

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CAUDALES AFLUENTES AL EMBALSE ZAPALLAR Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS PARA RIEGO

C. Jara Montecinos¹, E. Muñoz Ortiz^{2,3}, J. Arumí Ribera⁴

RESUMEN:

El cambio climático ha causado problemas en distintos niveles de la sociedad, uno muy importante es el sector agrícola, ya que éste depende de las condiciones climáticas para su realización. El acelerado cambio de variables climáticas como la temperatura, las precipitaciones y la evapotranspiración, puede tener consecuencias críticas en las prácticas de riego. Este estudio busca analizar cómo el cambio climático afectará los niveles de caudales afluentes al embalse Zapallar y qué consecuencias traerán estos efectos en el riego de las zonas aledañas al río Diguillín. Para ello se realizaron simulaciones de los caudales afluentes para un período de 114 años en el lugar donde se construirá el embalse. Complementariamente, se realizaron proyecciones de caudal a 50 años, a partir del año 2015, con el objetivo de analizar cómo serán las tendencias de las variables que influyen en la disponibilidad de los recursos hídricos en la zona. Finalmente, se realizó un análisis de disponibilidad de caudales para la distribución de derechos permanentes y eventuales, existentes en el río Diguillín. De los resultados obtenidos, se concluyó que los caudales afluentes al punto de estudio disminuirán $0.09 \text{ m}^3/\text{s/año}$.

ABSTRACT

The climate change has caused problems in different sectors of our society; an importantly affected one is the agriculture, which strongly depends on climatic conditions for its development. Change of climatic variables such as temperature, precipitation and evapotranspiration might cause critical consequences in water availability and irrigation practices. This study aims to analyze how climate change will affect the inflows to the Zapallar reservoir, and to predict the consequences on irrigation in the surrounding areas to Diguillín river. An approach based on model simulations of the reservoir inflows was carried out for a 114-years. Additionally, inflow projections of up to 50-years from 2015 were carried out to analyze the effects of main variables over the water resources availability in the study area. Finally, an availability analysis of water flows for distribution of temporary or permanent water rights for the Diguillín river was performed. From the obtained results is concluded that the inflows to the reservoir will decrease by $0.09 \text{ m}^3/\text{s/year}$.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, cjara@ing.ucsc.cl

² Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, emunozo@ucsc.cl

³ Investigador Principal, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables CIBAS, UCSC.

⁴ Profesor Titular, Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, jarumi@udec.cl

INTRODUCCIÓN

La problemática del cambio climático global ha causado preocupación tanto en los agricultores, como en la comunidad científica, ya que variables claves para el crecimiento de cultivos como la precipitación y la temperatura se verán severamente afectadas. Estas afecciones probablemente generarán un grave impacto en el sector agrícola y, en consecuencia, es necesario realizar estudios acerca de estos impactos para mejorar la resiliencia y para definir medidas de gestión.

El panel intergubernamental del cambio climático (IPCC) desarrolló un esquema que considera cómo aumentará la temperatura superficial del planeta bajo distintos escenarios de emisiones de gases invernaderos. La figura 1 muestra los distintos escenarios que se analizaron, partiendo con el más favorable” *Constant composition commitment*”, hasta el menos favorable “A2”. El IPCC concluyó que la temperatura de la tierra para el año 2100 aumentaría entre 2 y 4°C. (Christensen et al., 2007)

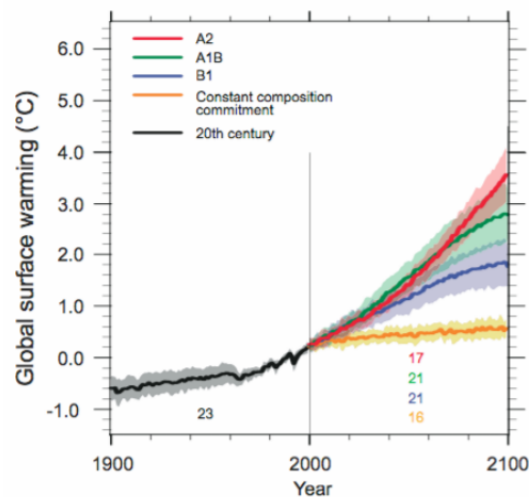


Figura 1: Evolución de la temperatura promedio superficial planetaria (Fuente: IPCC-AR4, Christensen et al., 2007)

Durante el siglo XX, se verificó una significativa disminución de las precipitaciones en la región subtropical de Chile (Aceituno et al., 1992). Las precipitaciones en la zona han sido variables. Hasta el año 1970 predominó una tendencia negativa, sin embargo, el aumento de la frecuencia de inviernos lluviosos entre los años 1955-1985 estableció una tendencia positiva de estas. En las siguientes décadas, la tendencia de las precipitaciones volvió a decaer, escenario que se ha mantenido hasta el día de hoy.

El aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones no es un problema externo a la realidad local, ya que en Chile centro-sur también se registran estas tendencias. De manera particular, la provincia de Ñuble, zona geográfica donde se realiza este estudio, se encuentra en un período de sequía hace aproximadamente 8 años, lo que ha complicado el riego y las actividades agrícolas (entre otras), en la zona.

El proyecto Laja Diguillín tiene como obra básica un canal que capta aguas desde el río Laja y se desarrolla hasta el río Diguillín. Este proyecto beneficia 63.309 hectáreas distribuidas en las comunas de San Ignacio, Bulnes, Yungay, Pemuco y El Carmen. Sin embargo, el canal Laja-Diguillín riega

actualmente 24.340 hectáreas y deberían ser regadas 44.630 (Saldías, 2013), es decir, un tercio de lo planificado en un principio. Esto se debe a que, inicialmente, el sistema contaba con la construcción del embalse Zapallar para satisfacer el riego de 63 mil hectáreas, al no ser construido el total de hectáreas que debería regar el proyecto disminuyó a 44.630.

Las autoridades del gobierno, consientes del creciente déficit hídrico en la zona, volvieron a estudiar la posible construcción de embalses destinados a riego y/o energía, como el embalse Punilla, embalse Chillán y el embalse Zapallar, donde el embalse Zapallar constituye una obra complementaria al canal Laja-Diguillín, para satisfacer las necesidades hídricas y agrícolas de la zona.

El embalse Zapallar constará de un muro de 75 m de altura y una longitud de coronamiento de 390 m. Embalsará 80 hm³, con una superficie de inundación de 328 ha. Para la construcción del embalse, se expropiarán 434 hectáreas que contempla 50 predios y 40 propietarios. El espejo de agua inundará 4 viviendas, las que deberán ser reubicadas, 2 sitios arqueológicos y 126 hectáreas de bosque nativo.

El proyecto beneficiará 10.000 nuevas hectáreas de riego, de estas, las zonas que serán beneficiadas directamente por el embalse se denominarán áreas de nuevo riego, y estarán comprendidas entre el embalse Zapallar hasta el canal matriz Diguillín-Coltón. Las zonas denominadas áreas blancas y áreas adicionales se ubican bajo el canal matriz hasta el río Itata, las cuales complementarán y aumentarán su seguridad de riego. La Figura 2 muestra la distribución de las nuevas áreas de riego beneficiadas por el proyecto.

El presente estudio tiene como objetivo analizar cómo afectará el cambio climático a los caudales afluentes al embalse Zapallar. Para ello, se realizará una simulación a largo plazo de caudales afluentes al embalse con el modelo hidrológico mensual presentado en (Muñoz, 2010) y (Muñoz, 2011), para luego proyectar dichos caudales en un período de 50 años. Por otro lado, se analiza la tendencia de las precipitaciones, temperaturas, evapotranspiración y caudales afluentes, con el objetivo de analizar cómo serán las tendencias de las variables que influyen en la disponibilidad de los recursos hídricos en la zona. Por último, se analiza cómo variarán los caudales disponibles a largo plazo en función de la asignación de derechos de agua permanentes y eventuales en los períodos de enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre.

ÁREA DE ESTUDIO

La Figura 3 muestra la ubicación donde se construirá el embalse Zapallar. Éste estará ubicado en la angostura del río Diguillín, 12 km aguas abajo de la junta con el estero Renegado (principal tributario del río Diguillín). Esta zona se conoce como Zapallar, donde confluyen las comunas de San Ignacio y El Carmen. El sitio elegido para la construcción del muro se denominó sitio 4, está localizado en las coordenadas -36.83°S, 71.75°W. La cuenca del embalse Zapallar es una sub cuenca de la del río Diguillín y posee un área total de 433.9 km².

La precipitación media anual corregida registradas en las cercanías del muro es 3421 mm con un período pluvial durante el invierno. La temperatura media anual del aire en la cuenca es de 10.4°C con un rango de 4.39°C en invierno y 17.4°C en verano.

