

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE SEQUÍAS REGIONALES MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES

MARISOL DE LA CUADRA VENEGAS¹
BONIFACIO FERNÁNDEZ LARRAÑAGA²
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

RESUMEN

Las sequías son fenómenos complejos cuya ocurrencia está relacionada con la escasez de agua en un lugar o una región. Entre sus características, es tan importante el estudio de esta escasez, como su oportunidad, duración o el área de la zona afectada. En este artículo el fenómeno se modela desde un punto de vista temporal, basado en series cronológicas que permitan la oferta o demanda del recurso.

En este artículo se explora el uso de Autómatas Celulares como una herramienta capaz de modelar la evolución espacio-temporal de las sequías en una región. Estos modelos se aplican a las sequías hidrológicas anuales y mensuales en la zona central de Chile, caracterizadas por sus series anuales y mensuales de cuencas.

La validez de la modelación propuesta se evalúa mediante comparaciones en la evolución de los índices de sequía y en estadígrafos de las series cronológicas registradas desde 1950 a 1995, con los resultados de las series simuladas. Como estadígrafos se evalúa la duración promedio de sequías, la función de auto-correlación, el coeficiente de correlación entre la serie y su cuadrado y la distribución de probabilidades de la duración de los períodos secos.

Se concluye que la modelación propuesta resulta sencilla de aplicar y puede ser útil para estudios hidrológicos regionales como las sequías, considerando sus características espaciales.

¹ Magister, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

² Magister, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Modelo de un sistema de riego... Daniel Sandoval, José Luis... y M. Gómez.

7. **HIDROLOGÍA Y CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**
 y estudio de la estructura... Alberto de la Fuente y...
 Talla Niba.

Estudio experimental... Cristian Ortiz y José Francisco Muñoz.

Modelación del impacto de prácticas de manejo agrícola en las aguas subterráneas... José Luis Arumi, Daniel... y Talla Niba.

Evaluación de métodos... Luis Salgado y Miguel Marín.

Atenuación natural de líquidos percolados en aguas subterráneas... Carlos Espinoza, María... y Alfredo Ríos.

Estudio experimental para la determinación del coeficiente de infiltración... Carlos Espinoza y Walter Williams.

Modelación del flujo de agua subterránea... Ignacio Tjebbe y José Francisco Muñoz.

Estudio experimental de procesos de infiltración y volatilización... María... y Alejandro López.

8. HIDROLOGÍA MARÍTIMA

El desarrollo de un clima de oleaje operacional y de diseño sobre el borde costero... Carlos... y Roberto...
 de Chile, Proyecto SHOA: Olas Chile, Carlos... y Roberto...
 Georgia, Doug Scott y Daniela...

El cálculo de... Andrés Elgueta y Fernando Rodríguez.

Estudio experimental de secciones de esteros... Carlos Pavani...

LISTADO DE AUTORES

Determinación experimental de la permeabilidad superficial... Aldo Tamburrino.

Características del flujo turbulento generado por microchorros en estanques... Aldo Tamburrino.

Transferencia de oxígeno en un estanque agitado por microchorros y su relación con la turbulencia en la superficie libre... Aldo Tamburrino.

Estudio experimental del escurrimiento en un cauce compuesto en presencia de una contracción brusca y un espigón... R. Mercé.

6. ANÁLISIS DE SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS

Optimización de los costos de bombeo en sistemas de suministro de agua mediante... Aldo Sotelo y Benjamín Barán.

MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE SEQUÍAS REGIONALES MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES

**MARISOL DE LA CUADRA VENEGAS¹
BONIFACIO FERNÁNDEZ LARRAÑAGA²**

RESUMEN

Las sequías son fenómenos complejos cuya ocurrencia está relacionada con la escasez prolongada de agua en un lugar o una región. Entre sus características, es tan importante el tamaño de esta escasez, como su oportunidad, duración o el área de la zona afectada. En general, el fenómeno se modela desde un punto de vista temporal, basado en series cronológicas que representan la oferta o demanda del recurso.

En este trabajo se explora el uso de Autómatas Celulares como una herramienta capaz de describir y modelar la evolución espacio-temporal de las sequías en una región. Estos modelos se aplican a sequías hidrológicas anuales y mensuales en la zona central de Chile, caracterizadas por caudales anuales y mensuales de cuencas.

La aplicabilidad de la modelación propuesta se evalúa mediante comparaciones en la evolución del fenómeno y en estadígrafos de las series cronológicas registradas desde 1950 a 1995, con los resultados de las series simuladas. Como estadígrafos se evalúa la duración promedio de períodos secos, la función de auto-correlación, el coeficiente de correlación entre la serie y sus vecinos y la distribución de probabilidades de la duración de los períodos secos.

Se concluye que la modelación propuesta resulta sencilla de aplicar y puede ser útil para modelar eventos hidrológicos regionales como las sequías, considerando sus características espacio-temporales.

