. Análisis de las variables estáticas obtenidas en laboratorio

Una de las variables medida en laboratorio, fue la textura del suelo (V4), la que presentó una clara diferencia entre los valores que se obtuvieron. Ésta mostró que un 40% de los puntos presentan un suelo franco arcilloso, con alto contenido de materia orgánica; un 7% presenta un suelo franco arcilloso a arenoso, con bajo nivel de materia orgánica; un 20% es suelo franco; un 20% de los puntos presentan un suelo franco arenoso y un 13% de los suelos presentan suelos arenosos, con rocas sueltas y gravas.

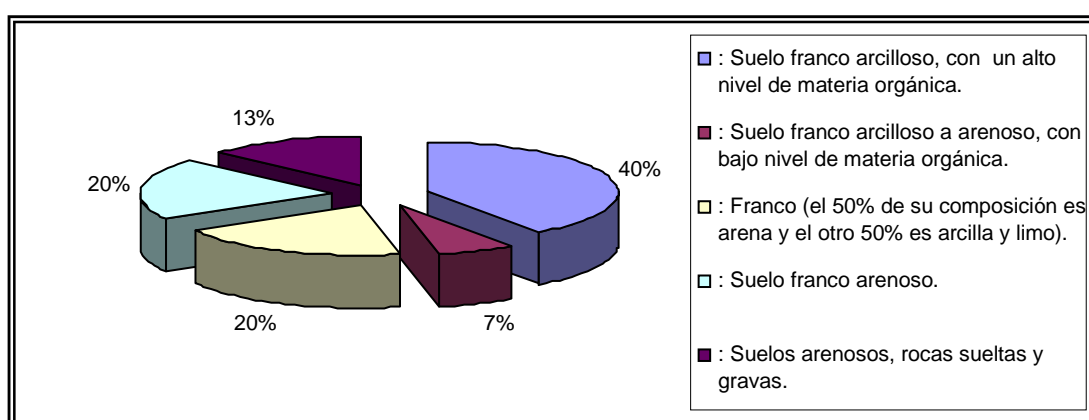


Figura nº 22: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable textura del suelo.

La figura nº 22, muestra que los valores obtenidos para la textura del suelo en los diferentes puntos, denotan una diferencia importante entre cada uno de ellos, por lo que los niveles de riesgo a la ocurrencia de un movimiento en masa, según lo que indica esta variable, es muy distinto entre un punto y otro.

Otra variable medida en laboratorio fue la densidad aparente del suelo (V6), ésta mostró que un 67% de los puntos presentaron un suelo con una densidad aparente mayor a 1 (gr/cc), pero menor o igual a 1.5 (gr/cc); un 25% presentaba valores mayores a 0.7 (gr/cc), pero menores o iguales a 1 (gr/cc); y que un 8% de los puntos presentaban una densidad aparente que se encuentra entre los 0.5 (gr/cc) y 0.75 (gr/cc).

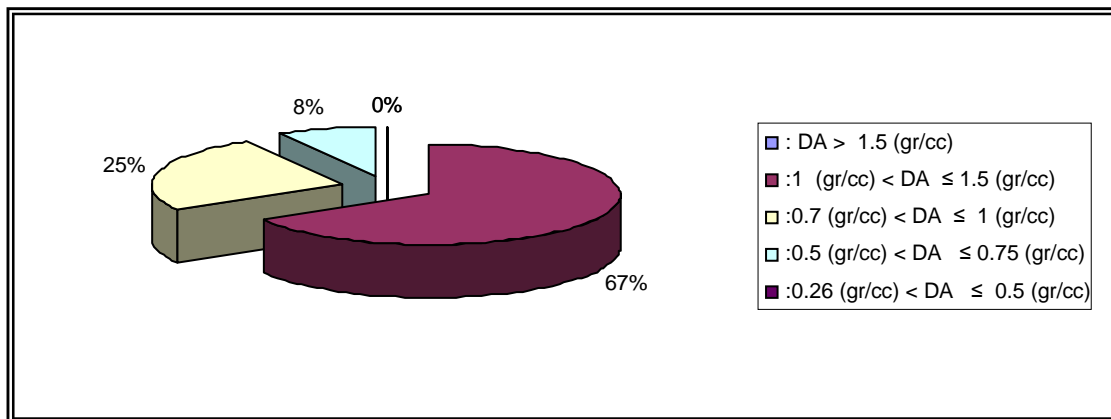


Figura nº 23: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable densidad aparente del suelo.

En la figura nº 23, se observa que esta variable no presentó valores extremos, por lo que en ningún caso se obtuvieron datos que se ubicaran en la segmentación 1 o 5 de los rangos establecidos para esta variable; esto significa que no existen puntos en los que esta variable posea valores que indiquen un bajo riesgo a sufrir un movimiento en masa, como tampoco existen valores que indiquen que el riesgo es muy alto.

6.2.2.2. Análisis de las variables estáticas obtenidas por captura de información en terreno

Una de las variables medida en terreno fue la profundidad de suelo (V3), que presentó una clara diferencia entre los valores que se obtuvieron. Ésta mostró que un 27% de los puntos presentan una profundidad mayor a los 1,5 metros, un 20% presenta una profundidad que va de 1 metro a 1,5 metros, un 33% de los puntos presenta una profundidad que se ubica entre los 0,6 metros a 1 metro; un 7% presenta una profundidad entre 0,3 metros y 0,6 metros, y también un 13% presenta un suelo con una profundidad menor a 0,3 metros.

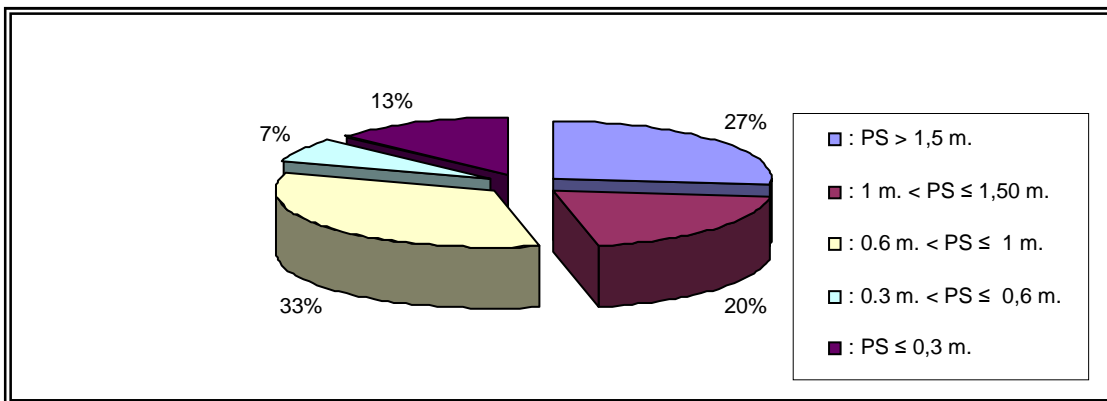


Figura nº 24: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable profundidad de suelo.

En la figura nº 24, se observa que un 80 % de los puntos presentan una profundidad de suelo mayor a los 0,6 metros, lo cual según la segmentación otorgada en este estudio a esta variable, son valores que no aumentan la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa.

La variable presencia de roca fragmentada (V5), mostró que un 39% de los puntos no presentan presencia de roca fragmentada, un 27% roca moderadamente fragmentada, un 7% presentan rocas considerablemente fragmentadas y un 27% rocas considerablemente fragmentadas (Figura 25).

