

# Evaluación de la erodabilidad hídrica en la cuenca hidrográfica de la laguna Quiñenco, VIII Región del Biobío, Chile

EDILIA JAQUE<sup>1</sup>, PEDRO MANZANAREZ<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se evalúa la erodabilidad hídrica de la cuenca hidrográfica de la Laguna Quiñenco, a través del modelo, desarrollado por Cicacci y Palmieri (1987), que relaciona la erodabilidad de los suelos de la cuenca con la densidad de la red de drenaje (D) y la pendiente media (P) de las subcuencas. Los resultados muestran que el parámetro morfométrico más altamente correlacionado con la susceptibilidad a la erosión hídrica de la cuenca ( $r^2 = 0,8271$ ), expresada como pérdida de sólidos suspendidos en las aguas de los drenes (TU), es la pendiente media de las subcuencas (P). Por el contrario, la densidad de la red de drenaje (D) mostró una correlación muy baja con la erodabilidad. A pesar de esto último, se considera que el modelo empleado refleja razonablemente la erodabilidad de una cuenca pequeña. El modelo permitió, también, elaborar la cartografía de erodabilidad hídrica, necesaria para generar propuestas de manejo de la cuenca objeto de este estudio.

## ABSTRACT

The hydric erodability of a small watershed (belonging to the Quiñenco lake basin, located at the 8<sup>th</sup> region Chile) is assessed through a model developed by Cicacci & Palmieri (1987), which relates the erodability, in terms of transported solid sediments (TU, t/ha/y) to drainage density (D) and slope of subbasins (P).

The results show that the slope is the morphometric factor most correlates to erodability ( $r^2 = 0.82$ ). While, the correlation of the drainage net density to erodability is very low. However, it is regarded that the model reflects de real erodabilty, as computed values approach field records, coming from the same watershed. The model uses allowed to map the hydric erodability, which is necessary to generate management guideline.

**Palabras clave:** Morfometría, transporte sólido, densidad de drenaje

**Key words:** Morphometric, transported solid sediments, drainage density

En el manejo integrado de cuencas hidrográficas adquieren gran relevancia los procesos morfogenéticos que se desarrollan en las

vertientes de un sistema hidrológico, tanto por los aportes de sólidos que entran al sistema, como por los efectos que tienen sobre la esta-

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción. Casilla 160-C. Concepción. Chile.  
E-mail edjaque@udec.cl

<sup>2</sup> Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Talca.  
E-mail: pmanzanarez@utalca.cl

bilidad de las laderas. Uno de los procesos morfodinámicos más comunes de los sistemas naturales mediterráneos es la erosión hídrica; entendida como la disgregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo por la acción del agua. El fuerte contraste entre el verano, casi sin precipitaciones y con fuerte insolación subtropical y el invierno caracterizado por fuertes precipitaciones estimula los procesos de erosión hídrica (Endlicher, 1988).

Para la evaluación de este tipo de procesos, Cicacci y Palmieri (1979, 1981, 1983, 1986, 1987), han encontrado eficientes correlaciones entre algunas propiedades morfométricas de las cuencas hidrográficas y el transporte de sólidos en suspensión, por los cauces de la red de drenaje.

Estos autores reportan que la densidad de drenaje (D), el índice de anomalía jerárquica (Ga) y la pendiente media de las subcuencas (P), permiten calcular tasas de sedimentos transportados (TU), los que a su vez, pueden ser considerados como indicadores de erodabilidad. Además, han encontrado correlaciones muy altas entre TU, D y Ga, (0,84; 0,96 y 0,92 respectivamente), conforme a la relación

$$\text{Log TU} = 1,82818 \log D + 0,01769 \text{ Ga} + 1,53034.$$

Sin embargo, este modelo no predice la erodabilidad de forma confiable en cuencas pequeñas, donde Ga no sería un parámetro válido, debido a que gran parte de los drenes no superan una jerarquía de orden 4.

En general, los estudios para evaluar el riesgo de pérdidas de material de suelo por erosión hídrica en una cuenca, tienen como objetivo definir estrategias de manejo para minimizar esas pérdidas a través de enfoques diferentes: unos se orientan a determinar las áreas afectadas por erosión Soil Survey Staff (1975) y otros, a evaluar la erosión potencial o erosionabilidad, la erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro en una zona determinada Wischmeier (1971).