¹ Alumna de Magíster, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

² Profesor, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, una sequía corresponde a una situación de déficit de agua, suficiente para afectar adversamente a la vegetación, los animales o el hombre y su actividad en una región determinada (Salas, 1978). Este fenómeno posee un lento desarrollo temporal y amplia cobertura espacial, y constituye una de las exigencias más complejas que enfrentan los sistemas de recursos hídricos. A partir de la segunda mitad del siglo XX se han desarrollado metodologías para el estudio de las sequías con énfasis en los aspectos temporales, recurriendo a técnicas de hidrología estocástica basadas en series cronológicas que representan la oferta o demanda del recurso (Yevjevich, 1967). A finales de los años 40, John von Neumann introdujo la teoría de los Autómatas Celulares como una herramienta matemática con el objetivo de crear un modelo real del comportamiento de sistemas extensos y complejos (Toffoli y Margolus, 1987). Un Autómata Celular (AC), es un modelo formal compuesto por un conjunto de células elementales, cada una de ellas susceptible de encontrarse en un cierto estado, con la posibilidad de alterarlo de un instante al siguiente, asumiendo que el tiempo transcurre en forma discreta (Rodríguez, 1997).

Los AC parecen adecuados para la modelación de este tipo de fenómenos porque pueden incorporar relaciones tanto temporales como espaciales. El objetivo de este trabajo es evaluar el uso de Autómatas Celulares como una herramienta matemática para describir y modelar la evolución espacio-temporal de las sequías en una región.

2. SEQUÍAS

El conocimiento de las propiedades de las sequías en una región es muy importante para la planificación y la gestión de los recursos hídricos (Vogel, 1987). La dimensión temporal fue puesta en evidencia en 1967 por Yevjevich, quien propuso utilizar procesos de truncamiento que consideraran series temporales de oferta y demanda, definiendo entonces sequías como sucesiones de periodos en que la demanda es insatisfecha. Yevjevich plantea analizar las sequías en un lugar basándose en la diferencia entre las series cronológicas que representan la disponibilidad del recurso, $S(t)$, y las necesidades, $D(t)$, para definir sus propiedades de interés como: duración, intensidad, magnitud, inicio y término (Figura 1).

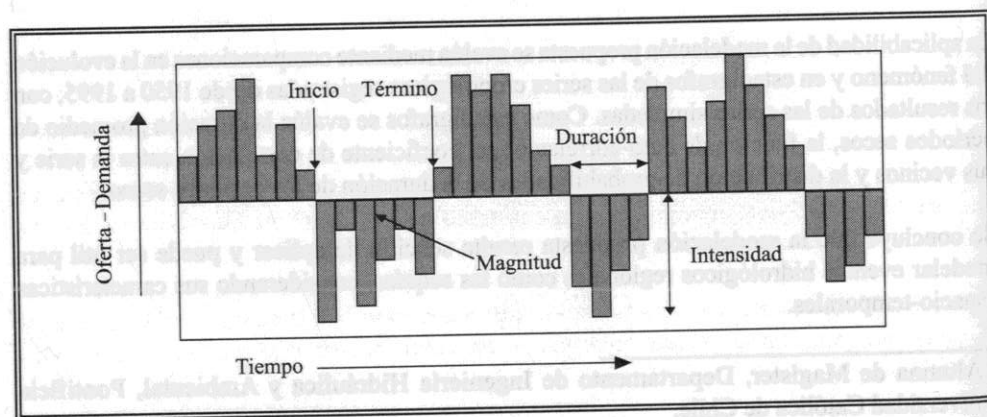


Figura 1. Serie de (oferta - demanda) y propiedades de las sequías.

Las sequías hidrológicas son aquellas asociadas a los recursos disponibles en los cauces superficiales, en base, por ejemplo, a registros de caudales anuales o mensuales. Para representar la demanda del recurso, se establecen niveles de demanda según la probabilidad de excedencia (Pinkayan, 1966; Fernández, 1997).

Para este trabajo se consideran cuencas en la zona central de Chile (DGA, 1997) identificando las sequías anuales y mensuales por cuenca a partir de las series de oferta anual y mensual, respectivamente, tomando como nivel de demanda los caudales correspondientes a un 70% de probabilidad de excedencia.

3. AUTÓMATAS CELULARES

Un AC es un modelo formal compuesto por un conjunto de células elementales, cada una de ellas susceptible de encontrarse en un cierto estado finito y discreto, con la posibilidad de alterarlo de un instante al siguiente, asumiendo que el tiempo transcurre en forma discreta. El espacio también se discretiza mediante una grilla regular, compuesta de celdas que evolucionan en el tiempo de acuerdo a un conjunto de reglas locales que involucran las celdas del entorno, llamado "vecindario", mediante una función ya sea determinística o probabilística del vecindario.