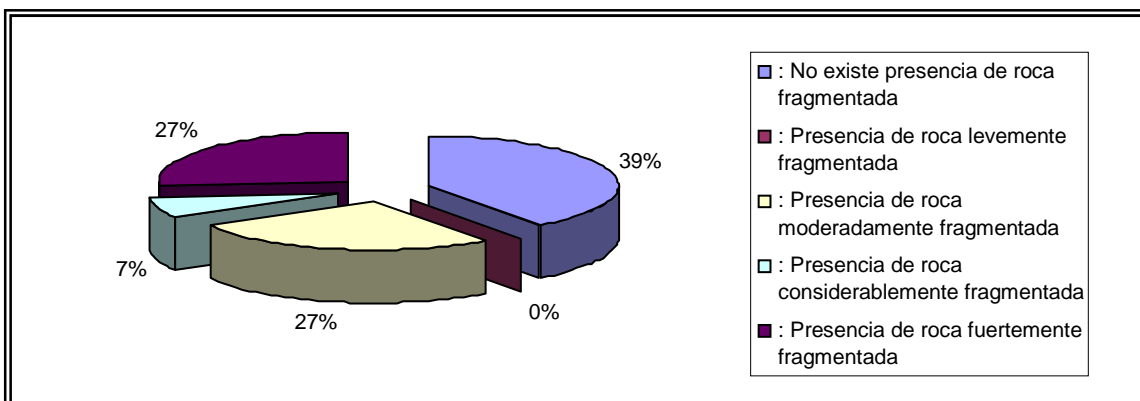


Figura nº 25: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable presencia de roca fragmentada.

Para la variable pendiente máxima (V7), se obtuvieron resultados que manifestaban que un 93% de los puntos presentaba un valor mayor a los 45°, o

sea, mayor al 100%, y en un 7% presentaban un valor que fluctuaba entre el 70% y el 100% de pendiente. Entre los puntos estudiados no se presentaban pendientes máximas menores, estableciéndose según esta variable que en la mayoría de los puntos, existe una alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

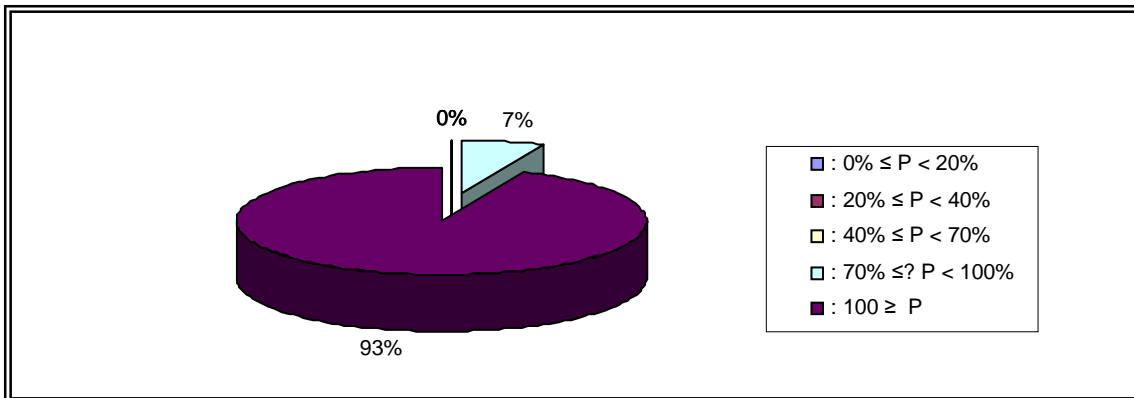


Figura nº 26: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable pendiente máxima.

Por último, la variable profundidad de raíces (V9) mostró que un 7% de los puntos presentaban individuos con una profundidad de raíz menor a los 0,3 m; que un 46% de los puntos denotaban profundidades que van desde los 0,3 m hasta los 0,59 m, que un 27% de los puntos muestra raíces que van de los 0,6 m a los 0,99 m, y que un 20% de los puntos manifiesta profundidades de raíces que van desde 1 m a 1,49 m.

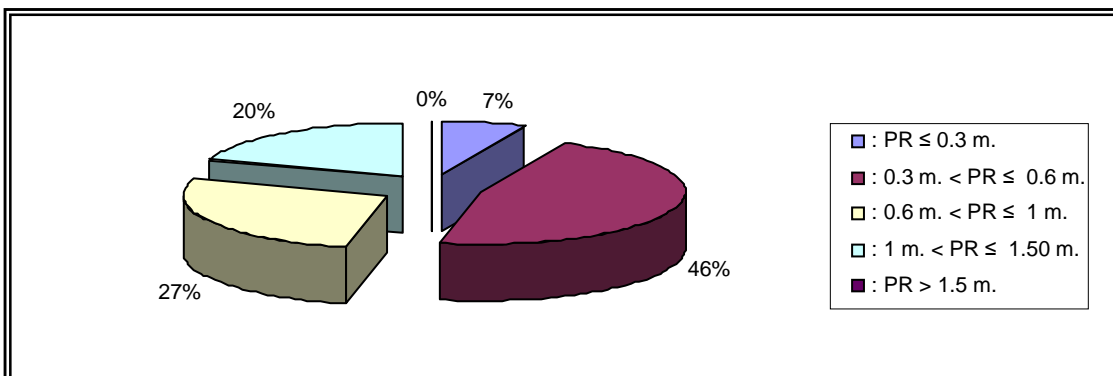


Figura nº 27: Porcentaje de los valores obtenidos para la variable profundidad de raíces.

6.3. Análisis del peso relativo otorgado a cada una de las variables

El peso relativo de cada una de las variables se realizó de acuerdo a los resultados obtenidos.

6.3.1 Análisis de las notas otorgadas por los expertos de los diferentes ámbitos

Las notas se analizaran de acuerdo al puntaje total otorgado por los expertos de los diferentes ámbitos a las diferentes variables. La información se muestra en la figura nº 28.

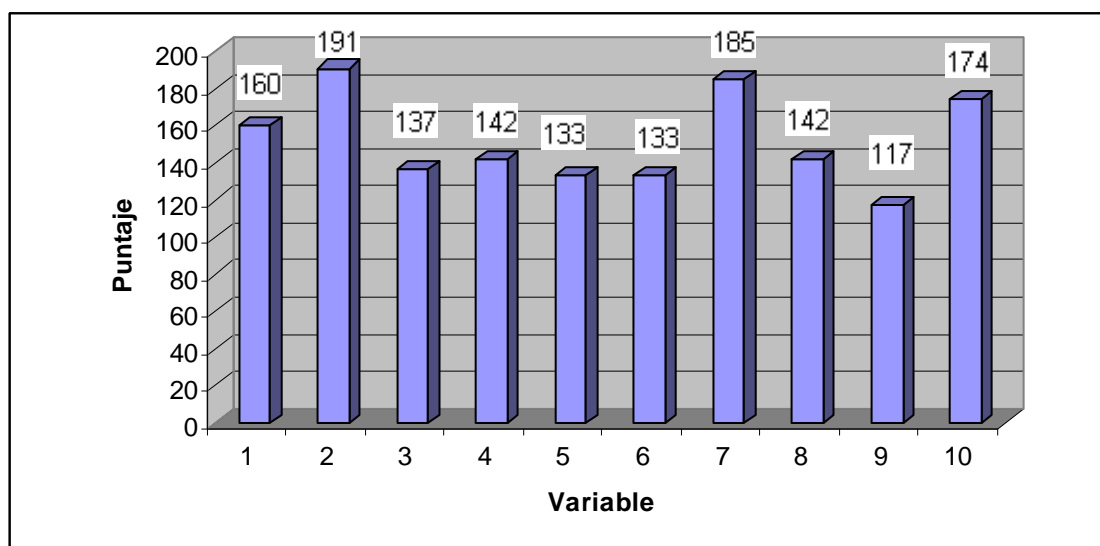


Figura nº 28: Puntaje total otorgado por los expertos a las variables pertenecientes al IRM.