El objetivo del presente trabajo es la evaluación de la erodabilidad hídrica de la cuenca de la laguna Quiñenco mediante la aplicación del modelo teórico desarrollado

por Cicacci y Palmieri (1987) y la elaboración de la cartografía de erodabilidad de la cuenca, a escala 1:20.000.

## Metodología

La cuenca hidrográfica de la laguna Quiñenco se ubica en el litoral de la Octava Región, al sur del río Biobío, entre los 36° 57' y los 37° 00' de latitud sur y entre los 73° 03' y los 73° 08' de longitud oeste (figura N° 1). La cuenca drena la vertiente occidental de la Cordillera de Nahuelbuta, a través de una red de drenaje arborescente.

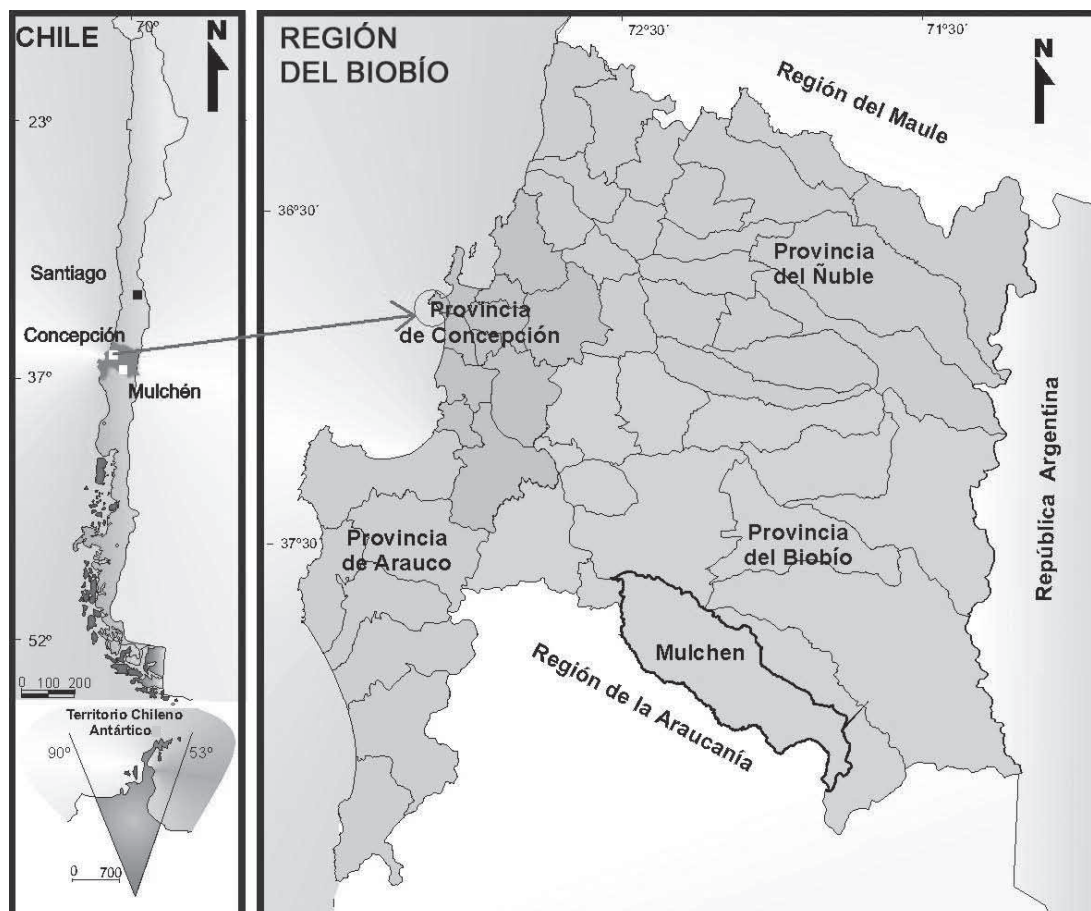
La erodabilidad se determinó empleando el modelo propuesto por Cicacci y Palmieri (1987), que relaciona la carga de sedimentos sólidos suspendidos en los cauces de la red de drenaje (TU) con la densidad de la red (D) y la pendiente media de las subcuencas (P), según la relación

$$\text{Log TU} = 0,32474 \log D + 0,0079 \times P + 1,32206$$

Para la aplicación del modelo se elaboró la carta hídrica con la red hidrográfica teórica, mediante fotointerpretación de pares estereoscópicos, vuelo SAF (1994) a una escala 1:20.000. Luego, se procedió a la clasificación de la red de acuerdo a la jerarquía de los cauces, según Sthraler (1987).

