

1 **ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA DE SEQUIAS EN LA REGION SEMIARIDA DE**
2 **CHILE**
3

4 Jorge Nuñez Cobo¹, Koen Verbist², Guido Soto Alvarez¹, Raúl Naranjo³, Luis Morales S.³

5 ¹CAZALAC, Benavente 980, La Serena, Chile. Email jnunez@cazalac.org, gsoto@cazalac.org

6 ²Universidad de Ghent, Bélgica. Email Koen.Verbist@UGent.be.

7 ³Universidad de Chile, Email: raul.naranjo.t@gmail.com, lmorales@uchile.cl
8

9 **RESUMEN**

10 Dentro de los desastres naturales de origen hidrometeorológico que presentan mayor impacto en la
11 actividad agrícola se encuentran las sequías. Muy especialmente, la actividad silvoagropecuaria de secano
12 puede sufrir pérdidas significativas producto de estos eventos. Ante la preocupación mundial por el
13 cambio y variabilidad climática, las sequías cobran mayor importancia debido a la constatación de que en
14 muchas regiones puedan verse incrementadas tanto en intensidad, como en duración y frecuencia. Es así
15 que numerosos países han iniciado la implementación de programas destinados a la gestión nacional de
16 riesgos de origen climático, dando énfasis especialmente a los de tipo hidrometeorológico, como las
17 sequías e inundaciones. El riesgo de verse enfrentado a una sequía, así como la vulnerabilidad del sector
18 silvoagropecuario de secano frente a su impacto (muy especialmente en regiones áridas y semiáridas,
19 consideradas por sí mismas como las más vulnerables) constituyen las base para la toma de decisiones en
20 los sistemas de gestión. Tanto las aproximaciones tradicionales de análisis de riesgos, como las más
21 actuales, incorporan como aspecto fundamental la cuantificación de la probabilidad de ocurrencia del
22 fenómeno. Sin embargo, pese a la importancia del análisis probabilístico en la evaluación de riesgo, los
23 métodos convencionales de ajuste de una serie de datos a un modelo estocástico (comúnmente basados en
24 el método de los momentos o máxima verosimilitud), presentan serias limitantes, en especial en zonas
25 semiáridas, con series de datos de precipitación de corta longitud y donde los eventos extremos son
26 difíciles de modelar, justamente por ser poco frecuentes. En estas condiciones los métodos de ajuste
27 convencionales son altamente sesgados, haciendo las estimaciones muy poco confiables.

28
29 En este contexto, en el presente estudio se aplicó la metodología denominada Análisis Regional de
30 Frecuencias, basadas en la estadística de L-momentos, para analizar y mapear el periodo de retorno
31 asociado a una sequía anual severa en la región semiárida de Chile, comprendida entre las regiones de
32 Coquimbo y del Libertador Bernardo O'Higgins.

33
34 **Palabras clave:** Análisis regional de frecuencias, L-momentos, semiárido, Chile, secano, sequía
35
36

INTRODUCCIÓN

37
38
39 Existe una preocupación internacional debido a un aumento alarmante en la frecuencia y severidad de los
40 desastres. De acuerdo con Bass *et al* (2008), 240 millones de personas, en promedio, se han visto
41 afectadas por desastres naturales en todo el mundo cada año entre el 2000 y el 2005.
42
43 Un desastre puede ser definido como la acumulación de pérdidas generalizadas sobre múltiples sectores
44 económicos, asociado a un evento de amenaza natural, que supera la capacidad de la población afectada
45 para sobreponerse. Este desastre, además, es el resultado de la combinación de condiciones de riesgo,
46 vulnerabilidad social y las limitadas capacidades de los hogares o comunidades para reducir los
47 potenciales impactos negativos de aquella amenaza (Below *et al*, 2007; Bass *et al*, 2008).
48
49 Entre las múltiples amenazas naturales que puede llegar a convertirse en desastres, una de las más
50 importantes son las sequías, resultado de una deficiencia en la precipitación, respecto a lo considerado
51 “normal”, de modo que, cuando se extiende a través de una estación o más tiempo, es insuficiente para
52 satisfacer las demandas humanas y del ambiente (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005; Seth, 2003). Las
53 sequías, han sido catalogadas como el peligro individual y natural más grande en el planeta (Patrick, 2003;
54 Askew y Rodda, 1996). De hecho, según Below *et al* (2007), las sequías causaron más del 50% del total
55 de muertes debidas a desastres naturales entre el 1900 y el 2004, representaron el 35% de la población
56 afectada por desastres y el 7% de las pérdidas económicas, después de las inundaciones y los terremotos.
57
58 Por otro lado, a diferencia de otros eventos climáticos, como inundaciones, heladas, huracanes o tornados,
59 que poseen distribuciones más bien restringidas en las escalas espacial y temporal, las sequías presentan
60 mayores dificultades para determinar tanto su duración como su área de influencia, las que pueden ser
61 bastante mayores que los eventos antes mencionados (Wilhite y Svoboda, 2000; Lehner y Döll, 2001;
62 Seth, 2003).
63
64 Uno de los aspectos que cita consenso entre los autores, es que, en general, las regiones áridas y
65 semiáridas del mundo presentan un mayor grado de vulnerabilidad a la sequía que las regiones húmedas
66 del planeta, en particular debido a que estas regiones presentan niveles de precipitación muy limitantes y
67 con una variabilidad temporal y espacial extremas (Kalma y Franks, 2003, Askew y Rodda, 1996). De
68 hecho, los mayores desastres naturales asociados a eventos de sequía se han registrado en regiones áridas
69 y semiáridas, tales como el oeste de África (Askew y Rodda, 1996) y noreste de Brasil (Brant, 2007;
70 Marcos Valiente, 2000),

71 En el contexto de América Latina, Chile, en particular su zona centro norte, donde gran parte del territorio
72 presenta una condición árida a semiárida, las sequías son eventos recurrentes de gran impacto
73 socioeconómico (Fernández, 1997; Fernández *et al*, 1997, Fernández y Vergara, 1998). FAO (2008), por
74 ejemplo, presenta datos que indican la ocurrencia de 8 eventos de sequía en 30 años en Chile. Más aún,
75 Espinoza (1985) ejemplifica el impacto histórico de las sequías en el sector agrícola chileno, señalando
76 cómo, desde la fundación de Santiago en 1541, se han registrado 50 años secos y 52 muy secos, donde la
77 sequía de 1770-1782 le dio un significado económico al déficit hídrico al afectar la ganadería orientada a
78 la exportación de cebo para el alumbrado público en Lima. Más recientemente, Espinoza y Hajek (1988),
79 señalan que la sequía de 1968, que afectó toda la zona semiárida y mediterránea de Chile, tuvo un costo
80 aproximado para el país de 1.000 millones de dólares. En dicho año, la masa ganadera del país disminuyó
81 en un 45%, la superficie de riego decreció en un 40% y el desempleo afectó a cerca de 225.000 personas.
82 En tanto, la sequía de 1994-1997, tuvo un costo en pérdidas y asistencia para el país cercano a 286
83 millones de dólares (IICA, 1998).

