



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y AMBIENTAL**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO**  
**SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS**  
**CUENCAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA Y DE LA**  
**CORDILLERA DE LOS ANDES,**  
**VII REGIÓN DEL MAULE.**



**PABLO ANDRÉS GONZÁLEZ CARO**

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

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

**TALCA – CHILE**  
**2002**

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

El alumno Sr. Pablo Andrés González Caro, ha realizado la memoria titulada **“ANÁLISIS COMPARATIVO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES Y DE LA CORDILLERA DE LA COSTA, VII REGIÓN DEL MAULE”**, como uno de los requisitos para optar al título profesional de Ingeniero Forestal, con el Sr. Roberto Pizarro Tapia, como profesor guía.

La comisión de evaluación, constituida por los profesores Sra. Ursula Doll y Sr. Roberto Pizarro Tapia, calificó con nota promedio de 7,0 (siete).

**TALCA, CHILE  
2002**

**CRISTIÁN LÓPEZ MONTECINOS  
Director Esc. Ingeniería Forestal**

**MEMORIA APOYADA  
POR EL PROGRAMA DE FINANCIAMIENTO DE MEMORIAS  
DEL GOBIERNO REGIONAL DEL MAULE  
Y LA UNIVERSIDAD DE TALCA.**

## DEDICATORIA.

*A mis padres*

*Elisa y Héctor, por su infinito amor.*

*A mis hermanos Verónica y Leonardo.*

*A mis sobrinos Andrea e Ignacio.*

*A mi gran familia.*

## AGRADECIMIENTOS

Reciban mis sinceros agradecimientos todas aquellas personas e instituciones que abrieron sus puertas, de manera desinteresada, aportando su tiempo, apoyo y conocimientos en aras de la realización de esta memoria. Muy especialmente a :

El Programa de Financiamiento de Memorias del Gobierno Regional del Maule y la Universidad de Talca.

El profesor Guía de esta Memoria Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia, por ser un verdadero guía y colaborador, por su dedicación y valiosos consejos entregados.

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), VII Región por haber facilitado la información necesaria para la realización de este estudio.

Los señores Carlos Sepúlveda y Yhonny Hormazábal, por su buena disposición y colaboración en parte del desarrollo de este estudio, la aplicación de SIG.

Agradecer finalmente a la persona que caminó junto a mi en esta dura tarea, por darme las fuerzas y el apoyo para seguir hasta el final, mi *reina maravillosa* ... y a todos esos *duendecillos especiales* que la acompañan .

*Andrés.*

## RESUMEN.

La presente memoria pretende establecer un marco comparativo entre cuencas en relación a su morfología, la cual queda definida por su forma, relieve y red de drenaje. Asimismo, intenta proponer nuevos índices que permitan discriminar entre las cuencas a estudiar.

La investigación se llevó a cabo en un total de 10 cuencas hidrográficas, la mitad perteneciente a la cordillera de la Costa y la otra mitad insertada en la cordillera de los Andes, VII Región de Chile.

En primer lugar, se delimitaron las unidades hidrográficas digitalmente y, a continuación, se obtuvo la información base, es decir, área y perímetro de la cuenca, longitud de los cursos de agua (curso principal y sumatoria de los cursos tributarios), longitud de las curvas de nivel y el área comprendida entre ellas. A partir de esta información se determinaron los parámetros de forma, de relieve y de red hidrográfica más utilizados. De los parámetros propuestos se establecieron tres nuevos índices: el coeficiente de Pizarro ( $C_p$ ), el coeficiente de González ( $F_G$ ), y el coeficiente de Pizarro-González ( $V_m$ ). Los resultados se analizaron por medio de gráficos y métodos analíticos.

Finalmente, los resultados permitieron deducir que tanto en la forma como en la red de drenaje, las cuencas de ambas cordilleras no presentaron grandes diferencias. Donde sí existieron diferencias considerables fue en los parámetros de relieve, por cuanto los valores de las cuencas de la cordillera de los Andes superaron, y en algunos casos ampliamente, a los resultados obtenidos en las cuencas de la cordillera de la Costa.

## SUMMARY.

This study is directed to establishing a comparative setting for the measurement of the physical characteristics of drainage basins as defined by the drainage system of the basin, topography and form. Furthermore it proposes new indices for discriminating among the basins in study.

The investigation was carried out in a total of ten drainage basins, half belonging to the Coastal Mountains and the other half located in the Andes Mountains, in the VII Region of Chile.

First, drainage basins were delineated digitally, and then, the base information was obtained: perimeter and surface area of the basin, length of the waterways (main river and the additional tributary rivers), length of the level curves and the surface area between them. After that the main parameters of the drainage system, topography and form of drainage basins were determined from the base information. Following this, as well three new indices were established: coefficient of Pizarro, coefficient of Gonzalez, and coefficient of Pizarro-Gonzalez. The results were analyzed through graphic and analytic methods.

Finally the results showed that in form as in the drainage system the watershed of both mountain ranges did not indicate great differences. However, with respect to the topographical parameters considerable differences existed. The values of the Andes range surpassed, and in some cases greatly surpassed, those of the Coastal Mountains.

**ÍNDICE.**

<b>CAPÍTULO</b>	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. Descripción de los objetivos .....	3
2.1.1. Objetivo General .....	3
2.2.2. Objetivos Específicos .....	3
<b>3. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	4
3.1. Situación y superficie .....	4
3.2. Clima .....	4
3.3. Hidrografía .....	5
3.4. Unidades de Relieve de la VII Región .....	6
3.4.1. Cordillera de los Andes .....	7
3.4.2. Cordillera de la Costa .....	7
3.5. Actividad Económica .....	9



<b>CAPÍTULO</b>	<b>Página</b>
<b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
4.1. Concepto de Cuenca .....	10
4.2. Características de una cuenca .....	11
4.2.1. Elementos de las cuencas .....	12
4.2.2. Trazado de una cuenca .....	13
4.2.3. Características físicas de las cuencas .....	13
4.2.4. Subdivisiones de la cuenca hidrográfica .....	14
4.2.5. Otras clasificaciones .....	14
4.3. Morfología de cuencas .....	15
4.3.1. Parámetros de forma .....	16
4.3.2. Parámetros de relieve .....	22
4.3.3. Parámetros de red hidrográfica.....	27
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	31
5.1. Fases de Trabajo .....	31
5.1.1. Revisión bibliográfica .....	31
5.1.2. Selección de las unidades hidrográficas .....	32

<b>CAPÍTULO</b>	<b>Página</b>
5.1.3. Digitalización de las unidades en estudio.....	32
5.1.3.1. Corrección de límites .....	33
5.1.3.2. Interpolación de curvas de nivel.....	33
5.1.4. Procesamiento de la información digital .....	34
5.1.4.1. Determinación de la información base.....	34
5.1.4.2. Morfología de cuencas .....	35
5.1.5. Análisis de parámetros propuestos .....	37
5.1.6. Análisis comparativo y discusión de resultados.....	39
5.1.6.1. Análisis de resultados, según cuenca específica ...	39
5.1.6.2. Análisis comparativo, según grupo de cuencas ...	39
5.1.6.3. Análisis comparativo, entre grupos de cuencas ...	40
5.1.6.3.1. Porcentaje de Variación .....	40
5.1.6.3.2. Porcentaje de Dispersión .....	41
5.1.6.3.3. Análisis gráfico comparativo .....	41
5.1.6.4. Análisis de resultados, según el valor promedio ...	42
5.1.7. Conclusiones y recomendaciones .....	42
5.2. Materiales y equipos .....	43

<b>CAPÍTULO</b>	<b>Página</b>
<b>6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	44
6.1. Selección de las unidades hidrográficas .....	44
6.2. Determinación de la información base .....	46
6.3. Morfología de cuencas .....	47
6.3.1. Parámetros morfométricos .....	47
6.3.2. Parámetros de relieve .....	49
6.3.3. Parámetros de red hidrográfica .....	55
6.3.4. Parámetros propuestos .....	56
<b>7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	58
7.1. Análisis de resultados, según cuenca específica .....	58
7.1.1. Cuencas de la Cordillera de los Andes.....	58
7.1.1.1. Cuenca Estero los Maquis .....	58
7.1.1.2. Cuenca Estero las Mulas .....	60
7.1.1.3. Cuenca Estero Volcán .....	61
7.1.1.4. Cuenca Estero del Alto .....	62
7.1.1.5. Cuenca Estero del Valle .....	63
7.1.2. Cuencas de la Cordillera de la Costa .....	64
7.1.2.1. Cuenca Estero Pudú .....	64

<b>CAPÍTULO</b>	<b>Página</b>
7.1.2.2. Cuenca Estero Población .....	65
7.1.2.3. Cuenca Estero de los Altos .....	66
7.1.2.4. Cuenca Estero Higueras .....	67
7.1.2.5. Cuenca Estero Carrizo .....	68
7.2. Análisis de resultados, en cada grupo de cuencas .....	69
7.2.1. Respecto a la Forma .....	70
7.2.2. Respecto al Relieve .....	70
7.2.3. Respecto a la Red Hidrográfica .....	71
7.3. Análisis comparativo de resultados, entre grupos de cuencas.....	72
7.3.1. Análisis de la Variación Porcentual .....	72
7.3.2. Análisis del Porcentaje de Dispersión.....	74
7.3.3. Análisis gráfico comparativo .....	75
7.3.3.1. Parámetros de forma ...	75
7.3.3.2. Parámetros de relieve ...	77
7.3.3.3. Parámetros de red hidrográfica ...	79
7.4. Análisis de las medias de cada parámetro .....	83
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>

**APÉNDICES.**

- I.-** Mapa de ubicación de las cuencas seleccionadas, en la C. de los Andes, con sus límites y red hidrográfica.
- II.-** Mapa de ubicación de las cuencas seleccionadas, en la C. de la Costa, con sus límites y red hidrográfica.
- III.-** Información base de las cuencas ubicadas en la C. de los Andes.
- IV.-** Información base de las cuencas ubicadas en la C. de la Costa.

**ANEXOS.**

- I.-** Algoritmo para determinar el área entre curvas de nivel.
- II.-** Antecedentes de las cuencas seleccionadas, según U. Católica-Serplac (1981).

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Nº	Página
1.	Elementos de una cuenca hidrográfica.....12
2.	Clasificación de las cuencas hidrográficas, según su salida.....14
3.	Rectángulo equivalente asociado a una cuenca hidrográfica.....18
4.	Representación de curvas hipsométricas, para dos tipos de cuencas.....24
5.	Representación de curvas de nivel discontinuas.....34
6.	Mapa de ubicación de las cuencas seleccionadas, en la VII Región.....45
7-11.	Curvas hipsométricas, Cordillera de los Andes.....50
12-16.	Curvas hipsométricas, Cordillera de la Costa.....52
17-19.	Representación gráfica de los parámetros de forma.....74
20-22.	Representación gráfica de los parámetros de relieve.....76
23-25.	Representación gráfica de los parámetros de red de drenaje.....78
26-28.	Representación gráfica de los parámetros propuestos.....80

## ÍNDICE DE TABLAS.

Nº	Página
1.	Cuencas hidrográficas seleccionadas .....44
2.	Información base, en cuencas de la C. de los Andes.....46
3.	Información base, en cuencas de la C. de la Costa.....46
4.	Parámetros de forma, en cuencas de la C. de los Andes.....47
5.	Parámetros de forma, en cuencas de la C. de la Costa.....48
6.	Dimensiones del rectángulo equivalente, en cuencas andinas.....48
7.	Dimensiones del rectángulo equivalente, en cuencas costeras.....48
8.	Parámetros de relieve, en cuencas de la C. de los Andes.....49
9.	Parámetros de relieve, en cuencas de la C. de la Costa.....49
10.	Parámetros de red de drenaje, en cuencas de la C. de los Andes.....55
11.	Parámetros de red de drenaje, en cuencas de la C. de la Costa.....55
12.	Evaluación del coeficiente de Pizarro, en ambas cordilleras.....56
13.	Evaluación del coeficiente de González, en ambas cordilleras.....56
14.	Evaluación del coeficiente de Pizarro-González, en ambas cordilleras.....57
15.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Los Maquis.....58
16.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Las Mulas .....60
17.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Volcán .....61
18.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero del Alto .....62
19.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero del Valle .....63
20.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Pudú .....64
21.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Población .....65

22.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero de los Altos.....	66
23.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Higueras .....	67
24.	Parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Carrizo .....	68
25.	Variación porcentual del valor promedio de los parámetros morfológicos, en cuencas de la C. de la Costa respecto de la C. de los Andes.....	72
26.	Variación porcentual del valor promedio de la información base y de los parámetros propuestos, en cuencas de la C. de la Costa respecto de la C. de los Andes.....	73
27.	Porcentaje de dispersión de los parámetros morfológicos y propuestos, en cuencas de la C. de los Andes y de la C. De la Costa.....	74



## **1.0. INTRODUCCIÓN.**

El sostenido y creciente desarrollo económico del país, en la última década, ha repercutido en forma negativa sobre el medio, generando ciertos efectos colaterales como la disminución de la calidad y cantidad de los recursos naturales disponibles.

Como consecuencia de lo anterior cada vez se hace notar con mayor frecuencia, la preocupación mundial por los problemas ambientales. Muestra de ello, en la actualidad en Chile se están desarrollando una serie de estudios en el ámbito hidrológico, estudios que apuntan a realizar un uso eficiente del recurso hídrico y cuyo norte es proporcionar información confiable, completa y estar disponible en forma adecuada a las necesidades de los usuarios.

El conocimiento del recurso agua es un antecedente primordial; más aún, a la hora de establecerse en un lugar, una de las principales restricciones a que se ve enfrentado el hombre es la disponibilidad del recurso agua, un recurso vital y escaso, y a la vez, como contradicción, la sustancia más abundante de la tierra.

Por otro lado, las políticas de desarrollo de un país, sin duda, han de tener siempre como objetivo fundamental, la mejora de la economía del país y de las condiciones de vida de sus habitantes. Debido a esto, muchos países en desarrollo están dedicando atención y crecientes recursos al campo de la ordenación de cuencas hidrográficas, proceso que consiste en la formulación y ejecución de un sistema de acción que incluye el manejo de los recursos de la cuenca, para la obtención de bienes y servicios, sin afectar en forma negativa sus aguas y suelos (FAO, 1992).

En este sentido, un plan de desarrollo global para una zona sólo podrá conseguir plenamente sus objetivos, si se tienen en cuenta todas las tierras existentes, sus posibilidades de desarrollo y rehabilitación, su hidrología, la disponibilidad de agua para el riego, y el riesgo de inundaciones, sequías y otras catástrofes naturales, como erosión y acumulación de sedimentos. La mayoría de estos factores guardan relación con la naturaleza de la cuenca hidrográfica, y con el grado de coordinación de las actividades de mejora dentro de sus límites (FAO, 1986).

En función de lo expuesto, este estudio pretende aportar a la evaluación cuantitativa de la morfología de cuencas pertenecientes, por un lado, a la cordillera andina y por otro, a la cordillera costera, ubicadas en la región del Maule, y con esto, dar pie a una serie de estudios posteriores, que contribuyan al desarrollo de la región.

## **2.0. OBJETIVOS.**

### **2.1. Descripción de los objetivos.**

#### **2.1.1. Objetivo General.**

- Contribuir al conocimiento de la morfología de las cuencas andinas y costeras de la VII región.

#### **2.1.2. Objetivos Específicos.**

- Establecer un marco comparativo de características morfológicas, en cuencas ubicadas en la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, en la VII región.
- Determinar algún nuevo parámetro, que discrimine sobre las condiciones morfológicas de las cuencas.

### **3.0. ANTECEDENTES GENERALES.**

#### **3.1. Situación y Superficie.**

El área donde se ubican las unidades hidrográficas a estudiar corresponde a la VII Región administrativa del país o región del Maule, y se extiende entre los 34° 41' y 36° 33' de latitud Sur. Posee una población de 834.053 hab. (censo 1992), su superficie es de 30301.7 km<sup>2</sup>, y comprende cuatro provincias: Curicó, Talca, Linares y Cauquenes.

#### **3.2. Clima.**

Según el Atlas Agroclimático de Chile (1990), el clima de la VII Región se encuentra dominado por condiciones anticiclónicas durante buena parte del año y por condiciones frontales intermitentes durante el invierno. En consecuencia, en la Región del Maule existe una variedad de tipos climáticos que van desde un templado cálido con lluvias invernales y bastante nubosidad (gran humedad atmosférica) en la Cordillera de la Costa y Valle Central, hasta el tipo frío (efecto de la altura) en la Cordillera de los Andes. En este contexto, según el Atlas Geográfico de Chile para la Educación (1985), la VII Región posee una estación seca (verano) que dura 8 meses, y una concentración del máximo de lluvias en otra húmeda (invierno) desde mayo a septiembre, siendo los meses de mayor pluviosidad Junio y Julio (Balance Hídrico de Chile, 1987, citado por M.O.P., D.G.A., 1988).

Por su parte, el Atlas Geográfico del Universo y de Chile Regionalizado (1993), señala que durante en la estación seca se presentan las máximas temperaturas medias de

19° C, y extremas de 30° C, en los valles y cuencas interiores; mientras que en el periodo húmedo, las temperaturas mínimas medias son de 7 °C.

En la zona Central y hacia el sur del país las precipitaciones se van incrementando como producto de una mayor actividad frontal. En la ciudad de Talca se registra una precipitación de 646 mm promedio anual, en San Javier 774 mm, en Linares 895 mm, entre algunas ciudades (Balance Hídrico, 1987). Cabe destacar que en la ciudad de Curicó, la precipitación promedio mensual es de 714 mm, superando la precipitación en Talca.

### **3.3. Hidrografía.**

Las cuencas hidrográficas principales de la Región del Maule son la del río homónimo, en el centro, y la del Mataquito, al norte. El Maule forma una de las hoyas mayores del país (20.300 km<sup>2</sup>), posee un caudal medio de 467 m<sup>3</sup>/seg y tiene como afluentes principales el Melado, el Claro y el Loncomilla. Por su parte, la hoya hidrográfica del Mataquito posee una superficie de 6200 km<sup>2</sup>, el caudal medio es de 153 m<sup>3</sup>/seg, y es de régimen mixto, pues sus dos afluentes principales, el Teno y el Lontué, nacen en la cordillera de los Andes.

Las aguas del río Maule son utilizadas en el riego de terrenos agrícolas, pero de mayor significación es su aprovechamiento en la producción de energía hidroeléctrica, generándose 1.244 MW, que representan el 25% de la potencia total instalada del país. Las principales centrales hidroeléctricas son la Central Cipreses de 101.400 kW de potencia, la Central Isla de 68.000 kW, la Central Curillinque de 85.000 kW, la Central Pehuenche de 500.000 kW y la Central Colbún- Machicura de 490.000 kW (INE, 1998).

### **3.4. Unidades de relieve de la VII Región.**

La VII región se divide transversalmente en cinco unidades fisiográficas bien diferenciadas:

- Zona costera o del Litoral
- Cordillera de la Costa
- Llano Central
- Cordillera de los Andes

En la parte sur de la Región, a al altura de la provincia de Linares, se suma adosada a la Cordillera de los Andes, otra entidad fisiográfica: la Precordillera andina.

Según Iren-Corfo (1979), estas zonas, además de diferencias climáticas poseen importantes variaciones geológicas. Se han diferenciado producto del resultado de movimientos de la tierra, ocurridos tiempo atrás. Tanto los solevantamientos como los plegamientos de la corteza terrestre, elevaron hacia la superficie rocas sedimentarias que dieron origen, al lado oeste del continente sudamericano, a la cordillera de los Andes. Es muy probable que la actividad volcánica, a fines del Terciario, agregara masas de rocas ígneas a esta cordillera. Más al oeste se levantó otra cadena de montañas que, posteriormente pasó a constituir la cordillera de la Costa.

Como se mencionó anteriormente en la parte sur de la región, al oriente del llano central se ubica la Precordillera andina, una faja de relieves que se antepone a la cordillera de los Andes y rara vez sobrepasan los 1000 m.s.n.m. Entre los materiales geológicos abundan las morrenas, acarreo fluviales y glacio-fluviales, depósitos lacustres y glacio-lacustres, en zonas cubiertos por espesas capas de cenizas volcánicas.

### **3.4.1. Cordillera de los Andes.**

En el extremo norte de Chile, es alta y maciza, y desciende gradualmente hacia el sur minimizando sus alturas a cifras del orden de 1.500 a 2000 m, en circunstancias que frente a Arica y Antofagasta la media altitudinal sobrepasa los 5.000 m. Particularmente, en la Región del Maule las cumbres bajan a menos de 4.000 m, como el cerro Las Gualas (3.132 m) y el cerro Azul (3.810 m).

Los antecedentes acerca de sus suelos indican que están constituidos por materiales de la formación porfírica, con afloramientos de rocas pertenecientes al batolito y basaltos del Terciario superior y Cuaternario.

El volcanismo adquiere importancia en el sector central del país, aunque en el área que corresponde a los valles transversales no existen vestigios de una actividad moderna. A partir de la Región Metropolitana hacia el sur, numerosos y altos cráteres se distribuyen profusamente, tanto en el límite oriental con la República Argentina (Tupungatito, 5.682 m; San José, 5.856 m; Maipo, 5.264 m), como hacia el occidente de la misma cordillera (Tinguiririca, 4.625 m; Descabezado Grande, 3.830m; Descabezado Chico, 3.250 m).

### **3.4.2. Cordillera de la Costa.**

Extendida desde Arica al Sur, hasta la península de Taitao, la cordillera de la Costa representa a lo largo de Chile una barrera orográfica, un biombo climático y una zona de protección natural para la vida silvestre.

En cuanto a sus alturas, al sur del río Maipo sus puntos más sobresalientes rara vez superan los 1.000 m. Más al sur las cumbres bajan rápidamente, destacando entre

otros el cerro Rangil, al oeste de Curicó, con 716 m; el Guachos, en las cercanías de Talca, con 819 m; y el Name, al norte de Cauquenes, con 810 m. El resto de las serranías apenas alcanzan los 600 m, por lo que la cordillera más se asemeja a una peniplanicie. En general, en la Región del Maule la cordillera costera tiene escasa altura, entre 300 y 700 m. y, además, frecuentemente es cortada por los valles de los ríos andinos, como el Mataquito y el Maule.

Esta cordillera ha sufrido un proceso acelerado de erosión en toda su extensión, al eliminar las coberturas vegetales naturales que protegían estos suelos de lomajes. Según Iren-Corfo (1979), los materiales geológicos dominantes son principalmente rocas graníticas, mica-esquistos y pizarras. Los suelos graníticos predominan en la parte norte de la Región, y por sus características texturales y topográficas son extremadamente susceptibles a la erosión hídrica. Desde el río Maule al sur, se ubican en casi toda la parte occidental de la cordillera de la Costa los suelos derivados de materiales metamórficos, de aptitud preferentemente forestal. Estrechamente asociados a estos suelos se encuentran los piedmonts, formados sobre materiales metamórficos desplazados de las partes altas. En su mayoría están plantados con viñas.

En la vertiente occidental de la cordillera, la presencia de abundante humedad determina las condiciones necesarias que lo hacen apto para el desarrollo de vegetación, especialmente para el establecimiento de plantaciones forestales. En su mayor parte, sus suelos con topografía de lomajes y cerros, desarrollados sobre rocas metamórficas, están clasificados preferentemente como suelos de clase VIIe, lo cual le confiere un carácter eminentemente forestal.

En contraste al sector anterior, la disminución de precipitaciones y clima más seco con mayores temperaturas del secano interior, han creado notorias diferencias en la vegetación caracterizada por la presencia de arbustos de menor exigencia en humedad. En este sentido, la mayor luminosidad y temperaturas altas le confieren las condiciones



para el desarrollo del cultivo de las viñas. En cuanto a su geomorfología, en esta región se encuentran suelos formados a partir de rocas metamórficas y graníticas.

### **3.5. Actividad Económica.**

La Región del Maule es productivamente muy diversificada. Las principales actividades productivas regionales se basan en el aprovechamiento de sus recursos naturales, destacando cuatro áreas fundamentales: el sector forestal maderero, el sector vitivinícola, la agricultura y la agroindustria ([www.fimaule.cl](http://www.fimaule.cl))

En la Región del Maule la principal actividad económica es la Agricultura, sector que contribuye con aproximadamente el 18,3% del PIB nacional. La fruticultura y la horticultura son dos rubros de gran importancia económica. El sector Frutícola se sitúa en el cuarto lugar, a nivel nacional, en cuanto a superficie, con un total de 234 mil hectáreas plantadas, en tanto el sector hortícola, en el año 1996/97 representó el 17,8% del total del país.

El sector forestal es otro gran sector productivo de la región, siendo la segunda región forestal del país, esto es, aproximadamente un 25% del total nacional. En la región predominan las exportaciones de Celulosa, lo que alcanzó a un 20% del total de las exportaciones de productos de madera en la región, en el año 1996/97.

Igualmente significativo es la producción vitivinícola, que concentra más de la tercera parte de las vides del país, situación que en 1997, llevó a producir alrededor de un 57% del vino de vides viníferas del país. Por último, en el aspecto industrial la región cuenta con un sector manufacturero, que contribuye con el 21,65% del producto regional.

## **4.0. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Concepto de cuenca.**

El concepto de cuenca hidrográfica ha sido formulado de variadas maneras, entre las cuales se mencionan las siguientes:

En los estudios del medio físico, la cuenca es considerada como la expresión territorial del sistema ambiental, y se define como "la unidad superficial donde la precipitación es redistribuida en cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. Cada cuenca posee sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que dan un único conjunto de propiedades hidrológicas" (Wenger, citado por MOPT,1992).

Por su parte, Llamas (1993) señala que, en general, el análisis de los fenómenos hidrológicos se facilita, de forma considerable, al adoptar una unidad geográfica limitada que tenga algunas características comunes, unidad que recibe el nombre de cuenca hidrográfica. Esta unidad, afirma el autor, es "un espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura o una exutoria".

Según Mideplan (1992), una cuenca hidrográfica es el territorio definido por los límites de la zona de escurrimiento de las aguas superficiales, que convergen hacia un mismo cauce. Del mismo modo, una cuenca, sus recursos y sus habitantes, poseen determinadas condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, que les confieren características comunes. Por otro lado, menciona que la cuenca representa físicamente una fuente natural de captación y concentración de agua superficial.

Al respecto, FAO (1992) afirma que la cuenca de captación se utiliza con frecuencia como sinónimo de cuenca hidrográfica, y la define como la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Además plantea que no existe un tamaño definido de cuenca, por lo que puede tener desde una dimensión de varios de miles, hasta la de unos pocos km<sup>2</sup>.

Finalmente, en términos generales se define como el territorio donde afluyen todas las aguas al mismo río, lago o mar y está delimitada por divisorias de aguas que corresponden a sus partes más altas. Una cuenca proporciona como recursos importantes el agua, los peces, los bosques y los suelos (<http://www.fao.org>).

Otras acepciones del concepto de cuenca hidrográfica, son las siguientes:

- "Una cuenca hidrográfica es una zona de terreno en la cual el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un punto común" (MOPT, 1992).
- "En su acepción más simple, se conoce como cuenca hidrográfica al área drenada por un río, con límites definidos que facilitan la planificación y aprovechamiento de sus recursos" (IPROGA, 1996).