Las pendientes medias (P), así como los límites de la cuenca y de las subcuencas se determinaron a partir de cartografía topográfica escala 1:20.000 GEOCEN (1992) y del análisis fotogramétrico. La información generada se ingresó a un Sistema de Información Geográfica (IDRISI), obteniendo para cada una de las subunidades hidrológicas los parámetros morfométricos. La carta se elaboró según el método Brunett (1963), automatizado con IDRISI. La densidad de drenaje (D) se obtuvo mediante cálculo simple de los parámetros de superficie de las cuencas parciales y longitud de la red hídrica, al interior de ellas. Obtenidos los valores correspondientes a T y D, para cada subcuenca, se procedió a computar la respectiva carga de sedimentos sólidos (TU), en términos de toneladas de sedimentos por hectárea por año (t/ha/a).

FIGURA N° 1  
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



## Resultados

### *Aspectos generales*

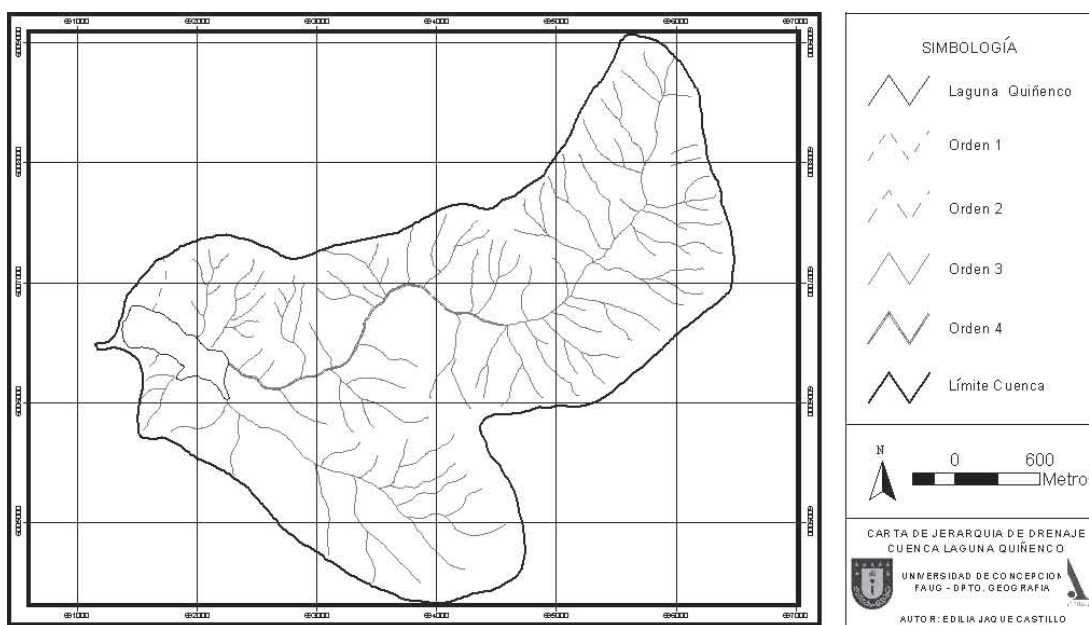
La cuenca de la laguna Quiñenco es del tipo lacustre litoral. Tiene una superficie de 11,84 km<sup>2</sup> y se ubica a 4 m.s.n.m. Presenta una red de drenaje de tipo arborescente, de orden 4. El cuerpo de agua receptor de red hídrica de la cuenca es la laguna Quiñenco, que alcanza 0,27 km<sup>2</sup> representando solo el 2% de la superficie de la cuenca. Ubicada inmediatamente al norte de la ciudad de Coronel, esta cuenca constituye una de las principales fuentes de agua potable que abastece esta ciudad de más de 95.528 habitantes (INE, 2002).

El uso de los suelos de la cuenca es predominantemente forestal. Sus vertientes están siendo sometidas periódicamente a cambios drásticos de cobertura, lo que afecta tanto la estabilidad de las laderas, como la producción hídrica de la cuenca.