84
85 Pese a la importancia que este fenómeno reviste al país, persiste aun un factor que agudiza el problema de
86 la vulnerabilidad de la sociedad y los ambientes áridos y semiáridos frente a su ocurrencia, cual es, la
87 incertidumbre a la hora de caracterizar su intensidad, duración, severidad y frecuencia, asociado a la gran
88 gama de definiciones conceptuales como operacionales. Esta dificultad en su definición, derivada de la
89 complejidad para determinar el inicio o término de un evento de sequía, del mismo modo que otros
90 desastres naturales, ha ido generando un cambio de enfoque en la comunidad internacional, desde la
91 atención por la amenaza misma, a la atención por el impacto que ésta puede provocar en la sociedad, en
92 términos de adaptar medidas adecuadas para mitigar los efectos de los desastres naturales y para integrar
93 las estrategias de Gestión y Reducción de Riesgo de Desastres en la planificación del desarrollo (Bass *et*
94 *al*, 2008).

95
96 En este contexto, el riesgo de un desastre por sequía, ha sido definido como el producto de la exposición
97 de la región afectada y el grado de vulnerabilidad de ésta frente al evento (Wilhite y Buchanan-Smith,
98 2005). Por otro lado, otros autores ponen mayor énfasis en el término vulnerabilidad, definido como el
99 grado en el cual los sistemas humanos y ambientales son susceptibles de experimentar daño debido a una
100 perturbación o estrés (Luers *et al*, 2003; Adger, 2006; Smith and Wandel, 2006; Downing and
101 Patwardhan, 2004, Scheneider *et al*, 2007).

102
103 Independiente del enfoque utilizado para determinar el riesgo o vulnerabilidad de los sistemas sociales y
104 ambientales a los eventos de sequía, el común denominador en todas las metodologías lo constituye la

105 necesidad de estimar la exposición o probabilidad de ocurrencia de un evento de sequía de determinada
106 magnitud. Una posibilidad como esta, sin embargo, está sujeta a una de las restricciones más comunes en
107 el ámbito del análisis hidrológico, cual es, la ausencia de una fuente de registros suficientes para
108 estimación de eventos extremos, muy especialmente en zonas áridas y semiáridas (Kalma y Franks, 2003).
109 Existen trabajos que abordan el estudio de frecuencias de sequías en Chile, como los de Fernández y
110 Vergara (1998) y Fernández (1997). Sin embargo, estos estudios analizan las sequías hidrológicas y no
111 contemplan el análisis de las de tipo meteorológico, que son la base para el conocimiento de este
112 fenómeno y permite la estimación de los riesgos de sequía.

113
114 La determinación de la probabilidad de ocurrencia de una sequía meteorológica, o déficit en las
115 precipitaciones, así como de cualquier otro tipo de variable ambiental registrada a través del tiempo, es
116 abordada mediante la hidrología probabilística. Sin embargo, las características propias de regiones áridas
117 y semiáridas, con gran variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones, influencia de factores
118 externos de variabilidad decadal, como los efectos ENSO, y la reducida disponibilidad de registros de
119 adecuada extensión, imponen ciertas restricciones a la elección del método más adecuado de ajuste
120 probabilístico (Kalma y Franks, 2003). Es en este contexto, que el presente estudio enfrenta estas
121 restricciones mediante la utilización del Análisis Regional de Frecuencias basado en L-momentos, que ha
122 sido considerado como una de las mejores alternativas para abordar las restricciones mencionadas, para la
123 evaluación y mapeo de la probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía en la región semiárida de Chile.

124

125 **MATERIALES Y MÉTODOS**

126

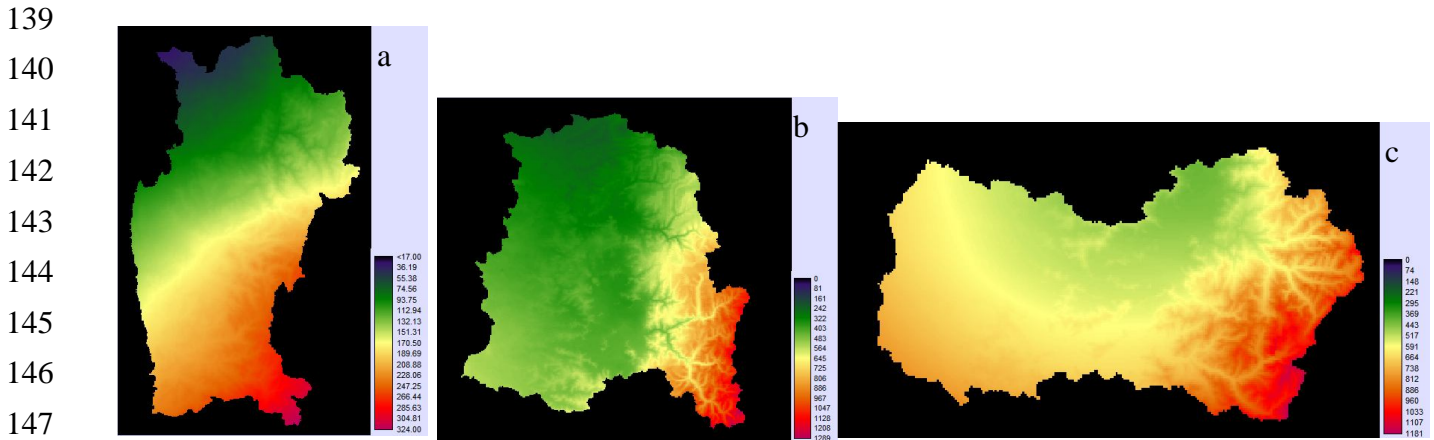
127 **a. Características geográficas y administrativas del área de estudio:**

128 El área de estudio, ubicada en la zona centro norte de Chile, corresponde, administrativamente, en
129 dirección norte-sur, a las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana de Santiago y la del
130 Libertador Bernardo O'Higgins. Geográficamente se ubica entre las latitudes 29°01' y 34°54' Lat Sur y
131 entre las longitudes 69°50' y 72°04' Long. Oeste.

132

133 **b. Características de la precipitación media anual en el área de estudio:**

134 La Figura 1 presenta la variación espacial de la precipitación media anual en el área de estudio. Esta
135 presenta un gradiente norte sur y este oeste, con un mínimo de 50 mm en el extremo noroeste, y un
136 máximo de 1180 mm en el límite sureste. El origen extra-tropical de las perturbaciones frontales asociadas
137 con las lluvias de invierno y su refuerzo orográfico a barlovento del cordón andino explican la
138 disminución de la precipitación anual media de sur a norte y de cordillera a mar (Rutlant, 2004).