La figura nº 28 muestra la tendencia que existe en las notas otorgadas por los expertos; así, se observa que la variable 2 posee el mayor puntaje otorgado, 191 puntos, lo que se traduce en que los expertos otorgan una mayor importancia a la intensidad de precipitación en 24 horas, como variable generadora del fenómeno de movimientos en masa. Además, otorgan un puntaje casi equivalente a la pendiente máxima (V7) con 185 puntos y a la acción antrópica (V10), con 174 puntos.

A las variables 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 (precipitación máxima mensual, profundidad de suelo, textura del suelo, presencia de roca fragmentada, densidad aparente, pendiente máxima, cobertura vegetal profundidad de raíces, acción antrópica), se les entregó un puntaje que se ubica entre los 117 y los 160 puntos.

6.3.2. Análisis del peso relativo obtenido para cada una de las variables pertenecientes al IRM.

Los pesos relativos se analizan de acuerdo a la información que muestra la figura nº 29.

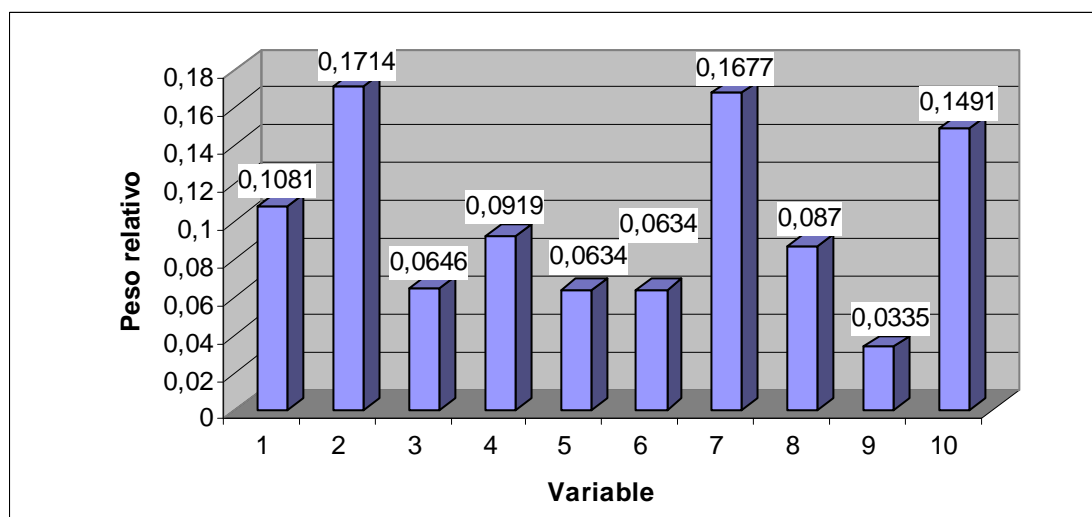


Figura nº 29: Pesos relativos otorgados a cada una de las variables pertenecientes al IRM.

La figura nº 29 ratifica la gran influencia que tienen las variables intensidad de precipitación (0,1714), pendiente máxima (0,1677) y acción antrópica (0,1491), en la ocurrencia de movimientos en masa. Esta gráfica también establece la influencia media de las variables precipitación máxima (0,1081), granulometría del suelo (0,0919), cobertura vegetal (0,087), profundidad de suelo (0,0646), presencia de roca fragmentada y densidad aparente (0,0634) y de donde se desprende que la variable con menor importancia es la profundidad de raíces (0,0335).

6.4 Análisis del indicador de riesgo de movimientos en masa determinado para cada uno de los puntos estudiados en la comuna de San Clemente.

Los Indicadores de riesgo en movimientos en masa se analizan de acuerdo a la información que muestra la figura n° 30 que se muestra a continuación.

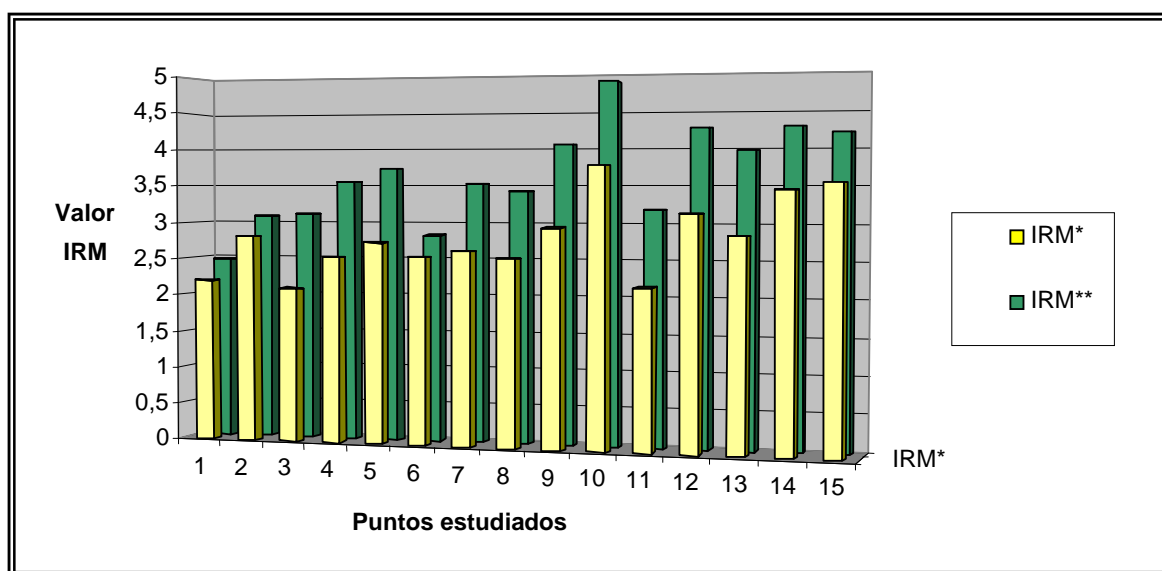


Figura n° 30 Valores del IRM de los Movimientos en Masa para cada uno de los puntos estudiados.

El Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa (IRM), manifiesta en forma cuantitativa el riesgo de movimientos en masa que puede presentar un punto determinado. La figura n° 30 muestra los valores que se obtuvieron para cada punto estudiado. De esta forma, el mayor valor que presenta el indicador, considerando tanto los valores mínimos de precipitación (IRM*), como también los máximos (IRM**), pertenece al punto 10 o CH-115 y, el menor, según el valor máximo de precipitación, lo presenta el punto 1 o Pan de Azúcar; según el valor mínimo de precipitación, el menor riesgo lo presenta el punto 3 o Bajo Perquín alto.

Los valores del IRM permiten hacer una segmentación del riesgo existente en los puntos estudiados, a sufrir un movimiento en masa, definiendo los siguientes rangos:

Cuadro n° 26: Rangos definidos para el IRM

Valor IRM	Rango
$1 \leq \text{IRM} < 2$	Riesgo bajo
$2 \leq \text{IRM} < 3$	Riego medio
$3 \leq \text{IRM} < 4$	Riesgo alto
$\text{IRM} \geq 4$	Riesgo muy alto

Al analizar punto a punto todos los sitios estudiados, se puede señalar lo siguiente:

a) El punto 1 o Pan de Azúcar, presentó un riesgo de 2,20 considerando los valores mínimos de las variables pluviométricas, el cual se puede definir como un riesgo medio, pero muy cercano a la calificación de bajo. El valor obtenido por el IRM, considerando los valores máximos de las precipitaciones, es de 2,48, el cual se ubica plenamente dentro del rango de riesgo medio. La comparación de estos valores permiten manifestar que en este punto las variables pluviométricas no presentan una relevancia importante, ya que, al comparar los resultados obtenidos por medio de los valores máximos y mínimos de precipitación, la diferencia en el valor del indicador fue 0,28, lo que posiciona a este punto como un lugar relativamente independiente de los valores pluviométricos.

b) El punto 2 o Bajo Perquín bajo, presentó un riesgo de 2,81; este valor se obtuvo considerando los valores mínimos de precipitación. Para los valores máximos de precipitación, el indicador de riesgo de movimientos en masa alcanzó un valor de 3,09. En este punto, la consideración de los valores mínimos para las variables pluviométricas posicionan a este punto dentro del rango de riesgo medio; sin embargo, la consideración de las precipitaciones máximas en el cálculo del indicador, hacen avanzar a este punto a una

desfavorable calificación de riesgo alto, aún cuando la diferencia entre estos valores no es tan alta.