### *Características hidrológicas*

La cuenca hidrográfica de la laguna Quiñenco, en sus 11,84 km<sup>2</sup>, cuenta con dos subcuencas importantes que alimentan el cuerpo de agua en su ribera oriental. Como se observa en la figura N° 2, la jerarquía de drenaje alcanza en ambas un orden 4. Sin embargo, considerando los objetivos de este estudio, se procedió a subdividir las subcuencas en microcuencas, de orden 2 como mínimo, lo cual dio como resultado una

FIGURA N° 2  
CARTA DE JERARQUÍA DE DRENAJE



carta de subcuencas, en la que se reconocen 46 microcuencas cuyas superficies varían entre 49,2 m<sup>2</sup> y 4,7 m<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos muestran un alto grado de homogeneidad del parámetro densidad de drenaje (D) como se puede verificar en el cuadro N° 1, donde se observan valores que van desde los 0,001m/m<sup>2</sup> en la subcuenca 3 a los 0,017m/m<sup>2</sup> en la cuenca 4.

### *Morfometría de la cuenca*

Los resultados del estudio morfométrico (Brunett, 1963) (figura N° 3) revelan que las pendientes medias de las subcuencas varían ampliamente; desde 15% a 100%, en las subcuencas 43 y 46 respectivamente. El promedio general de pendientes de las subcuencas alcanza cerca de 27°. La figura N° 3 muestra la carta de unidades homogéneas de pendientes de la cuenca.

### *Erodabilidad hídrica de la cuenca*

Al igual que los parámetros morfométricos, la erodabilidad (TU) de la cuenca varía ampliamente; desde 5,08 ton/ha/a, en la

subcuenca 17 a 0,84 ton/ha/a, en la subcuenca 43, según el cuadro N° 2.

A la luz de estos resultados, la erodabilidad de la cuenca puede considerarse como homogénea y moderada; sin embargo, para tener una imagen cabal de la magnitud del proceso es necesario asociar estos resultados con las dimensiones reales de las áreas estudiadas.

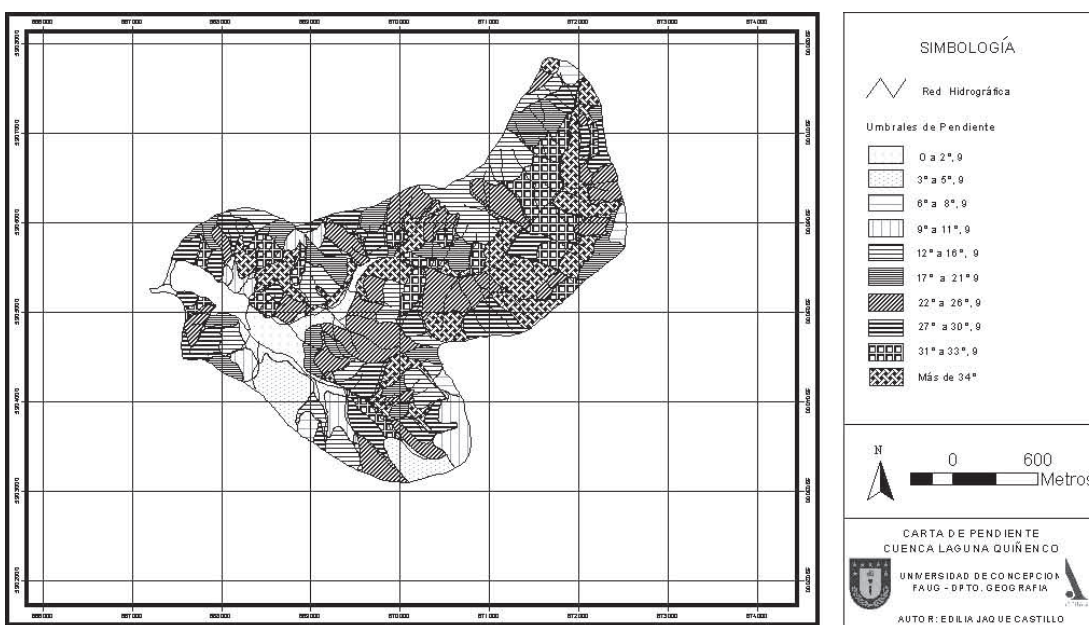
Por ello, se procedió a clasificar las cuencas de acuerdo a umbrales y clases de erodabilidad, conforme indica el cuadro N° 3. Sobre esta base se confeccionó la carta definitiva de erodabilidad, la que se presenta en la figura N° 4.

Los resultados muestran que 6,5% de las subcuencas presentan muy alta erodabilidad; un 17,4% alta erodabilidad; un 37% erodabilidad media; un 37% erodabilidad baja y un 2,2% presenta erodabilidad muy baja. Esto es de un universo de 46 subcuencas, alrededor de 75% presentan erodabilidad en grados que oscilan entre medios y muy bajos, indicando que en la cuenca predomina la estabilidad: los valores de TU varían entre 1,09 y 2,88 ton/ha/a, como puede verificarse en la figura N° 4.