Formalmente, (Wolfram, 1983; Espericueta, 1997; Weimar, 1997) se definen:

- a) Sea L una grilla regular:

$$L = \{(i,j)/i, j \in \mathbb{N}, 0 \leq i < n, 0 \leq j < m\} \quad (1)$$

- b) Sea S un conjunto finito de estados

- c) Sea N un conjunto finito de subíndices para vecinos tal que para todo c en N y r en L , $r + c \in L$

- d) Sea $f: S^N \Rightarrow S$ una función de transición desde una configuración de estados a otra cualquiera

- e) Un AC queda definido por la cuádrupla (L, S, N, f)

- f) El efecto de la función de transición es cambiar la configuración C_t en una nueva C_{t+1} mediante la relación:

$$C_{t+1} = f(\{C_{t_n(i)} : i \in N(r)\}) \quad (2)$$

donde $N(r)$ es el vecindario de la celda r .

Para construir un AC, es necesario definir la dimensión de la grilla que puede ser desde 0 hasta n dimensiones, la geometría de las celdas (triangulares, cuadradas o hexagonales), el conjunto de estados posibles para las celdas, que es de tamaño finito, y las reglas de transición, que son el aspecto más importante en la construcción de un AC, ya que son ellas las que determinan su evolución en el tiempo.

Las aplicaciones actuales de AC's han aparecido en los años 80 en una gran variedad de áreas como la biología, química, física, ecología, dinámica urbana, etc. (Gonçalves, 1994; Habin y Reynolds, 1997 y Rouhaud, 2000).

4. ANÁLISIS DE SEQUÍAS ANUALES Y MENSUALES CON AUTÓMATAS CELULARES

La región se representa por un conjunto de celdas, en este caso cuencas, ordenadas de norte a sur del territorio nacional, dando origen a un Automata Celular de una dimensión. Cada celda del AC posee dos estados (0 = seco y 1 = no seco) y dos vecinos (la celda al norte y al sur de ella), excepto los bordes del territorio que son considerados con un solo vecino (la celda sur para el borde norte y la celda norte para el borde sur).

Las cuencas han sido seleccionadas de la base de datos generada por la DGA (1997). En la Tabla 1 se muestran las cuencas consideradas.

Tabla 1. Unidades consideradas en la modelación de Sequías Hidrológicas.

Celda	Unidad	Celda	Unidad
1	Los Choros	21	Rancagua
2	Elqui Alto	22	Tinguiririca
3	Elqui Bajo	23	Santa Cruz
4	Tongoy	24	Rapel
5	Hurtado	25	Costeras de Pichilemu
6	Río Grande	26	Teno - Lontué
7	Ovalle	27	Mataquito
8	Costeras del Choapa Norte	28	Maule Norte
9	Choapa	29	Maule Alto
10	Illapel	30	Maule Sur
11	Los Vilos	31	Perquillauquén
12	Petorca	32	Constitución
13	La Ligua	33	Ñuble
14	San Felipe y Los Andes	34	Itata
15	Quillota	35	Costa del Ñuble
16	Valparaíso	36	Laja
17	Santiago	37	Alto Bio Bio
18	Maipo	38	Bio Bio Medio
19	Talagante	39	Bio Bio Sur
20	Cachapoal	40	Arauco

En cada una de estas celdas se han identificado las sequías anuales a partir de las series de oferta anual, tomando como nivel de demanda los caudales correspondientes al 70% de probabilidad de excedencia. Entonces la celda toma el estado 0 si la oferta es menor que la demanda, y 1 en el caso contrario. Del mismo modo, se han identificado las sequías mensuales a partir de las series de oferta mensual y las demandas usando los caudales con 70% de probabilidad de excedencia independiente para cada mes y para cada celda, de manera que en promedio todas las celdas presentan similar cantidad de periodos con demanda insatisfecha.

Para el modelo de AC el estado de una celda cualquiera en el instante t_{n+1} depende de lo ocurrido en su vecindario en el instante t_n , mediante una función de transición del tipo:

$$C_0^{t_{n+1}} = f(C_{-1}^{t_n}, C_0^{t_n}, C_1^{t_n}) \quad (3)$$

En este caso la regla se ha construido en dos pasos, el primero probabilístico, donde no tiene un resultado exacto, sino que existe más de una posibilidad de salida asociada a una cierta probabilidad, y el segundo determinístico, donde la salida es única.

El primer paso se construye basándose en probabilidades de transición de estado encontradas empíricamente con los datos de las series mensuales y anuales desde 1950 hasta 1995. Estas probabilidades dependen de la configuración de los vecinos en el tiempo t_n . En la Figura 2 se muestran las diferentes configuraciones que afectan a las celdas centrales, que dependen de la suma de los vecinos de la celda. Por ejemplo, $P_{(0,0)}^0$ es la probabilidad de que la celda i pase del estado 0 en el tiempo t_n al estado 0 en el tiempo t_{n+1} , si la suma de sus vecinos en el tiempo t_n es 0. En el caso de las celdas centrales, los vecinos en t_n pueden sumar 0, 1 ó 2, y en el caso de las celdas de los bordes, la suma puede resultar 0 ó 1.

