

**TENDENCIAS POTENCIALES DE RIESGOS  
MORFODINAMICOS MEDIANTE INTERPRETACION DE  
CAUDALES MAXIMOS  
IV REGION DE COQUIMBO - CHILE SEMIARIDO**

José Enrique **NOVOA** Jerez  
Marcela Cristina **ROBLES** Iriarte  
Rubén **CASTILLO** Ortiz  
David **LOPEZ** Aspe  
**Programa de Geografía Física Aplicada**  
**Universidad de La Serena**

Casilla 599 – La Serena

Fono: 056-51-204396 – Fax: 056-51-204386 – E-mail: jnovoa@elqui.cic.userena.cl

**RESUMEN**

Se interpreta el comportamiento potencial de los riesgos y desastres naturales de carácter morfodinámico en el ecosistema semiárido chileno, ante el cambio climático a escalas locales, según las tendencias de caudales naturales máximos de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa, bajo condiciones paramétricas de carácter climático (1950-1990). Los resultados muestran un decrecimiento de los riesgos esperables en sentido latitudinal. Tales conclusiones son discutidas en términos metodológicos y validez de los resultados alcanzados.

**SUMMARY**

It is interpreted the potential behavior of the risks and natural disasters of morphodynamics character in the Chilean semi-arid ecosystem, in the face

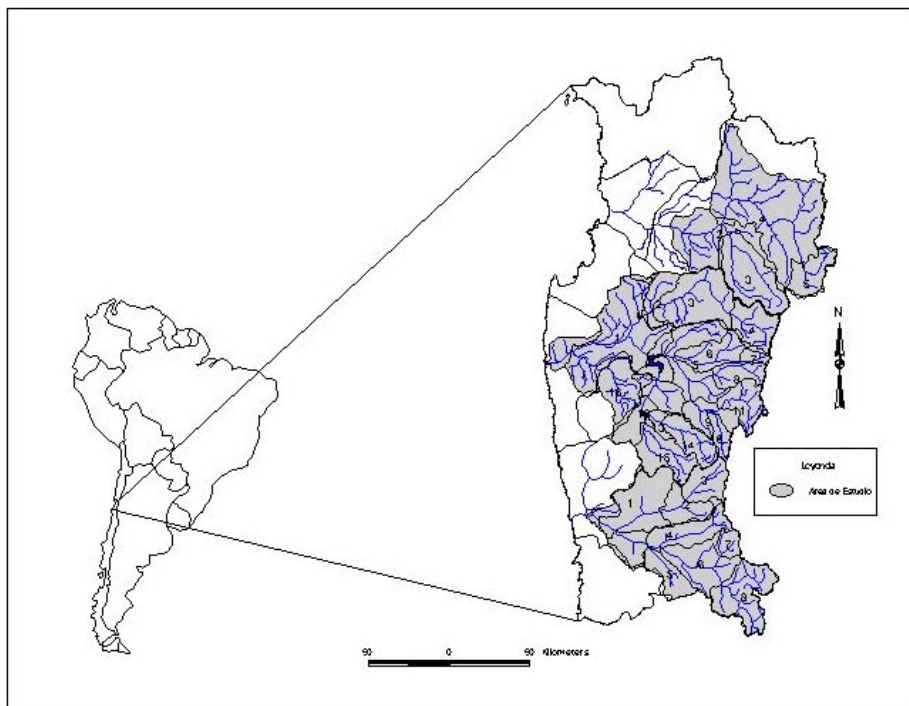
of the climatic change to local scales, according to the tendencies of natural maximums flows of the basins of the rivers Elqui, Limarí and Choapa, under parametric conditions of climatic character (1950-1990). The results show a decrease of the risks expects in having felt latitudinal. Such conclusions are discussed in methodological terms and validity of the reached results.