CUADRO N° 1  
CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA DE QUIÑENCO

Subcuencas	Superficie en m <sup>2</sup>	Longitud	Densidad de D	Pendiente
0	38,0	2164	57,022	43
1	16,6	1036	62,560	43
2	25,0	985	39,353	43
3	16,3	197	12,123	51
4	4,7	813	172,136	42
5	20,9	1257	60,086	34
6	32,1	1187	37,024	38
7	13,3	402	30,135	50
8	15,7	496	31,660	57
9	18,6	1428	76,789	58
10	12,9	568	44,139	54
11	31,7	1619	51,131	48
12	12,7	503	39,744	55
13	23,5	1200	50,965	37
14	24,7	867	35,073	55
15	13,9	449	32,329	37
16	28,8	1845	64,080	33
17	42,7	1279	29,970	100
18	30,0	2053	68,403	33
19	30,0	1399	46,632	58
20	4,7	100	21,106	84
21	15,8	500	31,679	47
22	27,3	620	22,709	57
23	15,4	1060	68,644	65
24	14,4	900	62,505	59
25	25,8	620	23,995	61
26	33,6	1000	29,738	47
27	7,7	250	32,299	55
28	24,8	1280	51,611	58
29	12,5	600	48,062	73
30	24,9	1540	61,862	66
31	15,6	920	59,080	57
32	38,6	2060	53,338	54
33	32,9	1300	39,546	37
34	41,0	450	10,977	73
35	49,2	1600	32,519	40
36	36,0	1820	50,560	77
37	13,8	1300	94,197	20
38	38,0	1600	42,104	33
39	40,0	1200	30,033	16
40	45,0	1660	36,897	22
41	26,8	800	29,819	16
42	28,6	540	18,875	100
43	44,7	620	13,872	15
44	18,4	600	32,627	73
45	23,0	980	42,540	45
46	6,0	140	23,330	100
Total	1156,5	45503	39,344	13

FIGURA N° 3  
CARTA DE PENDIENTES DE LA CUENCA DE QUIÑENCO



CUADRO N° 2  
UNIDADES DE TRANSPORTE SÓLIDO EN SUSPENSIÓN (TU)  
CALCULADO PARA CADA SUBCUENCA

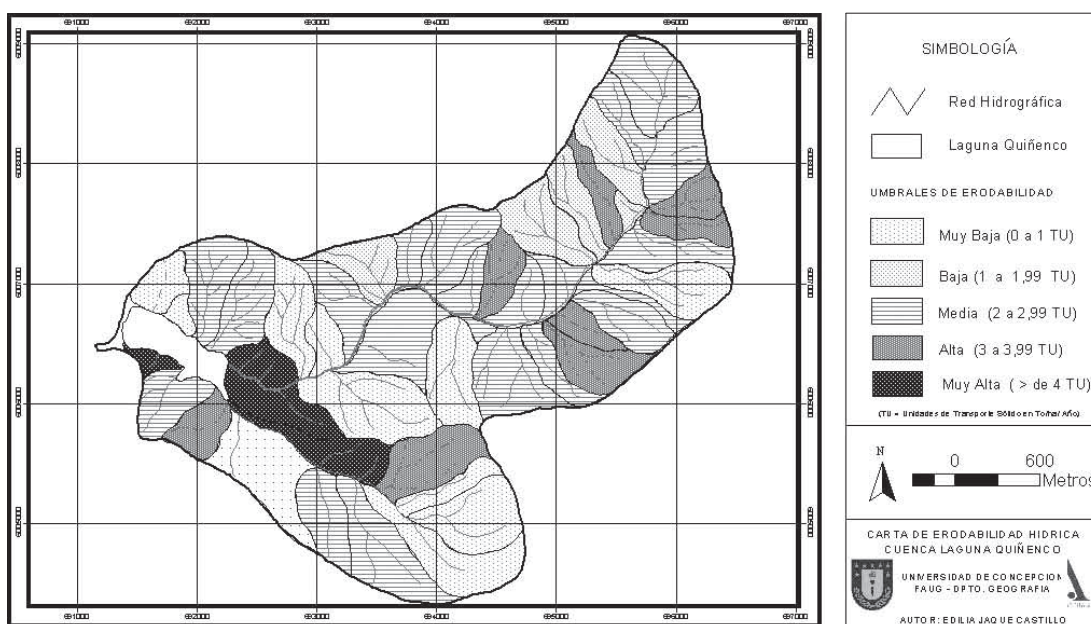
Subcuenca	TU	Subcuenca	TU
0	2,21	24	3,05
1	2,27	25	2,32
2	1,96	26	1,92
3	1,54	27	2,28
4	3,10	28	2,81
5	1,90	29	3,61
6	1,75	30	3,45
7	2,04	31	2,88
8	2,35	32	2,64
9	3,20	33	1,76
10	2,48	34	2,24
11	2,33	35	1,74
12	2,44	36	3,95
13	1,91	37	1,71
14	2,35	38	1,67
15	1,64	39	1,09
16	1,91	40	1,30
17	5,08	41	1,09
18	1,95	42	4,37
19	2,72	43	0,84
20	3,38	44	3,19
21	1,96	45	2,08
22	2,11	46	4,68
23	3,50	Cuenca	1,13