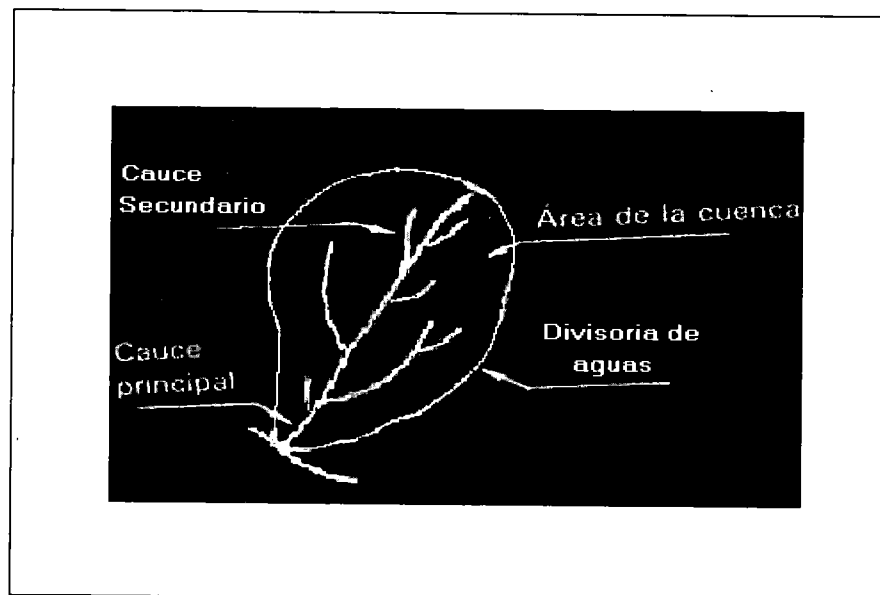
#### **4.2. Características de una cuenca.**

A continuación se dan a conocer los componentes de una cuenca, cómo se realiza su trazado, cuáles son sus características físicas, sus subdivisiones y clasificaciones, y los diferentes parámetros establecidos, que definen la morfología de una cuenca.

#### 4.2.1. Elementos de las cuencas.

Según Aparicio (1997), las cuencas presentan los siguientes componentes (Ver figura 1):

- El *parteaguas* o *divisoria de aguas*, que es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.
- El *área de la cuenca*, definida como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria de aguas.
- El *cauce principal* de una cuenca, corresponde a la corriente que pasa por la salida de la misma, y las demás corrientes se denominan cauces secundarios (tributarios). Todo punto de cualquier cauce tiene una cuenca de aportación, y toda cuenca tiene uno y sólo un cauce principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se llaman cuencas tributarias o subcuencas.



Fuente: Elaboración propia (2002)

**Fig. 1: Elementos de una cuenca hidrográfica.**

#### 4.2.2. Trazado de la cuenca.

En relación a los límites de una cuenca hidrográfica, los autores coinciden en mencionar lo siguiente: dependen de la topografía de la cuenca y están determinados por la línea divisoria de aguas (IPROGA,1996).

Según Llamas (1993), el trazado del límite de una cuenca se debe iniciar a partir de la desembocadura, para luego continuar por los puntos más elevados hasta cerrar completamente el circuito. De la misma forma se realiza el trazado de las subcuencas de los tributarios principales.

#### 4.2.3. Características físicas de las cuencas.

El funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial o nival y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca (Tragsa – Tragsatec, 1994).

En este punto, Llamas (1993) señala que dos cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas. En función de esto, plantea que las características físicas más importantes de una cuenca son:

- ▷ Superficie
- ▷ Perímetro
- ▷ Orientación
- ▷ Forma
- ▷ Elevación (curva hipsométrica)
- ▷ Pendiente
- ▷ Rectángulo equivalente
- ▷ Densidad de drenaje
- ▷ Densidad hidrográfica
- ▷ Longitud del curso principal
- ▷ Pendiente del curso principal
- ▷ Orden de un curso de agua

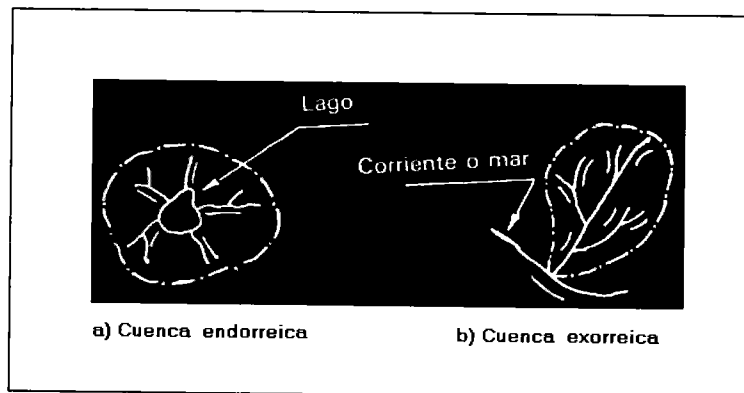
#### 4.2.4. Subdivisiones de la cuenca hidrográfica.

La mayoría de las veces, para la aplicación de los diferentes modelos hidrológicos, es necesario dividir la cuenca en estudio en una serie de unidades de menor superficie y de comportamiento homogéneo, denominadas unidades hidrográficas, destacándose entre éstas las subcuencas (Tragsa – Tragsatec, 1994).

Según IPROGA (1996), la cuenca puede subdividirse de varias formas, siendo común el uso del término subcuenca para denominar a las unidades de menor jerarquía, drenadas por un tributario del río principal. Entonces, afirma que las cuencas hidrográficas presentan el siguiente orden jerárquico: cuencas, subcuencas y microcuencas. El término microcuenca se emplea para definir las unidades hidrográficas más pequeñas dentro de una cuenca principal.

#### 4.2.5. Otras clasificaciones de cuenca.

Aparicio (1997) afirma que desde el punto de vista de su salida, fundamentalmente existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas (Ver Fig. 2).



Fuente: Aparicio (1997)

**Fig. 2: Clasificación de las cuencas hidrográficas, según su salida.**

En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago, en cambio, en las segundas, se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar (Aparicio, 1997).

Otra forma de dividir las, de clara aplicación en las cuencas andinas y basada en la elevación relativa de sus partes, da lugar a los tipos de cuenca alta, media y baja. La primera es conocida también como *cabecera de la cuenca* o *cuenca de recepción*, y se considera, en general, la parte de la cuenca que, por su posición, capta y almacena en los nevados y glaciares de sus cumbres, y en las lagunas y represamientos de las altiplanicies la mayor parte de los aportes de la precipitación; además, tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques, y una menor presión demográfica. A la parte media de la cuenca, de mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, se le denomina *zona de transporte de sedimentos* o *de escurrimiento*. La parte baja, de menor pendiente relativa, con un caudal de flujo continuo, cauce definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse *cono de deyección* o *zona de depósito*. En esta parte, el uso de la tierra es predominantemente agrícola con gran presión poblacional, extensas áreas urbanas e importante demanda de agua (IPROGA, 1996).

#### **4.3. Morfología de cuencas.**

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas (Tragsa – Tragsatec, 1994).

Las características físicas mencionadas anteriormente, desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus

características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir. Sin embargo, hasta el momento los resultados son mayormente del tipo cualitativo que cuantitativo (Mintegui *et al*, 1993).

#### 4.3.1. Parámetros de forma.

Según Llamas (1993), la forma de una cuenca es la configuración geométrica tal como está proyectada sobre un plano horizontal, y afecta directamente su tiempo de respuesta, es decir, el tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje y, por consiguiente, el tipo de hidrograma. Este último es definido por Pizarro (1993), como la gráfica obtenida en un punto del cauce, y corresponde a la relación entre las variables caudal (Q) y tiempo (t) de un área determinada.

De esta manera, en una cuenca de forma alargada, el agua discurre generalmente, por el cauce principal, mientras que en otra de forma ovalada la duración del escurrimiento es superior debido al avance de las aguas desde los cauces secundarios hasta llegar a uno principal (Tragsa – Tragsatec, 1994).

Los índices más empleados para representar esta característica son:

-*Coficiente de compacidad o de Gravelius* ( $K_c$ ): Permite evaluar la uniformidad o irregularidad del contorno de la cuenca, y se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

$$K_c = \frac{0.28 \cdot P}{\sqrt{S}} \quad , \text{ donde: } \quad S: \text{superficie de la cuenca (km}^2\text{)}$$

P: perímetro de la cuenca (km)



Según la definición,  $K_c = \frac{P}{p}$  (1). Además,  $A = \pi r^2$  (2) y  $p = 2 \pi r$  (3).

Donde:

$P$ : perímetro de la cuenca (km)

$p$ : perímetro de un círculo (km)

$A$ : área de un círculo (km)

$\pi = 3.141516\dots$

$r$ : radio del círculo

Despejando  $r$  de (2):

$$\rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

y sustituyendo en (3):

$$\rightarrow p = 2 \pi \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \sqrt{\pi \cdot S}$$

y luego, en (1):

$$\rightarrow K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot S}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

se tiene, entonces:

$$\rightarrow K_c = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}} \geq 1$$

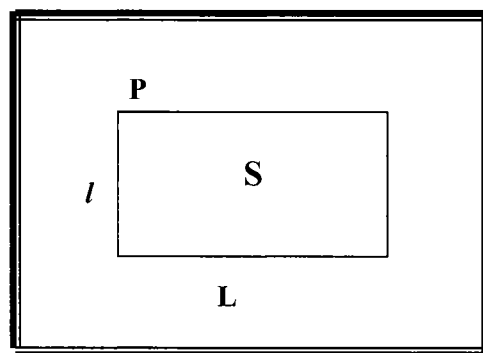
De la expresión se desprende que  $K_c$  siempre es mayor o igual 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca, permitiendo establecer la siguiente clasificación:

$K_c$	Forma
1,00 - 1,25	redonda
1,25 - 1,50	ovalada
1,50 - 1,75	oblonga

Fuente: Tragsa -Tragsatec (1994)

Por su parte, Llamas (1993) afirma que en el caso de una cuenca cuadrada el coeficiente de Gravelius es igual a 1,128 y, puede alcanzar el valor 3 en cuencas muy alargadas.

-*Rectángulo equivalente (RE)*. Asimila la superficie y el perímetro de la cuenca a un rectángulo equivalente, de la siguiente forma (Martínez *et al*, 1996):



Donde:

- P: perímetro (km) de cuenca
- S: superficie (km<sup>2</sup>) de cuenca
- L: largo (km) del RE
- l: ancho (km) del RE

**Fig. 3: Rectángulo equivalente asociado a una cuenca hidrográfica.**

Se sabe que,  $S = L \cdot l$  (4), y además,  $P = 2L + 2l$  (5).

Despejando  $L$  de (5):

$$\rightarrow L = \frac{(P-2 \cdot l)}{2} = \frac{P}{2} - l$$

y sustituyendo en (4):

$$\rightarrow S = \left[ \frac{P}{2} - 2 \right] \cdot l = \frac{P}{2} \cdot l - l^2$$

y luego, se tiene la siguiente ecuación de 2º grado:

$$\rightarrow l^2 - \frac{P}{2} \cdot l + S = 0$$

De donde:

- mayor valor: lado mayor “L”
- menor valor: lado menor “l”

Una vez determinadas las dimensiones del rectángulo, se debe identificar el porcentaje de irregularidad (%I), definido como sigue:

$$\% I = \frac{L \cdot 100}{l} \quad , \text{ donde: } \begin{array}{l} L : \text{largo (km) del RE} \\ l : \text{ancho (km) del RE} \end{array}$$

En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparables (Martínez *et al*, 1996).

-*Radio de elongación de Schumm* ( $R_e$ ), es la relación entre el diámetro de un círculo de igual superficie a la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. Esta longitud ( $L_m$ ) corresponde a la distancia entre el exutorio y el punto más alejado de la cuenca siguiendo el cauce del río principal (Llamas, 1993).

$$R_e = 1,128 \cdot \frac{\sqrt{S}}{L_m} \quad , \text{ donde: } \quad S: \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)}$$

$$L_m: \text{ longitud del curso principal (km)}$$

Los valores del coeficiente  $R_e$  fluctúan entre 1, para cuencas llanas y 0.6 para cuencas con relieve pronunciado.

Según la definición,  $R_e = \frac{D}{L_m}$  (6). Además,  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$  (7), donde D es diámetro de un círculo.

Despejando D de (7):

$$\rightarrow D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

y sustituyendo en (6), se tiene:

$$\rightarrow R_e = \frac{2}{L_m} \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,128 \cdot \frac{\sqrt{S}}{L_m}$$

-*Factor de forma* ( $R_f$ ), definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta.

$$R_f = \frac{S}{L_m^2} \quad , \text{ donde: } \quad S: \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)}$$

$$L_m: \text{ longitud del curso principal (km)}$$

Para un círculo,  $R_f = 0.79$ ; para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados,  $R_f = 1$ , y con la salida en una esquina,  $R_f = 0.5$  (Mintegui *et al*, 1993).

-*Radio de circularidad* ( $R_{ci}$ ), relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785, para una cuenca cuadrada.

$$R_{ci} = \frac{4\pi S}{P^2} \quad , \text{ donde: } \begin{array}{l} S : \text{superficie de la cuenca (km}^2\text{)} \\ P : \text{perímetro de la cuenca (km)} \end{array}$$

Según la definición,  $R_{ci} = \frac{S}{A}$  (8). Además,  $A = \pi r^2$  (2) y  $p = 2 \pi r$  (3).

Despejando  $r$  de (3):

$$\rightarrow r = \frac{P}{2\pi}$$

y sustituyendo en (2), y luego en (8):

$$\rightarrow R_{ci} = \frac{4\pi S}{P^2}$$

De los expuestos, los índices más utilizados son el coeficiente de Gravelius, el rectángulo equivalente y el radio de elongación de Shumm.

#### 4.3.2. Parámetros de relieve.

El relieve o topografía de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma (Mintegui *et al*, 1993). De esta manera, Tragsa – Tragsatec (1994) sostiene que la influencia del relieve sobre el hidrograma queda evidenciado como sigue: "A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal" .

Al respecto, cabe destacar que los autores coinciden en señalar a la curva hipsométrica como uno de los parámetros más representativos a la hora de definir el relieve de una cuenca. Dicha curva expresa el porcentaje de superficie de la cuenca más allá de cierta elevación (Llamas, 1993).

En este contexto, López y Pérez citados por Pizarro (1986), argumentan que la curva hipsométrica permite caracterizar el relieve de la siguiente manera: "una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras o penillanuras; si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundación en zonas extensas. Una pendiente fuerte hacia la parte media indica una meseta".

Asimismo Llamas (1993), dentro de los caracteres topográficos menciona a dos datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación: las variaciones de elevaciones en el interior de una cuenca y su elevación media, y agrega que la curva hipsométrica de una cuenca representa, de manera más precisa, su elevación.

Por su parte Strahler, citado por Llamas (1993), señala que la curva hipsométrica es un reflejo del estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca. Si la curva resulta convexa indica una cuenca con un gran potencial erosivo (fase de juventud); la curva intermedia es característica de una cuenca en equilibrio (fase de madurez); por último, una curva cóncava es típica de una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

Benson, citado por Llamas (1993) plantea que la pendiente media de una cuenca puede asimilarse a la pendiente de la recta trazada entre los puntos que se encuentran al 85% y al 10% de distancia, desde el punto más alejado de la desembocadura, siguiendo el curso principal.

Numerosos parámetros para describir el relieve de una cuenca han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

*-Pendiente Media Simple ( $P_m$ )*

$$P_m = \frac{\Delta h \cdot \sum l_i}{A}$$

Donde:

$\Delta h$  : diferencia de altura entre curvas de nivel (m)

$l_i$  : longitud de la curva de nivel i (m)

A: superficie de la cuenca (m<sup>2</sup>)

*-Pendiente Media de Mociornita (S).*

$$S = \frac{\Delta h \left[ \frac{l_0}{2} + \sum_1^{n-1} l_i + \frac{l_n}{2} \right]}{A}$$

Donde:

$\Delta h$  : diferencia de altura entre curvas de nivel (m)

$l_0$  : longitud de la curva de nivel de menor cota (m)

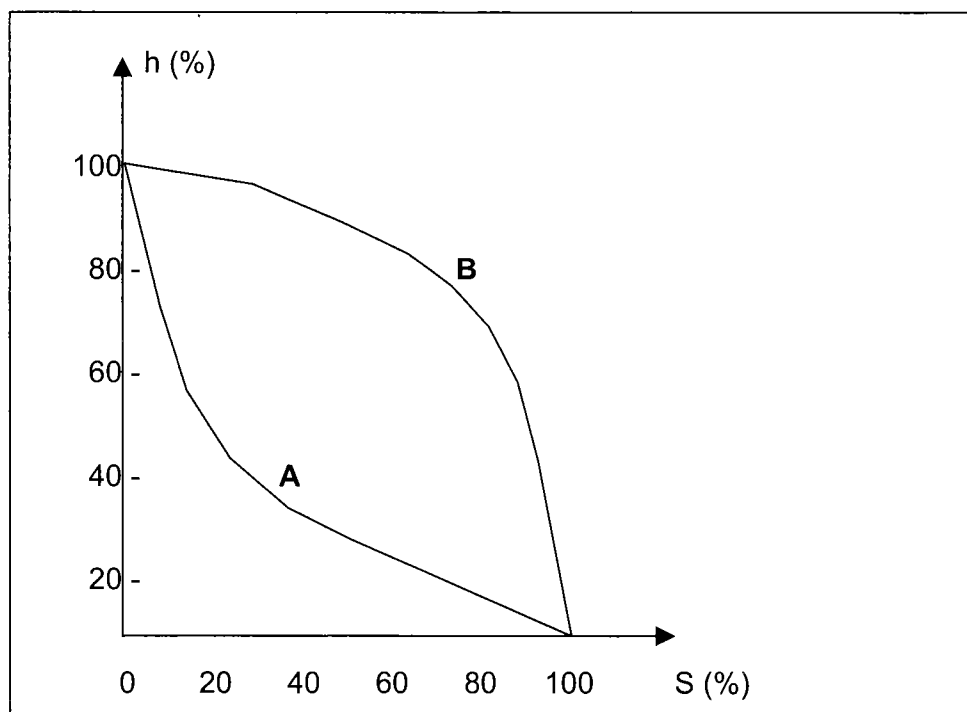
$l_n$  : longitud de la curva de nivel de mayor cota (m)

$l_i$  : longitud de las curvas de nivel intermedias (m)

A : superficie de la cuenca (m<sup>2</sup>)

Pizarro (1986), afirma que dados los satisfactorios resultados arrojados por esta expresión de pendiente media, se utiliza con mayor frecuencia que la expresión de pendiente simple.

-*Curva Hipsométrica*: Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez *et al*, 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales, como se muestra en la figura 4, donde se indica el tipo de cuenca que representa la curva obtenida:



Fuente: Pizarro (1986)

**Fig. 4: Representación de curvas hipsométricas, para dos tipos de cuencas.**



En la figura 4, la curva A representa una **cuenca de montaña**, con un gran descenso de la pendiente en su parte inicial, seguido por la presencia de un valle aluvial, en que la pendiente tiende a disminuir gradualmente. Por su parte, la curva B denota una **cuenca de meseta** por el fuerte descenso de la pendiente observado hacia el final de su recorrido. En Chile, generalmente se presenta el caso A y sus variaciones (Pizarro, 1986).

-*Altura Media* ( $H_m$ ): Relaciona el volumen de relieve de la cuenca (superficie comprendida entre la curva hipsométrica y los ejes coordenados) y la superficie de la cuenca.

$$H_m = \frac{V}{S}$$

Donde:

$H_m$ : altura media (m)

V : volumen de relieve de la cuenca ( $m^3$ )

S : superficie de la cuenca ( $m^2$ )

En realidad, es posible encontrar cuencas con la misma pendiente o altura media y que presentan una morfología muy diferente. Es así como el coeficiente de Masividad de Martonne, definido como el cociente entre la altura media de la cuenca y su superficie en proyección horizontal, intenta reflejar este hecho:

$$\text{tg } \alpha = \frac{H_m}{S} \quad (9)$$

Donde:

$H_m$ : altura media (m)

S : superficie de la cuenca ( $km^2$ )

Según Martínez *et al* (1996), para cuencas donde el relieve es menos acentuado en conjunto, los valores son más pequeños, mientras en aquellas que en pequeñas extensiones sufren un considerable descenso de altitud, este coeficiente adquiere valores superiores.

Sin embargo, puede suceder que se encuentren cuencas con el mismo coeficiente de Masividad de Martonne y con diferente relieve, como la situación en que altura media y superficie aumenten proporcionalmente. El coeficiente orográfico contempla esta posibilidad, y es uno de los más utilizados y confiables al momento de definir el relieve de una cuenca. Se define como el producto de la altura media por el coeficiente de Masividad de Martonne:

$$C_o = H_m \cdot tg\alpha \quad (10)$$

sustituyendo (9) en (10):

$$C_o = \frac{H_m^2}{S}$$

Donde:

$H_m$ : altura media (m)

$S$  : superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Por su parte, Pizarro (1986) afirma que según los valores que presente el coeficiente orográfico, es posible clasificar las cuencas en dos grupos:

▷ Valores superiores a 24: corresponden a cuencas de Meseta.

▷ Valores inferiores a 16: definen cuencas gastadas o con nivel importante de senilidad.

#### **4.7.3. Parámetros de red hidrográfica.**

Según Tragsa – Tragsatec (1994), la red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca.

A lo anterior, MOPT (1992) agrega que la red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. De ella se puede obtener información en lo que concierne a la roca madre y a los materiales del suelo, a la morfología y a la cantidad de agua que circula, entre otros.

Los autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor (Tragsa – Tragsatec, 1994).

En virtud de lo anterior, se han propuesto una serie de indicadores de dicho grado de bifurcación, como la densidad de corrientes y la densidad de drenaje. Este último parámetro, de acuerdo a Smith y Stopp citados por Ferrando (1994), es uno de los factores que regula la velocidad de escurrimiento, luego de un periodo de precipitación.

Por su parte, Aparicio (1997) manifiesta que una densidad elevada refleja una cuenca altamente disectada, donde los suelos son relativamente impermeables o se erosionan fácilmente, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa. Por el contrario, las densidades pequeñas se observan donde los suelos son muy resistentes a la erosión o muy permeables, bajo una densa vegetación y con suaves relieves. Además, plantea que uno de los índices más importantes del grado de respuesta de una cuenca a

una tormenta, es la pendiente del cauce principal y, dado que esta pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario considerar su pendiente media.

Para analizar la red hidrográfica superficial de una cuenca, se han utilizado los siguientes parámetros (Linsley *et al*, 1988):

-*Densidad de drenaje* ( $D_d$ ), que corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma.

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S} \quad , \text{ donde: } \quad \begin{array}{l} l_i : \text{ longitud del afluente } i \text{ (km)} \\ S : \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)} \end{array}$$

- *Densidad hidrográfica* ( $F$ ), representa el número de canales de flujo por unidad de superficie:

$$F = \frac{\sum_1^n N_k}{S} \quad , \text{ donde: } \quad \begin{array}{l} N_k : \text{ número de vectores de orden } k \\ S : \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)} \end{array}$$

-*Canal de Alimentación* ( $D_d^{-1}$ ), corresponde a la expresión recíproca de la densidad de drenaje. Representa la superficie de la cuenca que sustenta una unidad de curso.

$$D_d^{-1} = \frac{S}{\sum l_i} \quad , \text{ donde: } \quad \begin{array}{l} l_i : \text{ longitud del afluente } i \text{ (km)} \\ S : \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)} \end{array}$$

-*Alejamiento Medio* ( $a$ ), es un coeficiente que relaciona el largo del curso principal con la superficie de la cuenca.

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad , \text{ donde: } \quad \begin{array}{l} L: \text{ longitud del curso principal (km)} \\ S: \text{ superficie de la cuenca (km}^2\text{)} \end{array}$$

-*Tiempo de concentración* ( $t_c$ ), definido como el tiempo necesario para que una gota de lluvia caída se movilice desde el punto más alejado de la cuenca hasta su lugar de salida. Las fórmulas más comúnmente utilizadas para obtener este parámetro, son las siguientes (Pizarro, 1993):

- i) Giandotti. Su uso se recomienda para cuencas pequeñas con relieves accidentados:

$$t_c = \frac{4 * S^{0.5} + 1.5 * L}{0.8 * A^{0.5}}$$

- ii) Californiana Se aplica a cuencas de tamaño mediano a grande, Se restringe por subestimación, en aquellas cuencas con superficies inferiores a 2 km<sup>2</sup>.

$$t_c = \frac{(0.87 L^3)^{0.385}}{H}$$

- iii) Kirpich, aplicable a pequeñas cuencas agrícolas:

$$t_c = \frac{(0.066 L^{0.77})}{J}$$

iv) Dirección General de Carreteras, usada en España:

$$t_c = 0.3 (L^3 / J^{0.25})^{0.76}$$

v) Linsley et al.:

$$t_p = C_t (LL_c)^{0.3}$$

Donde:

- $t_c$  : tiempo de concentración (h)
- $S$  : superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ )
- $L$  : longitud del cauce principal de la cuenca (km)
- $A$  : altura media, descontando la cota origen de la cuenca sobre el punto estudiado (m)
- $H$  : diferencia de nivel entre la salida y el punto más alejado de la cuenca (m)
- $J$  : pendiente media del cauce principal ( $J = H/L$ )
- $C_t$  : coeficiente que varía entre 1.35 y 1.65.
- $L_c$  : distancia desde el desagüe de la hoya hasta el punto sobre la corriente que sea más próximo al centroide de la hoya.

*-Pendiente media de los cursos de agua (j)*

$$j = \frac{(H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n})}{1000L}$$

Donde:

- $H_{m\acute{a}x}$  : altura máxima del curso de agua (m)
- $H_{m\acute{i}n}$  : altura mínima del curso de agua (m)
- $L$  : longitud del curso de agua (km)



## **5.0. METODOLOGÍA.**

La metodología consta de dos partes. En la primera, se describen las 7 fases de trabajo en las cuales se dividió el estudio, y en la segunda, se mencionan los materiales, equipos y programas computacionales requeridos en el desarrollo de la memoria.

### **5.1. Fases de Trabajo.**

#### **5.1.1. Revisión Bibliográfica.**

Fundamentalmente, este ítem contempló la recopilación de información sobre estudios relacionados a la morfología de cuencas, desarrollados a nivel nacional como en el extranjero, y de información necesaria para realizar una descripción de todos los conceptos utilizados en esta memoria. Además, se caracterizaron las cinco unidades fisiográficas de la Región del Maule, profundizando en aquellas zonas de aplicación de los parámetros, es especial en las cordilleras andina y costera, que pretenden dar forma a un patrón morfológico característico.

Cabe destacar, que la información se obtuvo, en primer lugar, a partir de textos especializados en instituciones universitarias, bibliotecas e INTERNET. En este sentido, la información recabada corresponde a la teoría presentada en los Capítulos 3 y 4, y parte de la utilizada para complementar el Capítulo 5.

### **5.1.2. Selección de las unidades hidrográficas.**

Según el Mapa de cuencas hidrográficas (Escala 1: 250.000), del Estudio de las cuencas de los ríos Mataquito y Maule (U. Católica- Serplac, 1981), existen 30 cuencas en la VII Región, por consiguiente fue necesario realizar una preselección.