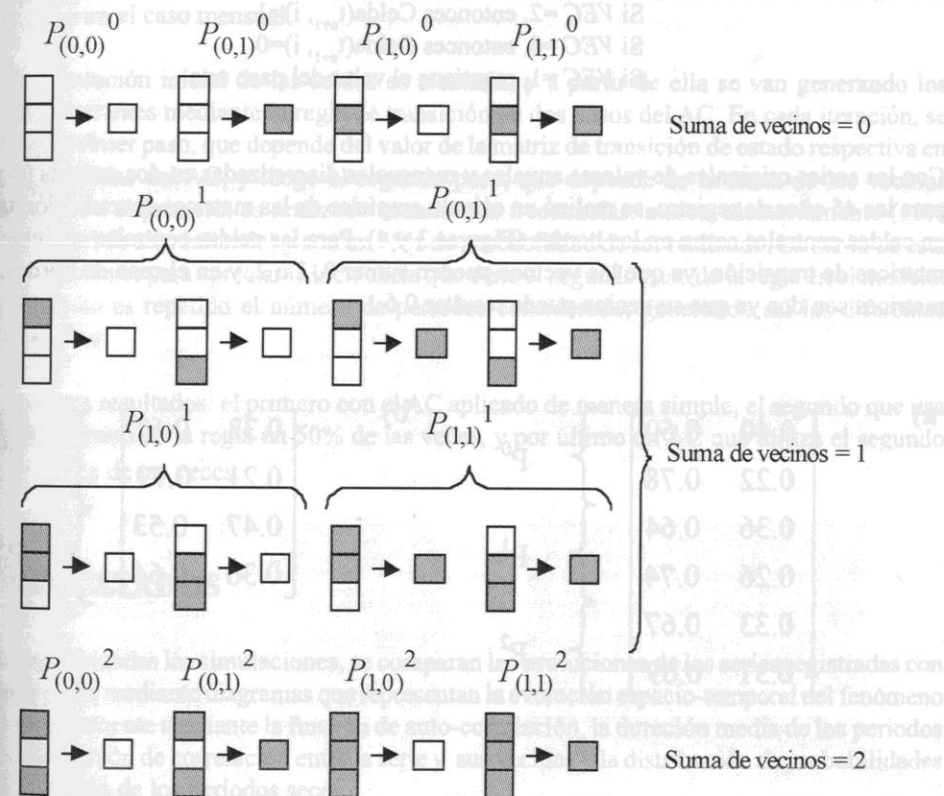


Figura 2. Configuraciones en celdas centrales para el cálculo de la matriz de transición (0 se representa en blanco y 1 en gris).

Estas probabilidades se ordenan en una matriz (SV = suma de vecinos), para cada una de las diferentes configuraciones:

$$P^{SV} = \begin{bmatrix} P_{(0,0)}^{SV} & P_{(0,1)}^{SV} \\ P_{(1,0)}^{SV} & P_{(1,1)}^{SV} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Por lo tanto, se tienen tres matrices para las celdas centrales (SV = 0, 1, ó 2) y dos para los bordes (SV = 0 ó 1). Este primer paso de la regla es ejecutado en todas las celdas del AC antes de pasar al segundo.

El segundo paso es determinístico y hace uso de una variable llamada VEC (suma de vecinos), definida como:

$$VEC = Celda(t_{n+1}, i-1) + Celda(t_{n+1}, i+1) \quad (5)$$

donde $Celda(t_{n+1}, i-1)$ y $Celda(t_{n+1}, i+1)$ son los vecinos de la celda que ocupa la posición i luego de realizar el primer paso. Dependiendo del valor de la variable VEC, se encuentra el valor final para la celda de la posición i según las siguientes condiciones:

- Si $VEC = 2$, entonces $Celda(t_{n+1}, i) = 1$
- Si $VEC = 0$, entonces $Celda(t_{n+1}, i) = 0$
- Si $VEC = 1$, mantiene el valor del paso uno

Con las series originales de valores anuales y mensuales discretizadas en dos estados (0 y 1) para los 45 años de registro, se realizó un cálculo empírico de las matrices de transición tanto en celdas centrales como en los bordes (Figuras 3 y 4). Para las celdas centrales se tiene tres matrices de transición, ya que los vecinos pueden sumar 0, 1 ó 2, y en el caso de bordes, las matrices son dos ya que su vecino puede resultar 0 ó 1.