## **1. INTRODUCCION**

Los riesgos y desastres naturales han sido tipificados como uno de los problemas más relevantes del ecosistema semiárido chileno (IV Región de Coquimbo, Chile), producto de sus condiciones transicionales entre los ecosistemas de comportamiento árido y mediterráneo (Novoa et al., 1998 y 1999). En tal contexto, se interpreta su tendencia morfodinámica potencial, en el marco que entrega el análisis del comportamiento de los ecosistemas ante el cambio climático global a escalas locales, mediante la interpretación de las tendencias de los caudales naturales máximos de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa, antecedente de vital importancia para estructurar acciones de planificación conducentes al desarrollo espacial futuro de este ecosistema nacional (Figura 1).

Para alcanzar tal objetivo, se han establecido e interpretado las tendencias de los caudales máximos de las cuencas y subcuencas hidrográficas de la IV Región de Coquimbo (Novoa et al., 1995 y 1996) , con el apoyo de estadísticas oficiales de caudales naturales (Dirección General

de Aguas, 1991) bajo condiciones paramétricas de carácter climático (1950-1990). Base de antecedentes estadísticos con los cuales se procedió a la graficación de las tendencias máximas. Procediéndose a interpretar tales resultantes con los efectos esperables en términos de comportamiento morfodinámico potencial de riesgos naturales.



**Figura 1. Plano de Ubicación Area de Estudio**

Los resultados alcanzados permiten sustentar lógicamente el comportamiento morfodinámico potencial de este ecosistema ante eventos meteorológicos extremos. Encontrándose una respuesta heterogénea para el contexto regional-local que muestra gráfica y cartográficamente una componente de decrecimiento de los riesgos esperables en sentido

latitudinal, vale decir, una disminución de este tipo de fenómenos superficiales en la medida que se analiza el ecosistema desde su extremo norte hacia el sur. Tales conclusiones son discutidas en términos metodológicos y validez de los resultados alcanzados.

## **2. METODOLOGIA**

Los planteamientos metodológicos han sido ampliamente difundidos, discutidos y validados entre pares, mediante su presentación en encuentros científicos de carácter nacional e internacional (Novoa et al., 1995 y 1996). Fundamentalmente, el procedimiento consiste en el análisis estadístico de una serie de datos oficiales de carácter hidrológico (Dirección General de Aguas, 1991) que presentan las medias mensuales de caudales naturales para diferentes cuencas hidrográficas de este ecosistema, información con validez climática por considerar una temporalidad de 40 años (1950 a 1990) y a partir de la cual se han seleccionado los caudales máximos medios mensuales de cada año.

Con estos antecedentes, se ha procedido a determinar sus tendencias mediante cálculos estandarizados de regresión lineal simple para cada una de las cuencas y subcuencas consideradas, permitiendo analizar la cuenca del río Elqui con 5 estaciones de aforo (río Elqui en Almendral, río Elqui en Algarrobal, río Claro en Rivadavia. río Turbio en Varillar y río La Laguna en

salida Embalse La Laguna), a la cuenca del río Limarí con 16 estaciones (río Limarí en Panamericana, río Hurtado en entrada Embalse Recoleta, río Hurtado en Angostura de Pangué, río Hurtado en San Agustín, río Grande en Puntilla San Juan, río Rapel en Junta, río Los Molles en Ojos de Agua, río Mostazal en Cuestecita, río Grande en Cuyano, río Tascadero en Desembocadura, río Grande en Las Ramadas, río Guatulame en El Tome, río Cogotí en entrada Embalse Cogotí, río Cogotí en Cogotí 18, río Pama en entrada Embalse Cogotí y río Punitaqui en Chalinga) y a la cuenca del río Choapa con 8 estaciones de aforo (río Choapa agua arriba Estero La Canela, río Illapel en Huintil, río Illapel en Las Burras, río Choapa en Puente Negro, estero Camisas en Desembocadura, río Choapa en Salamanca, río Cuncumén antes de Bocatoma y río Choapa en Cuncumén), cuyo análisis permite cubrir la mayor superficie regional (cercana al 80%) con validez climática a escala local (Cuadro 1).