El criterio de preselección de las unidades en estudio consistió, en primera instancia, en considerar una superficie inferior a 100 km<sup>2</sup>. A partir de esto, se estableció un total de diez cuencas para cada sector cordillerano.

La selección de las cinco unidades hidrográficas definitivas, se realizó de acuerdo a si presentaban una altitud asociada a cada cordillera: en el caso de la cordillera de los Andes, sobre los 1.800 m. y de la cordillera de la Costa, entre 500 y 850 m.

### **5.1.3. Digitalización de las unidades en estudio.**

En un comienzo, se pretendía digitalizar manualmente la información analógica disponible en las cartas topográficas. Sin embargo, esta etapa finalmente no se realizó, debido al lento proceso de digitalización, en especial de las curvas de nivel. De este modo, la información digital necesaria para llevar a cabo esta investigación fue facilitada por CONAF VII Región. Esta información digital contempla:

- Los límites de las diez unidades seleccionadas, del estudio realizado por U. Católica-Serplac (1981).



- Las capas de relieve y de red hidrográfica de las unidades en estudio. En este punto, cabe mencionar que la información de las capas de relieve y la correspondientes a la red hidrográfica, pertenecen al catastro nacional 1997.

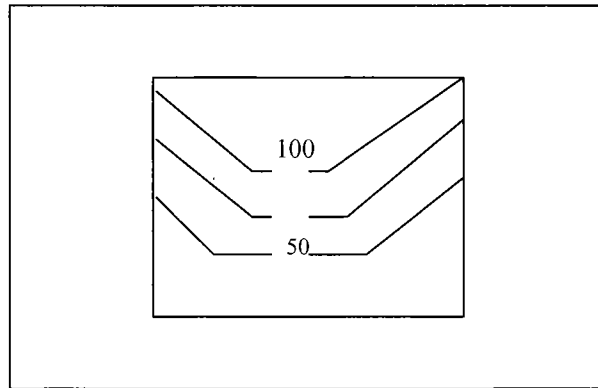
Sin embargo, la totalidad de las unidades hidrográficas registró algún tipo de error, destacándose principalmente un desfase de los límites de las cuencas con su correspondiente red hidrográfica, y sectores donde las curvas de nivel se presentaban discontinuas. En consecuencia, esta situación originó inicialmente una serie de errores, como el cálculo subestimado de la longitud de curvas de nivel, y especialmente, al momento de determinar el área comprendida entre curvas de nivel. Por ello fue necesario realizar las correcciones pertinentes que se señalan a continuación.

#### **5.1.3.1. Corrección de límites.**

En primer lugar, se realizó el trazado adecuado de las cuencas (de acuerdo a la bibliografía) comenzando por determinar la desembocadura; luego se unieron los puntos más elevados hasta completar el circuito. En aquellas zonas donde existía una densa red de drenaje se tuvo la precaución de no intersectar los cursos de aguas. Esta fase se llevó a cabo con la ayuda del software Arc View 3.1.

#### **5.1.3.2. Interpolación de curvas de nivel.**

En su gran mayoría las unidades hidrológicas en estudio presentaron, en su capa de relieve, algunas zonas con curvas de nivel discontinuas, es decir, en ciertos lugares las curvas no convergían (Ver figura 5), por lo que se debió interpolar las curvas de nivel, a través del programa Arc View 3.1.



**Fig. 5: Representación de curvas de nivel discontinuas.**

#### **5.1.4. Procesamiento de la información digital.**

Una vez digitalizadas correctamente las diez unidades definitivas, se procedió a determinar la información base que más adelante sustentaría las ecuaciones matemáticas necesarias para obtener los índices morfológicos.

##### **5.1.4.1. Determinación de la información base.**

Los parámetros que conforman la información base se obtuvieron de la siguiente manera:

- El área y perímetro de cada unidad hidrográfica, en forma automática, por medio de un comando de Arc View 3.1.
- La longitud de las curvas de nivel se determinaron a través de las propiedades de las tablas de cada cuenca, incluidas en el software Arc View 3.1.

- La red hidrográfica se obtuvo en forma indirecta, utilizando un comando en Arc View 3.1, que permitía determinar distancias de pequeños trazos , y en ocasiones, de un grupo de trazos. De este modo, se comenzó con la longitud del cauce principal, para luego continuar con la longitud de los cauces secundarios en cada una de las unidades en estudio. Esta fase requirió de bastante tiempo para llevarla a cabo, pues ocho de las unidades en estudio presentaban densas redes de drenaje y, en muchos casos, el río principal presentaba líneas dobles. En esos casos, se estimó considerar aquella línea que representara de mejor forma el trazado del cauce.

- Por último, para obtener el área comprendida entre las curvas de nivel, se debió establecer un algoritmo que requirió de la combinación de dos software: Idrisi 2.0 y Arc View 3.1 (Anexo 1). Este algoritmo permitió unir curvas de nivel de igual cota, por fuera de la divisoria de aguas de la cuenca, y luego calcular el área de cada sección (zona entre 100 y 125m, por ejemplo), sólo de la parte ubicada al interior de la unidad hidrográfica. Este proceso fue bastante lento, sobretodo en las primeras aplicaciones del algoritmo y en aquellos casos donde fue necesario repetirlo, debido a la gran diferencia que resultaba al comparar la sumatoria de estas áreas con el área total ya obtenida, de manera automática.

#### **5.1.4.2. Morfología de cuencas.**

La determinación de los parámetros morfométricos, de relieve y de la red hidrográfica se realizó a partir de la información base obtenida en el punto anterior. Cabe señalar, que para el cálculo de los índices morfológicos, se aplicaron las expresiones descritas en el capítulo 4.

Dentro de los parámetros de forma, se obtuvo:

- el coeficiente de Gravelius,
- el rectángulo equivalente y
- el radio de elongación de Schumm

Entre los parámetros de relieve se determinó:

- la pendiente Media Simple,
- la pendiente Media de Mociornita,
- la altura media,
- el coeficiente orográfico y
- la curva hipsométrica.

Por último, de la red hidrográfica se consideraron los siguientes parámetros:

- la densidad de drenaje,
- la pendiente media del curso principal y
- el tiempo de concentración (fórmula Californiana)<sup>1</sup>.

### **5.1.5. Análisis de parámetros propuestos.**

En esta fase se evaluaron nuevos índices, que permitieran discriminar entre las unidades hidrográficas de ambas cordilleras, considerando las cuencas en estudio.

---

<sup>1</sup> Entre la gran variedad de tiempos de concentración citados en el cap.3, la elección de la fórmula se hizo de acuerdo al tamaño de la cuenca.

Luego de analizarlos detenidamente, sólo se consideraron válidos tres, y se describen a continuación:

i) Coeficiente de Pizarro ( $C_p$ ), índice relacionado con la caracterización de la red hidrográfica, y se define de acuerdo a la siguiente expresión matemática (Pizarro 2001):

$$C_p = \frac{\sum l_i}{L}$$

Donde:

$l_i$ : longitud de los cursos secundarios (km)

$L$ : longitud del curso principal (km)

Por lo tanto, este índice relaciona el número de kilómetros de afluentes que abastece a cada km de curso principal. A modo de ejemplo, un valor de 4.4 para este coeficiente señala que los cursos secundarios deben recorrer 4.4 km por cada kilómetro de curso principal.

ii) Coeficiente de González (2001), corresponde al cociente entre la superficie de la cuenca y la longitud del curso principal:

$$F_G = \frac{S}{L}$$

Donde:

$F_G$ : coeficiente de González (km)

$S$  : superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$L$  : longitud del curso principal (km)

Como ejemplo, si el coeficiente  $F_G$  resulta igual a 2.0 km, significa que 2 kilómetros cuadrados de superficie aportan a cada kilómetro de curso principal.

iii) Coeficiente de Pizarro-González (2001), que determina la velocidad media del curso principal, a través del cociente entre la longitud del curso principal de la cuenca, y el tiempo de concentración de sus aguas:

$$V_m = \frac{L}{t_c}$$

Donde:

$V_m$ : velocidad media del curso principal (km/h)

$L$  : longitud del curso principal (km)

$t_c$  : tiempo de concentración (h)

Por consiguiente, una velocidad media del curso principal de 3 km/h,, establece que el curso principal avanza, como promedio, a razón de 3 kilómetros por cada hora.

### **5.1.6. Análisis comparativo y discusión de resultados.**

#### **5.1.6.1. Análisis de resultados, según cuenca específica.**

En esta fase se llevó a cabo, una vez determinados los índices morfológicos, un análisis individual que consistió en una caracterización morfológica de cada cuenca, de acuerdo al capítulo 4, comenzando por las pertenecientes a la cordillera de los Andes,

seguidas de las de la cordillera de la Costa. Para ello, se elaboraron tablas - resúmenes con los índices de forma, relieve y red hidrográfica obtenidos en cada cuenca y, a partir de aquéllas, se realizó la correspondiente descripción morfológica.

#### **5.1.6.2. Análisis comparativo de resultados, a nivel de grupo de cuencas.**

De la descripción anterior, se determinaron, por una parte, las características comunes presentes en cuencas ubicadas en la misma cordillera (análisis intragrupal), y por otra, los intervalos de variación de algunos parámetros. A continuación, se compararon las características encontradas, y se establecieron las principales diferencias y similitudes.

#### **5.1.6.3. Análisis comparativo de resultados, entre grupos de cuencas.**

Luego de la descripción morfológica individual y del análisis intragrupal de las unidades en estudio, se llevó a cabo un análisis intergrupar, esto es, una comparación de las características morfológicas entre las cuencas de ambas cordilleras. Para ello, en primer lugar, se determinó el porcentaje de variación de los valores promedio de las cuencas costeras respecto de las cuencas andinas. En seguida, se obtuvo el porcentaje de dispersión de cada parámetro utilizado en el estudio. Y, por último, como complemento del análisis anterior, se incorporó un análisis gráfico de los resultados de cada parámetro.

### 5.1.6.3.1. Determinación y análisis del porcentaje de variación ( $\Delta\%$ ), según cada parámetro estudiado.

Para establecer en qué porcentaje varían los resultados de cada parámetro en las cuencas de ambas cordilleras, se determinó el porcentaje de variación ( $\Delta\%$ ), considerando los valores promedio de los parámetros obtenidos en la cordillera de la Costa respecto a los de la cordillera andina, como sigue:

$$\Delta\% = \frac{(P_{CA} - P_{CC})}{P_{CA}} \cdot 100$$

Donde:

$P_{CA}$ : valor promedio del parámetro estudiado, en C. de los Andes.

$P_{CC}$ : valor promedio del parámetro estudiado, en C. de la Costa.

En consecuencia, los valores positivos advierten que el resultado-promedio obtenido en la C. de los Andes supera al resultado-promedio de la C. de la Costa. En caso contrario, los valores del porcentaje de variación serán negativos.

### 5.1.6.3.2. Determinación del porcentaje de dispersión, según cada parámetro estudiado.

Por último, se debe señalar que debido al pequeño número de datos, no corresponde realizar un análisis estadístico, para lo cual se exige un mínimo de 30 datos y sólo se tienen 10 datos para cada parámetro. Según Aguirre (2002), se puede determinar el porcentaje de dispersión (% D) a cada parámetro, de acuerdo a la siguiente relación:



$$\% D = \frac{S}{M} * 100$$

Donde:

S : desviación estándar de los datos

M: promedio de los datos

#### **5.1.6.3.3. Análisis gráfico comparativo, a nivel de cada parámetro.**

En esta fase se procedió a graficar todos los resultados de cada parámetro, incluidos los valores promedio, primero de las unidades andinas y luego de las unidades costeras, para un mismo índice, y seguido de su correspondiente comparación.

Este análisis gráfico de los resultados permitió, por una parte, apreciar con mayor claridad si existía o no homogeneidad de los resultados, y por otra, visualizar el intervalo de variación de sus valores.

#### **5.1.6.4. Análisis de resultados, a nivel de las medias de cada parámetro.**

Al reunir los valores promedio de cada parámetro, se conformó una cuenca con ciertas características denominada cuenca promedio. De este modo, esta fase metodológica consistió en la caracterización de la cuenca promedio de cada cordillera, es decir, se realizó la descripción morfológica de los valores promedio de los parámetros utilizados, y luego se estableció una comparación entre ambas cuencas promedio.

### **5.1.7. Conclusiones y recomendaciones.**

En esta etapa, se identificaron las ventajas-desventajas de los procedimientos aplicados tanto en la determinación de la información base como de los parámetros morfológicos, y a partir de los resultados obtenidos se generaron conclusiones, de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente y, derivadas a través del desarrollo de la memoria.

Finalmente, se indicaron las recomendaciones que se estimaron convenientes para ser aprovechadas en futuras investigaciones ligadas al tema.

### **5.2. Materiales y equipos.**

Básicamente, en el desarrollo de este estudio se utilizaron los siguientes materiales, equipos y programas computacionales:

- Base de datos, cuencas de la Región del Maule, perteneciente a Conaf VII Región.
- Cartas IGM de la zona (VII Región), I.G.M., Escala 1:50.000.
- Mapa de cuencas de la Región del Maule, Escala 1:250.000, perteneciente a Conaf VII Región.
- Equipos computacionales (PC e impresora):
  - Ordenador 32 Mb en RAM, 200 Mhz

- Programas computacionales para el tratamiento de la información, análisis gráfico y redacción del desarrollo del estudio, y presentación final:
  - Procesador de texto: Microsoft Word 97.
  - Planilla electrónica: Microsoft Excel 97.
  - Sistemas de Información Geográfica (SIG):

Software Arc View , Versión 3.1

Software Idrisi , Versión 2.0

## 6.0. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

En esta fase se dan a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo de la memoria.

### 6.1. Selección de unidades hidrográficas.

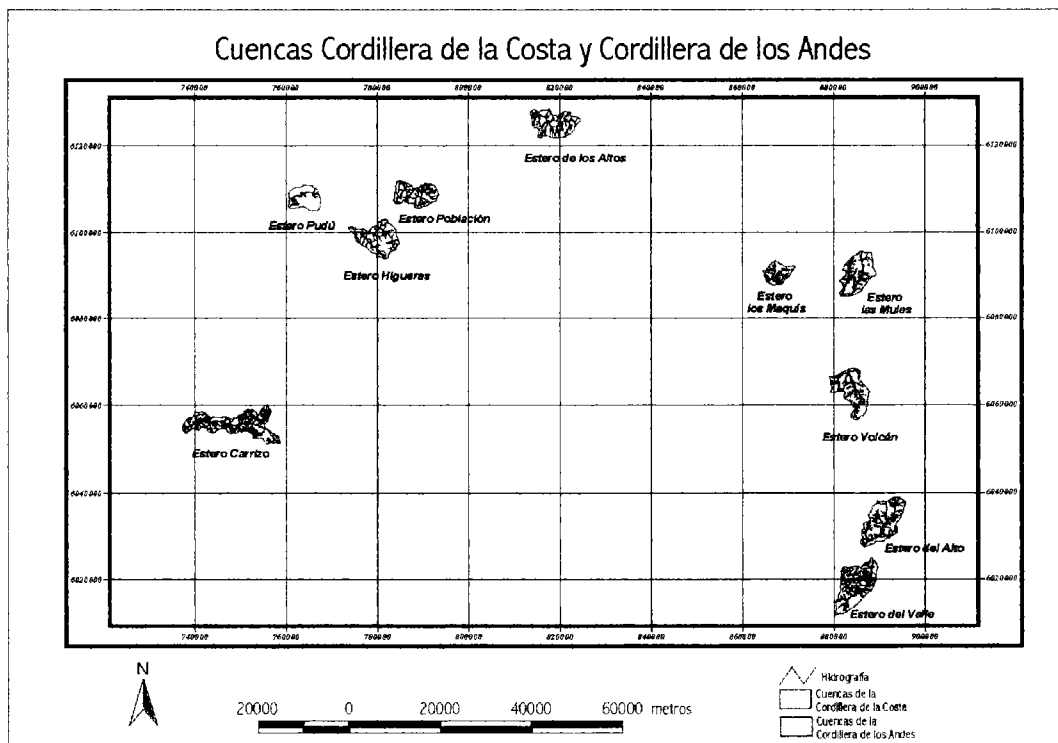
Básicamente correspondió al proceso de determinar las cuencas que serían la base del estudio. De este modo las diez unidades hidrográficas seleccionadas, además de su código y superficie, según estudio U. Católica – Serplac (1981), fueron:

**Tabla N°1: Cuencas seleccionadas de la Cordillera de los Andes y de la Cordillera de la Costa.**

<b><i>CORDILLERA DE LOS ANDES</i></b>		
<b>Cuencas</b>	<b>Código Conaf</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
E. los Maquis ( <sup>2</sup> )	1.233	22
E. las Mulas	1.231	58
E. Volcán	1.21	58
E. del Alto	2.5	73
E. del Valle	2.3	73
<b><i>CORDILLERA DE LA COSTA</i></b>		
<b>Cuencas</b>	<b>Código Conaf</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
E. Pudú	13.5	34
E. Población	1.1011	45
E. de los Altos	4.122	49
E. Higueras	13.311	56
E. Carrizo	24.21	63

<sup>2</sup> E.: Estero

En conjunto estas cuencas cubren una superficie de 531 km<sup>2</sup>, y se presentan a continuación en un mapa de ubicación en la Región del Maule (Ver figura 6). Además, se muestran de manera individual a escala 1:150.000 (Ver Apéndice N° 1-10).



**Figura 6: Mapa de ubicación de las cuencas seleccionadas, en la VII Región.**

Cabe señalar, que la aplicación del algoritmo “Determinación del área entre curvas de nivel”, desarrollado en Arc View 3.1 e Idrisi 2.0, resultó por un lado compleja, debido a la combinación de dos software, y por otro, los resultados de superficie determinados a través de este método, presentaron pequeñas diferencias de los valores entregados directamente por el comando de Arc View 3.1. En virtud de lo anterior, se revisó cuál fue la causa, y se determinó que la diferencia se debió al tamaño de la cuadrícula utilizada en el algoritmo. Mientras más pequeña, se produce un mayor error debido a que las líneas están formadas por píxeles.

## 6.2. Determinación de Información base.

Una vez seleccionadas las diez cuencas a estudiar, se procedió a realizar el proceso de digitalización, que consistió en corregir sus límites, y completar zonas divergentes en las curvas de nivel. En seguida, se determinó la información base que contempla áreas y perímetros, la longitud del curso principal y la sumatoria de los cursos secundarios, para las cuencas de ambas cordilleras (Tablas N° 2-3).

**Tabla N° 2: Información base, en cuencas de la Cordillera de los Andes.**

<b>CORDILLERA DE LOS ANDES</b>				
<i>Cuencas</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Perímetro (km)</i>	<i>Longitud Curso Principal (km)</i>	<i>Longitud Cursos Tributarios (km)</i>
E. los Maquis	23,6	20,7	7,2	34,8
E. las Mulas	53,6	32,2	24,2	40,4
E. Volcán	53,9	35,9	14,0	51,1
E. del Alto	67,8	36,5	13,3	85,0
E. del Valle	70,5	38,4	16,7	99,3
<i>Promedio</i>	54,0	33,0	15,1	62,1
<i>Desviación estándar</i>	18,6	7,1	6,2	28,5

**Tabla N° 3: Información base, en cuencas de la Cordillera de la Costa.**

<b>CORDILLERA DE LA COSTA</b>				
<i>Cuencas</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Perímetro (km)</i>	<i>Longitud Curso Principal (km)</i>	<i>Longitud Cursos Tributarios (km)</i>
E. Pudú	34,1	23,7	14,1	63,5
E. Población	41,7	30,5	10,3	14,9
E. de los Altos	49,4	32,8	11,6	65,8
E. Higueras	54,7	33,9	15,7	61,9
E. Carrizo	80,4	62,2	26,3	12,0
<i>Promedio</i>	52,1	37,0	16,0	44,0
<i>Desviación estándar</i>	17,7	14,8	6,3	27,6

### 6.3. Morfología de cuencas.

La determinación de los parámetros morfométricos, de relieve y de la red hidrográfica, se realizó a partir de la información base obtenida en la sección anterior.

#### 6.3.1. Parámetros morfométricos.

Dentro de los índices que caracterizan la forma de una cuenca, se determinó el coeficiente de Gravelius, el rectángulo equivalente y el radio de elongación de las unidades en estudio (Tablas N° 4-5). En las tablas N° 6-7, se indican las dimensiones obtenidas para el rectángulo equivalente, y el correspondiente porcentaje de irregularidad, señalado en el capítulo N° 4.

**Tabla N° 4: Parámetros de forma, en cuencas de la Cordillera de los Andes.**

<b><i>CORDILLERA DE LOS ANDES</i></b>			
<b><i>Cuencas</i></b>	<b><i>Coefficiente de Gravelius</i></b>	<b><i>Porcentaje de Irregularidad (%)</i></b>	<b><i>Radio de Elongación de Schumm</i></b>
E. los Maquis	1,19	200	0,8
E. las Mulas	1,23	240	0,3
E. Volcán	1,37	370	0,6
E. del Alto	1,24	250	0,7
E. del Valle	1,28	290	0,6
<b><i>Promedio</i></b>	1,26	270	0,6
<b><i>Desviación estándar</i></b>	0,07	64,4	0,19

Tabla N° 5: Parámetros de forma, en cuencas de la Cordillera de la Costa.

<b>CORDILLERA DE LA COSTA</b>			
<i>Cuencas</i>	<i>Coefficiente de Gravelius</i>	<i>Porcentaje de Irregularidad (%)</i>	<i>Radio de Elongación de Schumm</i>
E. Pudú	1,13	140	0,5
E. Población	1,32	330	0,7
E. de los Altos	1,31	310	0,7
E. Higueras	1,28	300	0,5
E. Carrizo	1,94	1000	0,4
<i>Promedio</i>	1,40	416	0,6
<i>Desviación estándar</i>	0,31	335,2	0,13

Tabla N° 6: Dimensiones del rectángulo equivalente, en cuencas de la Cordillera de los Andes.

<b>CORDILLERA DE LOS ANDES</b>			
<i>Cuencas</i>	<i>Lado Mayor (km)</i>	<i>Lado Menor (km)</i>	<i>Porcentaje de Irregularidad (%)</i>
E. los Maquis	6,97	3,38	200
E. las Mulas	11,37	4,71	240
E. Volcán	14,12	3,82	370
E. del Alto	13,08	5,18	250
E. del Valle	14,27	4,94	290
<i>Promedio</i>	11,96	4,4	270
<i>Desviación estándar</i>	3,0	0,8	64,4

Tabla N° 7: Dimensiones del rectángulo equivalente, en cuencas de la Cordillera de la Costa.

<b>CORDILLERA DE LA COSTA</b>			
<i>Cuencas</i>	<i>Lado Mayor (km)</i>	<i>Lado Menor (km)</i>	<i>Porcentaje de Irregularidad (%)</i>
E. Pudú	6,87	4,96	140
E. Población	11,70	3,56	330
E. de los Altos	12,41	3,98	310
E. Higueras	12,64	4,33	300
E. Carrizo	28,24	2,85	1.000
<i>Promedio</i>	14,37	4,0	416
<i>Desviación estándar</i>	8,1	0,8	335,2



### 6.3.2. Parámetros de relieve.

Entre los parámetros de relieve se obtuvo la pendiente media simple, la pendiente media de Mociornita, la altura media, el coeficiente orográfico (Tablas N° 8-9), y a continuación, la curva hipsométrica (Figuras 6-15).