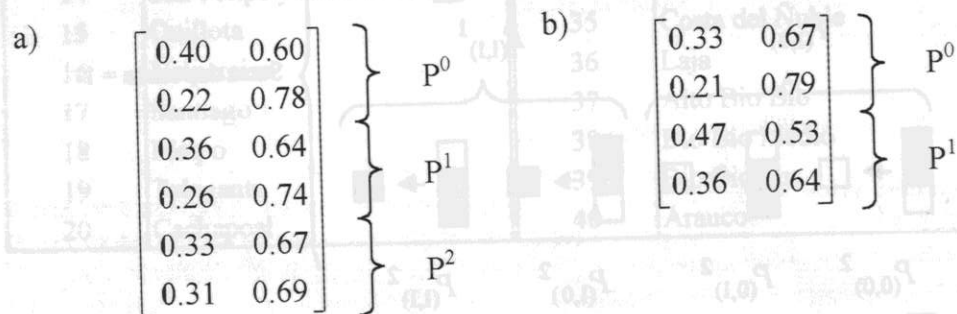


Figura 3. Matrices de transición de a) celdas centrales y b) bordes para modelación de sequías anuales.

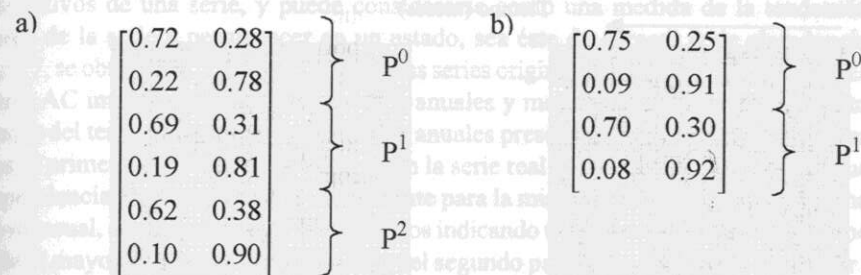


Figura 4. Matrices de transición de a) celdas centrales, y b) bordes, para modelación de sequías mensuales.

5. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

La generación de series se realiza usando la misma metodología en el caso de las series anuales y mensuales. Se generan 1000 simulaciones con 750 períodos para el caso anual, y 2000 períodos para el caso mensual.

La configuración inicial de las celdas es aleatoria, y a partir de ella se van generando los períodos restantes mediante la regla de transición en dos pasos del AC. En cada iteración, se realiza el primer paso, que depende del valor de la matriz de transición de estado respectiva en todas las celdas del AC, y luego el segundo paso, que depende de la suma de los vecinos generados en el primero, es realizado usando tres frecuencias: nunca, aleatoriamente (50% probabilidad de ser realizado) y con un 75% de probabilidad de ser realizado. La razón de esta diferenciación es para apreciar la incidencia que tiene el segundo paso de la regla en el modelo. Este proceso es repetido el número de períodos considerado, generando así las diferentes simulaciones.

Se tiene tres resultados: el primero con el AC aplicado de manera simple, el segundo que usa el segundo paso de la regla un 50% de las veces, y por último un AC que utiliza el segundo paso un 75% de las veces.

6. RESULTADOS

Una vez realizadas las simulaciones, se comparan las evoluciones de las series registradas con las simuladas mediante diagramas que representan la evolución espacio-temporal del fenómeno y estadísticamente mediante la función de auto-correlación, la duración media de los períodos secos, la función de correlación entre la serie y sus vecinos y la distribución de probabilidades de la duración de los períodos secos.

Las evoluciones se aprecian en la Figura 5 para el caso mensual y en la 6 para sequías anuales. En ambos casos se aprecia que sin la inclusión del segundo paso de la regla, las celdas pierden la correlación espacial que existe en las series originales, en cambio, al incluirlo se logra mayor homogeneidad de las celdas con sus vecinos para el mismo tiempo.