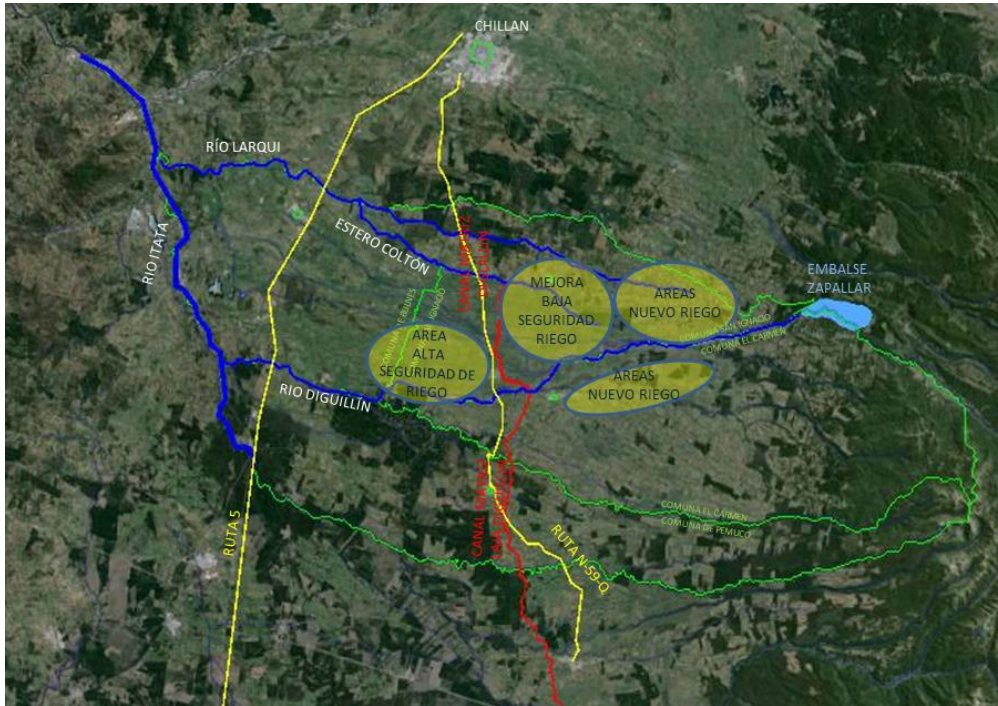


Figura 2: Zonas beneficiadas por el embalse Zapallar. (Fuente: RyQ Ingeniería S.A.)