A efectos de la presente interpretación, se ha estimado analíticamente lógico el considerar que una tendencia al incremento de los caudales naturales estaría representando una tendencia similar en términos de potencialidad hidrometeorológica y, por ende, de una mayor potencialidad de riesgo por agentes morfodinámicos, en términos de proporcionalidad directa. A su vez, una tendencia a la disminución en los parámetros iniciales, debería estar señalando una tendencia al decrecimiento de esta tipología de riesgos. A objeto de realizar una discriminación al interior de estas tendencias

potenciales, fueron estructurados 5 rangos representativos en función de la pendiente que presentase la curva estadística de regresión, de manera que fuese posible establecer una distribución espacial con un mayor grado de heterogeneidad que enriqueciese su interpretación regional.

Cuenca	Estación de Aforo	Area Km <sup>2</sup>
<b>Elqui</b>	1.01 río Elqui en Almendral	962
	1.02 río Elqui en Algarrobal	43
	1.03 río Claro en Rivadavia	1.491
	1.04 río Turbio en Varillar	3.439
	1.05 río La Laguna en salida Embalse La Laguna	548
<b>Total</b>		<b>6.483</b>
<b>Limarí</b>	2.01 río Limarí en Panamericana	2.371
	2.02 río Hurtado en entrada Embalse Recoleta	388
	2.03 río Hurtado en Angostura de Pangué	1.291
	2.04 río Hurtado en San Agustín	620
	2.05 río Grande en Puntilla San Juan	1.032
	2.06 río Rapel en Junta	656
	2.07 río Los Molles en Ojos de Agua	163
	2.08 río Mostazal en Cuestecita	403
	2.09 río Grande en Cuyano	459
	2.10 río Tascadero en Desembocadura	239
	2.11 río Grande en Las Ramadas	560
	2.12 río Guatulame en El Tome	905
	2.13 río Cogotí en entrada Embalse Cogotí	139
	2.14 río Cogotí en Cogotí 18	583
	2.15 río Pama en entrada Embalse Cogotí	753
	2.16 río Punitaqui en Chalinga	774
<b>Total</b>		<b>11.336</b>
<b>Choapa</b>	3.01 río Choapa agua arriba Estero La Canela	1.333
	3.02 río Illapel en Huintil	464
	3.03 río Illapel en Las Burras	563
	3.04 río Choapa en Puente Negro	1.150
	3.05 estero Camisas en Desembocadura	467
	3.06 río Choapa en Salamanca	936
	3.07 río Cuncumén antes de Bocatoma	222
	3.08 río Choapa en Cuncumén	1.082
<b>Total</b>		<b>6.217</b>

**Cuadro 1. Superficies de las Cuencas y Subcuencas en el Contexto Regional**

### 3. RESULTADOS

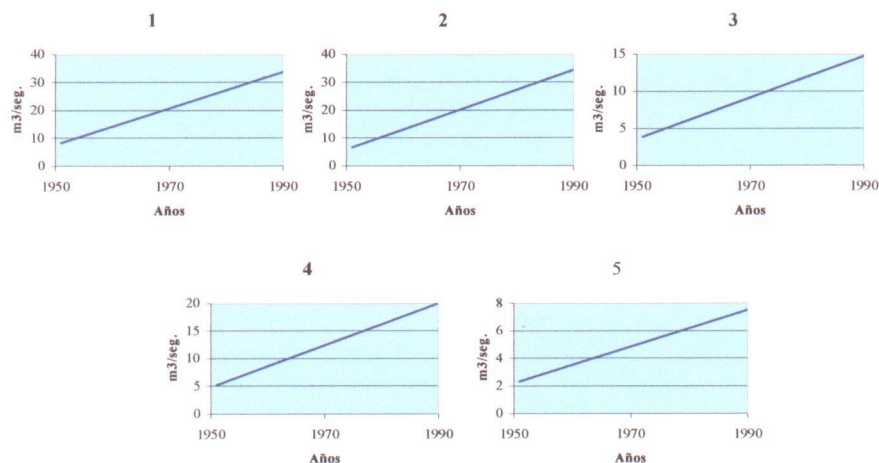
Los resultados alcanzados permiten visualizar una distribución heterogénea de las tendencias de caudales naturales medios máximos para el ecosistema semiárido transicional de Chile (Figura 2) que, expresados en ecuaciones de regresión lineal, muestran las siguientes características (Cuadro 2).