148 Figura 1. Precipitación media anual de las regiones de a) Coquimbo, b) Valparaíso y Metropolitana de
149 Santiago y c) Libertador Bernardo O'Higgins.
150

151 **c. Definición del evento de sequía**

152 Frente a la dificultad asociada a la gran variedad de definiciones conceptuales, operacionales y de
153 indicadores disponibles para la sequía, se definió sequía, en este estudio, como un porcentaje respecto a la
154 precipitación normal, medida muy utilizada en Chile para expresar el grado de superhabito o déficit de la
155 precipitación, aun sabiendo que este indicador no considera el impacto diferencial que tiene en distintas
156 regiones un mismo nivel de déficit respecto a la norma (Steinman *et al*, 2005). Para ello, se definió como
157 sequía, aquella en que la precipitación anual es de un 40% o menos de la precipitación media, es decir, se
158 presenta un 60% de déficit, lo que corresponde a una sequía intensa.
159

160 **d. Fuente de datos**

161 Se dispuso de registros de precipitación mensual, de un total de 180 estaciones pluviométricas distribuidas
162 en el área de estudio, los que fueron obtenidos de la Dirección General de Aguas y la Dirección
163 Meteorológica de Chile. Para el caso de la región de Coquimbo, se dispuso de valores de precipitación
164 diario, los cuales fueron agregados en precipitación mensual sólo para aquellos meses con registros diarios
165 completos. Para el resto de las regiones, se dispuso únicamente de registros de precipitación mensual. En
166 todo momento se trabajó únicamente con datos completos, no realizando ningún procedimiento para el
167 relleno de datos faltantes. Por otro lado, se restringió el registro a aquellas estaciones con al menos 15
168 años de datos completos de precipitación anual, quedando 172 estaciones disponibles para el análisis.
169

170 En el Cuadro 1 se presentan algunas estadísticas descriptivas de la base de datos utilizada en el presente
171 estudio. De acuerdo con el Cuadro, la longitud del periodo de registro medio fue de 29,2 años, con un
172 mínimo de 15 y un máximo de 75 años. Respecto al método de recolección de los datos, la totalidad de las

173 180 estaciones utilizadas en este estudio registran la precipitación se con frecuencia diaria y de forma
174 manual.

175 Cuadro 1. Estadísticas descriptivas registro estaciones pluviométricas.

Variable	<i>Precipitación Media Anual</i>	<i>Longitud de Registro</i>
N	172	172
Media	364.5	29.2
Desviación Estándar	194.8	11.9
Coef. de Variación [%]	53.4	41.1
Mínimo	52.7	15.0
Maximo	1055.6	75.0
Rango	1002.9	60.0

176

177 e. Metodología del análisis regional de frecuencias basado en L-momentos

178 El Análisis Regional de Frecuencias (ARF), basado en la aplicación de los L-momentos, tiene su origen en
179 el estudio de crecidas, siendo utilizado en mayor medida en el análisis de éstos eventos y el de
180 precipitaciones máximas (Loucks y Van Beek, 2005; Schaefer *et al*, 2007; Schaefer *et al*, 2006; Norbiato
181 *et al*, 2007).

182

183 Los L-momentos son un sistema alternativo para describir la forma de una distribución de probabilidad.
184 Estadísticamente, los L-momentos son combinaciones lineales de las observaciones ordenadas obtenidas
185 mediante los momentos ponderados por probabilidad, y por lo tanto, no implican elevaciones al
186 cuadráticas o cúbicas como en el caso del método producto-momento, haciéndolos mucho menos
187 sensibles a la presencia de outliers. Debido a esto, los estimadores L-momentos de los coeficientes de
188 variación y de sesgo adimensionales son casi insesgados, y tienen una distribución casi normal. En
189 cambio, los coeficientes de variación y sesgo estimados por los momentos convencionales son altamente
190 sesgados y variables en muestras pequeñas. Además, los estimadores obtenidos mediante producto-
191 momento presentan límites algebraicos dependientes del tamaño de la muestra, y en muchas muestras
192 pequeñas o moderadas, es inusual para las estimaciones de sesgo y curtosis presentar valores siquiera
193 cercanos al verdadero valor poblacional. De este modo, para un amplio rango de aplicaciones
194 hidrológicas, especialmente aquellas relacionadas con tamaños de muestras pequeñas, los L-momentos
195 proveen de manera simple y razonable, estimadores eficientes de las características hidrológicas de los
196 datos y de los parámetros de una gran variedad de distribuciones (Hosking y Wallis, 1996; Stedinger,
197 1993; Varas y Bois, 1998; Kjeldsen y Jones, 2004; Kottegoda y Rosso, 2008; Hosking, 1996; Reiss et al,
198 2007; Norbiato et al, 2007; Delicado y Gorla, 2007; Vogel y Fennessey, 1993; Mishra et al, 2007;
199 Ciunara, 2007).

200 En el caso específico de análisis de sequías, el ARF basado en L-momentos, se ha aplicado al estudio de
201 la sequía meteorológica e hidrológica, tal como en la elaboración del Atlas de Sequía de EEUU (IWR,
202 2008), análisis de sequías en el noroeste de México (Hallack-Alegria y Watkins, 2007), análisis de sequías
203 en Turquía (Yurekli y Anli, 2008) y en comparación con otras alternativas de regionalización en el estudio
204 de sequías en Europa (Tallaksen y Hisdal, 1999).

205
206 La esencia del ARF es que los datos provenientes de sitios dentro de una región homogénea, pueden ser
207 agregados para mejorar la precisión en las estimaciones de la relación probabilidad-cuantil en todos los
208 sitios (Wallis *et al*, 2007). De esta manera se compensa la falta de información en registros cortos en cada
209 sitio por la abundancia de información en el espacio (Loucks y Van Beek, 2005). Cunane (1988), citado
210 por Norbiato *et al* (2007) comparó 20 métodos diferentes de análisis regional de frecuencias, y determinó
211 como el mejor aquel basado en los momentos de probabilidad ponderada, precursores de los L-momentos.
212 El procedimiento asume que los sitios dentro de una región homogénea presentan una distribución de
213 frecuencias idéntica, excepto por un factor de escala específico para el sitio, representado por la media
214 del sitio (Norbiato *et al*, 2007; Hosking y Wallis, 1996).

215
216 En el presente estudio, el procedimiento de ARF se basó en las recomendaciones de Hosking y Wallis
217 (1997) y consideró 5 etapas, aplicadas de manera sucesiva y consistente en:

218
219 ***Etapa 1: Preparación de datos:*** Se realizó un esfuerzo considerable en la revisión y control de calidad de
220 los datos de precipitación, el que tiene como finalidad eliminar falsos valores, asociados a una amplia
221 variedad de mediciones de datos, su registro, presencia de errores de transcripción y registros incompletos
222 durante algunos años. Se le dio un especial énfasis a la confirmación de los supuestos básicos en todo
223 análisis probabilístico. Esta fase de revisión y preparación de datos consideró las recomendaciones de
224 Helsel y Hirsch (2002), y permitió chequear los supuestos de estacionariedad, mediante el test de regresión
225 lineal, consistencia, mediante el análisis de curvas doble masa y autocorrelación, mediante el test de
226 Durbin-Watson (Dahmen y Hall, 1990; Wallis *et al*, 2007).