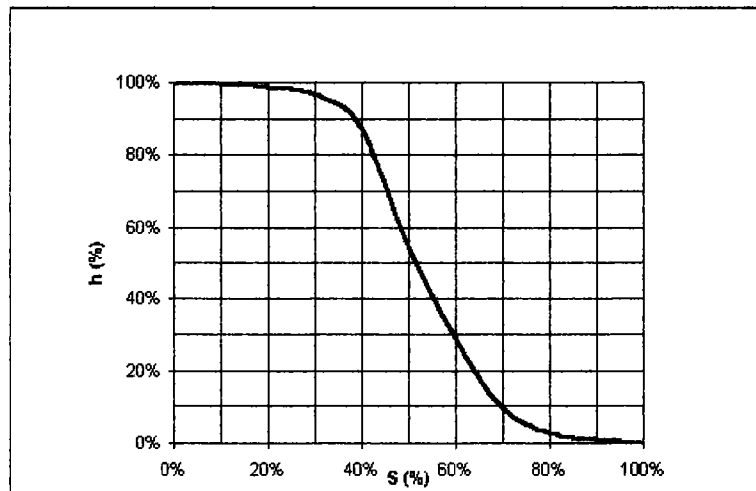
**Tabla N° 8: Parámetros de relieve, en cuencas de la Cordillera de los Andes.**

<b>CORDILLERA DE LOS ANDES</b>				
<i>Cuencas</i>	<i>Pendiente Media Simple (%)</i>	<i>Pendiente Media de Mociornita (%)</i>	<i>Altura Media (%)</i>	<i>Coficiente Orográfico</i>
E. los Maquis	32	32	53	28
E. las Mulas	63	63	48	23
E. Volcán	57	57	45	20
E. del Alto	60	60	66	44
E. del Valle	55	55	45	20
<i>Promedio</i>	53	53	51	27
<i>Desviación estándar</i>	12,3	12,3	8,8	10

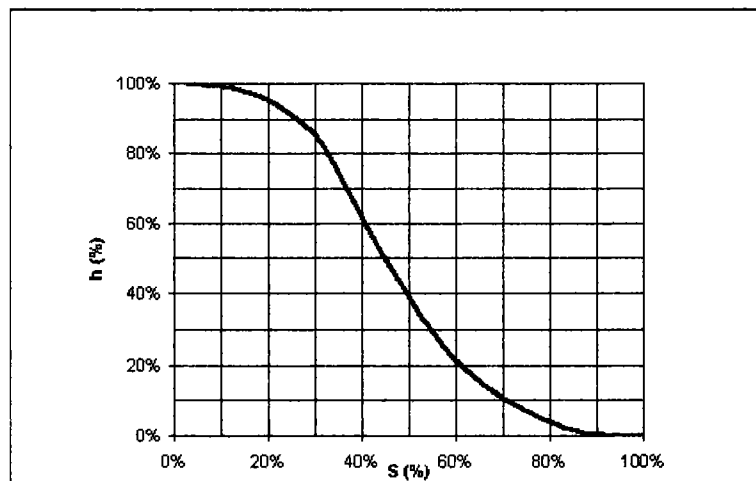
**Tabla N° 9: Parámetros de relieve, en cuencas de la Cordillera de la Costa.**

<b>CORDILLERA DE LA COSTA</b>				
<i>Cuencas</i>	<i>Pendiente Media Simple (%)</i>	<i>Pendiente Media de Mociornita (%)</i>	<i>Altura Media (%)</i>	<i>Coficiente Orográfico</i>
E. Pudú	40	40	63	40
E. Población	36	36	41	17
E. de los Altos	21	21	46	21
E. Higueras	39	39	41	17
E. Carrizo	30	30	37	14
<i>Promedio</i>	33	33	46	22
<i>Desviación estándar</i>	8	8	10,2	10,5

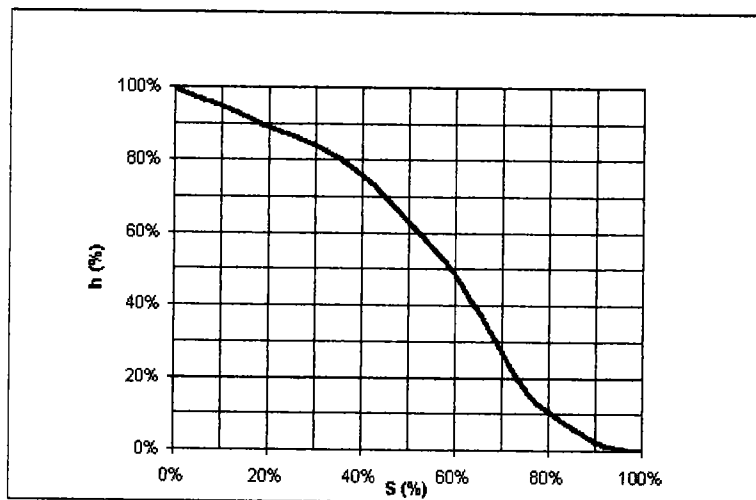
En las figuras 7-11 se dan a conocer las curvas hipsométricas correspondientes a las unidades hidrográficas de la Cordillera de los Andes:



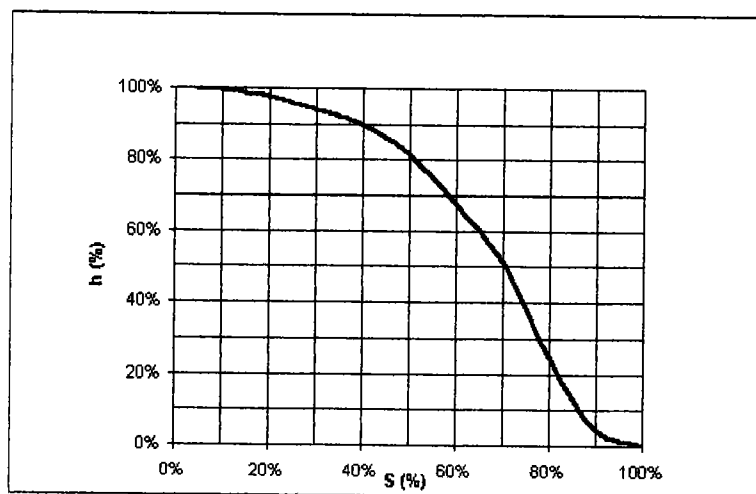
**Fig. 7: Curva Hipsométrica de cuenca Estero los Maquis.**



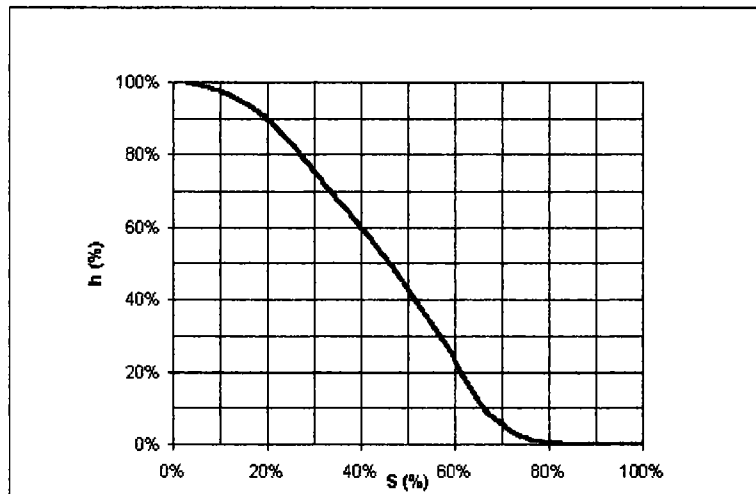
**Fig. 8: Curva Hipsométrica de cuenca Estero las Mulás.**



**Fig. 9: Curva Hipsométrica de cuenca Estero Volcán.**

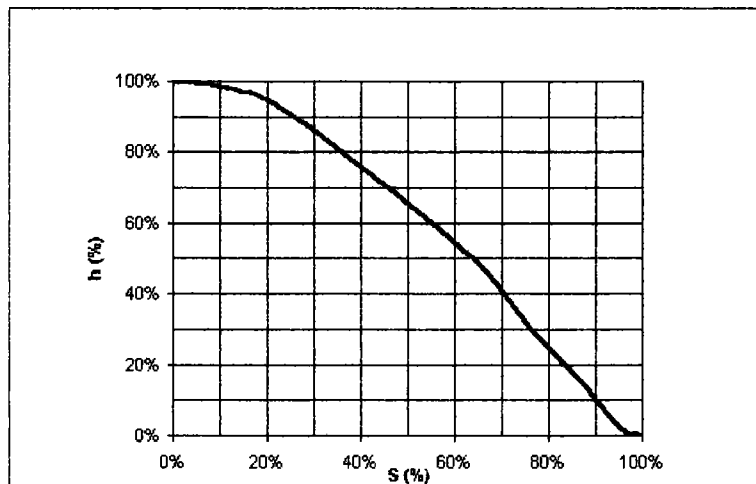


**Fig. 10: Curva Hipsométrica de cuenca Estero del Alto.**

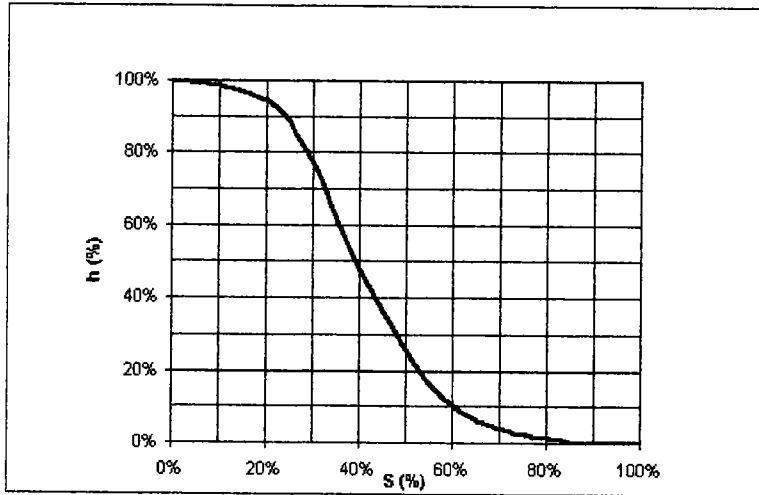


**Fig. 11: Curva Hipsométrica de cuenca Estero del Valle.**

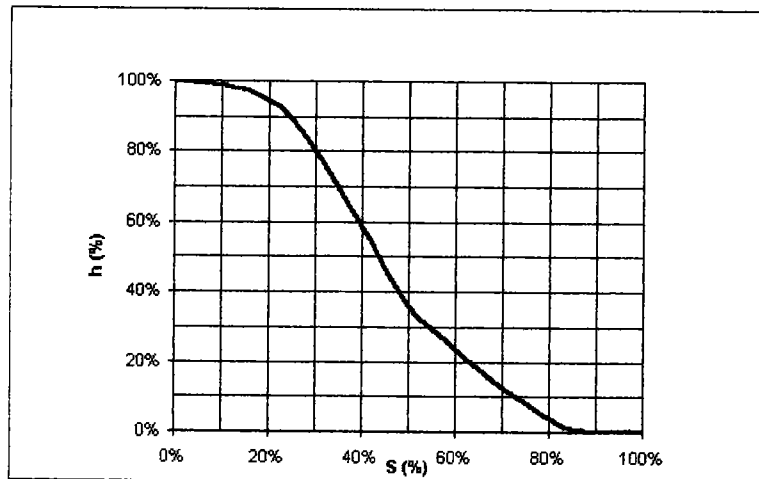
En las figuras 12-16 se presentan las curvas hipsométricas correspondientes a las unidades hidrográficas de la Cordillera de la Costa:



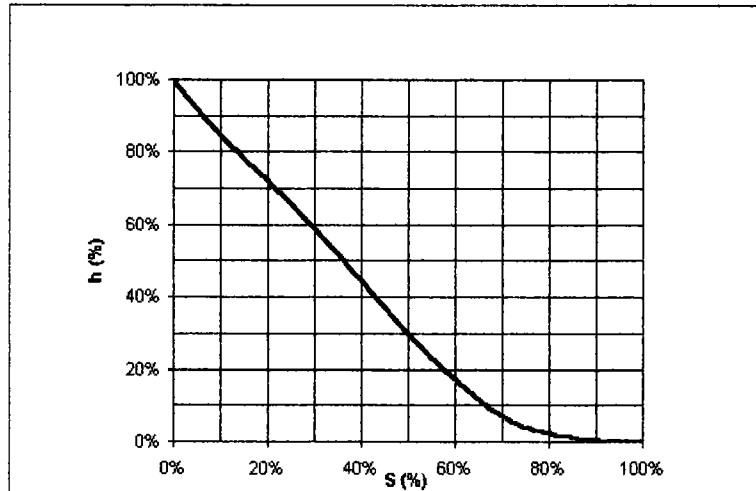
**Fig. 12: Curva Hipsométrica de cuenca Estero Pudú.**



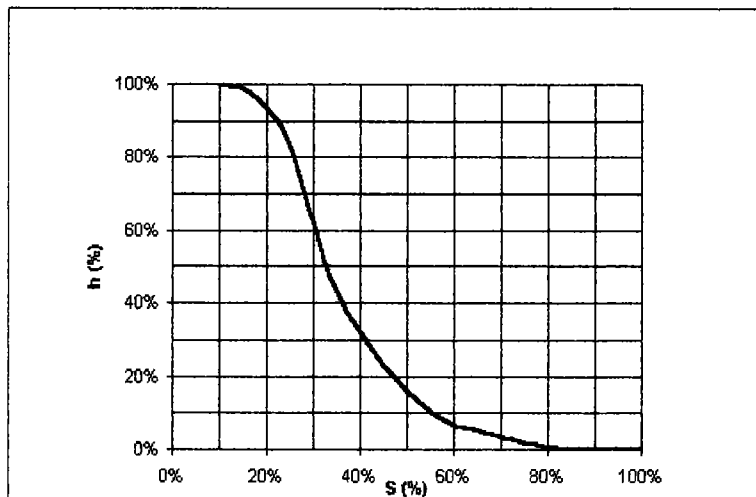
**Fig. 13: Curva Hipsométrica de cuenca Estero Población.**



**Fig. 14: Curva Hipsométrica de cuenca Estero de los Altos.**



**Fig. 15: Curva Hipsométrica de cuenca Estero Higueras.**



**Fig. 16: Curva Hipsométrica de cuenca Estero Carrizo.**

### 6.3.3. Parámetros de red hidrográfica.

De la red hidrográfica se determinó la densidad de drenaje, el tiempo de concentración (fórmula Californiana) y la pendiente media del curso principal (Tablas N° 10-11).

**Tabla N° 10: Parámetros de red de drenaje, en cuencas de la Cordillera de los Andes.**

<b>CORDILLERA DE LOS ANDES</b>			
<i>Cuencas</i>	<i>Densidad de Drenaje (km<sup>-1</sup>)</i>	<i>Tiempo de Concentración (h)</i>	<i>Pendiente Media Curso Principal (%)</i>
E. los Maquis	1,78	0,66	13
E. las Mulas	1,21	1,95	9
E. Volcán	1,21	1,13	12
E. del Alto	1,45	1,02	15
E. del Valle	1,64	1,27	13
<i>Promedio</i>	1,44	1,21	13
<i>Desviación estándar</i>	0,25	0,47	2,2

**Tabla N° 11: Parámetros de red de drenaje, en cuencas de la Cordillera de la Costa.**

<b>CORDILLERA DE LA COSTA</b>			
<i>Cuencas</i>	<i>Densidad de Drenaje (km<sup>-1</sup>)</i>	<i>Tiempo de Concentración (h)</i>	<i>Pendiente Media Curso Principal (%)</i>
E. Pudú	1,57	1,74	3
E. Población	0,74	1,31	6
E. de los Altos	1,86	1,35	5
E. Higueras	1,42	1,79	5
E. Carrizo	1,82	3,65	2
<i>Promedio</i>	1,48	1,97	4
<i>Desviación estándar</i>	0,45	0,97	1,6

### 6.3.4. Parámetros propuestos.

Los resultados que entregaron los índices propuestos, al ser evaluados para las unidades en estudio, se presentan en las tablas N° 12-14:

**Tabla N° 12: Evaluación del coeficiente de Pizarro (red hidrográfica), en cuencas de la Cordillera de los Andes y de la Cordillera de la Costa.**

<i>C. de los Andes</i>		<i>C. de la Costa</i>	
<i>Cuencas</i>	<i>Coef. Pizarro</i>	<i>Cuencas</i>	<i>Coef. Pizarro</i>
E. los Maquis	4,9	E. Pudú	1,5
E. las Mulas	1,7	E. Población	5,7
E. Volcán	3,6	E. de los Altos	4,5
E. del Alto	6,4	E. Higueras	3,9
E. del Valle	6,0	E. Carrizo	4,6
<i>Promedio</i>	4,5	<i>Promedio</i>	4,0
<i>Desviación estándar</i>	1,9	<i>Desviación estándar</i>	1,5

**Tabla N° 13: Evaluación del coeficiente de González (red hidrográfica), en cuencas de la Cordillera de los Andes y de la Cordillera de la Costa.**

<i>C. de los Andes</i>		<i>C. de la Costa</i>	
<i>Cuencas</i>	<i>Coef. González (km)</i>	<i>Cuencas</i>	<i>Coef. González (km)</i>
E. los Maquis	3,30	E. Pudú	3,51
E. las Mulas	2,21	E. Población	3,31
E. Volcán	3,84	E. de los Altos	3,59
E. del Alto	5,11	E. Higueras	3,48
E. del Valle	4,23	E. Carrizo	3,06
<i>Promedio</i>	3,74	<i>Promedio</i>	3,39
<i>Desviación estándar</i>	1,1	<i>Desviación estándar</i>	0,2



**Tabla N° 14: Evaluación del coeficiente de Pizarro- González (red hidrográfica), en cuencas de la Cordillera de los Andes y de la Cordillera de la Costa.**

<i>C. de los Andes</i>		<i>C. de la Costa</i>	
<i>Cuencas</i>	<b>Coef. Pizarro-González (km/h)</b>	<i>Cuencas</i>	<b>Coef. Pizarro-González (km/h)</b>
E. los Maquis	10,8	E. Pudú	8,1
E. las Mulas	12,4	E. Población	7,8
E. Volcán	12,4	E. de los Altos	8,6
E. del Alto	13,0	E. Higueras	8,8
E. del Valle	13,1	E. Carrizo	7,2
<i>Promedio</i>	12,4	<i>Promedio</i>	8,1
<i>Desviación estándar</i>	0,9	<i>Desviación estándar</i>	0,6

## 7.0. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una vez determinados los parámetros de forma, relieve y red hidrográfica, se llevó a cabo la fase metodológica de análisis y discusión de la información.

### 7.1. Análisis de resultados, según cuenca específica.

En esta etapa se elaboraron tablas-resumen (tablas N° 15-24) de las diez cuencas hidrográficas, que contienen los índices morfológicos y los parámetros propuestos obtenidos, y a continuación se realizó su respectiva descripción.

#### 7.1.1. Cuencas de la Cordillera de los Andes.

##### 7.1.1.1. Cuenca Estero Los Maquis.

**Tabla N° 15: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Los Maquis.**

$K_c$ <sup>3</sup>	% I	R.e.	P.Moc. (%) <sup>4</sup>	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.19	200	0.8	32	1353	28	1.78	0.66	13	4.9	3.30	10.8

<sup>3</sup> Considerar  $K_c$ : coeficiente de Gravelius; %I: Rectángulo equivalente; R.e.: radio de elongación de Schumm; P. Moc.: pendiente media de Mociornita;  $H_m$ : altura media (m.s.n.m.);  $C_o$ : coeficiente orográfico;  $D_d$ : densidad de drenaje ( $km/km^2$ );  $t_c$ : tiempo de concentración;  $P_m L$ : pendiente media del curso principal; y los parámetros propuestos,  $C_p$ ,  $F_G$  y  $V_m$ , de Pizarro, de González y de Pizarro-González, respectivamente, para las tablas N°15 a 24.

<sup>4</sup> En todas las unidades hidrográficas en estudio, los valores de pendiente media simple y pendiente media de Mociornita coincidieron, por ello en cada tabla- resumen sólo se consideró esta última.

### - Descripción morfológica.

En cuanto a los índices morfométricos se tiene que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma bastante cercana a un círculo ( $K_c = 1.19$ ), pues sólo tiene un 19% de irregularidad respecto a esa figura. Por su parte, del rectángulo equivalente se desprende que la cuenca presenta un 100% de irregularidad con respecto a un cuadrado; mientras tanto, el radio de elongación de Schumm ( $R.e. = 0.8$ ) indica que la zona en estudio presenta características de cuencas con suaves pendientes.

Dentro de los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico advierte la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La pendiente media de Mociornita del 32% sugiere una rápida velocidad de respuesta, y precisamente el tiempo de concentración refleja esta situación ( $t_c = 0.66$  h), siendo el menor tiempo registrado en las cuencas andinas, y más aún, en todas las unidades en estudio. Al observar su curva hipsométrica se aprecia la figura de una cuenca con una gran caída de altura en su parte media, formando una pequeña zona de inundación.

Respecto a los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal de un 13%, fue una de las mayores de todas las unidades en estudio. Asimismo, la densidad de drenaje ( $D_d = 1.78$  km/km<sup>2</sup>), uno de los tres mayores valores obtenidos, revela que existen 1.78 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada km<sup>2</sup> de superficie de cuenca.

En relación a los parámetros propuestos, el coeficiente de Pizarro señala que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 4.9 km de cursos secundarios; por su parte, el coeficiente de González indica que 3.3 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal fue de 10.8 km/h, la menor de las unidades andinas.

### 7.1.1.2. Cuenca Estero Las Mulas.

**Tabla N° 16: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Las Mulas.**

$K_c$	% I	R.c.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.23	240	0.3	63	2056	23	1.21	1.95	9	1.7	2.21	12.4

#### - Descripción morfológica.

Los índices morfométricos dan a conocer que la cuenca en estudio posee una forma más cercana a ovalada, con un 23% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la unidad hidrográfica presenta un 140% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y según el radio de elongación de Schumm, corresponde a una cuenca con un relieve muy pronunciado, situación que queda en evidencia al observar la pendiente media de Mociornita, que denota el valor más alto de todas las unidades en estudio.

En cuanto a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico indica que se trata de una cuenca sin grandes características de desgaste. La curva hipsométrica de la cuenca establece que la zona en estudio presenta características de una cuenca en estado de equilibrio, con una gran caída de altura en su parte media, formando una zona de inundación.

En lo que concierne a los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal es la menor de las unidades andinas. Por otro lado, la cuenca presenta uno de los más altos tiempos de concentración ( $t_c = 1.95$  h) acompañado de una baja densidad de drenaje, que en este caso corresponde a 1.21 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada  $km^2$  de superficie de cuenca, una de las menores densidades de cursos.

Al observar los parámetros propuestos se aprecia, según el coeficiente de Pizarro, que 1.7 kilómetros de cursos secundarios alimentan a cada km de curso principal; de acuerdo al coeficiente de González 2.21 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal y la velocidad media del curso principal es de 12.4 km/h, una de las mayores obtenidas en el estudio.

#### 7.1.1.3. Cuenca Estero Volcán.

**Tabla N° 17: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Volcán.**

K <sub>c</sub>	% I	R.c.	P.Moc. (%)	H <sub>m</sub>	C <sub>o</sub>	D <sub>a</sub>	t <sub>c</sub> (h)	P <sub>m</sub> L (%)	C <sub>p</sub>	F <sub>G</sub> (km)	V <sub>m</sub> (km/h)
1.37	370	0.6	57	2237	20	1.21	1.13	12	3.6	3.84	12.4

#### - Descripción morfológica.

De los índices morfométricos se desprende que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma muy cercana a ovalada, con un 37% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 270% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y del radio de elongación de Schumm se deduce que la zona en estudio posee un relieve pronunciado.

En lo que respecta a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico advierte la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La pendiente media de Mociornita del 57% indica una rápida velocidad de respuesta de la cuenca, y precisamente el tiempo de concentración refleja esta situación ( $t_c = 1.13$  h), siendo uno de los tiempos más bajos de todas las unidades en estudio. En tanto, la curva hipsométrica de la cuenca presenta su mayor descenso de altura, hacia el final de su recorrido.

En relación a los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal es una de las mayores considerando todas las unidades en estudio, y la densidad de drenaje revela que existen 1.21 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada km<sup>2</sup> de superficie de cuenca, una de las menores densidades de cursos de agua por unidad de área.

De los parámetros propuestos, el coeficiente de Pizarro señala que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 3.6 km de cursos secundarios; por su parte, el coeficiente de González indica que 3.84 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal es de 12.4 km/h.

#### 7.1.1.4. Cuenca Estero del Alto.

**Tabla N° 18: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero del Alto.**

K <sub>c</sub>	% I	R.e.	P.Moc. (%)	H <sub>m</sub>	C <sub>o</sub>	D <sub>d</sub>	t <sub>c</sub> (h)	P <sub>m</sub> L (%)	C <sub>P</sub>	F <sub>G</sub> (km)	V <sub>m</sub> (km/h)
1.24	250	0.7	60	2387	44	1.45	1.02	15	6.4	5.11	13.0

#### - Descripción morfológica.

Los índices morfométricos dan a conocer que la cuenca en estudio posee una forma más cercana a ovalada, con un 23% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 150% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y del radio de elongación de Schumm se desprende que la zona en estudio presenta un relieve pronunciado.

En cuanto a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico advierte la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La elevada pendiente media de Mociornita prevé una rápida velocidad de respuesta, situación reflejada por el

tiempo de concentración ( $t_c = 1.02$  h), siendo uno de los tiempos más bajos de todas las unidades en estudio. La curva hipsométrica de la cuenca presenta, en tanto, un fuerte descenso de altura, hacia el final de su recorrido.

En lo que concierne a los coeficientes de red hidrográfica, el curso principal posee la mayor pendiente media de todos los cursos, y la densidad de drenaje establece que 1.45 kilómetros de cauce atraviesan  $1 \text{ km}^2$  de superficie en la cuenca.

De los parámetros propuestos se aprecia que 6.4 kilómetros de cursos secundarios alimentan a cada km de curso principal,  $5.11 \text{ km}^2$  de superficie aportan a cada km de curso principal y la velocidad media del curso principal es de 13 km/h.

#### 7.1.1.5. Cuenca Estero del Valle.

**Tabla N° 19: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero del Valle.**

$K_c$	% I	R.e.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.28	290	0.6	55	2090	20	1.64	1.27	13	6.0	4.23	13.1

#### - Descripción morfológica.

En relación a los índices morfométricos se tiene que la unidad hidrográfica en estudio posee forma cercana a ovalada, con un 28% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente indica que la cuenca presenta un 190% de irregularidad con respecto a un cuadrado; y del radio de elongación de Schumm se desprende que la zona en estudio tiene un pronunciado relieve.

En lo que respecta a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico advierte la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La pendiente media de

Mociornita del 55% sugiere una rápida velocidad de respuesta, y precisamente el tiempo de concentración refleja esta situación. Al observar la curva hipsométrica de la cuenca se aprecia una curva intermedia con un fuerte descenso de altura en su parte media, formando una zona de inundación.

De los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal es una de las mayores de todas las unidades en estudio, y la densidad de drenaje revela que existen 1.64 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada km<sup>2</sup> de superficie de cuenca.

Los parámetros propuestos expresan que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 6 km de cursos secundarios, 4.23 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal es de 13.1 km/h, la mayor de todas las unidades en estudio.

## 7.1.2. Cuencas de la Cordillera de la Costa.

### 7.1.2.1. Cuenca Estero Pudú.

**Tabla N° 20: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Pudú.**

$K_c$	% I	R.c.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.13	140	0.5	40	324	40	1.57	1.74	3	1.5	3.51	8.1

#### - Descripción morfológica.

En lo que concierne a los parámetros morfométricos, se tiene que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma muy cercana a un círculo ( $K_c=1.13$ ), con sólo un



13% de irregularidad con respecto a esa figura. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 40% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y del radio de elongación de Schumm ( $R.e.=0.5$ ), se deduce que la zona en estudio presenta características de cuencas con un pronunciado relieve.

Dentro de los índices de relieve, el coeficiente orográfico señala la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La pendiente media de Mociornita del 40%, la más alta en la Cordillera de la Costa, advierte una rápida velocidad de respuesta de la cuenca, y precisamente el tiempo de concentración refleja esta situación ( $t_c = 1.31$  h), siendo el menor tiempo registrado en las unidades costeras. Al observar la curva hipsométrica de la cuenca, se aprecia un descenso constante de altura en todo su conjunto.

En relación a los coeficientes de red hidrográfica, el tiempo de concentración de 1.74 h, se encuentra acompañado de una de las más bajas pendientes medias del curso principal. La densidad de drenaje establece que 1.57 kilómetros de cauce atraviesan 1 km<sup>2</sup> de superficie en la cuenca.

De los parámetros propuestos, el coeficiente de Pizarro señala que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 1.5 km de cursos secundarios; por su parte, el coeficiente de González indica que 3.51 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal equivale a 8.1 km/h.

#### 7.1.2.2. Cuenca Estero Población.

**Tabla N° 21: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Población.**

$K_c$	% I	R.e.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.32	330	0.7	36	331	17	0.74	1.31	6	5.7	3.31	7.8

### - Descripción morfológica.

De los índices morfométricos se tiene que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma bastante cercana a ovalada, con un 32 % de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 230 % de irregularidad con respecto a un cuadrado, y del radio de elongación de Schumm se desprende que la zona en estudio presenta características de cuencas con un relieve pronunciado.

En lo que concierne a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico define una cuenca con grandes niveles de desgaste. La pendiente media de Mociornita (36%) confirma la presencia de un relieve acentuado, y la curva hipsométrica de la cuenca, representa a una cuenca con una gran caída de altura en su parte media, formando una clara zona de inundación.

En cuanto a los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principales es la mayor de las unidades costeras, y la densidad de drenaje establece que 0.74 kilómetros de cauce atraviesan 1 km<sup>2</sup> de superficie en la cuenca, la menor de las densidades de cursos, de todas las unidades en estudio.

Entre los parámetros propuestos se tiene que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 5.7 km de cursos secundarios; por otro lado, 3.31 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y 7.8 km/h es la velocidad media del curso principal.

#### 7.1.2.3. Cuenca Estero de los Altos.

**Tabla N° 22: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero de los Altos.**

K <sub>c</sub>	% I	R.e.	P.Moc. (%)	H <sub>m</sub>	C <sub>o</sub>	D <sub>d</sub>	t <sub>c</sub> (h)	P <sub>m</sub> L (%)	C <sub>p</sub>	F <sub>G</sub> (km)	V <sub>m</sub> (km/h)
1.31	310	0.7	21	414	21	1.86	1.35	5	4.5	3.6	8.6

### - Descripción morfológica.

En lo que respecta a los índices morfométricos, se tiene que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma cercana a ovalada, con un 31% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente muestra que la cuenca presenta un 210% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y el radio de elongación de Schumm señala que la zona en estudio presenta características de cuencas con un relieve pronunciado.