En el punto 3 o Bajo Perquín, el indicador de riesgo en movimientos en masa considerando los valores mínimos de precipitación obtuvo un valor de 2,01, lo que define al riesgo existente en este punto como medio, y muy cercano a la calificación de bajo. La consideración de los valores máximos de las variables pluviométricas en el cálculo del indicador entregó un valor de 3,11, lo que deja a este punto dentro del rango de riesgo alto. La diferencia entre estos dos valores obtenidos para este punto es de 1,1; esta diferencia manifiesta que las precipitaciones que puedan presentarse en este lugar, cumplen una papel relevante en la ocurrencia de un movimiento en masa, ya que el indicador manifiesta, que si las precipitaciones y/o las intensidades de precipitaciones, presentan altos valores, el riesgo aumenta de manera importante. Por otra parte, este punto presenta una cobertura vegetal cercana al 100%, esta variable por ser dinámica puede variar su calificación rápidamente, por lo que al presentarse en este lugar una deforestación que entregara una calificación de 5 para la variable cobertura vegetal, determinaría que el IRM* presentaría un valor de 2,45 y IRM** obtendría un valor de 3,46. Por tanto, se observa que al alterarse la vegetación de este lugar, el valor del indicador varía de manera importante, aumentando el riesgo de que se genere un movimiento en masa en este lugar.

En el punto 4 o Vilches 007, se obtuvo un valor de 2,54 para el indicador considerando los valores mínimos de precipitación y un valor de 3,55 considerando los valores máximos para las variables pluviométricas, lo que manifiesta que bajas precipitaciones en este lugar posicionan a este sitio dentro de un riesgo medio de sufrir un movimiento en masa. Sin embargo, al presentarse un año con abundante precipitación, el valor del indicador aumenta alrededor de un punto obteniendo este sitio una calificación de riesgo alto.

El punto 5 o Vilches Cruce Tortillas presentó un valor para el indicador de 2,74, considerando los valores de precipitación mínimos; este valor posiciona a este punto dentro del rango de riesgo medio, según la

segmentación establecida anteriormente. Sin embargo, si se consideran los valores de precipitación e intensidades de precipitación altos, el indicador aumenta su valor considerablemente a 3,75; esto deja de manifiesto que el cambio en las precipitaciones del lugar, le entrega una movilidad importante al valor del indicador de riesgo de movimientos en masa.

El punto 6 o las Lomas, presentó un valor para el indicador considerando los valores mínimos de precipitación de 2,54 y de 2,82 considerando los valores máximos de precipitación. Este punto, independiente de la precipitación existente en el lugar, se ubica dentro del rango de riesgo medio, debido a que la diferencia en los valores obtenidos es reducida.

En el punto 7 o el Colorado Bajo, al considerar en el cálculo del indicador los valores mínimos de precipitación, se verifica un valor de 2,63 y, evaluando el riesgo con los valores máximos de precipitación, presenta un valor de 3,53; el primer resultado califica a este punto con un riesgo medio, pero por otro lado el segundo lo posiciona dentro del rango de riesgo alto. Esto deja de manifiesto que el comportamiento de las precipitaciones genera un aumento o una disminución del riesgo que presenta el lugar, a sufrir un movimiento en masa.

En el punto 8 o el Colorado alto, se obtuvieron valores para el indicador de 2,54 y 3,44, considerando los valores mínimos de precipitación y máximos de precipitación respectivamente. El primer valor posiciona a este sitio dentro del rango de riesgo medio, pero el segundo lo hace avanzar al rango de riesgo alto, lo que manifiesta que en este punto como algunos anteriores, el valor del indicador es influenciado de manera importante por el comportamiento de las precipitaciones.

En el punto 9 o Paso Nevado se obtuvo un valor de 2,95 para el indicador de riesgo de movimientos en masa, considerando los valores mínimos de precipitación que se registran históricamente en este lugar; este valor deja a esta área dentro del rango de riesgo medio, pero a sólo 0.05 puntos de entrar a la categoría de riesgo alto, y un valor para el indicador de 4,07; si se consideran los valores máximos de precipitación, este valor es

preocupante ya que deja a esta zona dentro del rango de riesgo muy alto, manifestando que ante una abundante precipitación, la probabilidad de que ocurra un movimiento en masa en este lugar está muy presente. Este punto no presenta intervención antrópica; al generarse un cambio en esta variable, se obtiene una calificación 5, y el valor del IRM* varia a 3,55, llegando a la categoría de riesgo alto, en tanto que para IRM**, el valor aumenta a 4,66, manteniéndose en la categoría de riesgo muy alto.

El punto 10 o ruta CH-115, presentó los mayores valores de este indicador, con 3,79, considerando los valores mínimos para las variables de precipitación y posicionando a este sitio de estudio, en el rango de riesgo alto y muy cercano al de muy alto. El valor que se obtuvo al considerar los valores máximos de precipitación, es de 4,9, valor que, en comparación a los obtenidos en los otros puntos, deja claro que el problema en esta área es evidente y el riesgo siempre está presente.

En el punto 11 o La Placeta, al considerar los valores mínimos de precipitación se obtuvo un valor para el indicador de riesgo de movimientos en masa de 2,17 y al considerar valores máximos de precipitación, el indicador aumentó su valor a 3,18. Las variables de precipitación también son importantes en la valoración del riesgo de este punto, ya que pueden hacerlo pasar de un riesgo medio a un riesgo alto. En este punto, al obtener la variable acción antrópica la calificación más alta, el nuevo valor que obtendría el IRM* sería 2,77 y IRM** presentaría un valor de 3,78.

En el punto 12 o Armerillo, el indicador presentó un valor de 3,15 considerando los valores mínimos de las variables pluviométricas y un valor de 4,27, considerando los valores máximos para las variables de precipitación. El primero de estos valores posiciona a este punto a la calificación de riesgo alto y el segundo a un riesgo muy alto. Esto deja claro que la zona es un área en la que se deben tomar medidas concretas para disminuir los valores de este indicador.

En el punto 13 o San Carlos, el indicador obtuvo un valor de 2,86 considerando los valores pluviométricos mínimos; este valor define a este punto con un riesgo medio. Al considerar los valores máximos de precipitación, el indicador incrementa su valor a 3,98, dejándolo en la categoría de riesgo alto y muy cerca de la calificación de riesgo muy alto.