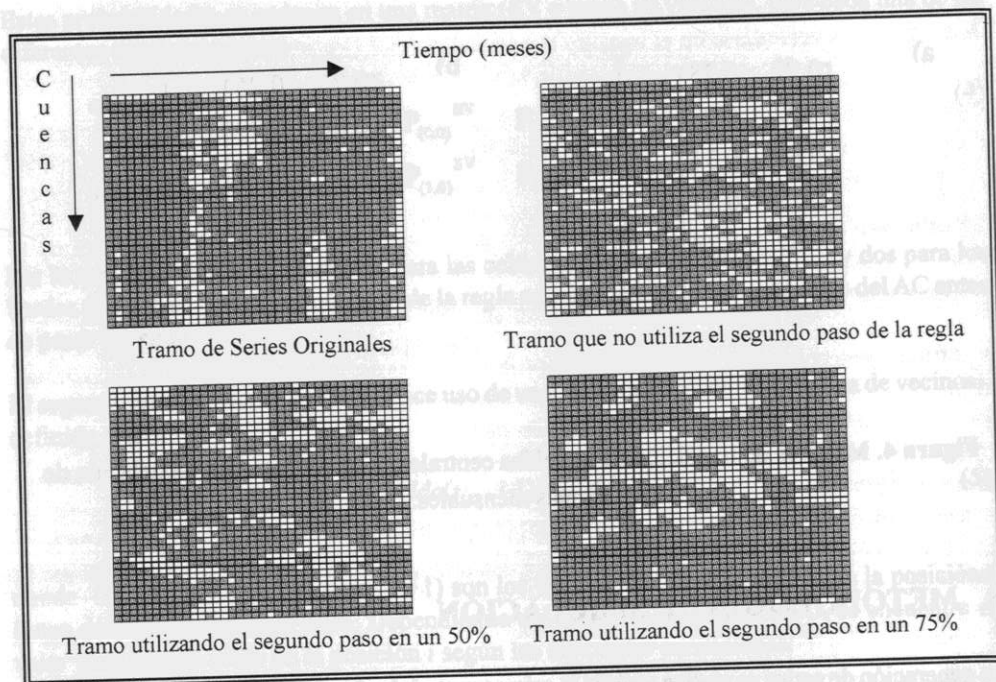


Figura 5. Tramos de las cuencas originales y de alguna de las simulaciones para los diferentes AC's implementados en periodos mensuales.

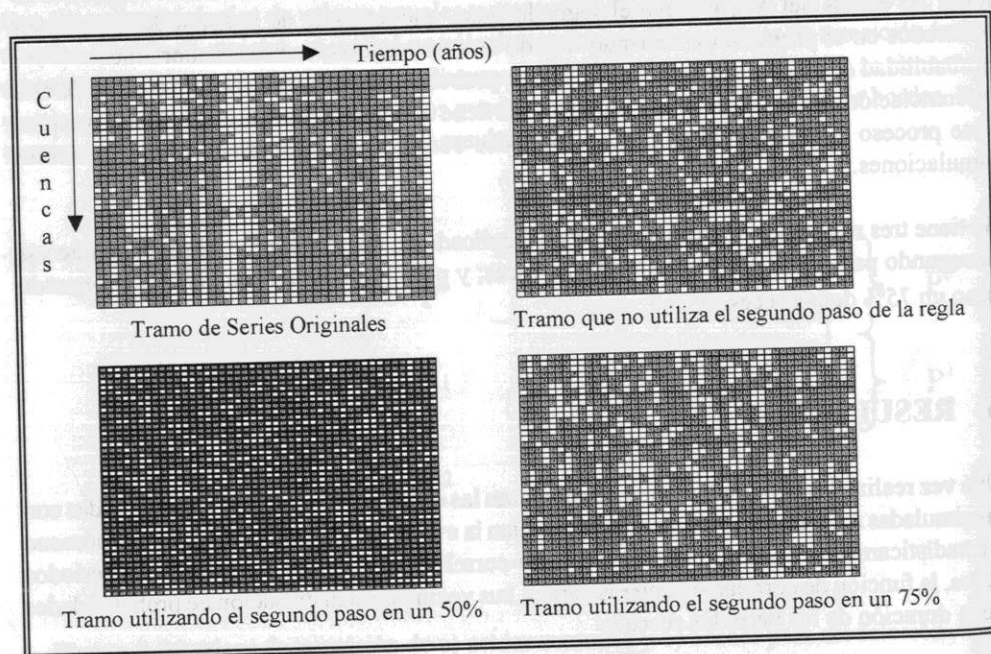


Figura 6. Tramos de las cuencas originales y de alguna de las simulaciones para los diferentes AC's implementados en periodos mensuales.

El coeficiente de auto-correlación es una medida de la dependencia estadística entre valores consecutivos de una serie, y puede considerarse como una medida de la tendencia de los valores de la serie a permanecer en un estado, sea éste de escasez o de abundancia. En la Figura 7, se observan los correlogramas de las series originales y de las simuladas, diferenciando los tres AC implementados para los casos anuales y mensuales promediados, para todas las cuencas del territorio analizado. Las series anuales presentan coeficientes de correlación casi nulos al primer período de desfase, tanto en la serie real como en las simuladas, lo que indica independencia entre un período y el siguiente para la misma serie. Por otro lado, al analizar el caso mensual, estos coeficientes son positivos indicando una cierta dependencia entre períodos, donde la mayor frecuencia de realización del segundo paso de la regla es la que mejor modela la situación original.

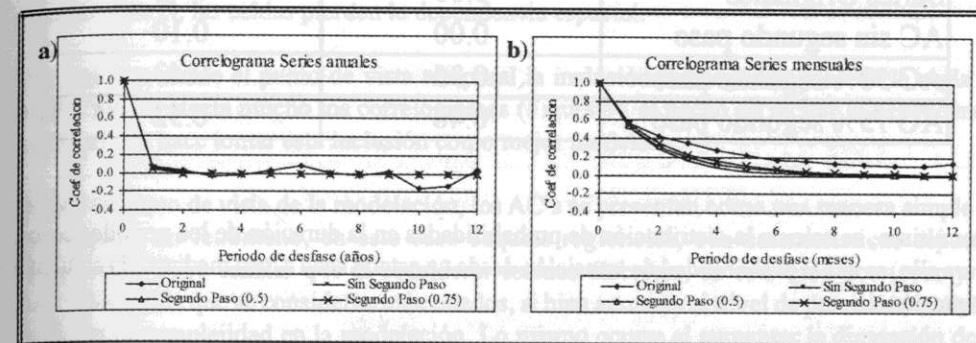


Figura 7. Funciones de auto-correlación promedio: a) Series anuales, y b) Series mensuales.