Dentro de los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico advierte la presencia de una cuenca sin grandes características de desgaste. La pendiente media de Mociornita del 21%, la más baja de todas las unidades en estudio. Al observar la curva hipsométrica de la cuenca, se aprecia una curva intermedia con una gran caída de altura en su parte media, formando una zona de inundación.

En relación a los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal es una de las mayores dentro de las unidades costeras, la densidad de drenaje indica que existen 1.86 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada km<sup>2</sup> de superficie de cuenca, y se advierte una rápida velocidad de respuesta ( $t_c = 1.35$  h), en directa relación con una alta densidad de drenaje.

Los parámetros propuestos expresan que cada kilómetro de curso principal es abastecido por 4.5 km de cursos secundarios, 3.6 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal es de 8.6 km/h.

#### 7.1.2.4. Cuenca Estero Higueras.

**Tabla N° 23: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Higueras.**

$K_c$	% I	R.e.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.28	300	0.5	39	382	17	1.42	1.79	5	3.9	3.48	8.8

### - Descripción morfológica.

Los índices morfométricos dan a conocer que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma cercana a ovalada, con un 28% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 200% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y el radio de elongación de Schumm indica que la zona en estudio posee un pronunciado relieve.

En lo que respecta a los parámetros de relieve, el coeficiente orográfico establece la presencia de una cuenca con grandes características de desgaste. La pendiente media de Mociornita del 39% confirma el acentuado relieve. La curva hipsométrica representa una cuenca con un descenso constante de altura en todo su conjunto.

Entre los coeficientes de red hidrográfica, la pendiente media del curso principal es una de las mayores considerando las unidades costeras, y el tiempo de concentración ( $t_c = 1.79$  h) refleja una alta densidad de drenaje, equivalente a 1.79 km lineales de cursos menores y mayores de agua por cada km<sup>2</sup> de superficie de cuenca.

Dentro de los parámetros propuestos, según el coeficiente de Pizarro cada kilómetro de curso principal es abastecido por 3.9 km de cursos secundarios; por su parte, el coeficiente de González indica que 3.48 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y la velocidad media del curso principal corresponde a 8.8 km/h, la mayor velocidad registrada entre las unidades costeras.

#### 7.1.2.5. Cuenca Estero Carrizo.

**Tabla N° 24: Valores de parámetros morfológicos y propuestos, en cuenca Estero Carrizo.**

$K_c$	% I	R.e.	P.Moc. (%)	$H_m$	$C_o$	$D_d$	$t_c$ (h)	$P_m L$ (%)	$C_p$	$F_G$ (km)	$V_m$ (km/h)
1.94	1000	0.4	30	378	14	1.82	3.65	2	4.6	3.06	7.2

### **- Descripción morfológica.**

De los índices morfométricos se desprende que la unidad hidrográfica en estudio posee una forma cercana a oblonga, con un 94% de irregularidad con respecto a un círculo. Por su parte, el rectángulo equivalente señala que la cuenca presenta un 900% de irregularidad con respecto a un cuadrado, y del radio de elongación de Schumm se desprende que la zona en estudio presenta un relieve pronunciado.

En lo que concierne a los parámetros de relieve, la pendiente media de Mociornita del 30% confirma la situación anterior. Por su parte, el coeficiente orográfico admite la presencia de una cuenca con nivel importante de senilidad, y al apreciar la curva hipsométrica de la cuenca se observa la figura de una cuenca con una gran caída de altura en su parte media, que deja ver una clara zona de inundación.

En cuanto a los coeficientes de red hidrográfica, la cuenca presentó una elevada densidad de drenaje, 1.82 km lineales de cursos menores y mayores de agua, acompañada de la menor pendiente media del curso principal, de todas las unidades en estudio, lo cual explica el alto tiempo de concentración obtenido ( $t_c = 3.65$  h), siendo el mayor tiempo registrado de todas las unidades en estudio.

Al apreciar los parámetros propuestos se observa que, según el coeficiente de Pizarro, cada kilómetro de curso principal es abastecido por 4.6 km de cursos secundarios; de acuerdo al coeficiente de González, 3.06 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada km de curso principal, y 7.2 km/h es la velocidad media del curso principal, la menor velocidad de todas las unidades en estudio .

### **7.2. Análisis de resultados, a nivel de cada grupo de cuencas.**

De la descripción anterior, se determinaron tanto las características comunes presentes en cuencas ubicadas en la misma cordillera, como los intervalos de variación de

algunos parámetros y, a continuación, luego se establecieron las principales diferencias y similitudes.

### **7.2.1. Forma.**

- **Cordillera de los Andes:** En cuatro de sus cuencas se presentó formas ovalo-redondas a ovaladas, y por otro lado, en igual número se observó de un 200 hasta un 290% de irregularidad con respecto a un cuadrado. Los valores del radio de elongación de Schumm varían entre 0.3 y 0.8.

- **Cordillera de la Costa:** Se apreció en tres de sus cuencas formas ovaladas, mientras que cuatro de ellas mostraron un porcentaje de irregularidad igual o superior a un 300% con respecto a un cuadrado. El radio de elongación de Schumm mostró valores que oscilan entre 0.4 y 0.7.

De lo anterior se desprende que existen diferencias morfométricas principalmente en los resultados que arroja el coeficiente de Gravelius y el rectángulo equivalente, los que señalan que las cuencas de la cordillera de la Costa son más irregulares respecto de un círculo y de un cuadrado, respectivamente, que las cuencas andinas. En tanto, al observar los valores del radio de elongación de Schumm, en las cuencas de ambas cordilleras, se aprecian muy similares.

### **7.2.2. Relieve.**

- **Cordillera de los Andes:** El 80% de sus cuencas superó el 54% de pendiente, en tanto que el 100%, alcanzó una altura media sobre los 1.350 m.s.n.m.; los valores del coeficiente orográfico varían desde 20 hasta 44, lo que se traduce en cuencas sin grandes características de desgaste. Además, al observar las curvas hipsométricas se determinó que representan cuencas con un fuerte descenso de altura tanto en su parte media como hacia el final.

- **Cordillera de la Costa:** En la totalidad de las cuencas se apreciaron pendientes entre 20 y 40%, y alturas medias que no sobrepasaron los 415 m.s.n.m.; a su vez, en el 60% de sus cuencas se advirtieron grandes características de desgaste. En un 60% de las curvas hipsométricas se observó un fuerte descenso de altura en su parte media, mientras en el 40% restante, se apreció un descenso constante de altura en todo su conjunto.

Por lo tanto, se infiere que en los índices de relieve se presentan las mayores diferencias entre las cuencas andinas y las cuencas de la cordillera de la Costa, sobre todo en lo que respecta a la pendiente media de Mociornita, la altura media y el nivel de desgaste de la cuenca.

### 7.2.3. Red de drenaje.

- **Cordillera de los Andes:** El 80% de sus cuencas mostró tiempos de concentración entre 1 y 2 horas, y en todas se observó que las pendientes medias del curso principal variaban entre 9 y 15%. La densidad de drenaje tomó valores entre 1,21 y 1,78 km/km<sup>2</sup>, en tanto la velocidad media del curso principal lo hacía entre 10,8 y 13,1 km/h. Por otro lado, el coeficiente de Pizarro oscilaba entre 3,6 y 6,4 km/km para un 80% de las cuencas, mientras el coeficiente de González registró valores entre 2 y 5,2 km<sup>2</sup>/km.

- **Cordillera de la Costa:** En el 80% de sus cuencas los tiempos de concentración variaban entre 1,3 y 1,8 horas, y en todas se determinó que la pendiente media del curso principal resultó inferior al 7%. Los valores de la densidad de drenaje oscilaron entre 0,74 y 1,82 km/km<sup>2</sup>, mientras la velocidad media del curso principal variaba entre 7,2 y 8,8 km/h. En un 80% de las cuencas, el coeficiente de Pizarro presentó valores entre 3,9 y 5,7 km/km y, en el universo de las unidades costeras, el coeficiente de González osciló entre 3 y 3,6 km<sup>2</sup>/km .

Por consiguiente, se puede establecer que las grandes diferencias en los índices de la red de drenaje, corresponden tanto a la velocidad media como a la pendiente media del curso principal.

#### 7.4. Análisis de resultados, entre grupos de cuencas.

##### 7.4.1. Análisis de la variación porcentual.

La variación porcentual aplicada a los valores promedio, de los parámetros de las cuencas de ambas cordilleras, arrojó diversos resultados (positivos, negativos y hasta nulos), según la tabla N° 25 y, a continuación, en la tabla N°26, se muestra la variación porcentual de la información base y de los parámetros propuestos:

**Tabla N° 25: Comparación porcentual (%) del valor promedio de los parámetros morfológicos, en cuencas de la Cordillera de la Costa respecto de las cuencas de la Cordillera de los Andes.**

Tipo de índice	Índice	Valor Promedio		Variación Porcentual
		C. Andes	C. Costa	$\Delta\%$
<b>Forma</b>	Coefficiente de Gravelius	1.26	1.40	-11
	Rectángulo equivalente	2.7	4.2	-54
	Radio elong. de Schumm	0.6	0.6	0
<b>Relieve</b>	P. media de Mociornita	53	33	+38
	Altura Media	2025	366	+82
	Coefficiente Orográfico	27	22	+20
<b>Red hidrográfica</b>	Densidad de Drenaje	1.44	1.48	-3
	Tiempo de concentración	1.21	1.97	-63
	P.media Curso Principal	13	4	+70

(\*) La  $\Delta\%$  se establece según la expresión:  $\Delta\% = 100 (V_{CA} - V_{CC}) / V_{CA}$ , donde  $V_{CA}$  =valor promedio C.Andes;  $V_{CC}$  =valor promedio C.Costa.

(\*\*) Valores negativos de  $\Delta\%$  indican un mayor valor en las cuencas de la C. Costa.



Si se comparan los resultados de los índices morfológicos de las cuencas de ambas cordilleras, considerando los valores promedio, *a priori* se podría pensar que, tanto en los parámetros de forma como de relieve, existirían considerables diferencias a favor de la cordillera andina. Sin embargo, al observar la tabla N° 25 se determinó lo siguiente: si bien, en los índices de pendiente sucedió lo esperado, sobre todo en la pendiente y altura media de las cuencas, en los índices de forma se observó todo lo contrario, por cuanto las cuencas de la cordillera de la Costa resultaron ser más irregulares que las cuencas andinas. La misma situación se advirtió al comparar la relación densidad de drenaje, tiempo de concentración y pendiente de la cuenca. Si bien las cuencas andinas presentaron elevadas pendientes, acompañadas de bajos tiempos de concentración, se esperaba que sus densidades de drenaje fueran superiores a las de las cuencas costeras, sin embargo, los resultados en ambas cordilleras, resultaron bastante similares.

**Tabla N° 26: Comparación porcentual (%) del valor promedio de la información base y los índices propuestos, en cuencas de la Cordillera de la Costa respecto de las cuencas de la Cordillera de los Andes.**

Tipo de información	Nombre	Valor Promedio		Variación Porcentual
		C. Andes	C. Costa	$\Delta\%$
Información base	Perímetro	32.7	36.6	-12
	Superficie	53.87	52.05	+3
	Cursos de agua	77.2	80.9	-5
Índices propuestos	Coeficiente de Pizarro	4.51	4.03	+11
	Coeficiente de González	3.7	3.4	+9
	Coef. Pizarro-González	12.4	8.1	+35

En primer lugar, la escasa diferencia de los valores promedio de la información base, se vio reflejada en una pequeña variación porcentual entre ambas cordilleras, situación importantísima al momento de establecer las conclusiones de esta investigación, por cuanto permite corroborar que se realizó una comparación sobre cuencas de similar tamaño.

En cuanto a los parámetros propuestos, tanto el coeficiente de Pizarro como el de González no presentaron mayores diferencias, en el número de cuencas consideradas. Por el contrario, la velocidad media del curso principal mostró una diferencia considerable, identificando a la cordillera de los Andes con un mayor valor promedio. Lo anterior se debe, en gran medida, a las elevadas pendientes, que a su vez reducen los tiempos de concentración.

#### 7.4.2. Análisis del porcentaje de dispersión, a nivel de cada parámetro estudiado.

En la tabla N° 27, se entrega la información necesaria para realizar la segunda parte del análisis entre grupos de cuencas, y que corresponde al porcentaje de dispersión de los parámetros morfológicos e índices propuestos:

**Tabla N° 27: Porcentaje de dispersión (%) de los parámetros morfológicos, y parámetros propuestos, en cuencas de la Cordillera de los Andes y de la Costa.**

Tipo de índice	Índice	Porcentaje de dispersión (%)	
		C. Andes	C. Costa
<b>Forma</b>	Coefficiente de Gravelius	6	22
	Rectángulo equivalente	24	81
	Radio elong. de Schumm	32	22
<b>Relieve</b>	P. media de Mociornita	23	24
	Altura Media	17	22
	Coefficiente Orográfico	37	48
<b>Red hidrográfica</b>	Densidad de Drenaje	17	30
	Tiempo de concentración	39	49
	P.media Curso Principal	17	40
<b>Parámetros Propuestos</b>	Coefficiente de Pizarro	42	38
	Coefficiente de González	7	7
	Coef. Pizarro-González	29	6

(\*) El porcentaje de dispersión se establece según la expresión:  $\%D = 100 (S/M)$ , donde S=desviación estándar; M=promedio de los datos.

En un 66.6% de los casos, el porcentaje de dispersión en la cordillera costera superó a la cordillera andina (excepto el radio de elongación de Schumm, el coeficiente de Pizarro, el coeficiente de González y la velocidad media del curso principal), indicando una mayor homogeneidad entre los valores de los parámetros en la cordillera de los Andes, comparados con los valores en la cordillera de la Costa.

Por lo tanto, al considerar nuevas cuencas en un estudio posterior a éste, se espera que los resultados de los parámetros en las cuencas de la cordillera de los Andes, no varíen tanto de los resultados obtenidos, sobre todo en los índices de forma y de red hidrográfica. Sin embargo, en el caso de la cordillera de la Costa, sus resultados en general fueron muy dispersos, como sucedió con los índices de red hidrográfica, por consiguiente a la hora de realizar un estudio a nuevas cuencas, lo esperable es que esa dispersión aumente.

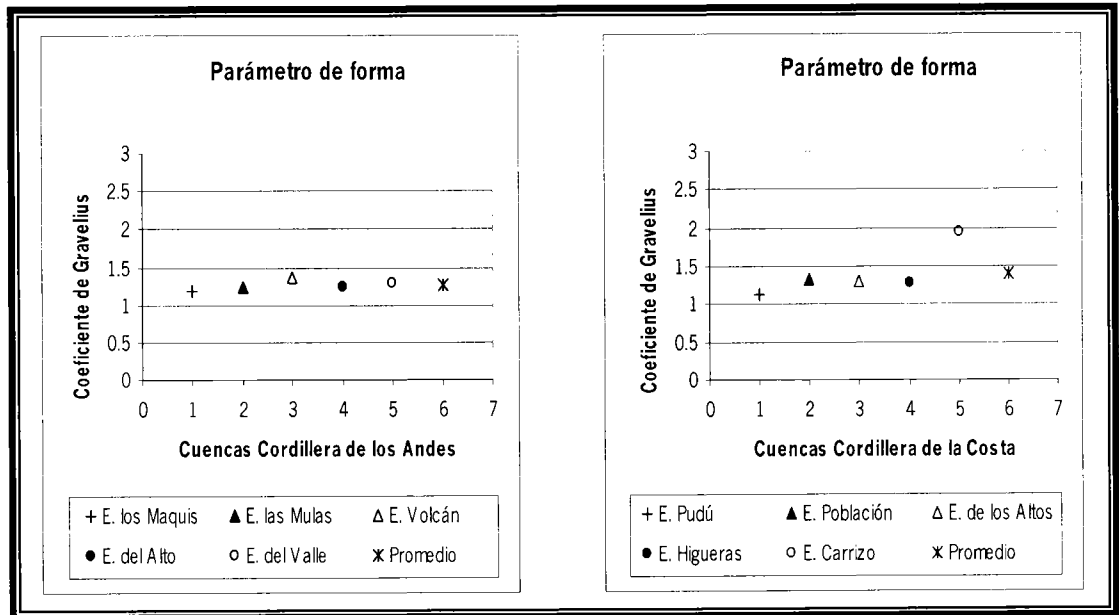
#### **7.4.3. Análisis gráfico comparativo, a nivel de cada parámetro estudiado.**

##### **7.4.3.1. Parámetros de forma (fig. N°17-19).**

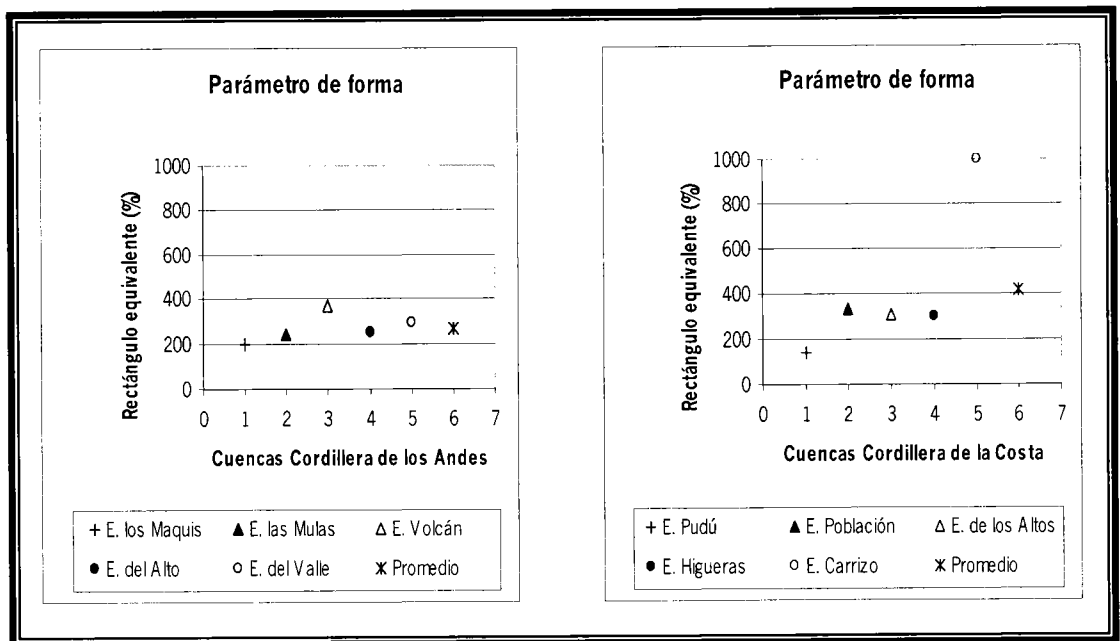
Se aprecia claramente que en las cuencas andinas, los valores del coeficiente de Gravelius fueron muy homogéneos y varían entre 1.0 y 1.5, mientras que en el grupo costero, se observó un mayor número de cuencas que presentan una forma ovalada (valores de 1.25 -1.50), y por tanto, tienen mayor irregularidad en su forma, respecto de un círculo.

En el grupo andino, se aprecia que los valores del rectángulo equivalente son homogéneos y se encuentran entre 200 y 400% de irregularidad respecto de un cuadrado. En cambio, en el grupo costero si bien sus valores son heterogéneos, en un 80% de las cuencas el porcentaje de irregularidad se ubicó entre 170 y 380%. Cabe señalar, que al unir los puntos de las figuras 17 y 18, se forman curvas con cierta similitud.

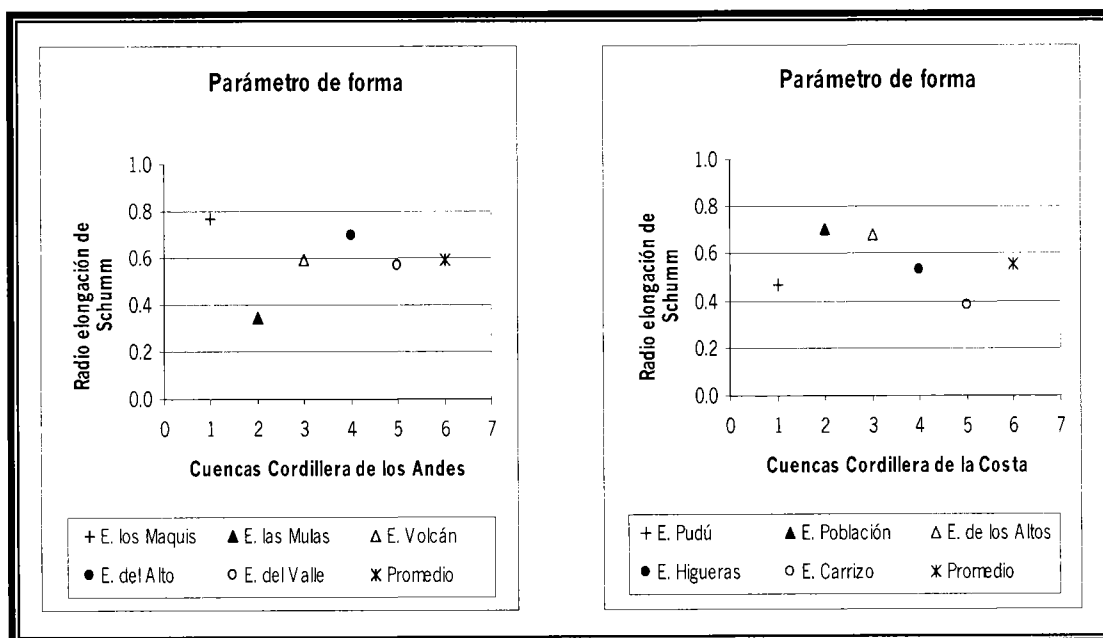
Tanto en las unidades andinas como en las costeras, los resultados del radio de elongación de Shumm son heterogéneos, y si se comparan se observa un comportamiento similar, lo que se confirma al observar los valores promedio de ambos grupos.



**Fig. 17: Representación gráfica del coeficiente de Gravelius, en ambas cordilleras.**



**Fig. 18: Representación gráfica del Rectángulo Equivalente, en ambas cordilleras.**



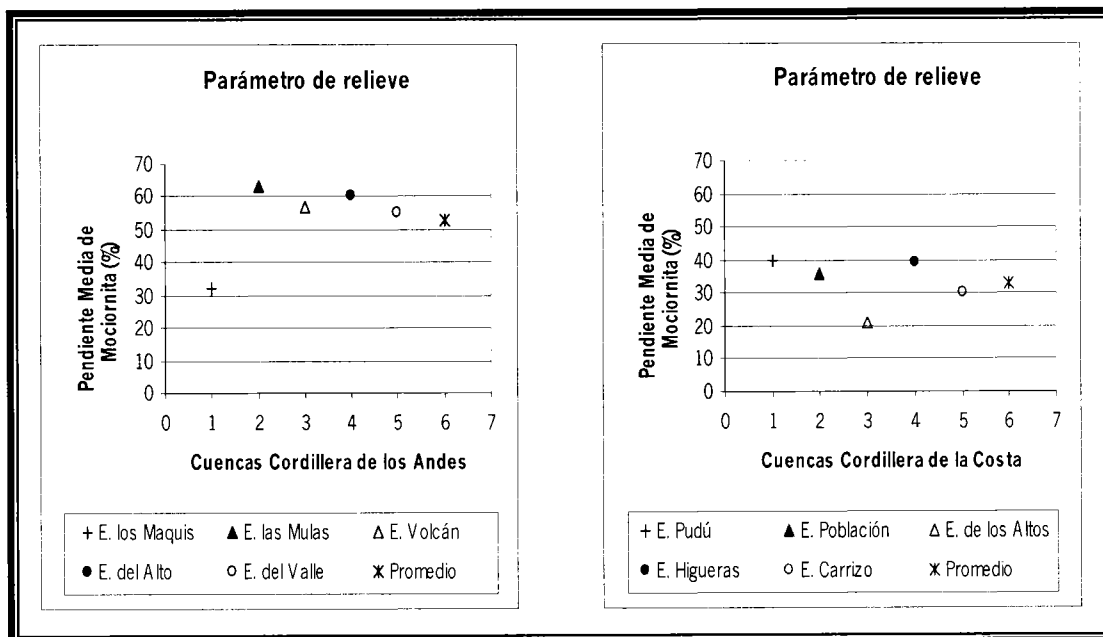
**Fig. 19: Representación gráfica del radio de elongación de Schumm, en ambos grupos.**

#### 7.4.3.2. Parámetros de relieve (fig. N°20-22).

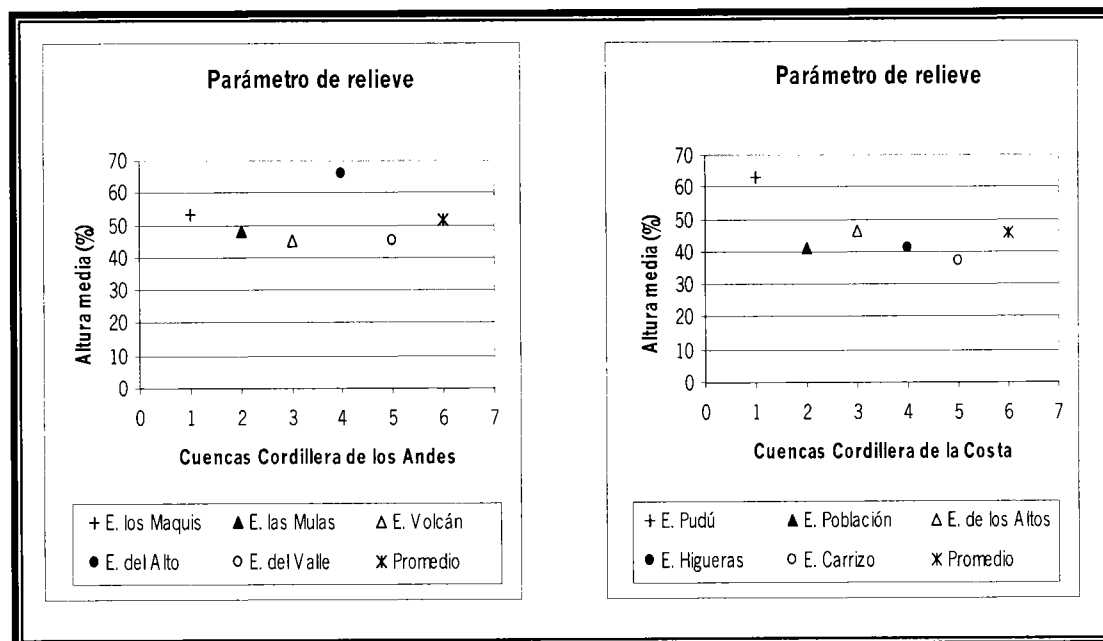
En relación a la pendiente media de Mociornita, mientras el grupo costero alcanza su máximo en 40% de pendiente, el grupo andino en un 80% de sus cuencas superó el 50%. Más aún, esta diferencia queda de manifiesto al observar los valores promedio, donde el grupo andino supera en un alto margen (66.6%) al grupo costero.