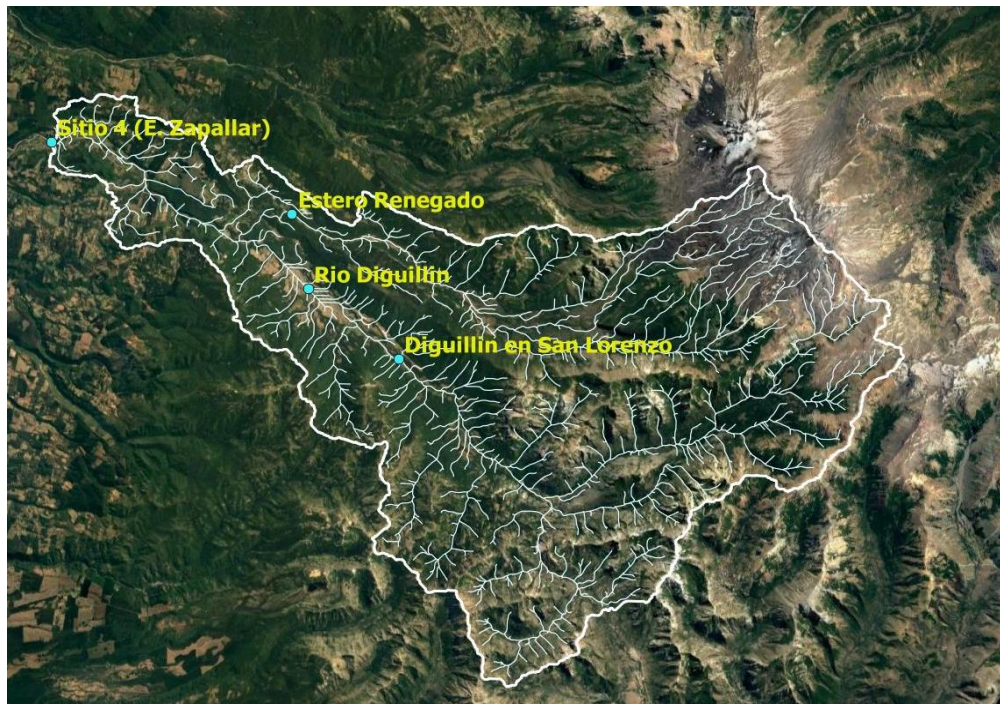


Figura 3: Sitio 4, zona de construcción del embalse Zapallar.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para la modelación de caudales afluentes al embalse, se utilizó el modelo de balance hídrico mensual pluvio-nival semi-distribuido de tipo conceptual presentado en (Muñoz, 2010) y (Muñoz, 2011). Este modelo considera una componente pluvial, una componente nival y una componente de extracciones y aportes, lo que permite generalizar la aplicación a cualquier cuenca. Por otra parte, para realizar la calibración del modelo se utiliza la herramienta de análisis de sensibilidad e incertidumbre "Monte Carlo Analysis Toolbox".

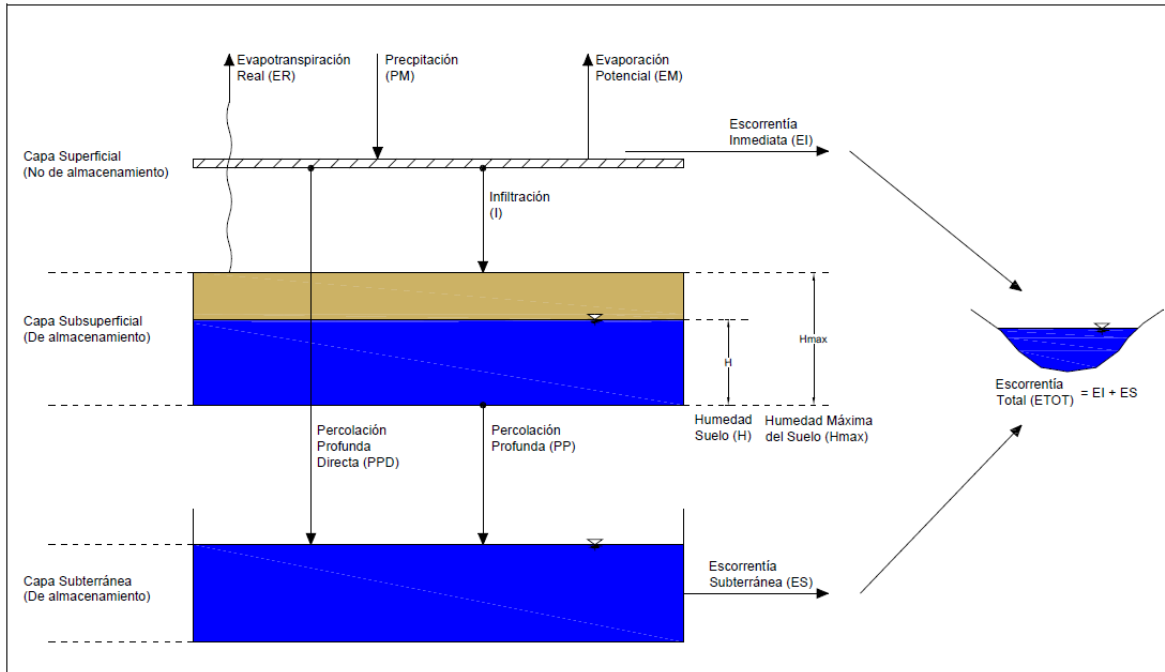


Figura 4: Modelo conceptual de componente pluvial del modelo MHM

La componente pluvial se modela a través de un modelo de precipitación-escorrentía que considera la cuenca como un sistema de doble almacenamiento. El primero es un sistema de almacenamiento superficial, el cual representa el agua almacenada en el estrato de suelo no saturado. El segundo es un sistema de almacenamiento subterráneo, el cual representa el agua almacenada en el estrato de suelo saturado. El módulo requiere dos variables de entrada, la precipitación y la evapotranspiración potencial. La salida del modelo es la escorrentía total, que se compone de la suma de la escorrentía subterránea y la escorrentía superficial. La escorrentía se calcula a través de seis parámetros de calibración, más dos parámetros de entrada A y B que permiten corregir la precipitación y la evapotranspiración potencial. La Tabla 1 presenta una breve descripción de los parámetros y su influencia en el modelo.