La duración media de los períodos secos se calcula tomando el número total de sequías ocurridas para cada serie con su duración respectiva y promediando esta duración. En la Tabla 2 se encuentran estos valores promediados para todo el territorio, tanto de las series originales (anuales y mensuales), como de las simulaciones usando las tres implementaciones con relación al segundo paso de la regla. Los valores resultan similares a los originales y en este caso es indiferente la inclusión del segundo paso de la regla.

Tabla 2. Duración media de períodos secos promediada para todas las celdas de series anuales y mensuales.

	Anual	Mensual
Series Originales	1.66	3.67
AC sin segundo paso	1.55	3.05
AC 50% segundo paso	1.46	2.70
AC 75% segundo paso	1.42	2.67

Otro estadígrafo utilizado en el análisis es el coeficiente de correlación entre las series y sus vecinos, para observar la dependencia espacial. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos del promedio de todas las celdas para las series anuales y mensuales. Para el caso

anual, la realización del segundo paso de la regla mejora considerablemente el valor del coeficiente, aunque el modelo es siempre menos dependiente espacialmente que la realidad. En el caso mensual, en cambio, al realizar el segundo paso de la regla un 50% de las veces, el valor del coeficiente está por debajo del valor para las series originales, pero al aumentar esta probabilidad a un 75%, la dependencia espacial resulta mayor al caso original.

Tabla 3. Coeficientes de correlación promedio entre las series y sus vecinos.

	Anual	Mensual
Series Originales	0.60	0.48
AC sin segundo paso	0.00	0.10
AC 50% segundo paso	0.35	0.43
AC 75% segundo paso	0.46	0.52

Por último, se calcula la distribución de probabilidades en la duración de los períodos secos. Para ello, se usa la probabilidad de transición desde un estado seco a otro mediante la siguiente expresión:

$$P(\text{período}_{SECO} = n) = (P(0,0))^{n-1} \times (1 - P(0,0)) \quad (6)$$

En la Figura 8 se observan los promedios de estas probabilidades para todas las cuencas de la región, para el caso de series anuales y mensuales. Esta distribución se calculó usando los datos empíricos de la muestra, para la serie real, y los datos obtenidos de las simulaciones, para las variaciones de los AC. Para este estadígrafo, la inclusión del segundo paso en la regla de transición altera las probabilidades empíricas del primer paso, lo que afecta la distribución de estas probabilidades.

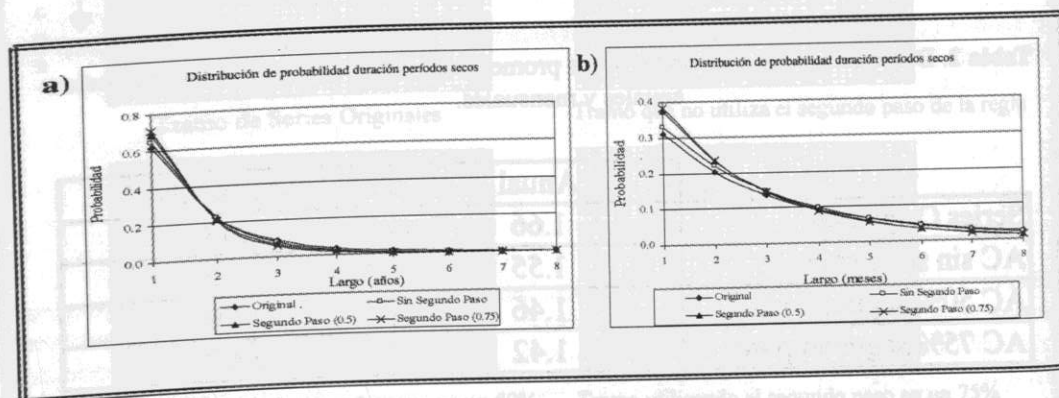


Figura 8. Distribución de probabilidad de la duración de períodos secos: a) Series anuales, y b) Series mensuales.

7. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología, basada en Autómatas Celulares de una dimensión, como herramienta matemática en la modelación de sequías regionales.

Para llevar a cabo la modelación se consideraron reglas de transición en dos pasos, donde el primero es probabilístico y sólo considera las matrices de transición de un estado a otro, y el segundo, determinístico, trata de homogeneizar las celdas en cada iteración.

En la evolución espacio-temporal mostrada en las Figuras 3 y 4, la inclusión del segundo paso en la regla de transición representa con mayor precisión el fenómeno relacionado al cambio de transición entre eventos secos y no secos a que está expuesta una región, ya que sin la inclusión de él, las celdas pierden la dependencia espacial.