227
228 ***Etapa 2: Formación y aceptación de sub-regiones homogéneas:*** El supuesto básico del ARF es que la
229 distribución subyacente para un conjunto de sitios es la misma, dentro de una región homogénea (Hosking
230 y Wallis, 1997). La identificación y formación de regiones homogéneas es un proceso iterativo (Schaefer
231 *et al*, 2007). En este trabajo, considerando la alta estacionalidad de las precipitaciones en el área de
232 estudio y la necesidad, posterior a este estudio, de describir la frecuencia de eventos de sequía mensual o
233 multimensual, se optó por delimitar regiones homogéneas *a priori* basado en tres criterios:

234 1) Realizar un primer agrupamiento de estaciones en función de un Índice de
235 Estacionalidad (IE), con grupos definidos por los siguientes rangos: grupo 1, estaciones
236 con IE entre 0 y 0,2; grupo 2, con IE entre 0,2 y 0,6 y grupo 3, con IE mayor a 0,6. El IE
237 utilizado es el descrito por Schaefer *et al* (2007) cuya base es la estadística circular, que
238 considera el día medio de ocurrencia, análogo a la media aritmética, y el índice de
239 estacionalidad, análogo a una medida estandarizada de variación. El IE toma valores entre
240 0 y 1. Valores cercanos a 0 indican una gran variación en los días de ocurrencia, mientras
241 que valores cercanos a 1 indican una baja variación en los días de ocurrencia y por tanto
242 alta concentración de los datos.

243 2) En el caso de que las estaciones analizadas se encuentren todas dentro de un mismo
244 rango de IE, éstas pueden ser agrupadas en sub-regiones homogéneas basado únicamente
245 en la magnitud de su precipitación media anual (PMA). De esta manera, las estaciones son
246 ordenadas de menor a mayor magnitud de la PMA y agregadas en una cantidad
247 conveniente de sub-regiones. Esta cantidad debe considerar, por un lado, un número
248 mínimo de 7 estaciones por sub-región (define el límite máximo de sub-regiones),
249 recomendado para el cálculo de la medida de discordancia, y por otro lado, un cantidad de
250 sub-regiones que permita un ajuste adecuado de la función que relaciona los L-momentos
251 regionales con la PMA regional, necesaria con fines de mapeo (define el límite mínimo de
252 sub-regiones. Con este criterio se delimitaron 8 sub-regiones homogéneas.

253 3) De acuerdo con Hosking y Wallis (1997), las regiones homogéneas no requieren ser
254 geográficamente continuas, de modo que no se forzó a las estaciones a pertenecer a una
255 determinada región en función de su ubicación geográfica.

256

257 El grado de homogeneidad de las sub-regiones propuestas se basó en la medida estadística H1 definida
258 por Hosking y Wallis (1997). La estadística H1 mide la variabilidad relativa de L-Cv observado a partir
259 de la muestra, y es utilizada para analizar la heterogeneidad en cada una de las 8 sub-regiones homogéneas
260 propuestas (Wallis *et al*, 2007). A diferencia de los valores críticos definidos por Hosking y Wallis (1997),
261 en este estudio se determinó como aceptablemente homogénea toda aquella región cuyo H1 fuese menor a
262 2 y como heterogénea, si H1 es mayor a 3. Esta determinación se basó en Wallis (2008) y se fundamenta
263 en que los límites propuestos originalmente, sólo tenían en cuenta la variabilidad estadística y no
264 contemplaban la variación asociada a la operación y mantenimiento de los sistemas de medición.

265

266 **Etapa 3: Determinación de la distribución de probabilidad de mejor ajuste:** Una vez que las sub-
267 regiones homogéneas han satisfecho la condición de homogeneidad, se determinó, basados en los ratios de

268 los L-momentos regionales, la distribución de probabilidad regional, de acuerdo con la medida de
269 bondad de ajuste descrita por Hosking y Wallis (1997), la cual fue aplicada a cada una de las sub-regiones
270 homogéneas para la selección de la distribución de frecuencia de mejor ajuste. Las distribuciones
271 seleccionadas para evaluar la medida de mejor ajuste fueron la Pareto Generalizada, la Generalizada de
272 Valor Extremo, la Generalizada Normal, Pearson Tipo III, Generalizada Logística, Kappa y Gaucho. Las
273 primeras 6 de estas distribuciones y su estimación a partir de los ratios L-momentos está bien
274 documentada (Hosking y Wallis, 1996; Abdul-Moniem y Selim, 2009; Shawky y Abu-Zinadah, 2007;
275 Karvanen, 2006; Delicado y Gorla, 2007; Gupta y Kundu, 2000). La distribución Gaucho, acá señalada,
276 corresponde específicamente a una distribución Kappa, de 4 parámetros, en la que el segundo parámetro
277 de forma, h , es fijado a un valor de 0.5000. De este modo, se constituye en una distribución de 3
278 parámetros, la cual es posible representar en un diagrama de L-momentos ratios entre las distribuciones
279 Pareto Generalizada y Generalizada de Valor Extremo (Schaefer y Wallis, 2008; Peel *et al*, 2001).

280
281 **Etapas 4: Determinación de cuantiles:** Los cuantiles de la distribución regional o curva de crecimiento, se
282 determinaron a partir de los L-momentos y la distribución de mejor ajuste, recordando que la distribución
283 regional presenta una media igual a 1, mientras que la distribución de cuantiles en cada sitio puede ser
284 estimada mediante la multiplicación de la curva regional por la PMA del sitio.