El punto 14 o Curillinke presentó un valor para el indicador, considerando los valores mínimos de precipitación, de 3,45; si se consideran los valores máximos de precipitación, el indicador alcanza un valor de 4,28. En este punto, el primer valor para el indicador calculado lo posiciona dentro del rango de riesgo alto y, el segundo, en el de riesgo muy alto, haciendo también uno de los puntos preocupantes o con una alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

El último punto estudiado fue el 15 o El Médano; aquí el indicador presentó un valor de 3,56 considerando los valores mínimos de las variables pluviométricas y un valor de 4,21, considerando los valores máximos para las variables de precipitación. El primero de estos valores posiciona a este punto a la calificación de riesgo alto y el segundo a un riesgo muy alto. Este es uno de los puntos en los cuales se debe estudiar la manera de hacer disminuir los valores que presenta este indicador.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La metodología utilizada es muy dúctil al enfrentarla a diferentes situaciones que son difícilmente comparables, por lo que su utilización es interesante y recomendable. Sin embargo, no es posible inferir que los resultados numéricos obtenidos corresponden estrictamente al riesgo de movimientos en masa en cada uno de los puntos estudiados en la comuna de San Clemente, porque en esos valores influyen valoraciones distintas de un grupo de expertos frente a diversas variables. Por ello, se debe concluir que con respecto a los valores obtenidos, si bien son válidos, no se les debe considerar como absolutos.
- Se considera que la selección de las variables que están incorporadas en el indicador de riesgo de movimientos en masa, fue apropiada, basándose en los pesos relativos que obtuvo cada una de las variables y lo que se verifica al analizar el rango que se obtuvo entre la variable que alcanzó el mayor peso y la variable que obtuvo el menor peso, que fue de 0,14 o 14%, diferencia que aunque es relevante, no es categórica en señalar que alguna de ellas no debió ser considerada.
- Las variables más influyentes como generadoras de movimientos en masa, según este estudio, son la intensidad de precipitación, la pendiente máxima y la acción antrópica. Por otro lado las que presentaron la menor relevancia, fueron la profundidad de raíces, la presencia de rocas fragmentadas y la densidad aparente.
- Se puede concluir que según los resultados obtenidos por el indicador de riesgo de movimientos en masa, para cada uno de los puntos estudiados, son las variables pluviométricas las que inciden más fuertemente en aumentar

o disminuir el riesgo en un punto, en relación a sufrir un movimiento en masa. Por tanto, los puntos que se ubiquen en áreas donde las precipitaciones sean más abundantes e intensas, manifiestan un mayor riesgo.

- El modelo del indicador de riesgo de movimientos en masa que se obtuvo, puede ser utilizado en cualquier punto geográfico, siempre que se obtenga o se establezca la valoración de cada una de las variables pertenecientes a este modelo lineal.

- El problema de los movimientos en masa, no se encuentra controlado por la Municipalidad de San Clemente, por lo que sería un avance, el que el modelo propuesto sea considerado en los planes reguladores vigentes, donde se deben identificar las zonas de riesgo para este tipo de fenómenos. Esto puede permitir no autorizar construcciones en estos puntos, reduciendo la probabilidad de que este problema se convierta en otro aún mayor.

- Este estudio no permite predecir con un 100% de certeza un movimiento en masa, pero sí contribuye a tener una idea de los puntos que se encuentran más vulnerables frente al fenómeno, entregando a las autoridades comunales una información que puede dar tiempo para que se realicen los trabajos de ingeniería necesarios, con el fin de estabilizar un área o, simplemente, contar con la información necesaria para saber en que momento evacuar a personas en peligro.

- Finalmente, el IRM propuesto determinó que el punto de la Ruta CH-115, presenta el mayor riesgo a sufrir un movimiento en masa, mientras que el punto que presenta el menor riesgo, es Pan de Azúcar.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda a la Municipalidad de San Clemente y específicamente a sus autoridades, realizar obras de estabilización de laderas en los puntos en que se obtuvo valores altos del indicador de riesgo de movimientos en masa y evacúen las aguas excedentes hacia zonas seguras.
- En el punto ruta CH-115, se recomienda realizar una estabilización de la ladera por medio de obras de mampostería, como la que se aprecia en la siguiente figura.



Figura nº 31: Obras de mampostería en ladera de ubicada en la carretera Itata.

- También se recomienda la construcción de canales de evacuación de aguas en las laderas y de muros en las faldas de éstas, de tal manera que frenen los rodados de material generados por los movimientos en masa.



Figura nº 32: Canal de evacuación de aguas.



Figura nº 33: Muros de contención de material

- El establecimiento de vegetación es útil para disminuir la ocurrencia de los Movimientos en Masa considerando la morfología del sistema radicular que presenta la especie que se pretende establecer en la ladera. Se recomiendan especies arbustivas o con raíces superficiales; las especies con raíces

pivotantes pueden generar una segregación de los sedimentos, generando fracturas que aumentarían la generación de movimientos en masa.

- Además de las obras que se pueden realizar en la ladera, es preciso establecer sistemas de vigilancia y de alerta temprana, con el propósito de evitar principalmente pérdidas humanas, debido al fenómeno de movimientos en masa.
- Se recomienda educar a la población sobre el tema de movimientos en masa y enseñar cuáles son los efectos que puede producir su ocurrencia, con el objetivo de generar una capacidad de respuesta de parte de la comunidad, ante este tipo de desastres naturales.
- Por último, se recomienda la utilización del Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa que se obtuvo en este estudio para predecir los fenómenos de movimientos en masa, en el área correspondiente al Municipio de San Clemente, Región del Maule..

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, A. 2007. Estimación de Funciones de Distribución de Probabilidad, para Caudales Máximos, en la Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 90p.

Ashakar, F.; T.B.M.J Ouarda, R. Roy and B. Bobée. (1993). Robust estimators in hydrologic frequency analysis, in Engineering Hydrology. Edited by C.Y, pp 347-352, Am. Soc. Civ. Eng.

Ayala - Carcedo, F. 1987. Impacto Social y Económico de los Riesgos Naturales en España. (en línea). España. Instituto Geológico y Minero de España. Consultado 28 jun. 2006. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org/ceise/cd19872003/doc/b5/Vulnerabilidad/J.TecnicasS1-4.pdf>

Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I.; Wisner, B. 1996. Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres. (en línea). Primera edición. Colombia. Consultado 21 ago. 2007. Disponible en: http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf

Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística: Aplicaciones y Metodos. Editorial McGraw-Hill Interamericana de Mexico S.A. 651 P.

Cardona O. 1993. Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo: Elementos para el ordenamiento y la planificación del desarrollo. (en línea). Bogota, Colombia. Consultado 12 abr. 2007. Disponible en: <http://www.ifeanet.org/biblioteca/fiche.php?codigo=HUM00013538>

Chardon; A., Gonzalez; J. 2002. Indicadores para la Gestión de Riesgos. (en línea). Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad de Colombia. Consultado el 28 de jun. 2006. Disponible en: <http://idea.manizales.unal.edu.co/>

ProyectosEspeciales/adminIDEA/CentroDocumentacion/DocDigitales/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf

Dehays, J. 2002. Fenómenos naturales, concentración urbana y desastres en América Latina. (en línea). Perfiles latinoamericanos N° 20: 177 - 206. Consultado 20 jun. 2007. Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?tipo_busqueda=CODIGO&clave_revista=8034

Disley, M.; Chen, R.; Deichmann, U.; Lerner, A.; Arnold, M. 2007. Natural Disaster Hotspots: A global Risk Analysis. (en línea). Estados Unidos. Consultado 25 set. 2007. Disponible en: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/business/newsid_4407000/4407525.stm

Duque, G. 2006. Riesgo en Zonas de Montaña por Laderas Inestables y Amenaza Volcánica. (en línea). Manizales, Colombia. Consultado el 20 ago. 2007. Disponible en: <http://www.geocities.com/gonzaloduquee/amenaza.htm>

Esmali, A. 2006. Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation - A case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran . (En línea). Karaj, Irán. Consultado 12 Dic. 2007. Disponible en: http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/ma03004.htm&sa=X&oi=translate&resnum=10&ct=result&prev=/search%3Fq%3Dstudies%2Bof%2Bmovements%2Bin%2Bmass%26start%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN

García – Ruiz, J.; Chueca, J.; Julián, A. 2004. Los Movimientos en Masa del Alto Gállego. (en línea). España. Consultado 20 set. 2007. Disponible en: <http://age.ieg.csic.es/fisica/XIXJornadas/Documentos/013.pdf>

Gómez, D. 1994. Evaluación de Impacto Ambiental. España. Editorial Agrícola Española S.A. 220 pp.

Jiménez, A. 2006 Evaluación del Riesgo para la Reducción de Desastres. Asunción, Paraguay. Consultado 15 jun. 2007. Disponible en <http://unfccc.int>

López, F. 1994. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. 901 p.