A pesar que desde el punto de vista temporal la inclusión del segundo paso en la regla de transición no afecta mucho los correlogramas (Figura 5), el hecho de incluir la dependencia espacial nos hace tomar esta inclusión como mejor modelo.

Desde el punto de vista de la modelación, los AC's se presentan como una manera simple de representar un fenómeno, en este caso sequías regionales, con características espacio-temporales. Cabe señalar que al considerar estados discretos, en este caso dos (seco y no seco), a medida que se consideran más estados, si bien aumenta el nivel de precisión, aumenta también la complejidad en la modelación. Lo mismo ocurre al aumentar la dimensión de la grilla; se podría modelar el fenómeno a escala continental con una grilla de dos dimensiones, lo que aumenta el número de vecinos y las configuraciones en que éstos pueden encontrarse.

Se concluye que la modelación propuesta resulta sencilla de aplicar, y puede ser útil para modelar eventos hidrológicos regionales como las sequías, considerando sus características espacio-temporales.

REFERENCIAS

- DGA. 1997. Análisis Impacto Económico Originado por Sequías Hidrológicas. Departamento de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile
- Espericueta, R. 1997. Cellular Automata Dynamics. Explorations in Parallel Processing. Mathematics Department, Bakersfield College.
- Fernández, B. 1997. Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile Central. Ingeniería del Agua, Universidad Politécnica de Valencia, Vol. 4, No. 4, pp. 37-54.
- Gonçalves, P. 1994. Geographic Information Systems and Cellular Automata: A New Approach to Forest Fire Simulation. EGIS Foundation.
- Habin, L., y J. Reynolds. 1997. Modeling effects of spatial pattern, drought and grazing on rates of rangeland degradation: A combined Markov and Cellular Automaton approach. Scale in Remote Sensing and GIS, pp. 211 - 230.

Pinkayan, S. 1966. Conditional Probabilities of Occurrence of Wet and Dry Years over a Large Continental Area. Hydrology Paper No. 12, Colorado State University, Fort Collins.

Rodríguez, M. 1997. Homepage. 2 Julio 1999 <http://personal.redestb.es/riotorto/>

Rouhaud, J.F. 2000. Cellular automata and consumer behaviour. European Journal of Economic and Social Systems, Vol. 14, No. 1, pp. 37 – 52.

Salas, J. D. 1978. Statistical Properties of Droughts. United States-Argentinian Workshop on Droughts. Mar del Plata, Argentina.

Toffoli, T., y N. Margolus, 1987. Cellular Automata: A New Environment for Modeling. MIT Press, Cambridge, Mass.

Vogel, R. M. 1987. Reliability indices for water supply systems. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 113 (4), pp. 563-579.

Weimar, J. 1997. <http://www.tu-bs.de/institute/WiR/weimar/ZAscript/ZAscript.html>

Wolfram, S. 1983. Cellular Automata. Los Alamos Science, Vol. 9, pp. 2-21.

Yevjevich V. 1967. An objective approach to definition and investigation of continental droughts. Hydrology Paper No. 23, Colorado State University, Fort Collins.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) EN SEIS ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DISTRIBUIDAS EN LA VII REGIÓN DEL MAULE, CHILE

ROBERTO PIZARRO TAPIA¹

ALEJANDRO ABARZA MARTÍNEZ²

CÉSAR FARÍAS DAZA³

RESUMEN

Este estudio analiza la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en la VII Región del Maule, Chile, en base al comportamiento de las precipitaciones de cuatro estaciones pluviométricas del Valle Central, y de dos de la Cordillera de los Andes. Estas estaciones son Talca, Péncahue, Melozal, Parral, Colorado y Bullileo, las cuales cuentan con registros cuya antigüedad fluctúa entre los 14 y 17 años.

La metodología consistió en muestreos sobre los pluviogramas respectivos, con el fin de obtener las intensidades máximas por año, para las duraciones de 24, 12, 8, 6, 4, 2 y 1 hora. Los datos se llevaron a intensidad horaria y para cada duración se ajustó la función de Gumbel, que dio excelentes medidas de bondad de ajuste. Luego, se construyeron las curvas IDF para los períodos de retorno 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, y 100 años. Posteriormente se construyeron tablas de uso práctico para la extrapolación de las curvas hacia zonas sin pluviómetros.

Así, se puede señalar que las curvas IDF obtenidas para las estaciones de la Cordillera de los Andes, con respecto a las del Valle Central, son muy similares, a excepción de que las ordenadas de intensidad horaria son más altas en la zona cordillerana andina. Finalmente, en función de los resultados obtenidos, se puede recomendar tanto la utilización de los seis modelos ajustados, como su extrapolación en zonas o estaciones cercanas con regímenes climáticos similares.

¹ Depto. de Gestión Forestal y Ambiental, Universidad de Talca, Chile.

² Analista de Sistemas, Banco Estado, Chile.

³ Ayudante de Investigación, Universidad de Talca, Chile.