Para realizar la calibración y validación del modelo se utilizó el *toolbox* de Matlab *Monte Carlo Analysis Toolbox* (MCAT) (Wagener and Kollat, 2007). MCAT es un modelo estadístico utilizado para calcular soluciones aproximadas asociadas a expresiones matemáticas de alta complejidad. MCAT permite calibrar un modelo de un modo semi-automático permitiendo al usuario mantener un comportamiento identificable o realista del modelo (Zuñiga, Muñoz y Arumí, 2012). Opera ejecutando repetitivas simulaciones con un conjunto de parámetros aleatorios dentro de un rango

(definido previamente) físico o conceptualmente válido. Luego, almacena los resultados de cada simulación y los valores de las funciones objetivos (medida de calidad de las simulaciones. Relacionan los datos observados y los datos simulados) para su posterior análisis. Entre las funciones utilizadas se tienen:

Dotty Plots Objective Function: Esta función genera un diagrama de dispersión que permite evaluar el comportamiento de los resultados del modelo en función de los parámetros. Dicha evaluación se realiza a través de la función objetivo. La función objetivo cuantifica la diferencia entre los valores simulados y observados. El modelo será sensible a un parámetro si el diagrama de dispersión presenta un mínimo, mientras más uniforme sea la distribución menor será la sensibilidad del modelo al parámetro en estudio.

Regional Sensitivity Analysis: Este análisis permite evaluar el rango en dónde los parámetros tienen influencia sobre las salidas del modelo. La identificabilidad de los parámetros se miden a través de curvas de distribución acumulada, las curvas se generan dividiendo los resultados de la simulación en 10 grupos de igual tamaño de datos. Se analiza el 10% de las mejores simulaciones. Mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será la agrupación de datos, por ende, la función objetivo será sensible al parámetro analizado.

La función objetivo utilizada fue el índice de eficiencia de Kling-Gupta KGE (Gupta, Kling, Yilmaz and Martinez, 2009)

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$$

Donde r es el coeficiente de correlación de Pearson, α es la razón entre la desviación estándar de los caudales simulados y observados, y β es la razón entre los caudales medios simulados y observados. La función KGE es una mejora del índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE (Nash and Sutcliffe, 1970). KGE varía entre $-\infty$ y 1, siendo 1 el valor óptimo. (Zuñiga, Muñoz y Arumí, 2012).

Tabla 1: Parámetros del modelo pluvial del modelo hidrológico mensual.

Pluvial		
Parámetro	Descripción	Influencia
C_{max}	Coeficiente de escorrentía máxima cuando el almacenamiento sub-superficial está saturado.	EI
P_{lim}	Valor de precipitación límite sobre el cual existe percolación profunda directa (PPD).	PPD
D	Porcentaje de precipitación sobre P_{lim} .	PPD
H_{max}	Capacidad máxima de almacenamiento en la capa sub-superficial.	C_{max} , ER
$PORC$	Fracción de H_{max} por sobre el cual no existe dificultad para la evapotranspiración	H_{crit} , ER
C_k	Coeficiente de escorrentía subterránea.	ES
A	Coeficiente de ajuste de precipitación	PM
B	Coeficiente de ajuste de evapotranspiración	PET, ER

Datos de entrada

El modelo hidrológico requiere, como variables de entrada, la precipitación y la evapotranspiración media en la cuenca. La dirección General de Aguas perteneciente al Ministerio de obras Públicas posee estaciones pluviométricas en las cercanías de la cuenca del río Diguillín, con las cuales se puede determinar la precipitación representativa de la cuenca, sin embargo, no posee información continua de temperaturas. Por otra parte, el departamento de Geografía de la Universidad de Delaware posee una base de datos de precipitación y temperaturas para el período 1900-2014. Esta base de datos fue utilizada en el estudio para determinar el valor de las precipitaciones y temperaturas medias mensuales.

El cálculo de la evapotranspiración potencial se realizó mediante el método de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), el cual está basado en la determinación de la evapotranspiración potencial (EP) en función de la temperatura media (T_m), con una corrección en función de los días del mes y la cantidad de horas de sol en la cuenca.

Se utilizó el método *Inverse Distance Weighted (IDW)* para determinar los valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración representativas de la cuenca estudiada. Se ponderaron las estaciones sintéticas, según el método IDW de cada una al centro geométrico de la cuenca.