CUADRO N° 3  
CLASIFICACIÓN DE UMBRALES DE TU EN LA CUENCA DEL QUIÑENCO

Clasificación	Umbral de TU(Ton/ha/año)
Muy baja	0 a 1,0
Baja	1,0 a 1,9
Media	2,0 a 2,9
Alta	3,0 a 3,99
Muy alta	> a 4,0

FIGURA N° 4  
CARTA DE ERODABILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA DE QUIÑENCO



## Discusión

### *La adaptación del método*

La pendiente media de las cuencas es la característica física que más influyó en la determinación de TU. En este sentido, este resultado parece concordar con Ciccasi (1987), quien sostiene que la pendiente es el factor morfométrico más importante respecto de la ocurrencia de procesos de ladera (erosión de suelo en manto y cárcavas; deslizamientos y derrumbes) y que constituye uno de los factores más relevantes de la susceptibilidad a la erosión de

cuencas hidrográficas, influyendo directamente sobre la capacidad de transporte de un curso de agua.

El valor promedio de las pendientes de las subcuencas, próximo a los 27°, puede considerarse un valor alto a la luz de las informaciones aportadas por la bibliografía revisada sobre este tema. En efecto, Endlicher (1982) sostiene que los procesos de erosión en manto se inician a partir de los 10°; en tanto, que Andrade y Castro (1976) señalan que los procesos erosivos tienden a hacerse más intensos por sobre los 12°; que las regueras, aparecen definitivamente sobre los 12° y que la formación de cárcavas se iniciaría con pen-

dientes superiores a 15°. Según esta información, en la cuenca estudiada debería predominar la inestabilidad y consecuentemente, los valores estimados de TU tendrían que ser mucho mayores a los obtenidos. Esta contradicción se explica por el tamaño de la cuenca y el bajo número de orden de las redes de drenaje de las subcuencas.

Los resultados del presente estudio confirman, en general, los reportados por Cicacci (1987), Cicacci y Palmieri (1987) y Uzon (1992), en el sentido que en cuencas pequeñas, como es la de laguna de Quiñenco, la pendiente y la densidad de red de drenaje definen, en mayor medida la erodabilidad de la cuenca, que la anomalía jerárquica de los cauces de la red. Ciertamente, las correlaciones entre esos parámetros y la erodabilidad expresada como la carga de sólidos removida por los cauces, no es tan alta como las reportadas por los autores citados (figuras N° 5 y N° 6).

El modelo matemático escogido para este ejercicio, que correlaciona la variable gradiente de pendiente (P) y densidad de drenaje (D) con los sólidos transportados (TU), parece estimar la erodabilidad con

razonables límites de confiabilidad, como se puede inferir del hecho que los valores teóricos de TU encontrados en la cuenca del Quiñenco, oscilan entre los 37,4 y los 163,8 ton/ha/a con un valor promedio de 76,3 ton/ha/a.

Dichos valores se aproximan en gran medida con los entregados por Quijada (1998) obtenidos a través de muestreos de ceston orgánico e inorgánico, estacionales realizados en el principal estero afluente de la cuenca de Quiñenco (74,36 ton/ha/a).

Estas observaciones de terreno permitieron verificar que los resultados obtenidos en la evaluación de la erodabilidad hídrica, de la cuenca de la laguna Quiñenco, se aproximan razonablemente a la realidad, ya que en las subcuencas donde se presentan los mayores índices de erodabilidad están confluyendo otros factores geográficos que explican estos resultados. Principalmente, exposición predominante de las laderas hacia solana, bajos índices de cobertura vegetal, periódicos cambios de uso del suelo que exponen a las laderas a largos periodos sin cobertura o con escasa cobertura a la acción de las precipitaciones.