Al observar ambos gráficos, en general se aprecian comportamientos similares. Sin embargo, de manera particular, en las unidades costeras sólo un valor superó el 60% de altura media, mientras en las cuatro restantes, su valor varió de 37 a 47%, y el valor promedio resultó inferior al 50%. Por el contrario, todos los valores del grupo andino sobrepasan el 44% de altura media, con un valor promedio superior al 50%.

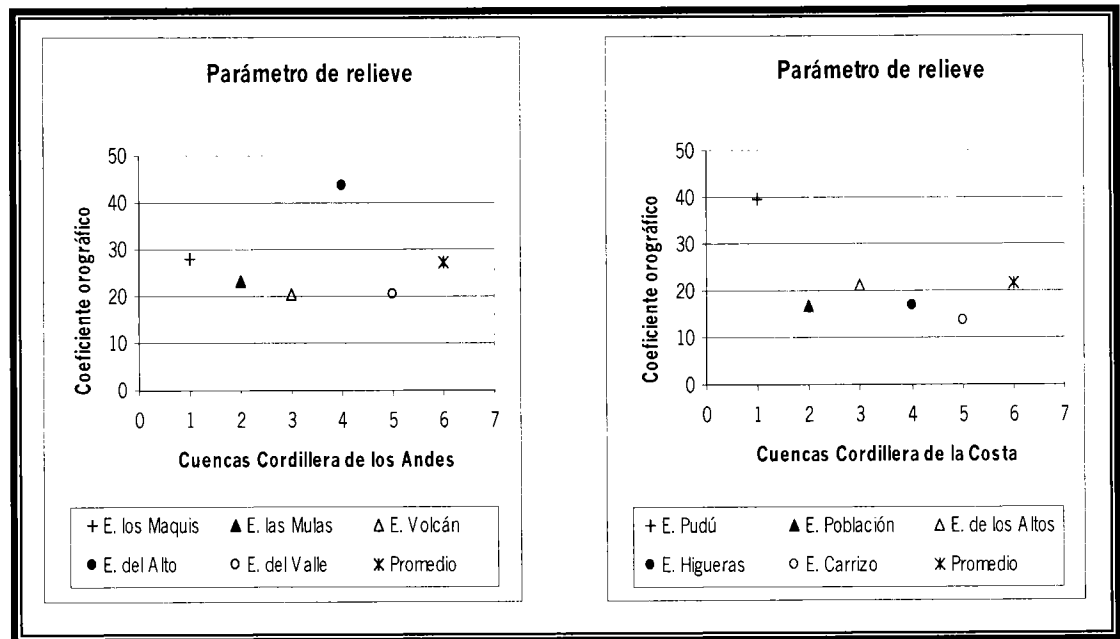
En la mayoría de las cuencas andinas, el coeficiente orográfico presenta valores sobre 20, mientras que en las unidades costeras sucede todo lo contrario, lo que en definitiva identifica un mayor nivel de desgaste de éstas. Por otro lado, se advierte que si se trazan las curvas de las figuras 21 y 22, serían muy similares.



**Fig. 20: Representación gráfica de pendiente media de Mociornita, en ambos grupos.**



**Fig. 21: Representación gráfica de la altura media, en ambas cordilleras.**



**Fig. 22: Representación gráfica del coeficiente orográfico, en ambas cordilleras.**

#### 7.4.3.3. Parámetros de red de drenaje (fig. N°23-25).

En el grupo andino, los valores de la densidad de drenaje varía entre 1 y 2  $\text{km}/\text{km}^2$ , en tanto en las unidades costeras, entre 1.7 y 2. En general, en ambos casos se advierten comportamientos similares, lo que queda de manifiesto al apreciar los valores promedio, sin embargo, en el grupo andino los resultados fueron más homogéneos.

Si bien las diferencias en los tiempos de concentración no son considerables, en las unidades costeras, el universo registró valores superiores a 1.2 horas, mientras que en el grupo andino se encuentran cercanos a 1 hora.

La homogeneidad de los valores de la velocidad media del curso principal, en ambos grupos, es evidente, y más aún la diferencia de sus intervalos de variación. Mientras en el grupo andino el universo supera el 8%, en las unidades costeras no se sobrepasa el 6%. Esta situación se explica por las elevadas pendientes que presentaron sus cuencas, lo que genera menores tiempos de concentración, y por ende, una mayor velocidad del curso principal.

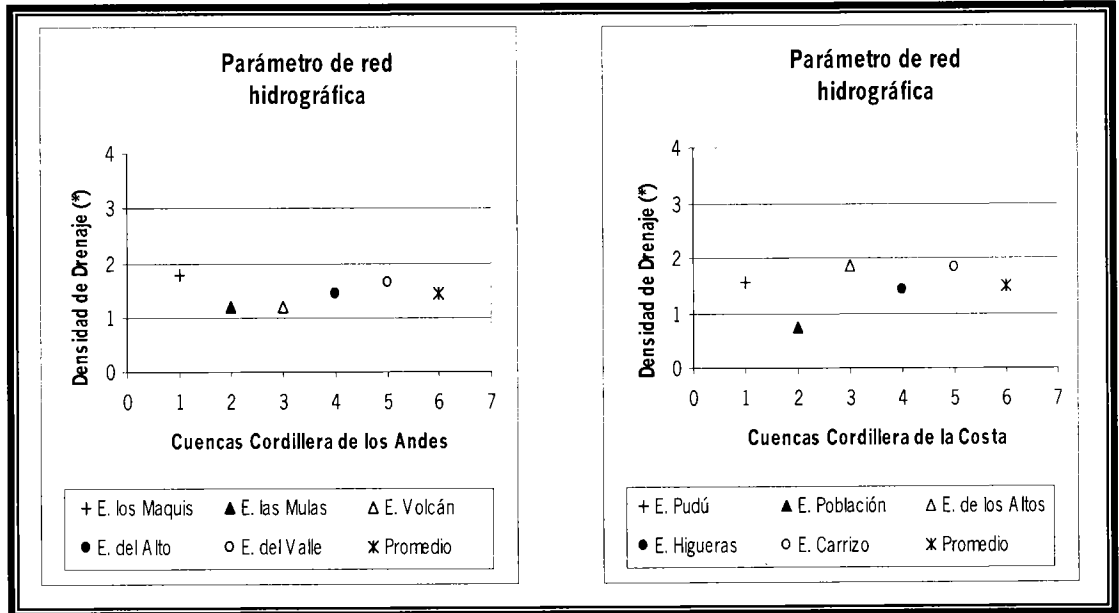


Fig. 23: Representación gráfica de la densidad de drenaje, en ambas cordilleras.

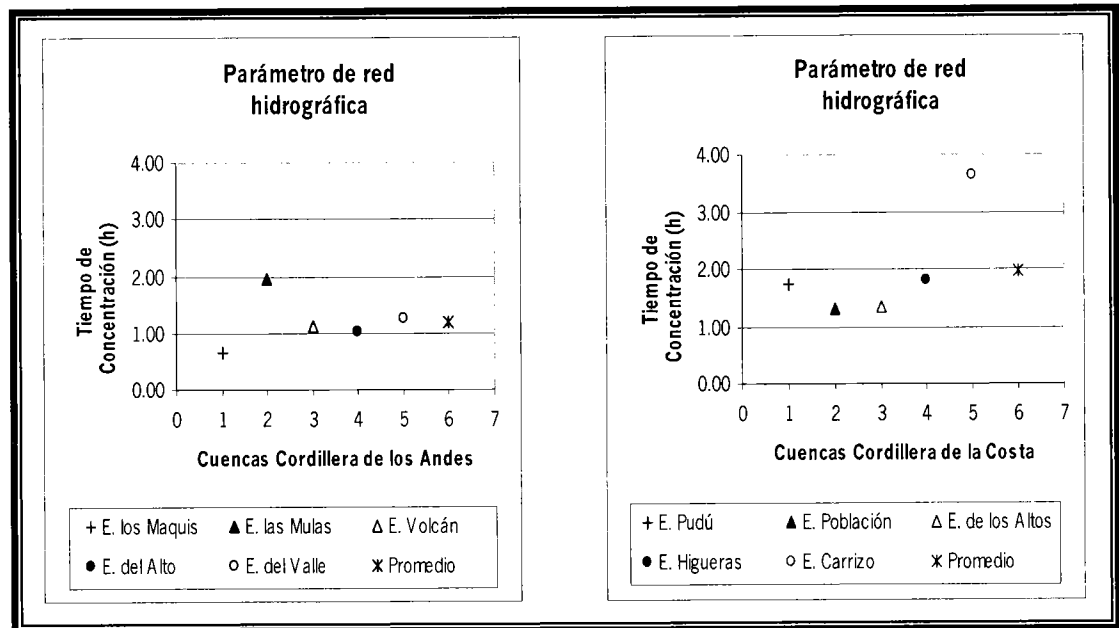
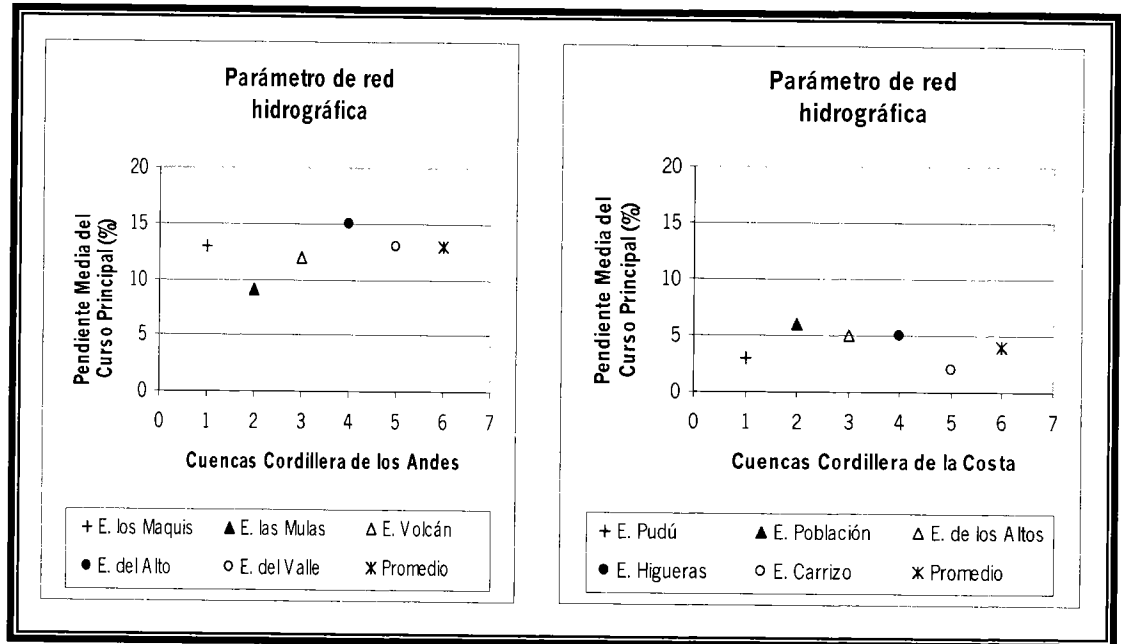


Fig. 24: Representación gráfica del tiempo de concentración, en ambas cordilleras.





**Fig. 25: Representación gráfica de la pendiente media del curso principal, en ambas cordilleras.**

#### 7.4.3.1. Parámetros de parámetros propuestos (fig. N°26-28).

En general se observan comportamientos muy similares respecto del coeficiente de Pizarro, basta apreciar los valores promedio. No obstante, en el grupo andino se refleja una mayor heterogeneidad de sus valores.

Por su parte, la homogeneidad de los valores del coeficiente de González, advertida en el grupo costero, es clarísima, los que oscilan entre 3 y 4 km<sup>2</sup>/km, a diferencia del grupo andino, que varían de 2.0 a 5.2 km<sup>2</sup>/km.

Por último, al observar los gráficos del coeficiente de Pizarro-González queda de manifiesto, en forma clara, la homogeneidad de sus valores en cada grupo, y a su vez, la gran diferencia en sus intervalos de variación. Mientras el grupo costero la velocidad media del curso principal adquiere valores entre 7 y 9 km/h, en el grupo andino supera los 10 km/h.

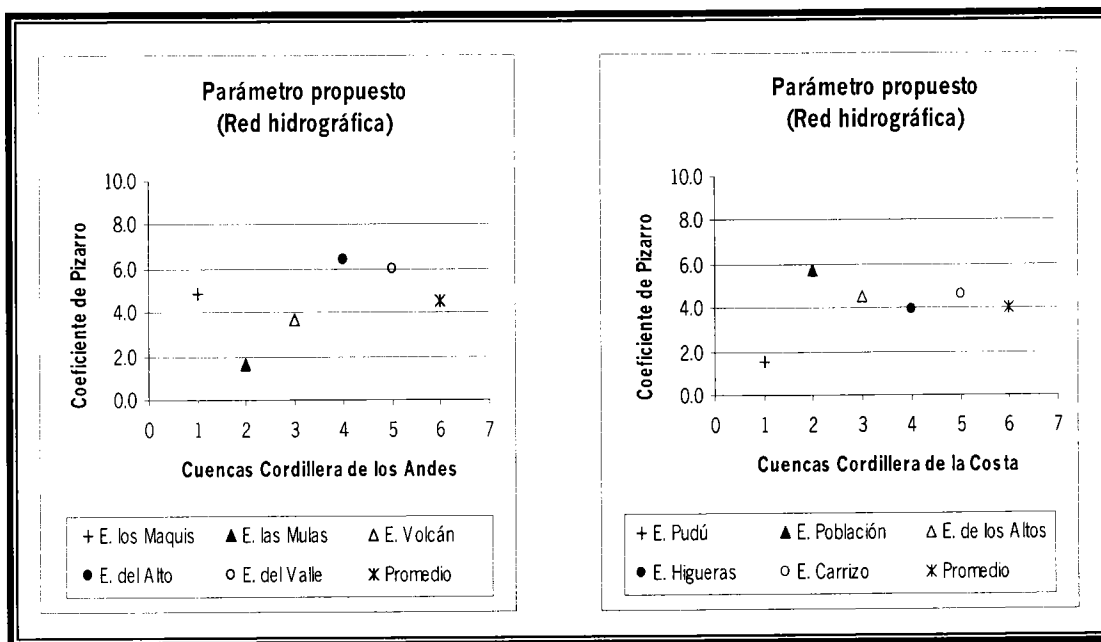


Fig. 17: Representación gráfica del coeficiente de Pizarro, en ambas cordilleras.

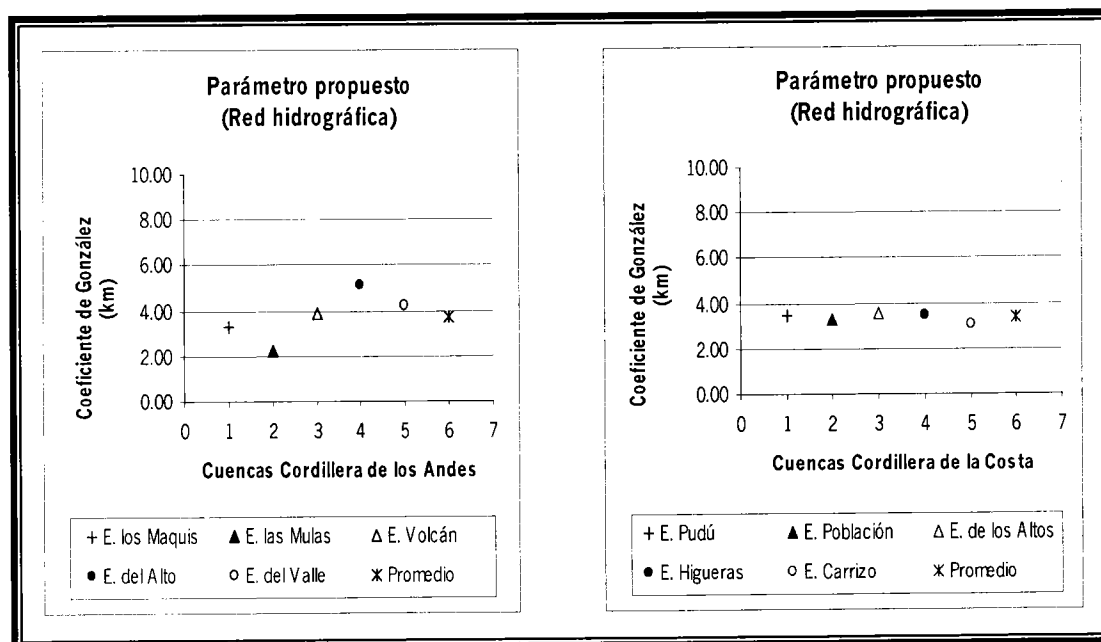


Fig. 17: Representación gráfica del coeficiente de González, en ambas cordilleras.

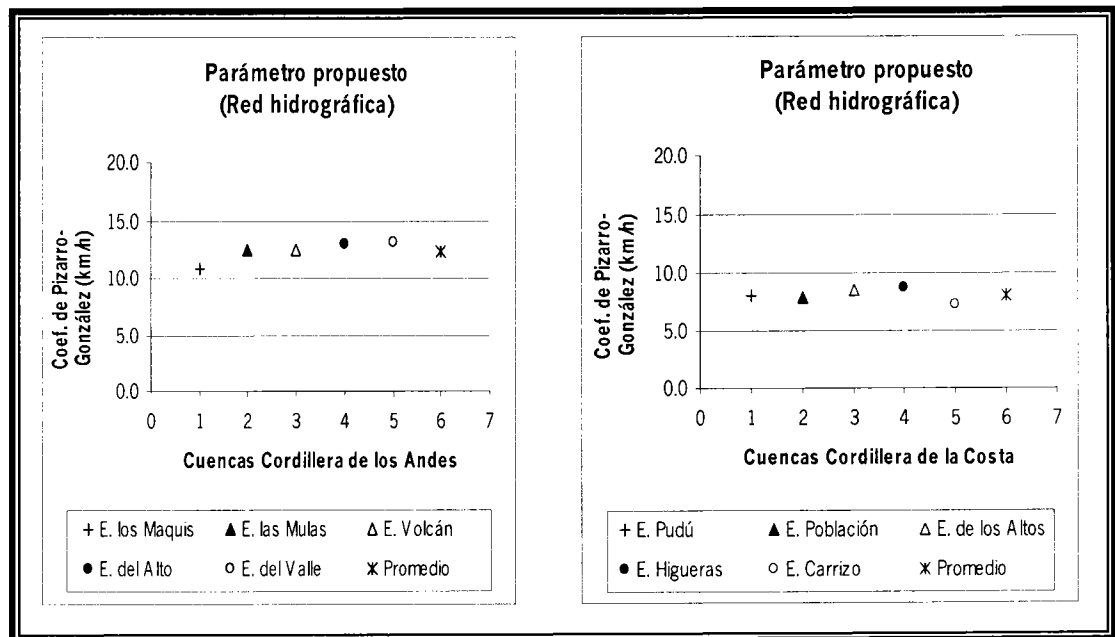


Fig. 27: Representación gráfica del coeficiente de Pizarro-González, en ambos grupos.

#### 7.4. Análisis de resultados, a nivel de las medias de cada parámetro.

En esta fase metodológica, se efectuó la descripción morfológica de las cuencas promedio de cada cordillera, y luego se estableció una comparación entre las características determinadas de ambas cuencas.

- **Cordillera de los Andes:** Esta cuenca promedio presentó una forma ovalo-redonda, con fuertes pendientes y 270% de irregularidad con respecto a un cuadrado. En relación a su relieve, se obtuvo una pendiente media de Mociornita del 53%, sin grandes características de desgaste y su altura media resultó igual a 2.025 m.s.n.m. Su densidad de drenaje fue de 1.44 km/km<sup>2</sup>, su tiempo de concentración de 1,2 horas y la pendiente media del curso principal, del 13%. Por otro lado, cada kilómetro de curso principal es abastecido por 4.5 km de cursos secundarios, y a su vez, recorre 3.7 km<sup>2</sup> de superficie de la cuenca, mientras que su velocidad media fue de 12.4 km/h.

- **Cordillera de la Costa:** En este caso, la cuenca promedio presentó una forma ovalada, con pronunciadas pendientes, y 416% de irregularidad con respecto a un cuadrado. Respecto al relieve de la cuenca, se observó un 33% de pendiente media de Mociornita, sin grandes características de desgaste y una altura media de 366 m.s.n.m. En cuanto a los parámetros de red hidrográfica, se obtuvo un valor de densidad de drenaje de 1.48 km/km<sup>2</sup>, el tiempo de concentración fue de 2 horas y la pendiente media del curso principal correspondió al 4%. Por otra parte, los cursos secundarios deben recorrer 4 km por cada km de curso principal, el que a su vez abastece una superficie de 3.4 km<sup>2</sup>, y adquiere una velocidad media de 8.1 km/h.

En consecuencia, entre las diferencias se puede deducir que la cuenca promedio costera es mucho más irregular, respecto de un círculo y de un cuadrado, que la cuenca promedio andina. A su vez, esta última posee una pendiente media de Mociornita, una altura media y, una pendiente media y velocidad media del curso principal, superiores respecto a la primera. Por otra parte, en relación a las similitudes, se puede mencionar que ambas poseen pendientes pronunciadas, sin grandes características de desgaste, y densidades de drenaje similares, así como los valores de los coeficientes de Pizarro y de González.

## **8.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **8.1. Conclusiones.**

De acuerdo a la investigación realizada en las cuencas de las cordilleras de los Andes y de la Costa, ubicadas en la Región del Maule, es posible concluir lo siguiente:

- Para las cuencas analizadas de la cordillera de la Costa y de la cordillera de los Andes, se aprecia que éstas presentan patrones morfológicos diferentes, siendo los parámetros de relieve donde se determinaron las mayores diferencias.
- El coeficiente de Gravelius determinó que las unidades hidrográficas pertenecientes a la cordillera de los Andes, poseen formas más redondas. En este aspecto, en la cordillera de la Costa se advirtieron formas más ovaladas por parte de las cuencas.
- En relación a las pendientes media simple y pendiente Media de Mociornita, cabe destacar que en la totalidad de las unidades hidrográficas estudiadas, sus valores resultaron iguales.
- La pendiente media de Mociornita de las unidades hidrográficas insertadas en la Cordillera de los Andes, presentó valores muy superiores (en cuatro cuencas se observó sobre 50% de pendiente) en relación a los obtenidos en las de la cordillera de la Costa (ninguna sobrepasó el 40% de pendiente).
- En cuanto al coeficiente orográfico, se tiene que las cuencas de la cordillera de los Andes presentaron bajo nivel de desgaste (con todos sus valores sobre o igual a 20). En cambio, al observar los valores obtenidos en la cordillera de los Costa, se apreció que las cuencas se encuentran en un nivel avanzado de desgaste.

- Las curvas hipsométricas de las unidades de la cordillera de los Andes, asemejan su figura a una cuenca de Meseta; en tanto, las de la cordillera de la Costa, a pesar que también presentan curvas correspondientes a cuencas de Meseta, tienen la particularidad de adquirir una gran caída de altura en su parte media.
- En lo que concierne a la red hidrográfica, la densidad de drenaje resultó muy similar para ambos casos. La pendiente media del curso principal marcó la diferencia, puesto que las cuencas andinas presentaron valores entre 9 y 15%, mientras en las cuencas costeras los valores oscilaban entre 2 y 7%.
- De los índices propuestos se observó que: i) al evaluar el coeficiente de Pizarro, al parecer no existen mayores diferencias con la cantidad de cuencas consideradas; ii) similar situación presentó el coeficiente de González, destacando su bajo porcentaje de variación obtenido en las cuencas costeras; iii) en cambio, la velocidad media del curso principal (coeficiente de Pizarro- González), sí mostró diferencias significativas, siendo mayor en las cuencas andinas (12.4 km/h de promedio), que en las cuencas costeras (8.1 km/h de promedio).

## **7.2. Recomendaciones.**

Por último, en caso de posteriores estudios y que incluyan aspectos considerados en esta memoria, se les sugiere las siguientes recomendaciones:

- Ampliar el estudio a otros aspectos, esto es considerar el efecto del tipo de suelo, o la vegetación existente en las cuencas, por ejemplo.
- Por otra parte, se hace necesario determinar un método que permita calcular el área comprendida entre curvas de nivel, de manera más precisa y rápida que el algoritmo utilizado en este estudio; quizás sea una buena alternativa desarrollar un método en Arc Info.

- Con respecto a los parámetros propuestos, se debe extender este estudio a cuencas de mayor tamaño, y de esta manera poder establecer, de manera más clara y categórica, si permiten discriminar acerca de las unidades hidrográficas de la cordillera de los Andes con respecto a las de la cordillera de la Costa, o simplemente entre cuencas.
- Finalmente, se recomienda continuar las investigaciones de este ámbito, tanto en la VII Región como en todo el país, de modo de aumentar los conocimientos que permitan ayudar a la modelación de los procesos hidrológicos y a mejorar la gestión de cuencas.

---

## 9.0. BIBLIOGRAFÍA.

- **AGUIRRE, M.** 2002. Conversaciones personales del autor. Escuela de Ingeniería Comercial, Universidad de Talca, Chile.
- **ALBORNOZ, F.** 1997. Identificación y localización de procesos erosivos en el secano de la Comuna de Curepto, VII Región, Informe de Práctica Profesional. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 36 p.
- **APARICIO, F.** 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa S.A. México. 303 p.
- **CERECEDA, P.; ERRÁZURIZ, A.** 1991. Ecogeografía: Nueva geografía de Chile. Editorial Zig-Zag. Chile. 237 p.
- **CIREN - CORFO.** 1990. Atlas Agroclimático de Chile, regiones IV a IX. Chile. 67 p.
- **FAO.** 1986. Desarrollo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos y Aguas. Roma, Italia. 229 p.
- **FAO.** 1986. Manual de Ordenación de Cuencas Hidrográficas: Estabilización de Laderas con Tratamiento del Suelo y la Vegetación. Roma, Italia. 65 p.
- **FAO.** 1992. Manual de Campo para la Ordenación Cuencas Hidrográficas: Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Roma, Italia. 185 p.
- **FERRANDO, F.** 1994. Métodos Hidromorfométricos para determinar la Erosividad en Cuencas Hidrográficas. Ingeniería Hidráulica. México. N°3, pág: 5-14.



- 
- **GONZÁLEZ, M.; GARCÍA, D.** 1995. Restauración de Ríos y Riberas. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 319 p.
  
  - **INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.** 1985. Atlas geográfico de Chile para la Educación. Talleres Gráficos del Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile. 140 p.
  
  - **LINSLEY, R; KHOLER, M. Y PAULUS, J.** 1988. Hidrología para Ingenieros. Editorial Mc. Graw-Hill Latinoamericana S.A. México. 386 p.
  
  - **LLAMAS, J.** 1993. Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. España. 635 p.
  
  - **IPROGA.** 1996. Instituto de Promoción para la Gestión del Agua. Lima, Perú. 78 p.
  
  - **MAPA DIVISIONES HIDROGRÁFICAS DE CHILE,** 2001. Chile.  
[http://www.fao.org/proyecto/gep/rla/126/jpn/ciren/chi\\_hydrog.htm](http://www.fao.org/proyecto/gep/rla/126/jpn/ciren/chi_hydrog.htm)
  
  - **MARTÍNEZ, A.; NAVARRO, J.** 1996. Manuales y Textos Universitarios. Ciencias. N°18. Universidad de Valladolid: Secretariado de Publicaciones. España. 286 p.
  