Cuenca	Estación de Aforo	Ecuación	r <sup>2</sup>
<b>Elqui</b>	1.01 río Elqui en Almendral	y= (+) 0,6539x - 1267,50	0,1093
	1.02 río Elqui en Algarrobal	y= (+) 0,7079x - 1374,30	0,1309
	1.03 río Claro en Rivadavia	y= (+) 0,2799x - 542,21	0,0808
	1.04 río Turbio en Varillar	y= (+) 0,3805x - 737,07	0,1182
	1.05 río La Laguna en salida Embalse La Laguna	y= (+) 0,1333x - 257,81	0,1196
<b>Limarí</b>	2.01 río Limarí en Panamericana	y= (+) 1,0274x - 1981,90	0,0523
	2.02 río Hurtado en entrada Embalse Recoleta	y= (+) 0,2682x - 556,46	0,0784
	2.03 río Hurtado en Angostura de Pangué	y= (+) 0,2074x - 397,57	0,0906
	2.04 río Hurtado en San Agustín	y= (+) 0,1378x - 226,21	0,0797
	2.05 río Grande en Puntilla San Juan	y= (+) 0,6156x - 1186,00	0,0585
	2.06 río Rapel en Junta	y= (+) 0,1410x - 272,36	0,0808
	2.07 río Los Molles en Ojos de Agua	y= (+) 0,0344x - 66,25	0,0763
	2.08 río Mostazal en Cuestecita	y= (+) 0,0953x - 183,18	0,0425
	2.09 río Grande en Cuyano	y= (+) 0,3337x - 637,55	0,0375
	2.10 río Tascadero en Desembocadura	y= (+) 0,1598x - 309,18	0,0620
	2.11 río Grande en Las Ramadas	y= (+) 0,2774x - 534,14	0,0700
	2.12 río Guatulame en El Tome	y= (+) 0,2429x - 470,94	0,0490
<b>Choapa</b>	2.13 río Cogotí en entrada Embalse Cogotí	y= (+) 0,1698x - 328,20	0,0649
	2.14 río Cogotí en Cogotí 18	y= (+) 0,1662x - 320,26	0,0569
	2.15 río Pama en entrada Embalse Cogotí	y= (+) 0,1160x - 224,78	0,0629
	2.16 río Punitaqui en Chalinga	y= (+) 0,0539x - 103,55	0,0267
	3.01 río Choapa agua arriba Estero La Canela	y= (+) 0,7245x - 1389,30	0,0519
	3.02 río Illapel en Huintil	y= (+) 0,0494x - 89,30	0,0047
	3.03 río Illapel en Las Burras	y= (+) 0,0803x - 150,58	0,0136
	3.04 río Choapa en Puente Negro	y= (+) 0,2902x - 537,60	0,0085
3.05 estero Camisas en Desembocadura	y= (-) 0,0034x + 18,98	0,0001	
3.06 río Choapa en Salamanca	y= (+) 0,7141x - 1369,80	0,0415	
3.07 río Cuncumén antes de Bocatoma	y= (+) 0,0069x - 11,38	0,0017	
3.08 río Choapa en Cuncumén	y= (+) 0,2456x - 454,19	0,0134	