METODOLOGÍA

Para obtener los caudales afluentes al embalse Zapallar, se realizó una modelación de la cuenca río Diguillín en San Lorenzo, ya que esta poseía datos fluviométricos necesarios para la calibración y validación del modelo. En la Figura 5, se observa la ubicación de la estación utilizada para la calibración del modelo y la ubicación del punto de estudio (Sitio 4, muro embalse Zapallar). También se muestra la ubicación de las estaciones sintéticas meteorológicas E1, E2, E3 y E4 utilizadas para la modelación. Para la calibración, se llevó a cabo un análisis de identificabilidad y sensibilidad mediante la herramienta MCAT. Se ejecutaron 50 mil simulaciones para identificar el rango en el cual los parámetros tienen un comportamiento razonable o realista. Para esto, se utilizó la función objetivo KGE, la cual determina el nivel de ajuste entre los valores observados y simulados. La Tabla 2 muestra los rangos de entrada y el valor óptimo de cada parámetro analizado. Los rangos de entradas deben ser representativos de la cuenca en estudio, y lo suficientemente amplios para ejecutar todas las posibles simulaciones para cada parámetro. Los valores utilizados fueron analizados previamente en otros estudios realizados con el modelo hidrológico para la zona de estudio. (Muñoz, 2010) (Zuñiga et al., 2012)

Se realizaron 50.000 simulaciones en la cuenca del río Diguillín en San Lorenzo en un período de 5 años. De estas se seleccionaron aquellos modelos con KGE mayor a 0.9, con el objetivo de calibrar en base a modelos bien comportados. El valor óptimo de cada parámetro se obtuvo seleccionando el percentil 50 de las simulaciones representadas en el análisis de sensibilidad de MCAT. La validación del modelo se realizó en un período de 5 años correlativos al período de calibración. Luego, el modelo validado se utilizó para generar la serie de caudales al embalse Zapallar, en un período de 114 años, desde el año 1900 hasta el año 2014.

Con los datos utilizados y los resultados obtenidos, se realizó una proyección de las precipitaciones, temperaturas y caudales afluentes desde el año 2015 hasta el año 2064. Esto se realizó con el objetivo de analizar las tendencias que presentarán a largo plazo las variables antes mencionadas. Finalmente,

se realizó un análisis de la oferta de caudales en un período móvil de 25 años, para caudales de 10 y 85 % de probabilidad de excedencia. Esto se realizó para cuantificar los caudales disponibles asociados a derechos permanentes y eventuales en la zona de estudio.



Figura 5: Estaciones sintéticas meteorológicas y estaciones fluviométricas de estudio

Tabla 2: Rango de parámetros correspondiente al módulo pluvial

Parámetros del modelo			
Límite	Superior	Inferior	Valor óptimo
Cmax	0.05	0.6	0.48
Hmax (mm)	200	500	345.4
D (%)	0	100	13.8
Plim	0	200	120
PORC (%)	0	100	46.5
Ck	0.05	0.8	0.63
A	0.85	3	2.5
B	0.85	2	1.5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas en los valles del centro-sur de Chile han aumentado alrededor de 0.25°C en los últimos de 30 años (Garreaud, 2011). En la Figura 6, se observa la tendencia creciente de la temperatura media anual de la cuenca. A partir de esta se estima que el aumento de la temperatura en la cuenca del embalse Zapallar en el período proyectado (2015-2064) será alrededor de $0.005^{\circ}\text{C}/\text{año}$.

Es importante destacar que la temperatura en la tierra en el siglo XX aumentó aproximadamente 0.8°C (Christensen et al., 2007). El aumento de la temperatura influirá directamente en el proceso de evapotranspiración (Figura 7). Como se puede observar la tendencia de evapotranspiración es positiva, y aumentará aproximadamente 0.01 mm/año .

En la Figura 8, se observa la tendencia negativa de las precipitaciones medias anuales corregidas en la cuenca. La tasa de disminución de las precipitaciones es de 4.46 mm/año . La precipitación promedio anual en un período de 114 años (1900-2014) es de 3483 mm . Por otra parte, la precipitación proyectada en 50 años (2015-2064) será de 3279 mm/año , es decir, la precipitación disminuirá en promedio 200 mm en menos de la mitad del período señalado anteriormente.

El aumento de la temperatura y de la evapotranspiración, sumado a la disminución de las precipitaciones se traducen en una disminución de los caudales afluentes a la cuenca del embalse Zapallar (Figura 9). El caudal medio anual en el punto de estudio disminuirá $0.09\text{ m}^3/\text{s/año}$. La disminución de caudales significa una disminución de recursos para riego, lo que traerá como consecuencia a largo plazo la disminución de hectáreas regadas con aguas provenientes del embalse Zapallar, esto podría tener consecuencias nocivas en la economía de los regantes. Sin embargo, con una buena planificación estas consecuencias pueden ser mitigadas. Una posible solución para mitigar las consecuencias que traerá la disminución de caudales, es implementar el cambio de cultivos en la zona, ya que las zonas agrícolas se están desplazando. Desde el año 2012 a la fecha las plantaciones frutícolas en la provincia de Ñuble han aumentado un 33%, estas plantaciones antes del año 2012 se concentraban mayormente en las regiones de O'Higgins y el Maule. Por otra parte, la plantación de nogales tuvo un aumento de un 300 %.