  - **MIDEPLAN.** 1998. Cuencas hidrográficas en Chile: Diagnóstico y proyectos. Santiago, Chile. 207 p.
  
  - **MINTEGUI, J.; NAVARRETE, E.; GARCÍA, J.; ROBREDO, J.** 1993. La Restauración Hidrológico-Forestal en las Cuencas Hidrográficas de la Vertiente Mediterránea. Edita: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Inventario, Tecnología y Formación Agroalimentaria y Pesquera. España. 325 p.

- **ROJAS, D.** 1998. Estadísticas del Medioambiente 1990 – 1997. Instituto Nacional de Estadísticas INE. Departamento de Geografía. Subdepartamento de Energía y Medioambiente. Santiago, Chile. 231 p.
  
- **PEÑA, L.; FERNÁNDEZ, B.** 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos de la VII Región: Agrología. Intendencia de la Región del Maule, IREN-CORFO. Santiago, Chile. 50 p.
  
- **PIZARRO, R. Y NOVOA, P.** 1986. Elementos técnicos de Hidrología I. Instructivos Técnicos. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. IV Región, Chile. 57 p.
  
- **PIZARRO, R.** 1993. Elementos técnicos de Hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y el Caribe. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile. 136 p.
  
- **PIZARRO, R.** 2002. Conversaciones personales del autor. Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca, Chile.
  
- **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.** 1981. Estudio de las cuencas de los ríos Mataquito y Maule. SERPLAC, VII Región. Talca, Chile. 197 p.
  
- **SPIEGEL, M.** 1975. Probabilidad y Estadística. McGraw -Hill. España. 372 p.
  
- **TRAGSA Y TRAGSATEC.** 1994. Restauración Hidrológico-Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 902 p.
  
- **UNESCO-ROSTLAC.** 1986. Manual: agua, vida y desarrollo. Tomo I. Estrategias. Proyecto Regional Mayor para la utilización y conservación de los recursos


# **ANEXOS**

## **ANEXO I**

**Algoritmo para determinar el área comprendida entre curvas de nivel, en Arc View 3.1. e Idrisi 2.0.**

# CÁLCULO AREA ENTRE CURVAS DE NIVEL

## I.- Arc View 3.1.


- 1.1.- VIEW → NEW → POLIGONAL →  → DELIMITAR → THEME → STOP  
THEME c : \ pg \cortes CURVA EDITING  
THEME 1
- 1.2.- VIEW → GEOPROCESING → CLIP : CUR 7 a → NOMBRE ARCHIVO  
THEME 1 CMC1 . SHP  
c : \ pg \cortes
- 1.3.-  | cmc1 | → THEME → START → TABLE → EDIT → DELETE FIELD → STOP  
EDITING (EXC. CUR 7 a) EDITING
- 1.4.- CMC1 → THEME → CONVERT TO SHAPEFILE → c : \ pg \cortes  
THEME 1.SHP  
M1

## II.- IDRISI 2.0.

### 1. CONVERSIÓN DE FORMATOS.

- 1.1.- FILE → IMPORT → IMPORT → FORM. SOFTWARE → SHAPE IDRI → CMC1  
EXPORT SPECIFIC CMC1  
utm - 18s
- SHAPE IDRI → M1  
M1  
utm - 18s

### 2. CREACIÓN DE IMAGEN RÁSTER.

- 2.1.-  → VECTOR FILES → CMC1 → MIN X :  
MAX X:  
MIN Y :  
MAX Y:

Nº COLUMNAS =  $\frac{\text{MAX X} - \text{MIN X}}{E}$  , E: EQUIDISTANCIA CURVAS  
DE NIVEL

Nº FILAS =  $\frac{\text{MAX Y} - \text{MIN Y}}{E}$



**4. INTERPOLACION:**

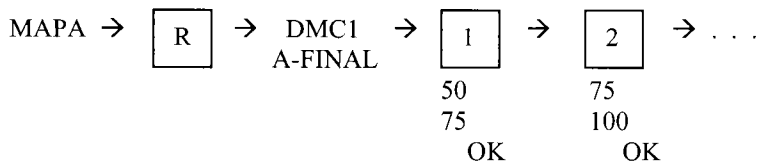
DATA ENTRY → SURFACE INT → INTERCOM → RECLASIFICAR  
D\_MC1  
MDTM1

**5. RECLASIFICAR:**

**ARC VIEW 3.1**

CMC4 → TABLA → ORDENAR ALTURAS → ANOTAR COTA INFERIOR  
(ASCENDENTE) Y SUPERIOR

**IDRISI 2.0**



IMPORTAR : M1

ASIGNAR : 10.000

OUT : CORTE 1

1

**6. CORTAR IMAGEN DE LA CUENCA:**



A-FINAL

→ FINAL → MINIMUM

CORTE 1

**7. CÁLCULO DE SUPERFICIE:**

ANÁLISIS → DATABASE QUERY

- AREA

FINAL 1

→ UNIDAD: KM<sup>2</sup>

TABULAR

## **ANEXO II**

**Antecedentes de las cuencas seleccionadas, de la  
Cordillera de los Andes y de la Costa.**



**Antecedentes de las cuencas seleccionadas, de la Cordillera de los Andes y de la Cordillera de la Costa.**

<b>NOMBRE</b>	<b>PLUVIOSIDAD MEDIA ANUAL (mm)</b>	<b>PRECIPIT. MES MÁS LLUVIOSO (mm)</b>	<b>T° MEDIA ANUAL (°C)</b>	<b>ERODABILIDAD</b>	<b>SUPERFICIE ESPECÍFICA (hás)</b>	<b>PENDIENTE MEDIA (%)</b>
Estero Los Maquis	1500	371.4	12	2	2187.5	51
E. las Mulas	2039.4	486.5	11	0.69	5781.25	46
E. Volcán	1666.7	567.6	10	0	5781.25	29
E. del Alto	1808.5	487.2	10	0.08	7343.75	43
E. del Valle	2391.3	485.1	10	0.45	7343.75	54
E. Pudú	800	200	14	1	3375	20.7
Estero Población	965.6	264.3	14	1	5431.25	13
Estero de los Altos	700	200	14	0.98	4937.5	24.3
E. Higueras	990	287.8	14	1	5625	21.3
E. Carrizo	1000	296	13.4	0.96	6312.5	12.6

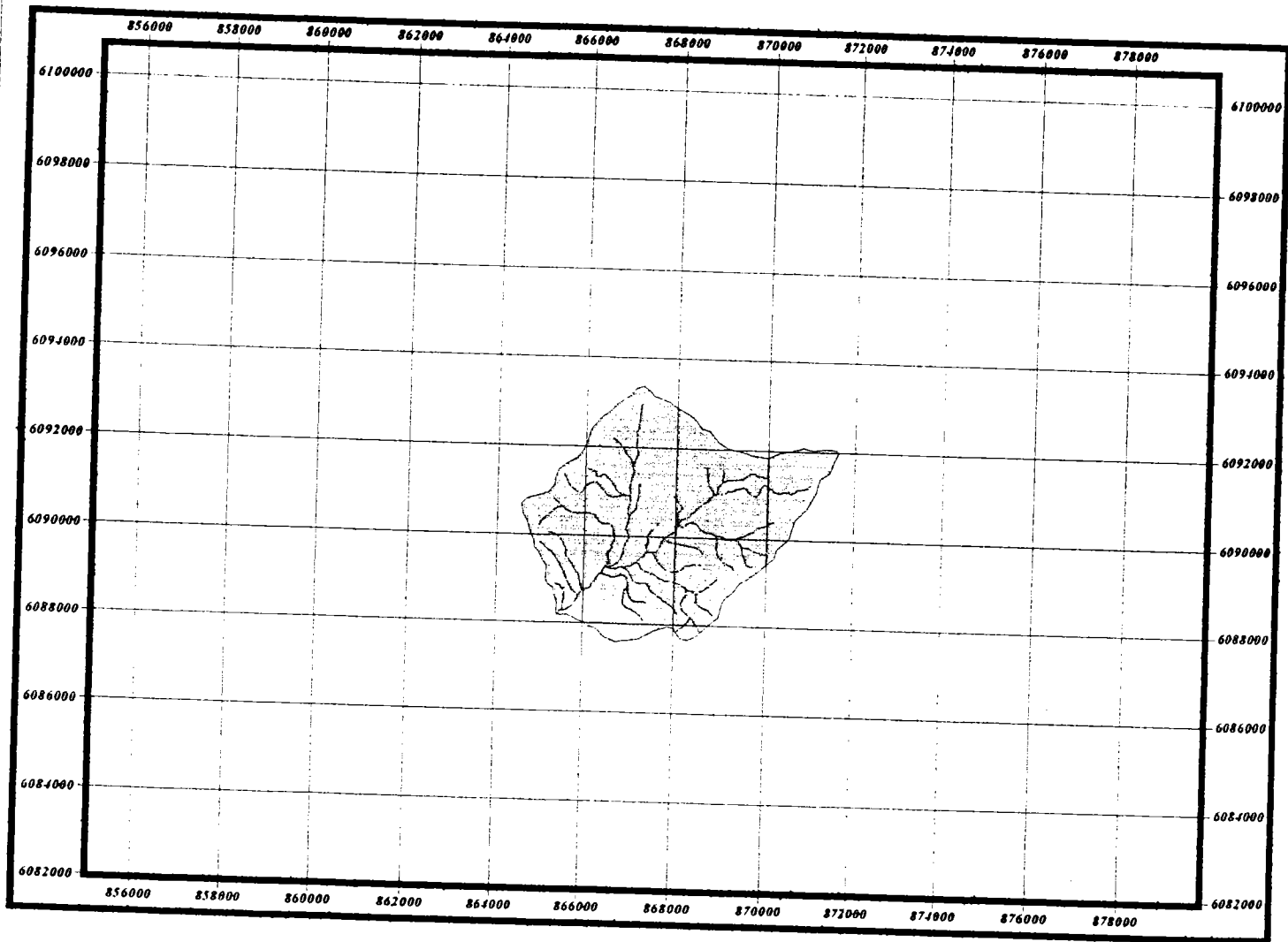
Fuente: U. Católica – Serplac, 1981.

# APÉNDICES

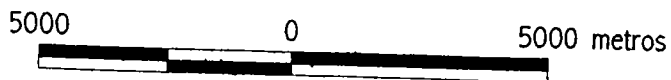
## **APÉNDICE I**



**Mapa de ubicación de las cuencas ubicadas en la  
Cordillera de los Andes.**

# Microcuenca Estero Los Maquis

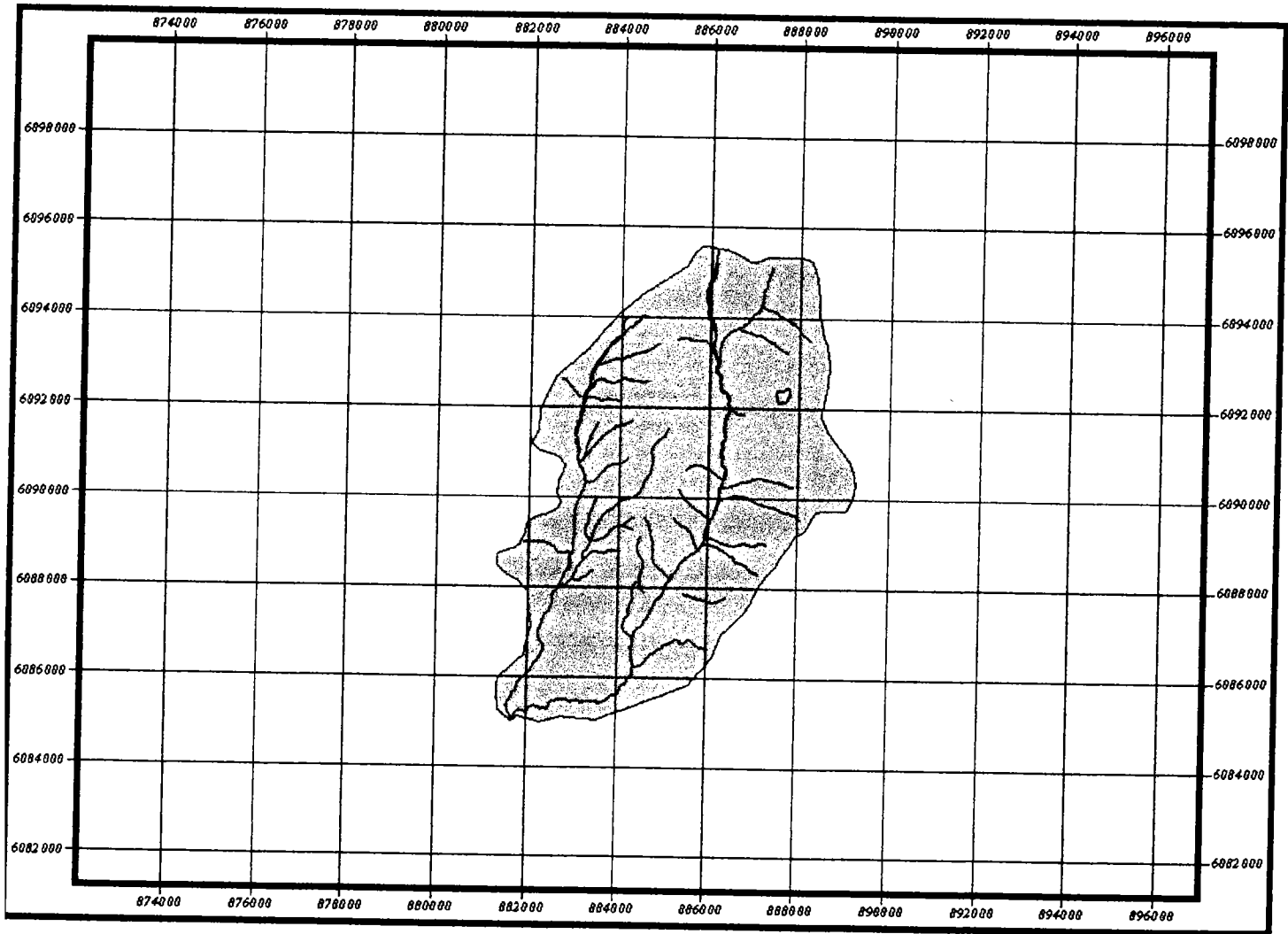


Escala 1:150000

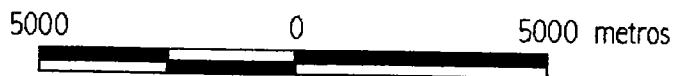




 Hidrografia  
 Microcuenca  
Estero Los Maquis

# Cuenca Estero Las Mulas

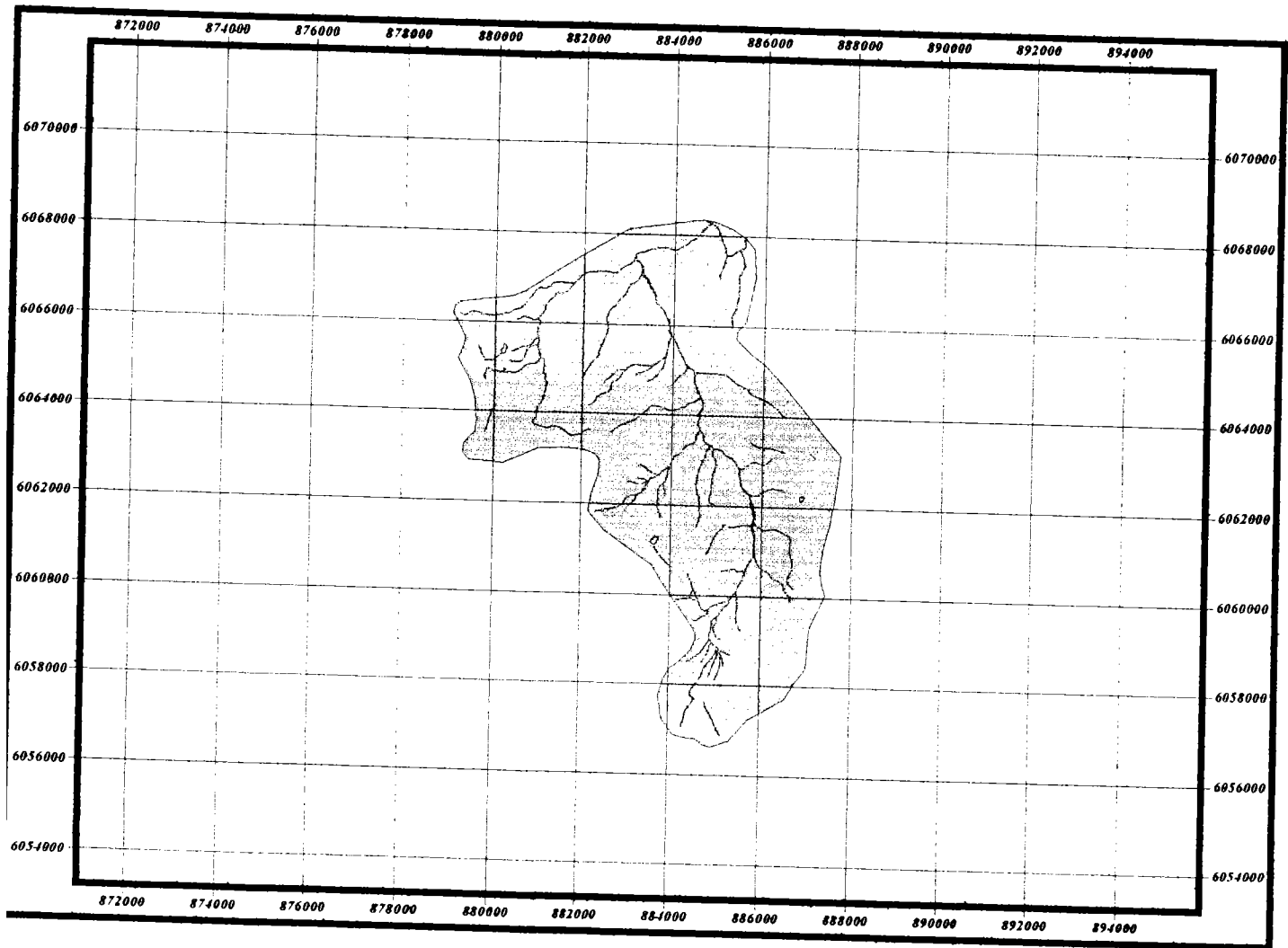


Escala 1:150000

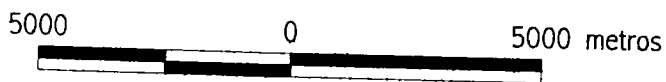




-  Hidrografía
-  Cuenca Estero Las Mulas

# Microcuenca Estero Volcán

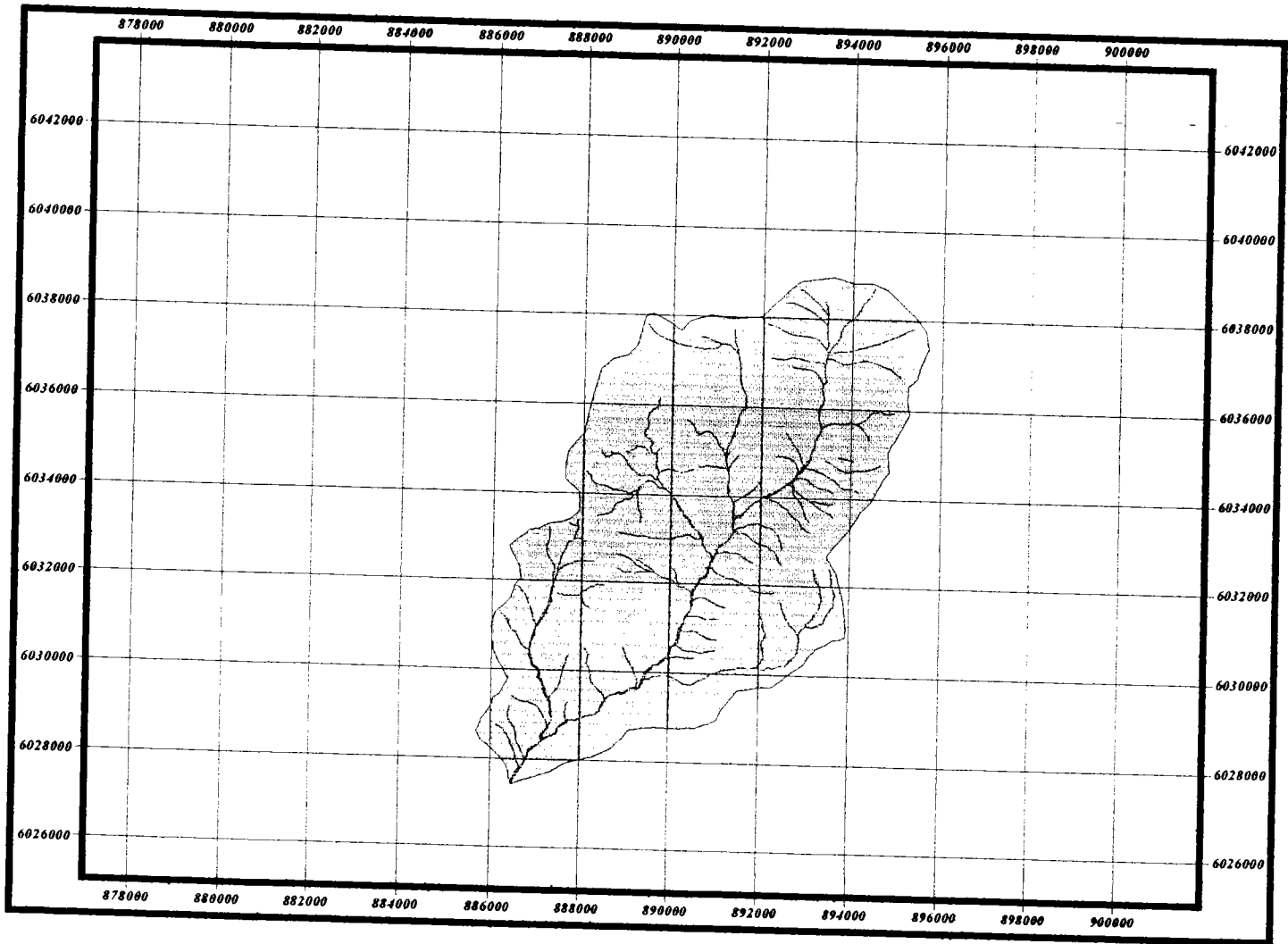


Escala 1:150000

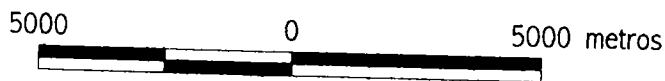


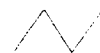
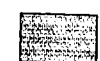
 Hidrografia  
 Microcuenca  
Estero Volcán

# Microcuenca Estero del Alto

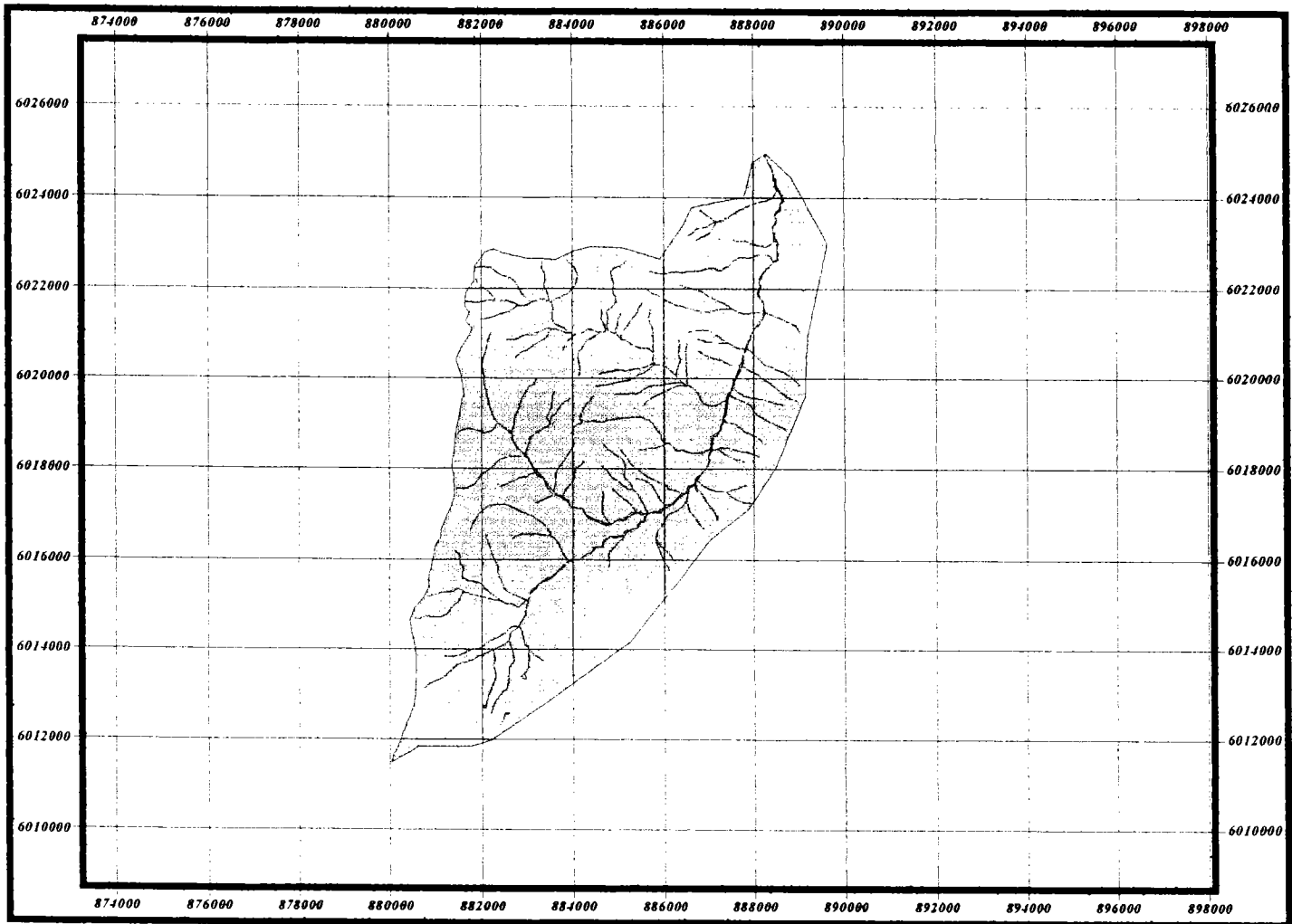


Escala 1:150000





-  Hidrografia
-  Microcuenca Estero del Alto

# Microcuenca Estero del Valle



Escala 1:150000



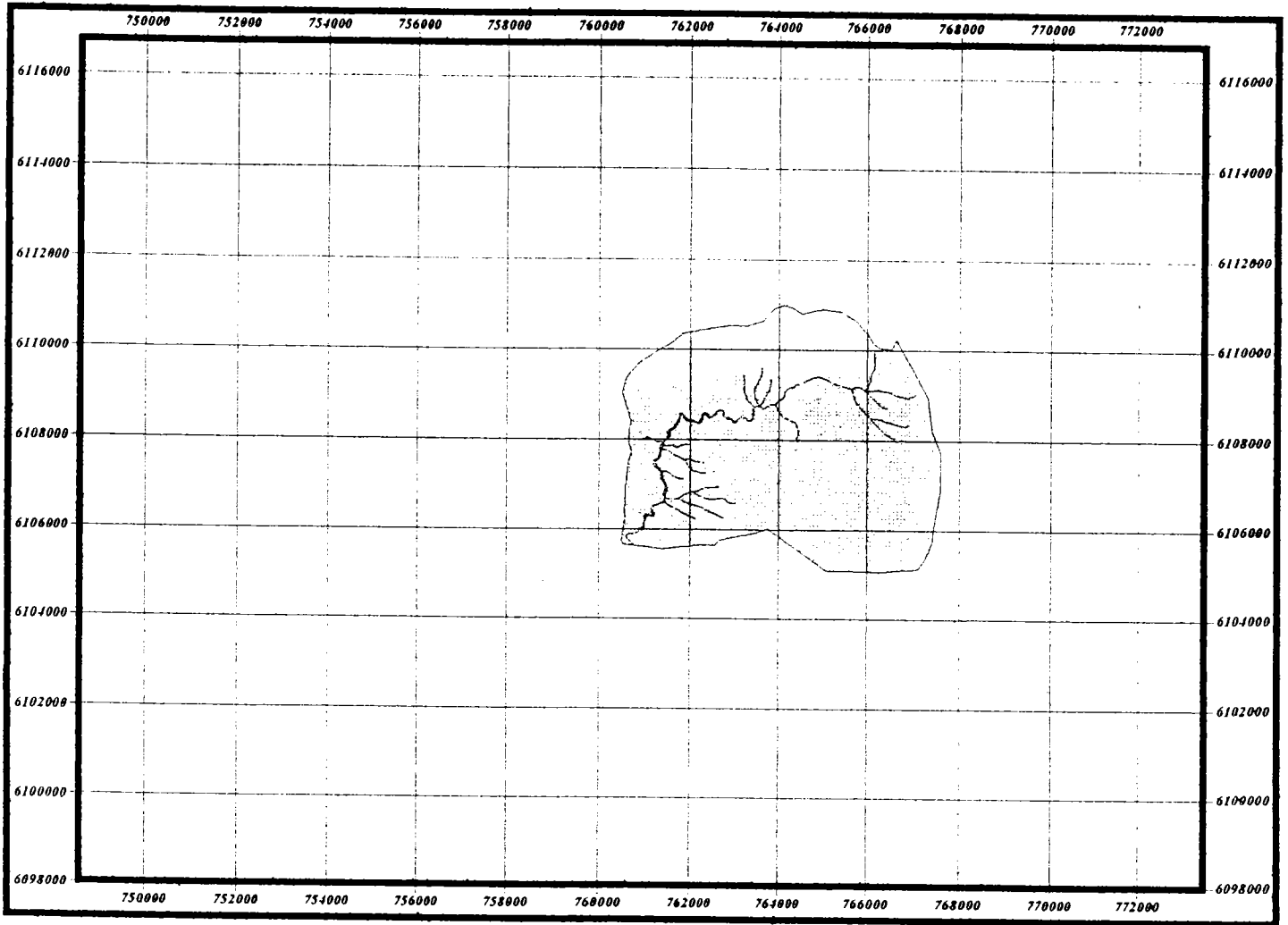
-  Hidrografía
-  Microcuenca Estero del Valle