**Cuadro 2. Ecuaciones de Regresión Lineal**

Cuenca del río Elqui: las 5 estaciones de aforo presentan una tendencia al incremento temporal de sus caudales de crecida, permitiendo diferenciar una distribución de la problemática con una mayor intensidad en su cuenca inferior (superficies representativas para las estaciones de aforo del río Elqui en Almendral y Algarrobal), seguidas por la cuenca media del río

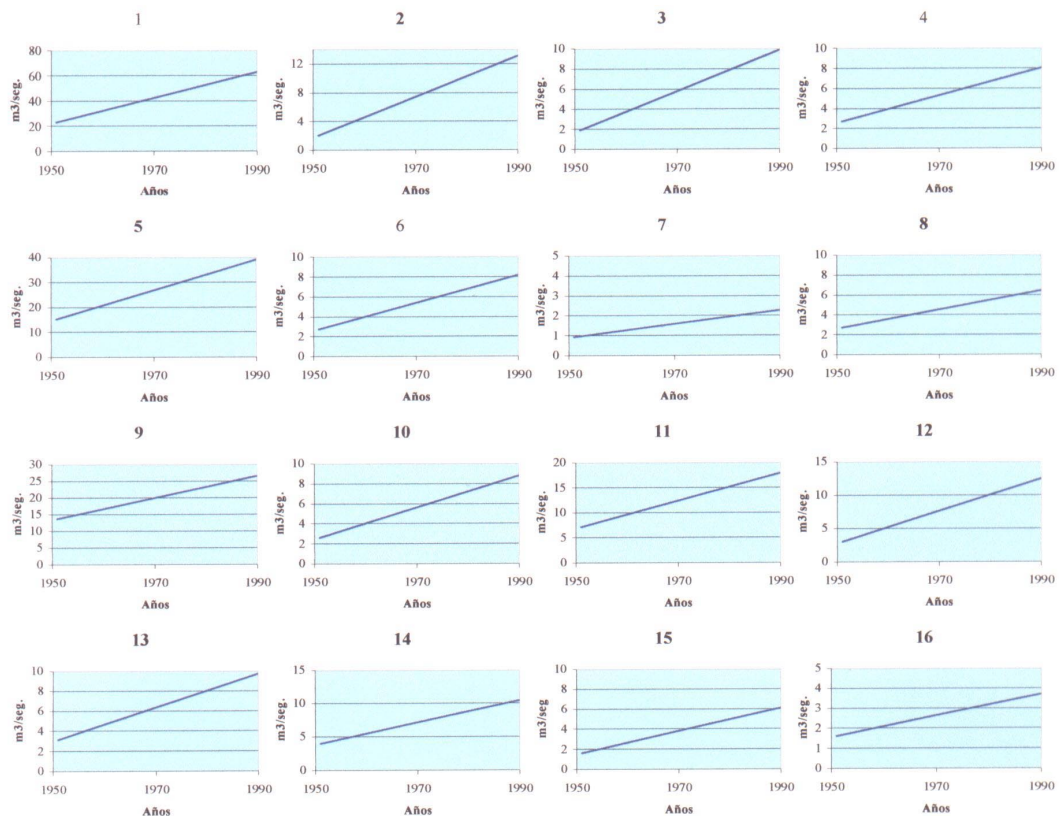
Turbio (sección oriente de la cuenca general) y, por la cuenca superior del río Turbio (río La Laguna) y la cuenca del río Claro (sección sur oriente de la cuenca general) en función de la estación ubicada en en el río Claro en Rivadavia (Gráfico 1).