En el río Diguillín existe una cantidad determinada de derechos de agua permanentes y eventuales. La disminución de caudales afluentes al punto de estudio influirá directamente en estos. Los derechos permanentes son aquellos que facultan al titular a usar los derechos de aprovechamiento de aguas en la dotación que corresponda, en cambio, los derechos eventuales son aquellos que pueden ser utilizados en las épocas en que el caudal tenga un sobrante después de abastecer los derechos permanentes (Ministerio de Justicia, 1981). Probablemente los propietarios de derechos eventuales serán los más afectados con la disminución de caudales en el río. Es importante destacar que la Dirección de Obras Hidráulicas (propietario de los derechos de aguas del embalse Zapallar), posee derechos eventuales y discontinuos en el río Diguillín. La Figura 10 muestra los caudales disponibles para derechos permanentes y eventuales en la cuenca del embalse. Los derechos permanentes son calculados en base a la diferencia entre el caudal de 85% de probabilidad de excedencia y el caudal ecológico del río Diguillín. Por otra parte, los derechos eventuales asociados al embalse se calculan en base a la diferencia entre el caudal de 10% de probabilidad de excedencia, el caudal ecológico del río y los derechos permanentes asociados al río Diguillín. Cabe destacar que la falta de información sobre los derechos permanentes y eventuales no permitió realizar un análisis preciso de cual será realmente la cantidad de agua disponible para riego en el embalse Zapallar, en consecuencia, no se pudo calcular la cantidad real de agua disponible para riego en el período estudiado. En el mes de junio los derechos permanentes y eventuales tienen una tendencia negativa de $-0.06\text{ m}^3/\text{s/año}$ y $-0.003\text{ m}^3/\text{s/año}$ respectivamente, en Julio las tendencias negativas se repiten con una tasa de disminución de $-0.08\text{ m}^3/\text{s/año}$ y $0.24\text{ m}^3/\text{s/año}$ respectivamente. Por otra parte, en el mes de agosto la tendencia de los derechos permanentes es negativa y la de los derechos eventuales positivas, con una tasa de $-0.06\text{ m}^3/\text{s/año}$ y $0.004\text{ m}^3/\text{s/año}$ respectivamente, esta tendencia se repite en el mes de septiembre con una tasa de $-0.08\text{ m}^3/\text{s/año}$ y $0.03\text{ m}^3/\text{s/año}$ respectivamente. Esto puede deberse a que el período de

deshielo se está adelantando, por ende, las crecidas en los meses de agosto y septiembre están aumentando.

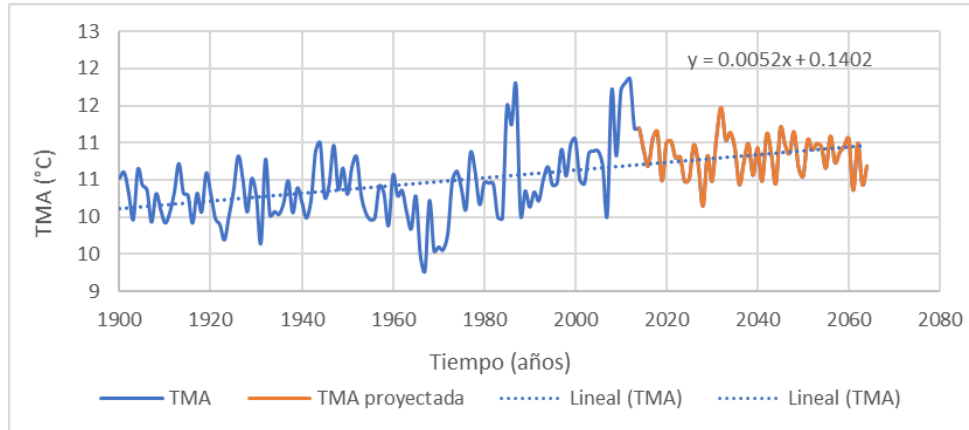


Figura 6: Temperatura media anual observada y proyectada en la cuenca del embalse Zapallar