Martínez, J. 1998. Litología, Aprovechamiento de Rocas Industriales y Riesgo de Deslizamiento en la Comunidad Valenciana. (en línea). Valencia, España. Consultado 24 may. 2007. Disponible en (Serie n°5).

Maskrey A. 1989. El manejo popular de los desastres naturales: Estudios de vulnerabilidad y mitigación. (en línea). Lima, Perú. Tecnología Intermedia, ITDG. Consultado 12 abr. 2007. Disponible en: <http://www.ifeanet.org/biblioteca/fiche.php?codigo=HUM00002518>

Meyer, P.; Ferrando, F. 2005. Manual sobre Movimientos en Masa. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 26 p.

Ministerio de Agricultura. 2003. Documento Técnico N° 6: Metodología para la determinación de Áreas de Riesgo. Chile. Consultado 19 jun. 2007. Disponible en: http://www.minagri.gob.cl/auditoria/pdf/doc_tec_6.pdf

Mansilla, E. 2000. Riesgo y Ciudad. (en línea). México. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Consultado 26 jun. 2006. Disponible en: <http://www.desenredado.org/public/libros/2000/ryc/RiesgoYCiudad-1.0.1.pdf>

Pizarro, R.; Novoa, P. 1986. Elementos Técnicos de Hidrológica I. Instructivos técnicos. La Serena, Chile. Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura. 57 p.

Pizarro, R.; Hernández, I.; Muñoz, J.; Torres, H. 1998. Elementos Técnicos de Hidrológica III. Universidad de Talca, UNESCO-ORCYT. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile. 136 p.

Pizarro, R.; Valdés, C. 2001. Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en los municipios de la región del Maule, Chile, y una propuesta de

actuación. Talca. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 135 p.
Serie estudiantil N° 2.

PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos).
2004. (en línea). New York. Consultado 16 oct. 2006. Disponible en
http://www.undp.org/bcpr/disred/documents/publications/rdr/espanol/rdr_esp.pdf

Salles, C. 2000. Statistical and Physical Analysis of Soil Detachment by
Raindrop Impact: Rain Erosivity Indices and Threshold Energy. (En línea).
Bélgica. Consultado el 19 Dic. 2007. Disponible en: <http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.agu.org/pubs/crossref/2000/2000WR900024.shtml&sa=X&oi=translate&resnum=4&ct=result&prev=/search%3Fq%3Dstudies%2Bof%2Bdetachments%2Bof%2Bsoil%26start%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN>

Varas, E.; P. 1998. Hidrología probabilística. Santiago. Editorial Universidad
Católica de Chile. 156 p.

APÉNDICES

Apéndice N° 1

“Cuestionario para la valoración de variables para la construcción de un Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa, en la comuna de San Clemente, VII Región del Maule”.

Nombre de la Institución:

Nombre del Experto:

La Encuesta tiene por objetivo, valorizar con nota de 1 a 10 (sin decimales) distintas variables que incidan en la ocurrencia del fenómeno de Movimientos en Masa. Se otorgará nota 10 a la variable que a su criterio incida totalmente en la ocurrencia de Movimientos en Masa; nota 9 a las variables que tengan menor influencia que la anterior; nota 8 a las variables que incidan menos que las dos anteriores y así sucesivamente, hasta otorgar nota 1 a la variable que no tenga influencia alguna en la ocurrencia de Movimientos en Masa.

Atendiendo a lo anterior, se le solicita colocar notas a las siguientes variables:

Variable Definida	Nota (1 a 10)
1. Precipitación Máxima Mensual: Caída máxima de partículas líquidas o sólidas de agua, en una determinada superficie en el transcurso de un mes. Por medio de esta variable se busca establecer una relación con el contenido de humedad del suelo. Medición registrada en milímetros.	
2. Intensidad de Precipitación: Caída máxima de partículas líquidas o sólidas de agua, medida en milímetros en 24 horas. Por medio de esta variable se pretende conocer la concentración de las precipitaciones y la agresividad climática que presentan en una determinada zona.	
3. Profundidad de suelo: Profundidad del suelo de la zona, medida hasta la roca madre, considerando un suelo residual (in situ), es decir, no movilizado.	
4. Textura del suelo: Cantidad o proporción relativa de los diferentes tipos o clases de tamaño de las partículas que constituyen el suelo.	
5. Presencia de Roca fragmentada: Formaciones de rocas fragmentadas en capas muy delgadas, que presentan alternancia de capas fuertes y débiles o permeables e impermeables.	
6. Densidad Aparente del Suelo: Peso de una unidad de volumen de partículas sólidas de suelo, expresado en gramos por centímetro cúbico.	
7. Pendiente Máxima: Se define como la inclinación de una superficie con respecto a la horizontal. Suele definirse como un ángulo o como un porcentaje.	
8. Cobertura Vegetal: Identificación del porcentaje arbóreo, arbustivo y herbáceo que cubre una superficie determinada.	
9. Profundidad de Raíces: Identificación del tipo de raíces que	

presentan los individuos arbóreos y arbustivos presentes en una superficie determinada, considerando que la profundidad de raíces, debe ser menor que la profundidad del suelo en que éstas se encuentran.	
10. Actividad Humana: Intervención del hombre en la estructura de las laderas ejemplificadas en actividades agrícolas, roce forestal, movimientos de tierra, obras civiles, etc., acciones que en general alteran la geodinámica del sector.	

Observaciones:

Apéndice N° 2

Desarrollo realizado para la obtención del peso relativo de cada una de las variables.

1. Los 21 expertos que participaron en esta evaluación colocaron notas de 1 a 10 (sin decimales) a cada una de las 10 variables que están participando.

Cuadro N° 1 .- Notas otorgadas por los distintos expertos a las variables.

Variable (i)	Experto (j)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	9	10	8	5	8	9	7	8	10	3	9	8	8	8	8	4	10	7	6	6	9
2	10	9	10	10	10	8	10	9	8	9	8	7	10	10	10	10	10	10	8	6	9
3	8	2	5	9	6	9	9	9	3	6	4	7	9	9	5	2	8	8	6	5	8
4	7	4	6	7	4	9	9	9	5	8	5	8	9	10	10	3	6	4	5	9	5
5	7	3	6	1	7	7	8	8	7	6	7	8	7	7	4	5	7	5	9	6	8
6	8	5	7	9	3	9	8	8	3	7	3	8	8	8	5	7	7	3	4	5	8
7	9	8	9	10	9	9	9	9	10	10	7	9	9	10	8	8	10	9	7	7	9
8	9	7	10	8	2	9	9	9	3	5	4	7	10	9	8	6	8	1	4	5	9
9	8	6	5	6	1	8	9	9	4	7	4	7	7	7	5	1	7	2	4	5	5
10	10	1	10	9	5	9	10	9	8	9	9	9	9	9	9	9	8	6	8	9	9

2. Se comparó cada una de las variables, considerando cuántas veces es mejor que las restantes según cada experto y se incorporó como frecuencia

Cuadro Nº 2.- Frecuencias correspondientes a las notas de los expertos.

Variable (i)	Experto (j)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	5	9	5	1	7	3	0	0	8	0	8	4	2	2	4	3	7	6	4	4	5
2	9	8	7	8	9	1	8	3	6	7	7	0	8	8	8	9	7	9	7	4	5
3	2	1	0	5	5	3	3	3	0	2	1	0	4	4	1	1	4	7	4	0	2
4	0	3	2	3	3	3	3	3	4	6	4	4	4	8	8	2	0	3	3	8	0
5	0	2	2	0	6	0	1	0	5	2	5	4	0	0	0	4	1	4	9	4	2
6	2	4	4	5	2	9	1	0	0	4	0	4	2	2	1	6	1	2	0	0	2
7	5	7	6	8	8	9	3	3	8	9	5	8	4	8	4	7	7	8	6	7	5
8	5	6	7	4	1	9	3	3	0	1	1	0	8	4	4	5	4	0	0	0	5
9	2	5	0	2	0	1	3	3	3	4	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
10	9	0	7	5	4	3	8	3	6	7	8	8	4	4	7	8	4	5	7	8	5

3. Se dividió cada una de las frecuencias por la cantidad total de juicios (210) y se obtuvo el peso relativo de la variable “i” otorgado por el juez “j”.