**Gráfico 1. Curvas de Regresión Cuenca del río Elqui**

Cuenca del río Limarí: las 16 estaciones de aforo presentan una tendencia al incremento temporal de sus caudales de crecida, permitiendo discriminar una distribución de la problemática con una máxima intensidad para su sección inferior (río Limarí en Panamericana), seguida por el comportamiento de la subcuenca media del río Grande (río Grande en Puntilla San Juan), la subcuenca superior del río Grande (río Grande en Cuyano) y, en tercer lugar, por el resto de las estaciones de aforo de la cuenca general, denotando una tendencia relativamente homogénea para todas las secciones de ella, sean éstas superiores o intermedias (Gráfico 2).

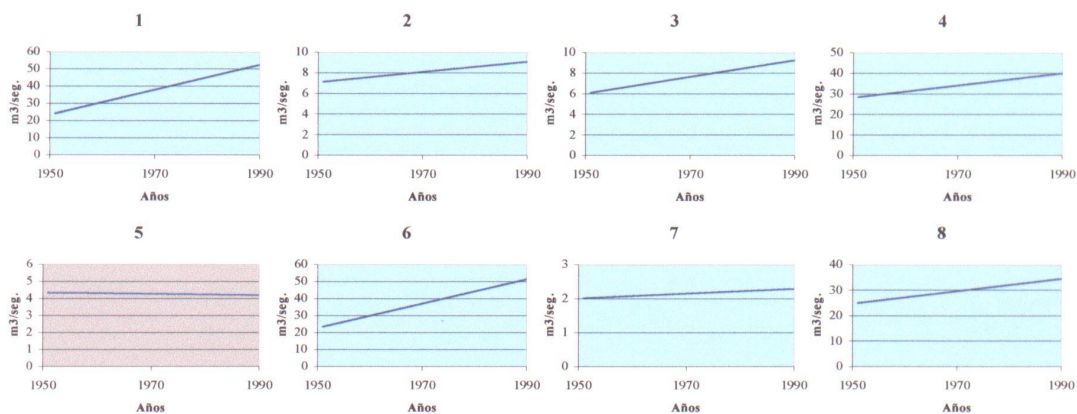




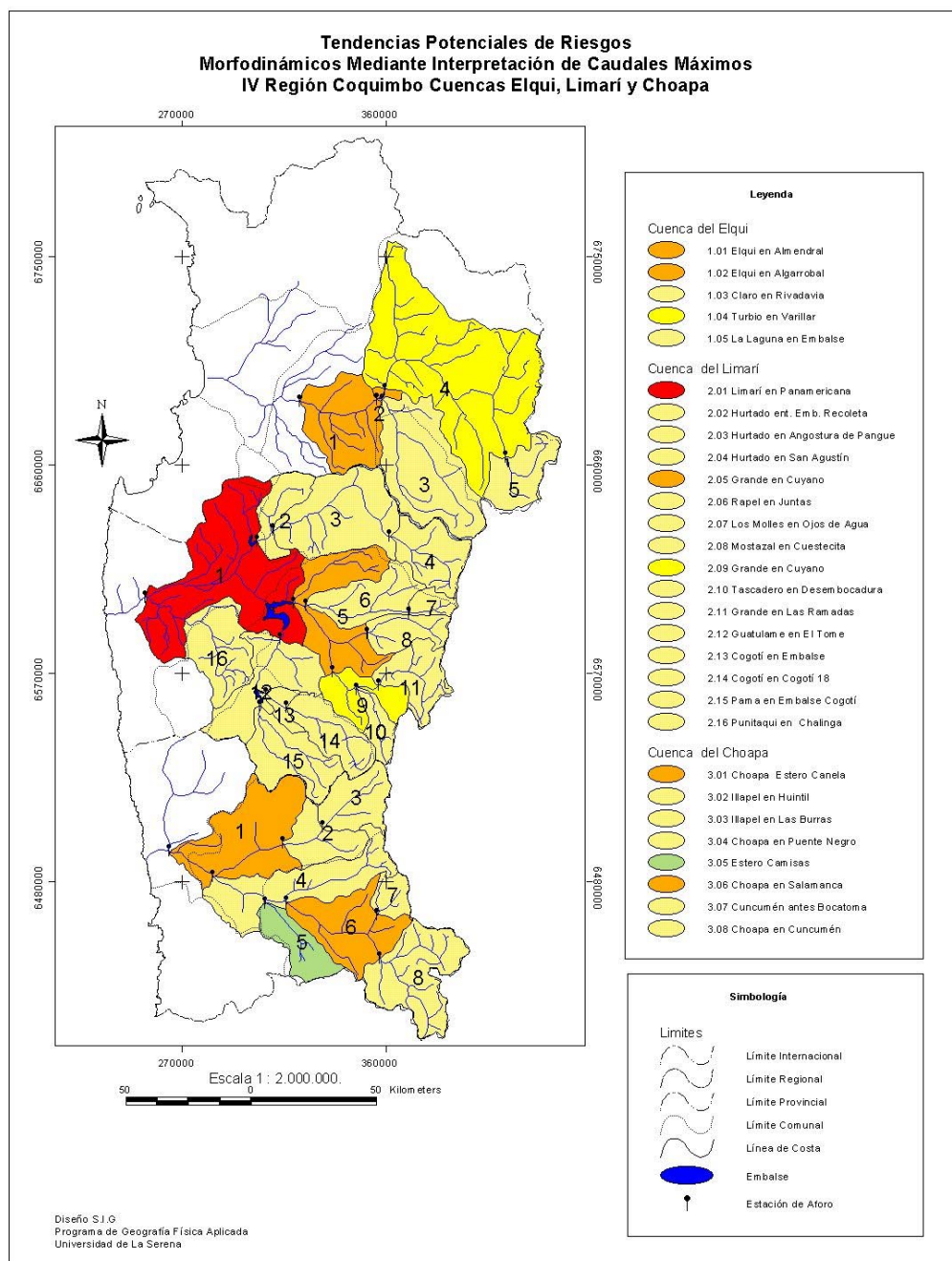
**Gráfico 2. Curvas de Regresión Cuenca del río Limarí**

Cuenca del río Choapa: de las 8 estaciones de aforo, sólo una de ellas muestra una tendencia a la disminución de los caudales de crecida (estero Camisas en Desembocadura) en la sección media meridional y, por ende, una disminución potencial de los riesgos morfodinámicos en esta área de la cuenca del Choapa. El resto de las estaciones muestra una tendencia al incremento de los caudales de crecida, diferenciándose por su elevada intensidad las subcuencas inferior del río Choapa (río Choapa aguas arriba del estero La Canela) y media del mismo afluente (río Choapa en

Salamanca), mientras el resto de la cuenca presenta una tendencia homogénea de incremento (Gráfico 3).



**Gráfico 3. Curvas de Regresión Cuenca del río Choapa**



**Figura 2. Distribución Regional de Riesgo Morfodinámico en función del Cambio Climático Potencial a Escala Local**

#### **4. CONCLUSIONES**

De los resultados alcanzados se puede concluir que el ecosistema semiárido transicional de Chile muestra una tendencia general al incremento de los riesgos morfodinámicos, derivados del mecanismo de interpretación propuesto con carácter climático en el contexto del cambio climático global a escala local.

Tal característica permite discriminar algunas singularidades que reflejan una tendencia de elevada intensidad sólo para la sección inferior de la cuenca del río Limarí. En contrapartida, sólo una subcuenca presenta una tendencia inversa que reflejaría una disminución potencial de los riesgos morfodinámicos para la superficie del estero Camisas, en el extremo meridional del ecosistema.

El resto del ecosistema permite discriminar una predominancia de incremento de riesgos morfodinámicos potenciales de baja intensidad, característica a la que escapa la sección inferior de las cuencas de los ríos Elqui y Choapa y la sección media del río Grande (en la cuenca del río Limarí).