285
286 **Etapas 5: Mapeo del periodo de retorno de la sequía:** Una de las especiales ventajas que presenta el
287 método de ARF basado en L-momentos es la facilidad de implementar el mapeo espacial de los cuantiles,
288 considerando aquellos sitios medidos y no medidos. Esto ha sido demostrado ya en varios ejemplos de
289 aplicación (Wallis *et al*, 2007; Schefer *et al*, 2007, Schaefer *et al*, 2006; Baldassare *et al*, 2006; Baldassare
290 *et al*, 2005; Raiford *et al*, 2007). El procedimiento de mapeo del periodo de retorno del evento de la sequía
291 analizada consideró las siguientes dos etapas:

292 1) Determinación de la función predictora: Se determinó la relación entre los L-momentos y la
293 Precipitación Media Anual como variable predictora. Si bien existen diversas alternativas para
294 establecer una relación funcional entre los L-momentos y variables auxiliares, una de las más
295 utilizadas han sido aquellas basadas en la Precipitación Media Anual como variable predictora. En
296 este estudio, la función utilizada fue la siguiente:

$$L - momento = \alpha e^{-\beta(PMA)} + \delta$$

297
298
299 Donde, PMA es la precipitación media anual, L-momento corresponde a los momentos lineales L-
300 Cv, L-Skewness y L-Kutosis; alfa, beta y delta son constantes a ser determinar mediante

301 optimización. La bondad de ajuste se determinó mediante la raíz estandarizada del error
302 cuadrático medio (RMSE) y su valor relativo a la media de los valores observados, en porcentaje
303
304 2) Mapeo del periodo de retorno de sequía anual severa: El procedimiento de mapeo consistió en:
305 generar los mapas de periodo de retorno de la sequía analizada, mediante las relaciones L-
306 momento vs PMA y los mapas de PMA presentados en la Figura 1, proporcionados por Morales
307 (2009). Los mapas fueron obtenidos mediante la herramienta de cómputo L-MAP, aunque
308 también es posible realizar este procedimiento en las distribuciones invertibles, mediante álgebra
309 de mapas.

311 **f. De la herramienta de análisis**

312 En este estudio, se aplicaron dos herramientas de análisis principales:

313 a) La herramienta de cómputo L-RAP, abreviatura de *Linear Regional Analysis of Precipitation* (MGS,
314 2008) es un software codificado en Visual Basic que se basa en las rutinas desarrolladas por Hosking
315 (2005) pero que, a diferencia de las versiones en Fortran y R presenta una serie de características:

- 316 i. Posee una interfase de usuario amigable, sin necesidad de las complejas programaciones basadas
317 en R ni la generación de complejos archivos de ingreso basados en Fortran
- 318 ii. Realiza paso a paso cada una de las etapas asociadas al análisis regional de frecuencias como
319 importación de datos en formato Excel®, control de calidad, chequeo de supuestos de
320 estacionariedad mediante regresión lineal, determinación de Índice de Estacionalidad, L-
321 momentos; determinación de Índices de Discordancia y Heterogeneidad, determinación de
322 parámetros y cuantiles
- 323 iii. Genera de gráficos de diagrama L-Ratios y cuantiles y gráficos de resumen de cada estación
- 324 iv. Edita la base de datos almacenada en un formato binario interno de L-RAP

325 b) La herramienta L-MAP, programada en Visual Basic, cuya función es relacionar las funciones de ajuste
326 entre los L-momentos vs. PMA, con imágenes raster de la PMA y posteriormente, utilizar estas relaciones
327 con los mismos algoritmos de L-RAP para la elaboración de mapas de probabilidad o periodo de retorno.

328

329 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

330
331 ***Preparación de datos:*** Las 172 estaciones que cumplieron el criterio de tener 15 o más años de registro,
332 tuvieron en promedio 29,2 años de registro, con un total de 5015 años-registro. Presentaron una
333 precipitación media de 364,5 mm y un IE promedio de 0,87, con un mínimo de 0,72 y un máximo de 0,94.
334 Esto implica una alta concentración de la precipitación en una sola época de lluvias. De acuerdo con el

335 criterio definido en *Etapa 2 (a)*, no fue necesario utilizar el criterio de estacionalidad para separar
 336 estaciones en regiones homogéneas y sólo se formaron sub-regiones homogéneas basadas en la magnitud
 337 de la PMA.

338
 339 **Formación y aceptación de sub-regiones homogéneas:** Tal como lo indican Wallis *et al* (2007),
 340 Schaefer *et al*, (2007) y Schaefer *et al* (2006), la formación de regiones homogéneas es un proceso
 341 iterativo. El Cuadro 2 presenta las regiones homogéneas propuestas, así como algunos de sus estadísticas
 342 descriptivas y l-momentos, luego de un proceso de 3 iteraciones. Estas iteraciones consistieron en eliminar
 343 del análisis algunas estaciones que fueron permanentemente discordantes, cambiar algunas estaciones de
 344 una región homogénea a otra, en función de sus L-momentos, que afectaron en algún momentos tanto el
 345 índice de discordancia como haber provocado valores de H1 por sobre el valor crítico. De acuerdo con el
 346 cuadro, las 8 sub-regiones finalmente propuestas, fueron consideradas homogéneas en términos de H1.
 347 Las sub-regiones 4, 5 y 6 presentan valores de H1 negativos, lo cual se puede interpretar como que el nivel
 348 de homogeneidad es mayor al esperado de una región homogénea proveniente de una distribución Kappa
 349 de 4 parámetros, con los mismos l-momentos regionales de la sub-región analizada.

350

351 Cuadro 2. Estadísticas de resultado del Análisis Regional de Frecuencias de la PMA

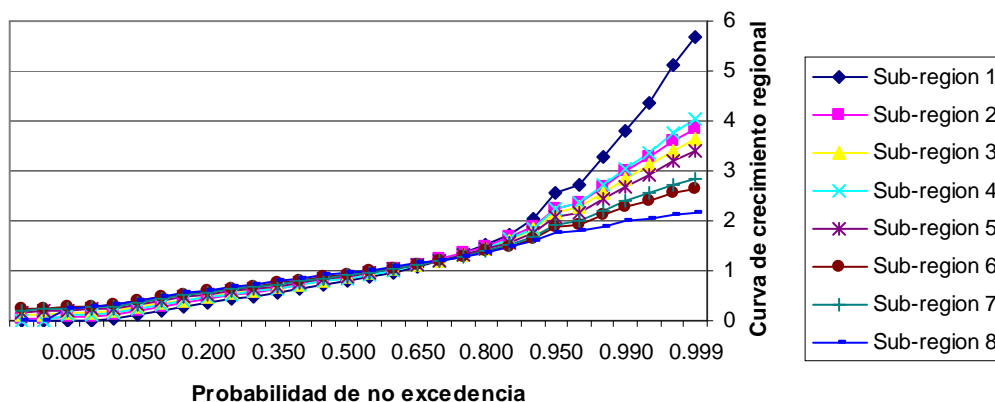
Región	PMA	# Estaciones	# Datos	L-Cv	L-Skew	L-Kurt	H1	Distribución					
								GL	GEV	P3	GN	Gaucho	GP
1	114,8	21	771	0,4146	0,2733	0,1373	0,76			X		X	X
2	191,4	21	667	0,3507	0,2028	0,1065	1,23					X	
3	242,5	21	564	0,3250	0,2028	0,1217	1,01			X		X	
4	281,4	20	583	0,3402	0,2242	0,1393	-2,16			X	X	X	
5	351,8	22	617	0,3001	0,1991	0,1475	-2,1		X	X	X	X	
6	437,7	21	552	0,2561	0,1502	0,1196	-1,62		X	X	X	X	
7	543,1	21	764	0,2715	0,1616	0,1117	1,65			X		X	
8	739,3	21	586	0,2351	0,0856	0,0967	1,05					X	

352

353 **Determinación de funciones de distribución:** El Cuadro 2 presenta las regiones homogéneas propuestas,
 354 así como las distribuciones de mejor ajuste, de acuerdo con la medida de bondad de ajuste z (Hosking y
 355 Wallis, 1997). Las distribuciones que se ajustaron, en orden de mayor a menor cantidad ajustes fueron la
 356 Gaucho, Pearson 3, Generalizada Normal, Generalizada de Valor Extremo y Generalizada de Pareto. La
 357 única distribución común a todas las sub-regiones homogéneas fue la Gaucho. Esto confirma el que la
 358 distribución Kappa presenta un alto grado de flexibilidad para adecuarse a una serie de condiciones. De
 359 hecho, una serie de otras distribuciones comúnmente utilizadas en hidrología son casos particulares de la
 360 distribución Kappa (Finney, 2004).