FIGURA N° 5  
CORRELACIÓN OBTENIDA PARA DENSIDAD DE DRENAJE Y TU

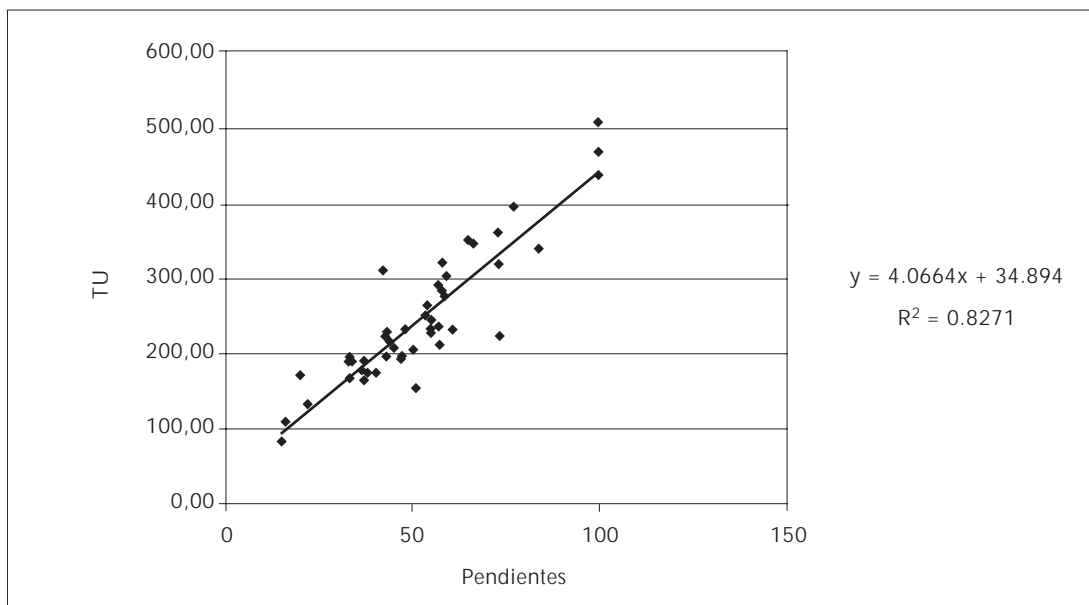
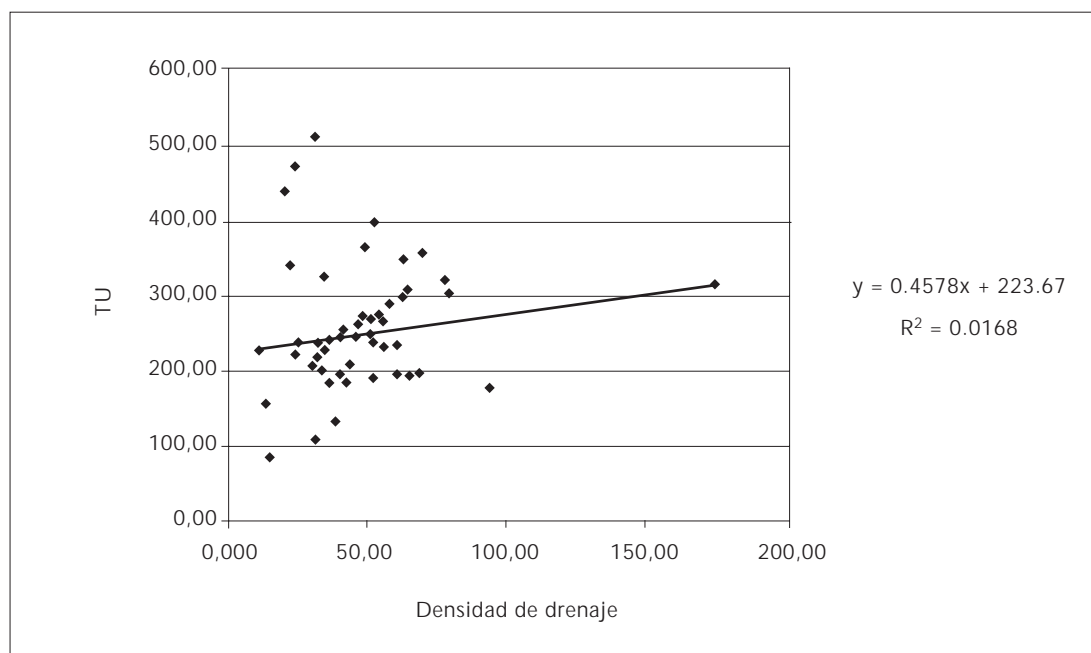