Sobre la base de estos criterios, se desprende que las acciones de investigación orientadas a la prevención y mitigación de riesgos naturales de carácter morfodinámico, permiten priorizar la siguiente secuencia lógica para

las subcuencas regionales, en orden de importancia para su análisis (Cuadro

3):

Primera Prioridad:	río Limarí en Panamericana	(Limarí)
Segunda Prioridad:	río Elqui en Almendral	(Elqui)
	río Elqui en Algarrobal	(Elqui)
	río Grande en Puntilla San Juan	(Limarí)
	río Choapa agua arriba Estero La Canela	(Choapa)
	río Choapa en Salamanca	(Choapa)
Tercera Prioridad:	río Turbio en Varillar	(Elqui)
	río Grande en Cuyano	(Limarí)
Cuarta Prioridad:	río Claro en Rivadavia	(Elqui)
	río La Laguna en salida Embalse La Laguna	(Elqui)
	río Hurtado en entrada Embalse Recoleta	(Limarí)
	río Hurtado en Angostura de Pangué	(Limarí)
	río Hurtado en San Agustín	(Limarí)
	río Rapel en Junta	(Limarí)
	río Los Molles en Ojos de Agua	(Limarí)
	río Mostazal en Cuestecita	(Limarí)
	río Tascadero en Desembocadura	(Limarí)
	río Grande en Las Ramadas	(Limarí)
	río Guatulame en El Tome	(Limarí)
	río Cogotí en entrada Embalse Cogotí	(Limarí)
	río Cogotí en Cogotí 18	(Limarí)
	río Pama en entrada Embalse Cogotí	(Limarí)
	río Punitaqui en Chalinga	(Limarí)
	río Illapel en Huintil	(Choapa)
	río Illapel en Las Burras	(Choapa)
	río Choapa en Puente Negro	(Choapa)
	río Cuncumén antes de Bocatoma	(Choapa)
	río Choapa en Cuncumén	(Choapa)
Quinta Prioridad:	estero Camisas en Desembocadura	(Choapa)

**Cuadro 3. Prioridades de Investigación y Manejo de Riesgos Morfodinámicos Potenciales del Ecosistema Semiárido Transicional de Chile**

Finalmente, cabe señalar que esta priorización tentativa de acciones de investigación conducentes a la prevención y/o mitigación de riesgos

morfodinámicos, debería correlacionarse con las áreas de interés socioeconómico de este ecosistema semiárido, a objeto de definir prioridades específicas que contemple resultados de inversión con alta rentabilidad social y económica.

## **BIBLIOGRAFIA**

Dirección General de Aguas. "Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile". Volumen II, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, 1991.

Novoa, J.; Castillo, R. y J. Debonis. "Tendencia de Cambio Climático mediante Análisis de Caudales Naturales: cuenca del río La Laguna (Chile Semiárido)". Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 1995:279-288.

Novoa, J.; Castillo, R. y J. Viada. "Tendencia de Cambio Climático mediante Análisis de Caudales Naturales: cuenca del río Claro (Chile Semiárido)". Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 1996:47-56.

Novoa, J.; Castillo, R.; Díaz, R.; Carvajal, L. y S. Guevara. "Riesgo Potencial de Avalanchas de Nieve del Río Elqui - IV Región de Coquimbo, Chile Semiárido". Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 1998:67-74.

Novoa, J.; Castillo, R. y J. Viada. "Morfogénesis Aluvional en Ambientes Semiáridos". Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 1999 (en prensa).

## Curriculum Vitae Resumido Autor Principal

José Enrique **Novoa** Jerez

Profesor de Estado en Historia y Geografía

Diplomado en Geomorfología Aplicada (CEPEIGE)

Magister en Ciencias Geográficas (USACH)

Candidato a Doctor en Geografía (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)

20 publicaciones en la especialidad en revistas con referato

2 libros en la especialidad

Director Programa de Geografía Física Aplicada

Universidad de La Serena, Chile