361

362 **Determinación de cuantiles:** En la Figura 2 se presentan los cuantiles regionales de cada una de las 8 sub-
 363 regiones homogéneas, determinados a partir de la distribución Kappa de 4 parámetros (Gaucho), la cual
 364 fue la única que se ajustó de manera común a las 8 sub-regiones homogéneas. Se aprecia que existe una
 365 tendencia a que, desde la sub-región 1 a la sub-región 8, se presente un mayor rango de variación en la
 366 curva de crecimiento. Esto implica una mayor variabilidad en los cuantiles regionales y en los de cada
 367 sitio. Esto tiene relación con los montos de precipitación media anual, que se incrementan en el mismo
 368 sentido, desde la sub-región 1 a la 8. Es decir, la variabilidad, medida en términos de L-Cv, L-skewness y
 369 L-Kurtosis, disminuye desde la zona norte más áridas a la zona sur más húmeda. Este comportamiento es
 370 similar al descrito por Wallis *et al* (2007); Schaefer *et al* (2007) y Schaefer *et al* (2006) y coincide
 371 totalmente con la idea de la alta variabilidad interanual de las precipitaciones en regiones áridas y
 372 semiáridas (Seth, 2003) y es totalmente coincidente con los análisis de variabilidad de la precipitación
 373 anual para el territorio chileno (Gastó, 1966).



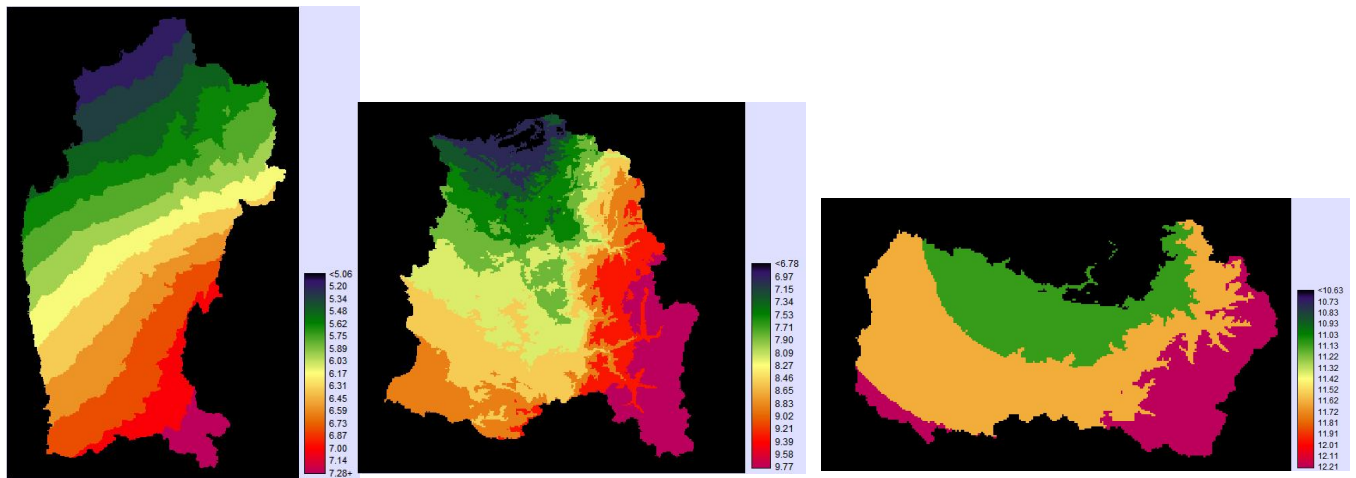
374
 375 Figura 2. Curvas de crecimiento regional de cada una de las 8 sub-regiones homogéneas.

376
 377 **Determinación de las relaciones de mejor ajuste:** El Cuadro 3 presentan los coeficientes y el RMSE de
 378 las funciones de mejor ajuste entre los L-momentos y la PMA. EL RMSE puede ser considerado como
 379 bajo y se aprecia que el ajuste es mejor para el L-Cv y menor para el L-Kurtosis. En los 3 L-momentos,
 380 los valores de SRMSE son similares a los registrados por Wallis *et al* (2007) al analizar precipitaciones
 381 máximas en 24 y 2 horas en Washington.

382
 383 Cuadro 3. Estadísticas de optimización de funciones de mejor ajuste L-momento vs. PMA.

L-momento	alfa	beta	delta	RMSE	SRMSE [%]
L-CV	0.3030	0.0040	0.2214	0.01136616	3.60
L-Skewness	0.2943	0.0018	0.0291	0.01807645	9.58
L-Kurtosis	0.7351	0.0342	0.1195	0.01422268	11.41

385 **Mapeo del periodo de retorno del evento de sequía:** En la Figura 3 se presentan los mapas de periodo de
 386 retorno asociados a la ocurrencia de un evento de severa, equivalentes a un 60% de déficit en la
 387 precipitación anual respecto a la media. De acuerdo con los mapas, este evento es más frecuente en el
 388 límite norte del área de estudio (5 años) y es mayor en el límite sur (10 años). Sin embargo, los valores al
 389 límite deben ser considerados con precaución debido a que son función de la relación L-momento vs
 390 PMA, la cual no incluye la PMA mínima de un punto específico, sino la PMA de la sub-región
 391 homogénea ubicada en el límite norte, con un mayor valor de PMA y por tanto, mayor valor de los L-
 392 momentos.



393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403 Figura 3. Mapas de periodo de retorno de una sequía severa, equivalente a un déficit del 60% respecto a la
 404 precipitación media anual.
 405

406 CONCLUSIONES

407
 408 El Análisis Regional de Frecuencias basado en los L-momentos es un procedimiento que
 409 contribuye significativamente a la hidrología probabilística, al permitir compensar la escasez de
 410 información en el tiempo, por la abundancia de ésta en el espacio. A través de una secuencia de 5
 411 etapas, es posible derivar información base para la toma de decisiones en la gestión de riesgos
 412 climáticos, como es el riesgo de sequías. Por otro lado, permite generar mapas de periodos de
 413 retorno de manera simple y con una base estadística robusta. Los mapas obtenidos pueden ser
 414 utilizados para delimitar zonas más susceptibles a las sequías y, en conjunto con cartografía de
 415 vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios a la sequía, es posible delimitar zonas de mayor
 416 riesgo, orientando de mejor forma recursos económicos y humanos para programas de
 417 mitigación, prevención y generación de capacidad adaptativa.