Cuadro Nº 3 .- Pesos relativos de la variable “i”, otorgada por el juez “j”.

Variable (i)	Experto (j)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,0238	0,0429	0,0238	0,0048	0,0333	0,0143	0	0	0,0381	0	0,0381	0,019	0,0095	0,0095	0,019	0,0143	0,0333	0,0286	0,019	0,019	0,0238
2	0,0429	0,0381	0,0333	0,0381	0,0429	0,0048	0,0381	0,0143	0,0286	0,0333	0,0333	0	0,0381	0,0381	0,0381	0,0429	0,0333	0,0429	0,0333	0,019	0,0238
3	0,0095	0,0048	0	0,0238	0,0238	0,0143	0,0143	0,0143	0	0,0095	0,0048	0	0,019	0,019	0,0048	0,0048	0,019	0,0333	0,019	0	0,0095
4	0	0,0143	0,0095	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,0143	0,019	0,0286	0,019	0,019	0,019	0,0381	0,0381	0,0095	0	0,0143	0,0143	0,0381	0
5	0	0,0095	0,0095	0	0,0286	0	0,0048	0	0,0238	0,0095	0,0238	0,019	0	0	0	0,019	0,0048	0,019	0,0429	0,019	0,0095
6	0,0095	0,019	0,019	0,0238	0,0095	0,0429	0,0048	0	0	0,019	0	0,019	0,0095	0,0095	0,0048	0,0286	0,0048	0,0095	0	0	0,0095
7	0,0238	0,0333	0,0286	0,0381	0,0381	0,0429	0,0143	0,0143	0,0381	0,0429	0,0238	0,0381	0,019	0,0381	0,019	0,0333	0,0333	0,0381	0,0286	0,0333	0,0238
8	0,0238	0,0286	0,0333	0,019	0,0048	0,0429	0,0143	0,0143	0	0,0048	0,0048	0	0,0381	0,019	0,019	0,0238	0,019	0	0	0	0,0238
9	0,0095	0,0238	0	0,0095	0	0,0048	0,0143	0,0143	0,0143	0,019	0,0048	0	0	0	0,0048	0	0,0048	0,0048	0	0	0
10	0,0429	0	0,0333	0,0238	0,019	0,0143	0,0381	0,0143	0,0286	0,0333	0,0381	0,0381	0,019	0,019	0,0333	0,0381	0,019	0,0238	0,0333	0,0381	0,0238

4. Se sumaron todos los pesos relativos de las variables "i" otorgadas por los jueces "j" y se obtuvo un peso relativo para cada variable. Además, se obtuvo la sumatoria de los pesos.

Cuadro N° 4 .- Pesos relativos para cada una de las variables (i)

Variable (i)	Peso Relativo de cada V(i)
1	0.4143
2	0.6571
3	0.2476
4	0.3524
5	0.2429
6	0.2429
7	0.6429
8	0.3333
9	0.1286
10	0.5714
Σ de los pesos	3.8333

5. El peso relativo total para cada una de las variables, se obtiene de la división del peso de cada variable por la sumatoria de los pesos de las variables.

Cuadro N° 5.- Peso Relativo Total perteneciente a cada una de las variables.

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
Pesos Relativos	0,1081	0,1714	0,0646	0,0919	0,0634	0,0634	0,1677	0,087	0,0335	0,1491	1

Apéndice N° 3

Desarrollo realizado para la obtención del indicador de riesgo de Movimientos en Masa

La formula para obtener el Indicador de Riesgo de Movimientos en Masa se observa en el cuadro

Formula del Indicador de Movimientos en Masa.

$$IRM = V1*W1 + V2*W2 + V3*W3 + V4*W4 + V5*W5 + V6*W6 + V7*W7 + V8*W8 + V9*W9 + V10*W10$$

Donde:

IRM : Indicador de riesgo en movimientos en masa para un punto cualquiera.

V(i) : Variable o elemento (i) utilizada para evaluar , donde $i = 1,2,\dots,n$.

W(i) : Peso o ponderación asignada a cada variable (i) a partir de la opinión de expertos, donde $i = 1,2,\dots,n$.

i) Pan de Azúcar (Punto 1)

$$IRM^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{2,1978}$$

$$IRM^{**} = 2 * 0.1081 + 2 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{2,4773}$$

ii) Bajo Perquín Bajo (Punto 2)

$$IRM^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 4 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{2,809}$$

$$IRM^{**} = 2 * 0.1081 + 2 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 4 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{3,0885}$$

iii) Bajo Perquín Alto (Punto 3)

$$IRM^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 3 * 0.1491 = \mathbf{2,0995}$$

$$\text{IRM}^{**} = 4 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 3 * 0.1491 = \mathbf{3,1094}$$

iv) Vilches 007 (Punto 4)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 3 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 3 * 0.1491 = \mathbf{2,5381}$$

$$\text{IRM}^{**} = 4 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 3 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 3 * 0.1491 = \mathbf{3,548}$$

v) Vilches Cruce Tortillas (Punto 5)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 3 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{2,7368}$$

$$\text{IRM}^{**} = 4 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 3 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 1 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{3,7467}$$

vi) Las Lomas (Punto 6)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 2 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 2 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{2,5431}$$

$$\text{IRM}^{**} = 2 * 0.1081 + 2 * 0.1714 + 1 * 0.0646 + 2 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 2 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{2,8226}$$

vii) El Colorado Bajo (Punto 7)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{2,6277}$$

$$\text{IRM}^{**} = 3 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{3,5295}$$

viii) El Colorado Alto (Punto 8)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 4 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{2,5407}$$

$$\text{IRM}^{**} = 3 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 2 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 1 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 4 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{3,4425}$$

ix) Paso Nevado (Punto 9)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 5 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{2,9494}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 5 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{4,0674}$$

x) Ruta CH - 115 (Punto 10)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 5 * 0.0646 + 5 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{3,782}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 5 * 0.0646 + 5 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{4,9}$$

xi) La Placeta (Punto 11)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 4 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 1 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{2,1706}$$

$$\text{IRM}^{**} = 4 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 4 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 1 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{3,1805}$$

xii) Armerillo (Punto 12)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 4 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 4 * 0.0634 + 4 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{3,1507}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 4 * 0.0646 + 3 * 0.0919 + 4 * 0.0634 + 4 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{4,2687}$$

xiii) San Carlos (Punto 13)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{2,8612}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 1 * 0.0919 + 3 * 0.0634 + 2 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 3 * 0.087 + 4 * 0.0335 + 1 * 0.1491 = \mathbf{3,9792}$$

xiv) Curillinque (Punto 14)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{3,4526}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 3 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 3 * 0.0335 + 4 * 0.1491 = \mathbf{4,2838}$$

xiv) El Médano (Punto 15)

$$\text{IRM}^* = 1 * 0.1081 + 1 * 0.1714 + 5 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{3,5633}$$

$$\text{IRM}^{**} = 5 * 0.1081 + 5 * 0.1714 + 5 * 0.0646 + 4 * 0.0919 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.0634 + 5 * 0.1677 + 5 * 0.087 + 2 * 0.0335 + 5 * 0.1491 = \mathbf{4,2116}$$

Apéndice N° 4

Precipitaciones Máximas Mensuales

En las siguientes tres tablas se muestran las precipitaciones máximas mensuales de las 5 estaciones seleccionadas. La información base fue extraída de estaciones pluviométricas ubicadas en la comuna de San Clemente.