FIGURA N° 6  
CORRELACIÓN OBTENIDA PARA PENDIENTE MEDIA Y TU



## Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten concluir que:

1. En cuencas hidrográficas de tamaño pequeño ( $< 20 \text{ km}^2$ ) la anomalía jerárquica no sería un factor importante en la determinación de la erodabilidad, como lo es en cuencas grandes, ya que el tamaño de las subcuencas y el bajo orden de jerarquía de los cauces de la red de drenaje, anulan este parámetro como factor.
2. En cuencas hidrográficas pequeñas, el factor morfométrico de mayor peso en la determinación de la erodabilidad estaría representado por las pendientes de las microcuencas y en menor grado, por la densidad de drenaje.
3. La cartografía de erodabilidad hídrica de la cuenca mostró ser una herramienta efectiva y eficiente, respecto de la planificación física y del manejo territorial de cuencas hidrográficas.

## Bibliografía

ANDRADE, B. y CASTRO, C. Ensayo y métodos de detección de unidades morfodinámicas en las planicies litorales de Chile Central. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1976, N° 25, p. 11 - 25.

BRUNETT, C. Les cartes des pentes. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 1963, N° 23, p. 317-334.

CICACCI, S.; FREDI, P. & PALMIERI, L. Quantitative expression of climatic and geomorphic factors affecting erosional processes: indirect determination of amount of erosion in drainage basins in Italy. In *Polish - Italian Seminar de Superficial mass movements in mountain regions*, 1969, p. 76-89.

CICACCI, S.; FREDI, P.; PALMIERI, L. & PUGLIESE, F. Contributo dell' analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell' erosione nei bacini fluviali. *Bolletín Societa Geologica Italiana*, 1980, N° 99, p. 455-516.

- CICACCI, S.; FREDI, P.; LUPIA, L.; PALMIERI, L. & PUGLIESE, F. Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hidrological parameters. In GARDINER, V. *International Geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1987.
- CICACCI, S.; D'ALESSANDRO, L. & FREDI, P. Sulla valutazione indiretta dell'interrimento nei bacini lacustri: Il Lago artificiale di Scandarello (Rieti). In *XXIII Congresso Geografico Italiano*. Catania, 9-13 maggio 1983, Volumen II, tomo II, p. 37-52.
- ENDLICHER, W. Instalación de Parcelas de Erosión para evaluar la erosión del suelo en la Cordillera de la Costa de Chile Central. *Tercer Congreso Geológico Chileno*. Concepción, 1982.
- ENDLICHER, W. El Problema de la erosión del suelo en la cordillera de la Costa de la Octava Región. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1988, N°15, p. 11-27.
- GEOCEN. *Levantamiento topográfico*, escala 1:20.000, 1992.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). *XVII Censo de Población y VI de Vivienda*. Santiago, 2002.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Serie Monografías de la Secretaría de Estado para las políticas del agua y el medio ambiente. Santiago: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992.
- QUIJADA, S. *Informe Fondecyt 1960600. Análisis integrado de 5 cuencas lacustres litorales de Chile central (VIII Región): caracterización ambiental y proposición de criterios de ordenamiento territorial*, 1998.
- Servicio Aerofotogramétrico (SAF). *Levantamiento aerofotogramétrico*, escala 1:20.000, 1994.
- SOIL SURVEY STAFF. *Soil Taxonomy: a Basic System of soil Classification for Marking and Interpreting*. Washington, D.C.: U. S. Department of Agriculture, 1975.
- STHRALER, A. *Modern Physical Geography*. BRISBANE: John Wiley and sons, 1987.
- UZÓN, V. Antecedentes para evaluar la erosión en la cuenca del río Culenco, Región del Biobío. Considerando algunas propiedades geométricas de la cuenca. *II Congreso de Ciencias de la Tierra*. Santiago, 17 - 21 agosto de 1992, Instituto Geográfico Militar de Chile.
- WISCHMEIER, W. A soil erodability monograph for farmland and construction sites. *Journal of soil and water conservations*, 1971, N° 26, p. 198-192.