418

419 **AGRADECIMIENTOS**

420 Los autores desean agradecer muy especialmente a las siguientes instituciones y personas que han
421 contribuido al desarrollo de este proyecto. El Gobierno de Flandes (Bélgica); el Programa
422 Hidrológico Internacional de UNESCO, la Dirección General de Aguas de Chile y la Dirección
423 Meteorológica de Chile que facilitaron la información meteorológica y respondieron siempre
424 cordialmente nuestras solicitudes; a los doctores James Wallis y Melvin Schaefer por su
425 profesionalismo y compartir con nosotros toda una vida de experiencia en la metodología.

426

427

428 **LITERATURA CITADA**

429 ABDUL-MONIEM, I. and Y. SELIM. 2009. TL-Moments and L-Moments Estimation for the Generalized
430 Pareto Distribution. Applied Mathematical Sciences, Vol. 3, 2009, no. 1, 43 – 52

431
432 ADGER, W. 2006. Vulnerability. Global Environmental Change 16 (2006) 268–281

433
434 ASKEW, A. and J. ROODA. 1996. Addressing arid zone problems. L'hydrologie tropicale: séoscience et
435 outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995).IAHS Publ. no. 238, 1996.

436
437 BALDASSARRE, G., A. CASTELLARIN, and A. BRATH. 2006. Relationships between statistics of
438 rainfall extremes and mean annual precipitation: an application for design-storm estimation in northern
439 central Italy. Hydrol. Earth Syst. Sci., 10, 589–601, 2006

440
441 BALDASSARRE, G., A. CASTELLARIN, and A. BRATH. 2005. Evidences of relationships between
442 statistics of rainfall extremes and mean annual precipitation: an application for design-storm estimation in
443 northern central Italy. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2, 2393–2425, 2005

444
445 BASS, S., S. RAMASAMY, J. DEY DEPRICK and F. BATTISTA. 2008. Disaster Risk Management
446 Systems Analysis. Environment, Climate Change and Bioenergy Division. Food and Agriculture
447 Organisation of the United Nations. Rome, January 2008

448
449 BELOW, R., E. GROVER-KOPEC and M. DILLEY. Documenting Drought-Related Disasters A Global
450 Reassessment. The Journal of Environment & Development Volume 16 Number 3 September 2007 328-
451 344

452
453 BRANT, S. 2007. Assessing vulnerability to drought in ceará, northeast Brazil. A thesis submitted in
454 partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Natural Resources and
455 Environment) University of Michigan.

456
457 CIUMARA, R. 2007. L-moments evaluation for identically and nonidentically weibull distributed
458 random variables. Proceedings of the Romanian Academy, Series A, Volume 8, Number 3/2007, pp. 000-
459 000

460
461 DAHMEN, E., M. HALL and INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND
462 IMPROVEMENT. 1990 Screening of hydrological data : tests for stationarity and relative consistency /

463 E.R. Dahmen [and] M.J. Hall International Institute for Land Reclamation and Improvement,
464 Wageningen, Netherlands
465
466
467 DELICADO, P. Y GORIA, M. 2007. A small sample comparison of maximum likelihood, moments and
468 L-moments methods for the asymmetric exponential power Distribution. Computational Statistics & Data
469 Analysis 52 (2008) 1661 – 1673
470
471 DOWNING, T. and A. PATWARDHAN. Assessing Vulnerability for Climate Adaptation. In: Adaptation
472 Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures. **Edited by Bo**
473 **Lim, Erika Spanger-Siefried.**
474
475 ESPINOZA, G. 1985. Los desastres y su relación con el manejo de los recursos naturales en Chile. AMB.
476 y DES., VOL I, N° 3, Págs. 159-172, octubre 1985
477
478 ESPINOZA, G. y E. HAJEK. 1988. Riesgos climáticos: Evidencias en Chile central. En: FUENTES, E. Y
479 PEÑAFRENA, S. Editores. Ecología del paisaje en Chile Central: Estudios sobre sus espacios
480 montañosos. Ediciones Universidad Católica de Chile.
481
482 FERNANDEZ, B. 1997. Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile central.
483 Ingeniería del Agua Vol 4. Num. 4:37-46.
484 <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3082/1/44article4.pdf>
485
486 FERNANDEZ, B., G. DONOSO, M. LURASCHI, D. ORPHANOPOLOUS, Y C. SALAZAR. 1997.
487 Estimación del impacto económico asociado a sequías hidrológicas. VI Jornadas de CONAPHI Chile.
488
489 FERNANDEZ, B. Y A. VERGARA. 1998. Risk of scarcity of monthly precipitation and streamflows in
490 semiarid regions. Hydrological Sciences Journal. Vol 43 (5): 759-773
491
492 FINNEY, J. 2004. Optimization of a skewed logistic distribution with respect to the kolmogorov-smirnov
493 test. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural
494 and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy
495 in The Interdepartmental Program in Engineering Science
496
497 GASTO, J. 1966. "Variaciones de las precipitaciones anuales en Chile", Bol. Téc. Fac. Agron. Univ. Chile
498 24: 4-20.
499
500 GUPTA, R. Y D. KUNDU. 2000. Generalized exponential distribution: different method of estimations.
501 J. Statist. Comput. Simul., 2000, Vol. 00, pp. 1 ± 22
502
503 HALLACK-ALEGRIA, M. and D.W. WATKINS JR. 2007. "Annual and Warm Season Drought
504 Intensity-Duration-Frequency Analysis for Sonora, Mexico," Journal of Climate, 20(9): 1897-1909, 2007.
505
506 HELSEL, D. and R. HIRSH, 1992. Statistical methods in water resources. Studies in Environmental
507 Science 49. Elsevier.
508
509 HOSKING, J. 2005. Fortran routines for use with the method of L-moments Version 3.04.
510
511 HOSKING, J. and J. WALLIS. 1997. Regional frequency analysis: an approach based on Lmoments.
512 Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
513

514 IICA. 1998. Sequía 1994 - 1997 : Lecciones y experiencias. Chile. Comisión Nacional de Sequía; Instituto
515 Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Agencia de Cooperación Técnica. Santiago,
516 CL; 1998. 77 pag
517

518 KALMA, J. y S. FRANKS. 2003. Rainfall in arid and semiarid regions. Chapter 2. In: Simmers, I(Ed).
519 Understanding water in a Dry Environment. Hydrological processes in arid and semiarid zones.
520 International Association of Hydrogeologists. BALKEMA. Lissier. 15-63
521