Cuadro N° 6.- Precipitación máxima mensual de la estación Armerillo (mm).

Armerillo			
AÑO	Pp	AÑO	Pp
1917	632,9	1971	661
1918	727,3	1972	1088
1920	828,6	1973	677,5
1930	1354,7	1974	1161,5
1931	717,4	1975	1038
1932	930,1	1976	547
1933	862,7	1977	1125,5
1934	1566,5	1978	1377,5
1935	644,4	1979	1046
1936	783,8	1980	859,7
1937	791,7	1981	1145,7
1938	548,3	1982	981
1939	741,5	1983	497,9
1940	968,4	1984	1104,7
1941	1216,2	1985	472,1
1942	657,1	1986	966
1943	729,4	1987	1241
1948	1113,2	1988	606,5
1949	990	1989	399,5
1950	685	1990	378,6
1951	1135	1991	1091,2
1952	627	1992	951,5
1953	806	1993	700,9
1954	640	1994	427,9
1955	715	1995	677,8
1956	897	1996	413
1957	548	1997	1034,2
1958	820	1998	205,5
1964	288,1	1999	511
1965	847,4	2000	1373
1966	1115,3	2001	973
1967	391,3	2002	883,4
1968	129	2003	497,5
1969	896,6	2004	377,5
1970	717		

Cuadro N° 7.- Precipitación máxima mensual de las estaciones Colorado y Huapi (mm).

Colorado		Huapi	
AÑO	Pp	AÑO	Pp
1964	246,5	1969	268,5
1965	603,7	1970	324
1966	599,3	1971	300,5
1967	245,7	1972	474,5
1969	385,0	1973	286
1970	425,1	1974	434
1971	372,6	1975	358,5
1972	803,1	1976	187,5
1973	363,2	1977	415,5
1974	581,3	1978	568,5
1975	503,6	1979	284,5
1976	278,6	1980	354
1977	585,3	1981	427,5
1978	766,0	1982	420
1979	404,9	1983	206,5
1980	462,0	1984	469
1981	654,5	1985	215
1982	594,5	1986	427,5
1983	288,0	1987	560,5
1984	703,5	1988	218,5
1985	322,2	1989	168,5
1986	496,4	1990	196
1987	715,5	1991	357,5
1988	436,5	1992	327,5
1989	290,0	1993	197
1990	256,0	1994	273
1991	447,9	1995	296,5
1992	608,5	1996	200
1993	331,2	1997	423,5
1994	415,8	1998	77
1995	490,5	1999	231,1
1996	225,5	2000	613
1997	595,5	2001	455,5
1998	118,0	2002	358
1999	351,0	2003	214
2000	823,3		
2001	640,0		
2002	491,0		
2003	266,5		
2004	352,0		

Cuadro Nº 8.- Precipitación máxima mensual de las estaciones Vilches y El Durazno (mm)

Vilches		Durazno	
AÑO	Pp	AÑO	Pp
1993	645,1	1993	251,4
1994	554,7	1994	194,3
1995	531,7	1995	245,0
1996	332,3	1996	176,0
1997	733,3	1997	380,5
1998	214,1	1998	83,5
1999	495,7	1999	229,8
2000	1162,5	2000	442,3
2001	818,5	2001	482,3
2002	774,0	2002	321,2
2003	373,5	2003	172,2
2004	432,3	2004	185,2

Apéndice Nº 5**Precipitaciones Máximas en 24 horas**

En las siguientes tres tablas se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas de las 5 estaciones seleccionadas. La información base fue extraída de estaciones pluviométricas de la VII región.

Cuadro Nº 9.- Precipitación máxima en 24 horas de la estación Armerillo (mm)

Armerillo									
AÑO	Pp	AÑO	Pp	AÑO	Pp	AÑO	Pp	AÑO	Pp
1916	162,4	1939	183,4	1956	155	1977	211,5	1993	104
1917	154,6	1940	205,1	1957	158	1978	156	1994	156
1918	225,9	1941	248,7	1958	237	1979	228	1995	161,4
1919	216,2	1942	192,9	1964	103,5	1980	234,5	1996	120
1920	174,7	1943	270	1965	192,5	1981	188,5	1997	280
1921	372,8	1944	57,1	1966	151,5	1982	150	1998	147
1929	86	1946	0	1967	131	1983	196	1999	119
1930	273,6	1947	0	1968	60,5	1984	225,5	2000	204
1931	146,1	1948	198,2	1969	241	1985	152	2001	241
1932	190,4	1949	85	1970	143,5	1986	263,5	2002	183,6
1933	176,9	1950	105	1971	159,5	1987	202	2003	119
1934	251,5	1951	334	1972	312	1988	145	2004	225
1935	123,5	1952	290	1973	164,5	1989	144	2005	246,5
1936	226,7	1953	160	1974	229	1990	115,9	2006	217
1937	169,1	1954	100	1975	282	1991	256	2007	118
1938	212,2	1955	104	1976	200	1992	210		

Cuadro N° 10.- Precipitación máxima en 24 horas de las estaciones Colorado y Huapi (mm)

Colorado		Huapi	
AÑO	Pp	Pp	AÑO
1963	99	1969	67,5
1964	58	1970	76
1965	152	1971	79,5
1966	122	1972	156
1967	62,5	1973	58
1968	54,5	1974	119
1969	107	1975	78
1970	106	1976	70
1971	93	1977	57,5
1972	219,5	1978	81
1973	77,3	1979	54
1974	123,3	1980	122
1975	106,7	1981	70,5
1976	112,8	1982	105,5
1977	80,1	1983	55
1978	101,5	1984	72
1979	87,2	1985	62
1980	139	1986	146
1981	93,5	1987	116
1982	125	1988	103
1983	107	1989	60
1984	131	1990	60
1985	103,5	1991	70
1986	124	1992	110
1987	121	1993	58
1988	129	1994	48
1989	105	1995	62
1990	106	1996	72
1991	98,5	1997	90
1992	116	1998	39
1993	78	1999	57
1994	95	2000	78,7
1995	110	2001	96
1996	59	2002	95
1997	122	2003	87
1998	100	2004	106
1999	88	2005	72
2000	98	2006	97
2001	134	2007	42
2002	122		
2003	65		
2004	174,4		
2005	93		
2006	116,5		
2007	87		

Cuadro N° 11.- Precipitación máxima en 24 horas de las estaciones Vilches y El Durazno (mm)

Vilches		Durazno	
AÑO	Pp	AÑO	Pp
1992	60,3	1992	52
1993	154,8	1993	48
1994	143,5	1994	83,5
1995	125,2	1995	53
1996	156,1	1996	52,5
1997	135,5	1997	99,5
1998	171,3	1998	65
1999	112,5	1999	65,5
2000	150,5	2000	69
2001	140,5	2001	91
2002	178,5	2002	100
2003	94,5	2003	75
2004	303,5	2004	72,5
2005	109,3	2005	71
2006	142,5	2006	80
2007	52	2007	52

ANEXOS

Anexo N° 1

Personas de los diferentes sectores que proporcionaron información de las diferentes variables

1. Ernesto Miranda (Pan de Azúcar)
2. Casimiro Chávez (Bajo perquín bajo)
3. Aída Ramírez (Bajo Perquín alto)
4. Javier Henríquez (Vilches 007)
5. Gladis Muñoz (Vilches Cruce Tortillas)
6. Gastón Faundez (Las Lomas)
7. Manuel Cabrera (El Colorado bajo)
8. José Iturra (El Colorado alto)
9. Teresa Navas (Paso Nevado)
10. Carlos Pineda (Ruta CH-115)
11. Sergio González (La Placeta)
12. Andrés Akebek (Armerillo)
13. Julia Salas (San Carlos)
14. Susana Medina (Curillinque)
15. Manuel Cancino (El Médano)