## **APÉNDICE II**

**Mapa de ubicación de las cuencas ubicadas en la  
Cordillera de la Costa.**

# Microcuenca Estero Pudú

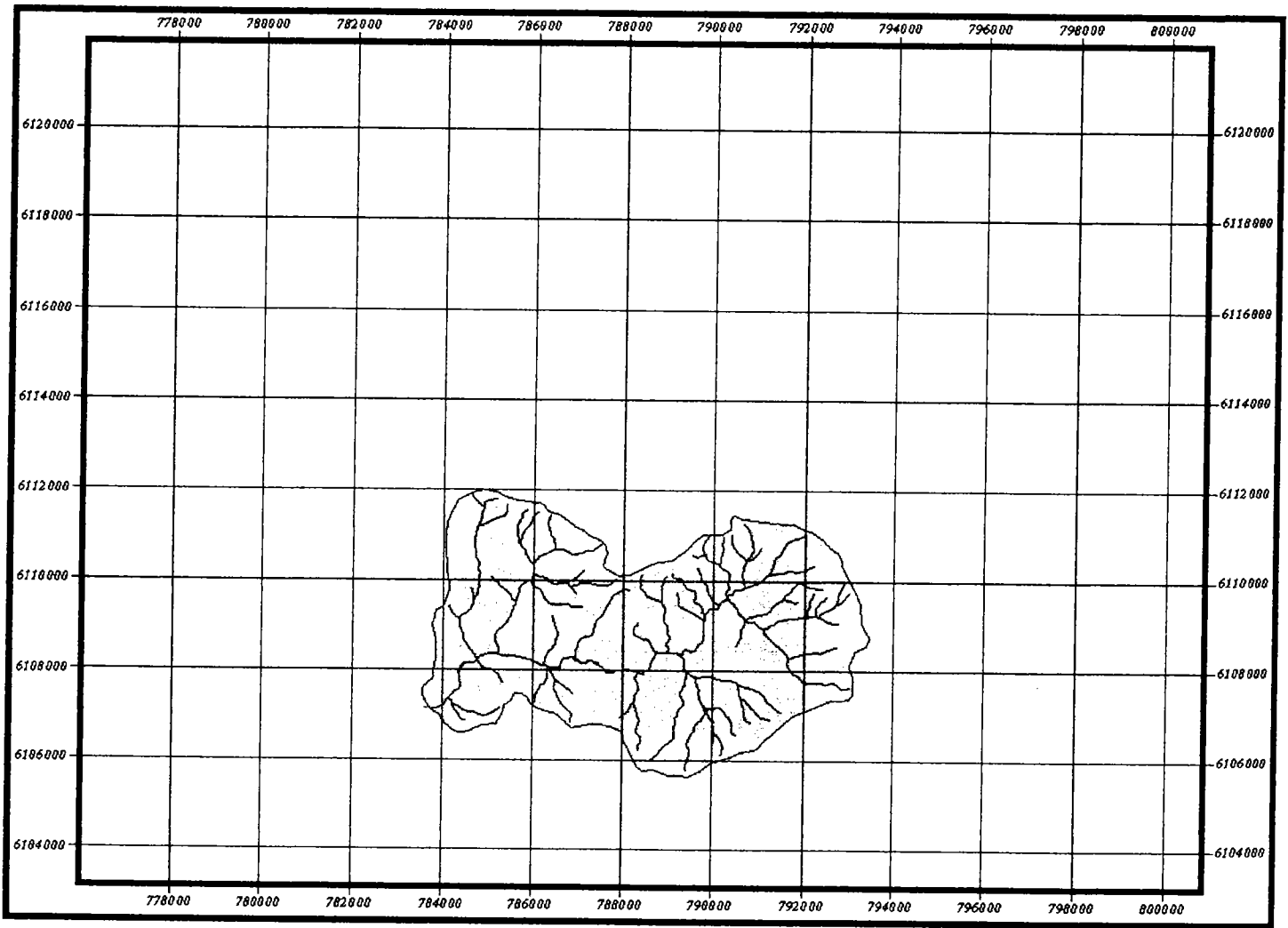


Escala 1:150000






-  Hidrografia
-  Microcuenca Estero Pudú

# Cuenca Estero Población

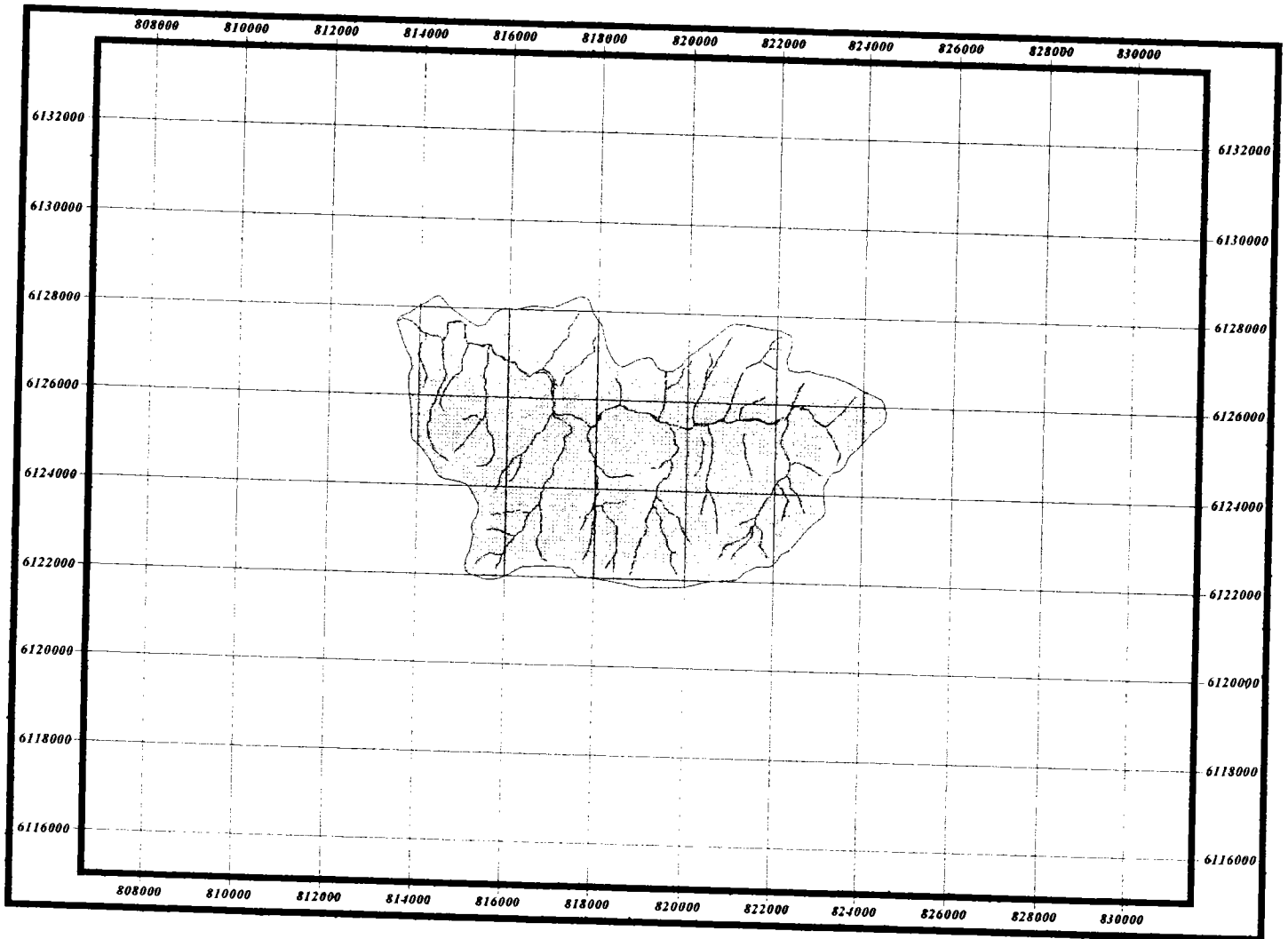


Escala 1:150000

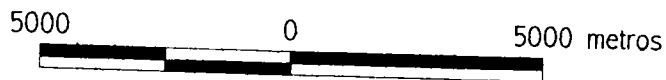




-  Hidrografía
-  Cuenca
-  Estero Población

# Microcuenca Estero de Los Altos

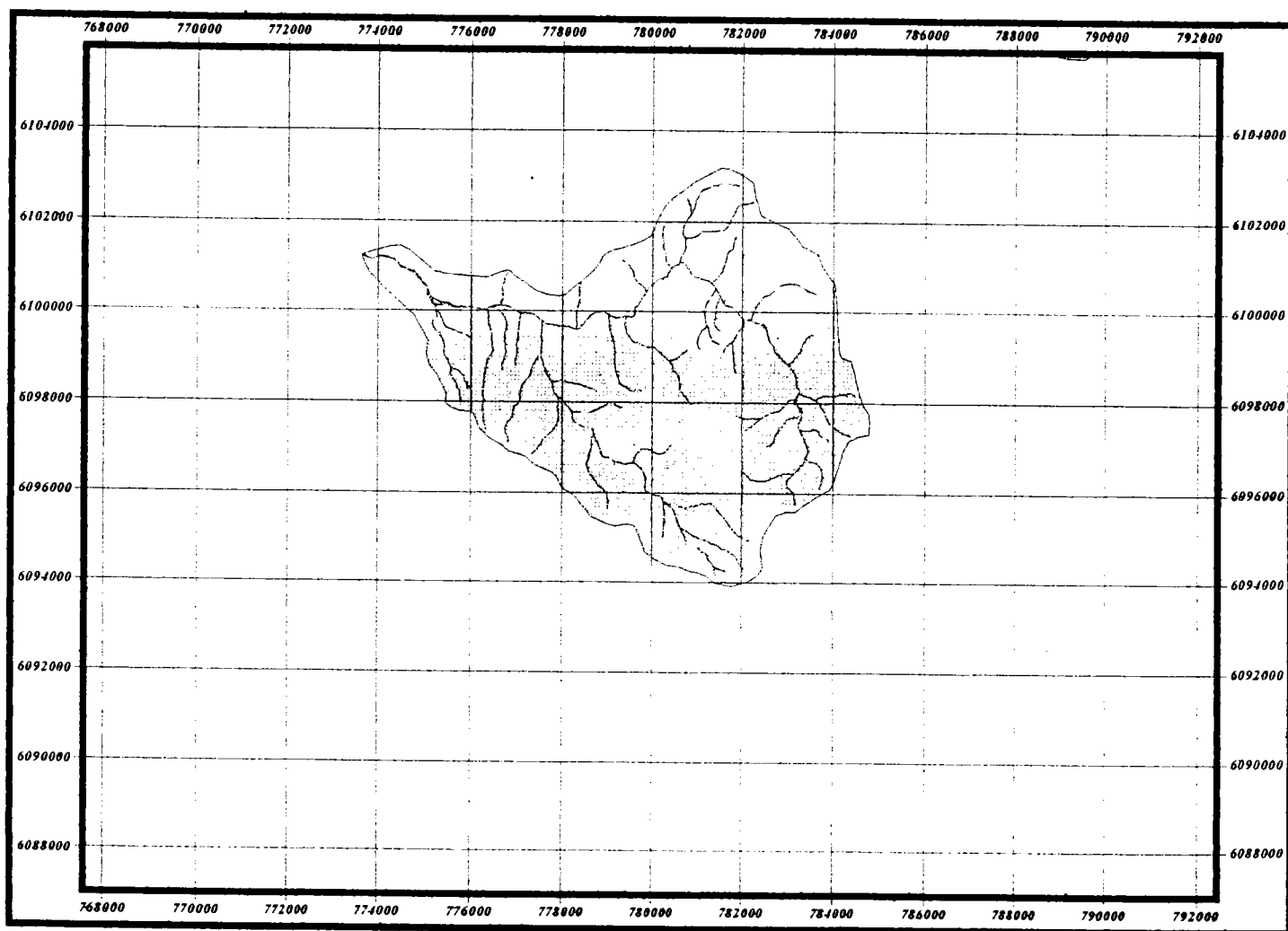


Escala 1:150000






-  Hidrografía
-  Microcuenca Estero de Los Altos

# Microcuenca Estero Higueras

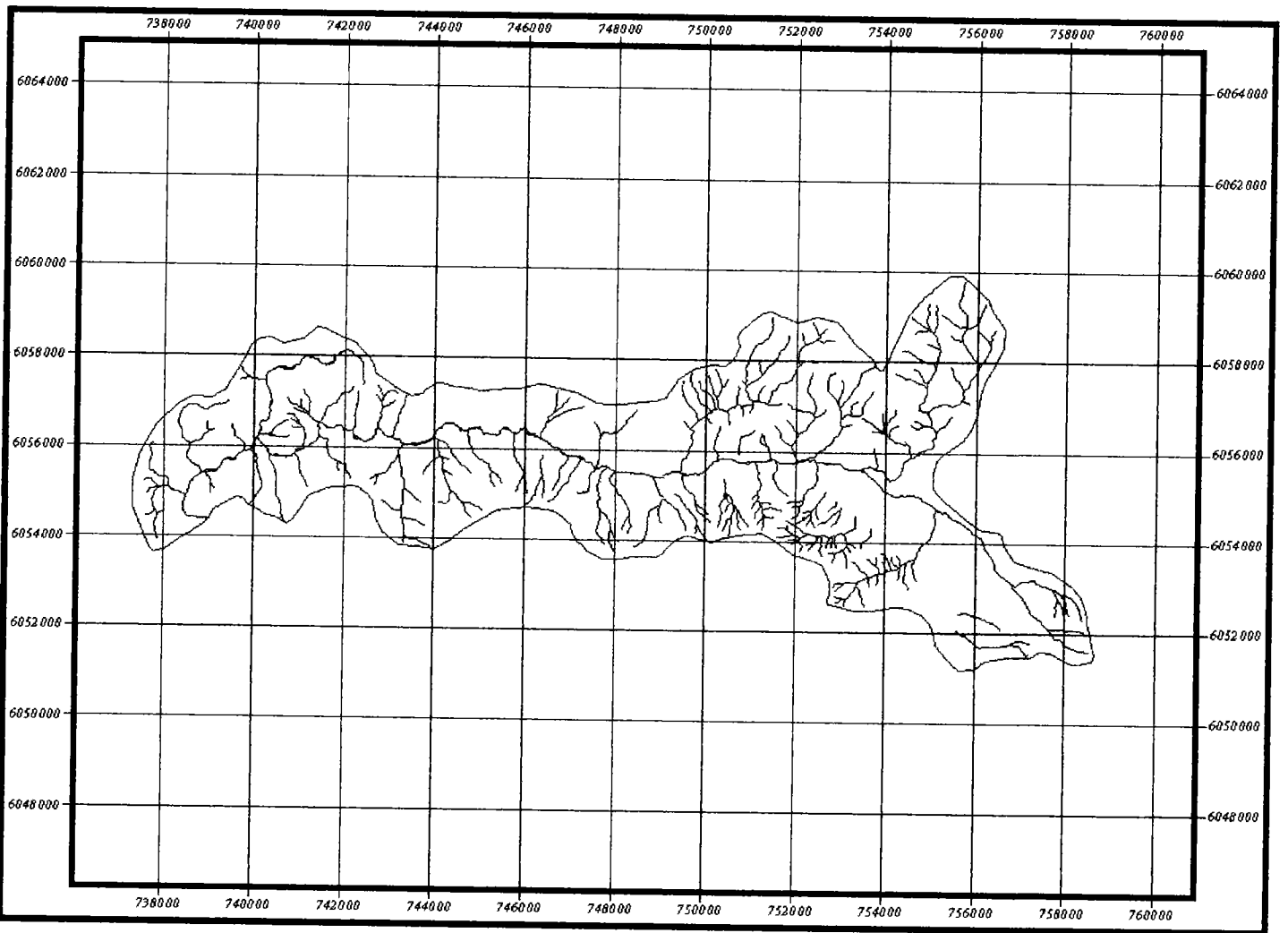


Escala 1:150000





-  Hidrografía
-  Microcuenca
-  Estero Higueras

# Cuenca Estero Carrizo



Escala 1:150000



-  Hidrografía
-  Cuenca Estero Carrizo

## **APÉNDICE III**

**Información base de las cuencas ubicadas en la  
Cordillera de los Andes.**

**Cuenca : Estero los Maquis**

Superficie : 23.73 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 20.7 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.05 km

Long. Curso Principal : 7.1 km  
 Long. Cursos Secundarios : 34.8 km

Curva	Longitud i (km)	area i (km <sup>2</sup> )
1850	0.1	0.00
1750		0.17
1650		0.45
1550		1.70
1450		4.53
1350		6.14
1250		7.76
1150		2.24
1050		0.44
950		0.22
850	0.1	0.08
<b>Total:</b>	<b>150.2</b>	<b>23.73</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100%	0%
0.17	90%	1%
0.62	80%	3%
2.32	70%	10%
6.84	60%	29%
12.99	50%	55%
20.75	40%	87%
23.00	30%	97%
23.43	20%	99%
23.65	10%	100%
23.73	0%	100%

**Cuenca : Estero Las Mulas**

Superficie : 53.32 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 32.1 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.05 km

Long. Curso Principal : 24.2 km  
 Long. Cursos Secundarios : 40.4 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
3300	0.2	0.00
3100		0.32
2900		0.97
2700		2.72
2500		3.63
2300		5.79
2100		8.80
1900		10.27
1700		11.17
1500		5.80
1300		2.63
1100		0.95
950	12.0	0.28
<b>Total:</b>	<b>993.3</b>	<b>53.32</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.32	91	1
1.29	83	2
4.01	74	8
7.64	66	14
13.43	57	25
22.23	49	42
32.50	40	61
43.67	32	82
49.47	23	93
52.10	15	98
53.04	6	99
53.32	0	100



**Cuenca : Estero Volcán**

Superficie : 53.88 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 35.8 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.05 km

Long. Curso Principal : 14 km  
 Long. Cursos Secundarios : 51.1km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
3250	9.3	0.00
3100		0.73
2950		3.33
2800		4.40
2650		9.17
2500		9.26
2350		6.13
2200		5.93
2050		4.44
1900		2.69
1750		2.01
1600		2.87
1450		2.03
1400	8.1	0.88
<b>Total:</b>	<b>825.8</b>	<b>53.88</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100%	0%
0.73	92%	1%
4.06	84%	8%
8.46	76%	16%
17.64	68%	33%
26.90	59%	50%
33.03	51%	61%
38.96	43%	72%
43.40	35%	81%
46.09	27%	86%
48.10	19%	89%
50.97	11%	95%
53.00	3%	98%
53.88	0%	100%

**Cuenca : Estero del Alto**

Superficie : 62.78 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 36.5 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.05 km

Long. Curso Principal : 13.3 km  
 Long. Cursos Secundarios : 85 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
3100	0.1	0.00
2900		2.84
2700		12.80
2500		16.90
2300		9.87
2100		8.90
1900		5.08
1700		2.74
1500		2.17
1300		1.08
1100	9.1	0.39
<b>Total:</b>	<b>1090.2</b>	<b>62.78</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
2.84	90	5
15.64	80	25
32.54	70	52
42.42	60	68
51.31	50	82
56.39	40	90
59.14	30	94
61.31	20	98
62.39	10	99
62.78	0	100

**Cuenca : Estero del Valle**

Superficie : 70.51 km<sup>2</sup>

Perímetro : 38.4 km

Equidistancia curvas de nivel : 0.05 km

Long. Curso Principal : 16.7 km

Long. Cursos Secundarios : 99.2 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
3350	0.1	0.00
3150		0.04
2950		0.23
2750		1.27
2550		6.48
2350		13.40
2150		11.93
1950		10.32
1750		9.32
1550		9.24
1350		5.35
1150		2.46
1050	0.5	0.47
<b>Total:</b>	<b>802.8</b>	<b>70.51</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.04	91	0
0.27	83	0
1.54	74	2
8.02	65	11
21.42	57	30
33.34	48	47
43.66	39	62
52.99	30	75
62.22	22	88
67.57	13	96
70.04	4	99
70.51	0	100

## **APÉNDICE IV**

**Información base de las cuencas ubicadas en la  
Cordillera de la Costa.**

**Cuenca : Estero Pudú**

Superficie : 34.12 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 23.7 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.025 km

Long. Curso Principal : 10.3 km  
 Long. Cursos Secundarios : 15 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
525	18.5	0.00
500		0.75
450		5.02
400		4.47
350		5.69
300		3.93
250		3.38
200		3.37
150		3.19
100		2.68
50		1.13
25	5.1	0.50
<b>Total:</b>	<b>540.5</b>	<b>34.12</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.75	95	2
5.77	85	17
10.25	75	30
15.94	65	47
19.87	55	58
23.25	45	68
26.62	35	78
29.81	25	87
32.49	15	95
33.62	5	99
<b>34.12</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

**Cuenca : Estero Población**

Superficie : 41.68 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 30.5 km<sup>2</sup>  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.025 km

Long. Curso Principal : 11.6 km  
 Long. Cursos Secundarios : 65.8 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
700	0.3	0.00
650		0.05
600		0.23
550		0.55
500		0.95
450		1.84
400		3.89
350		6.83
300		7.61
250		9.79
200		6.43
150		2.09
100		1.08
50	11.0	0.34
<b>Total:</b>	<b>600</b>	<b>41.68</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.05	92	0
0.29	85	1
0.83	77	2
1.79	69	4
3.63	62	9
7.52	54	18
14.35	46	34
21.95	38	53
31.75	31	76
38.18	23	92
40.27	15	97
41.35	8	99
<b>41.68</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

**Cuenca : Estero de los Altos**

Superficie : 45.40 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 32.8 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.025 km

Long. Curso Principal : 14.1 km  
 Long. Cursos Secundarios : 63.5 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
750	0.1	0.00
700		0.02
650		0.60
600		3.08
550		3.72
500		4.24
450		4.70
400		8.82
350		8.32
300		7.14
250		3.28
200		1.10
150	1.5	0.37
<b>Total:</b>	<b>422.2</b>	<b>45.40</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100%	0%
0.02	92%	0%
0.63	83%	1%
3.70	75%	8%
7.42	67%	16%
11.66	58%	26%
16.36	50%	36%
25.19	42%	55%
33.51	33%	74%
40.64	25%	90%
43.92	17%	97%
45.03	8%	99%
45.40	0%	100%

**Cuenca : Estero Higueras**

Superficie : 54.75 km<sup>2</sup>  
 Perímetro : 34 km  
 Equidistancia curvas de nivel : 0.025 km

Long. Curso Principal : 15.7 km  
 Long. Cursos Secundarios : 62 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
850	0.6	0.00
775		0.21
700		0.84
625		2.09
550		4.69
475		6.23
400		7.31
325		7.66
250		7.01
175		6.31
100		6.94
50	19.7	5.46
<b>Total:</b>	<b>853.3</b>	<b>54.75</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.21	91	0
1.05	81	2
3.14	72	6
7.83	63	14
14.06	53	26
21.37	44	39
29.03	34	53
36.04	25	66
42.34	16	77
49.29	6	90
54.75	0	100

**Cuenca : Estero Carrizo**

Superficie 80.53 km<sup>2</sup>

Perímetro 62 km

Equidistancia curvas de nivel : 0.025 km

Long. Curso Principal 26.3 km

Long. Cursos Secundarios 120.2 km

Curva	Longitud i (km)	Area i (km <sup>2</sup> )
750	0.4	0.00
700		0.03
650		0.09
600		1.25
550		2.48
500		2.63
450		6.36
400		10.46
350		15.68
300		28.06
250		11.56
200		1.75
150	7.0	0.18
<b>Total:</b>	<b>956.5</b>	<b>80.53</b>

Superficie (km <sup>2</sup> )	h (%)	Superficie (%)
0.00	100	0
0.03	92	0
0.11	83	0
1.37	75	2
3.84	67	5
6.47	58	8
12.84	50	16
23.30	42	29
38.99	33	48
67.04	25	83
78.60	17	98
80.35	8	100
80.53	0	100