522 KARVANEN, J. 2006. Estimation of quantile mixtures via L-moments and trimmed L-moments.
523 Computational Statistics & Data Analysis. Volume 51, Issue 2, 15 November 2006, Pages 947-959
524
525

526 KJELDEN T.R. and D. JONES. (2004) Sampling variance of flood quantiles from the generalised
527 logistic distribution estimated using the method of L-moments. Hydrology and Earth System Sciences,
528 8(2), 183-190.
529

530 KOTTEGODA, N. and R. ROSSO. 2008. Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers.
531

532 LEHNER, B. Y P. DÖLL. 2001. Europe's drought today and in the future. Lehner B, Doll P. 2001.
533 Europe's droughts today and in the future. In Eurowasser – Model-based Assessment of European Water
534 Resources and Hydrology in the Face of Global Change, Kassel World Water Series Report No 5, Lehner
535 B, Henrichs T, Doll P, Alcamo J (eds). Kassel: Germany; 7.1–7.16.
536

537 LOUCKS, D. and E. VAN BEEK. 2005. Water Resources Systems Planning and Management: An
538 Introduction to Methods, Models, and Applications. Paris, France: UNESCO Press
539

540 LUERS, A., D. LOBELL, L. SKLAR, C. ADDAMS and P. MATSON. 2003. A method for quantifying
541 vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental
542 Change 13 (2003) 255–267
543

544 MARCOS VALIENTE, Ó. 1999. Evaluación de la vulnerabilidad a la sequía en el nordeste de brasil
545 mediante indicadores socioclimáticos.
546

547 MISHRA, B. , Y. TACHIKAWA, and K. TAKARA. 2007. Suitability of simple size for identifying
548 distribution function in regional frequency analysis. Annuals of Disas. XXXX
549

550 NORBIATO, D., M. BORGA, M. SANGATI and F. ZANON. 2007. Regional frequency analysis of
551 extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. Journal of
552 Hydrology (2007) 345, 149– 166
553

554 PATRICK, E. 2003. Sequía: Vulnerabilidad y crisis en tierras áridas. Estrategia Internacional para la
555 reducción de desastres.
556 http://www.unisdr.org/eng/public_aware/world_camp/2003/spanish/19_Article_UNDP_spa.pdf
557

558 PEEL, M. C., Q. WANG, R. VOGEL, and T. MCMAHON. 2001. The utility of L-moment ratio diagrams
559 for selecting a regional probability distribution. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences
560 Hydrologiques
561

562 REISS, R., M. THOMAS, and J. HOSKING. 2007. Chapter 14. Flood frequency analysis. In: Statistical
563 Analysis of Extreme Values with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields. Third
564 Edition.

565
566 RAIFORD, J.P., N. AZIZ, A. KHAN and D. POWELL. 2007. Rainfall Depth-Duration-Frequency
567 Relationships for South Carolina, North Carolina, and Georgia. American Journal of Environmental
568 Sciences 3 (2): 78-84, 2007
569
570 RUTLANT, J. 2004. Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala asociada al ciclo ENOS 1997-
571 1999 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Chile central. En: S. AVARIA, J.
572 CARRASCO, J. RUTLLANT y E. YÁÑEZ. (eds.). 2004. El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en
573 Chile. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 61-76.
574
575 SETH, S. 2003. Human impacts and management issues in arid and semi-arid regions. Chapter 8. In:
576 Simmers, I(Ed). Understanding water in a Dry Environment. Hydrological processes in arid and semiarid
577 zones. International Association of Hydrogeologists. BALKEMA. Lissier. 289-341
578
579 SCHAEFER, M.; B. BARKER, G. TAYLOR, and J. WALLIS. 2007. Regional precipitation-frequency
580 analysis and spatial mapping for 24-hour precipitation for Oregon. MGC Engineering Consultants, Inc and
581 Oregon Climate Service.
582
583 SCHAEFER, M. Y J. WALLIS, 2008. Comunicación Personal
584
585 SCHNEIDER, S.H., S. SEMENOV, A. PATWARDHAN, I. BURTON, C.H.D. MAGADZA, M.
586 OPPENHEIMER, A.B. PITTOCK, A. RAHMAN, J.B. SMITH, A. SUAREZ AND F. YAMIN, 2007:
587 Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Climate Change 2007: Impacts,
588 Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the
589 Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der
590 Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.
591
592 SHAWKY, A. y H. ABU-ZINADAH. 2009. Exponentiated Pareto Distribution: Different Method of
593 Estimations. Int. J. Contemp. Math. Sciences, Vol. 4, 2009, no. 14, 677 - 693
594
595 SMITH, B. and J. WANDEL 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global
596 Environmental Change 16 (2006) 282–292
597
598 STEDINGER, J.R., R. VOGEL and E. FOUFOULA-GEORGIU. 1993. Frequency Analysis of Extreme
599 Events, Chapter 18, Handbook of Hydrology, McGraw-Hill Book Company, David R. Maidment, Editor-
600 in-Chief, 1993
601
602 STEINEMANN, A., M. HAYES, AND L. CAVALCANTI . 2005; Drought Indicators and Triggers. In:
603 Wilhite, D. Editor: Drought and Water Crises Science, Technology, and Management Issues.
604
605 TALLAKSEN, L. Y HISDAL, H. 1999. Methods of regional classification of streamflow drought series:
606 the EOF Method and L-moments. Technica Report N°2. [http://www.hydrology.uni-](http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm)
607 [freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm](http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm)
608
609 VARAS E. Y P. BOIS. 1998. Hidrología Probabilística. Ed. Universidad Católica, Santiago, Chile. 1998.
610
611 VOGEL, R. and M. FENNESSEY. 1993. L-moments diagrams should replace moment product diagrams.
612 Water Resources Research.
613

- 614 WALLIS, J., M. SCHAEFER, B. BARRER. and G. TAYLOR. 2007. Regional precipitation-frequency
615 analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington States. *Hydrol. Earth Syst.*
616 *Sci.*, 11(1), 415-442
617
- 618 WILHITE, D. and M. BUCHANAN-SMITH. 2005. Drought as Hazard: Understanding the Natural and
619 Social Context. In: Wilhite, D. Editor: *Drought and Water Crises Science, Technology, and Management*
620 *Issues*.
621
- 622 WILHITE, D. and M. SVOBODA. 2000. Drought Early Warning Systems in the Context of Drought
623 Preparedness and Mitigation. En: Wilhite, D.A.; M.V.K. Sivakumar; and D.A. Wood (eds.). 2000. *Early*
624 *Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management. Proceedings of an Expert Group*
625 *Meeting. Lisbon, Portugal, September 5–7. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.*
626 http://drought.unl.edu/monitor/EWS/EWS_WMO.html
627
- 628 YUREKLI, K. and A. ANLI. 2008. Analyzing Drought Based on Annual Total Rainfalls over Tokat
629 Province. *International Journal of Natural and Engineering Sciences* 2 (2): 21-26, 2008