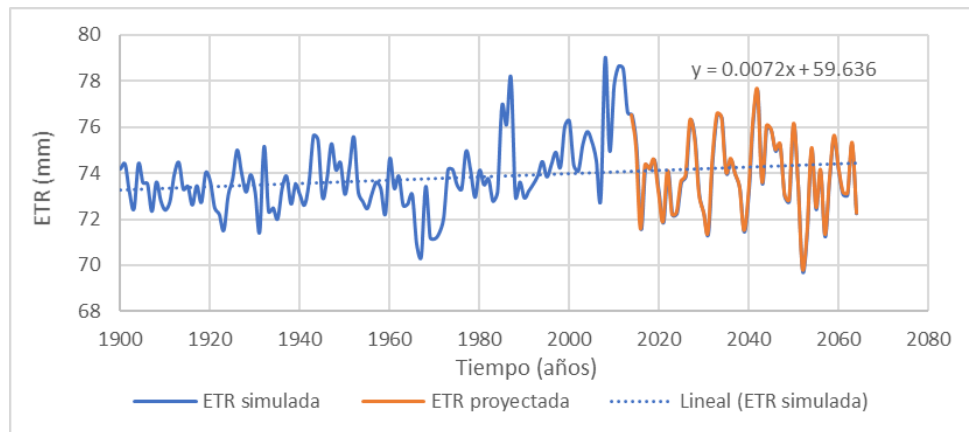


Figura 7: Evapotranspiración media anual simulada y proyectada en la cuenca del embalse Zapallar

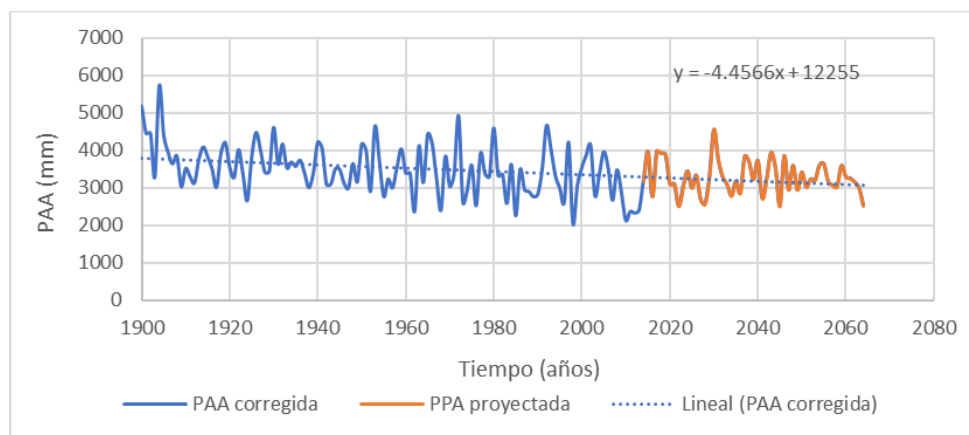


Figura 8: Precipitación media anual corregida y proyectada en la cuenca del embalse Zapallar

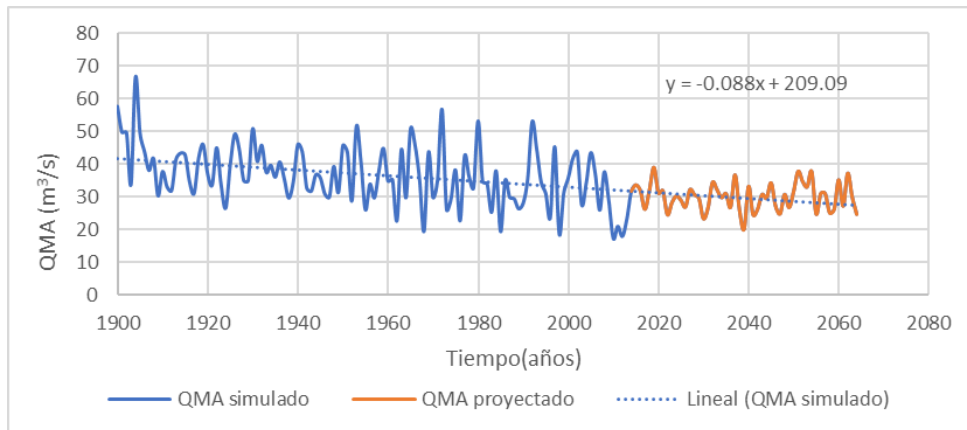


Figura 9: Caudal medio anual simulado y proyectado en la cuenca del embalse Zapallar

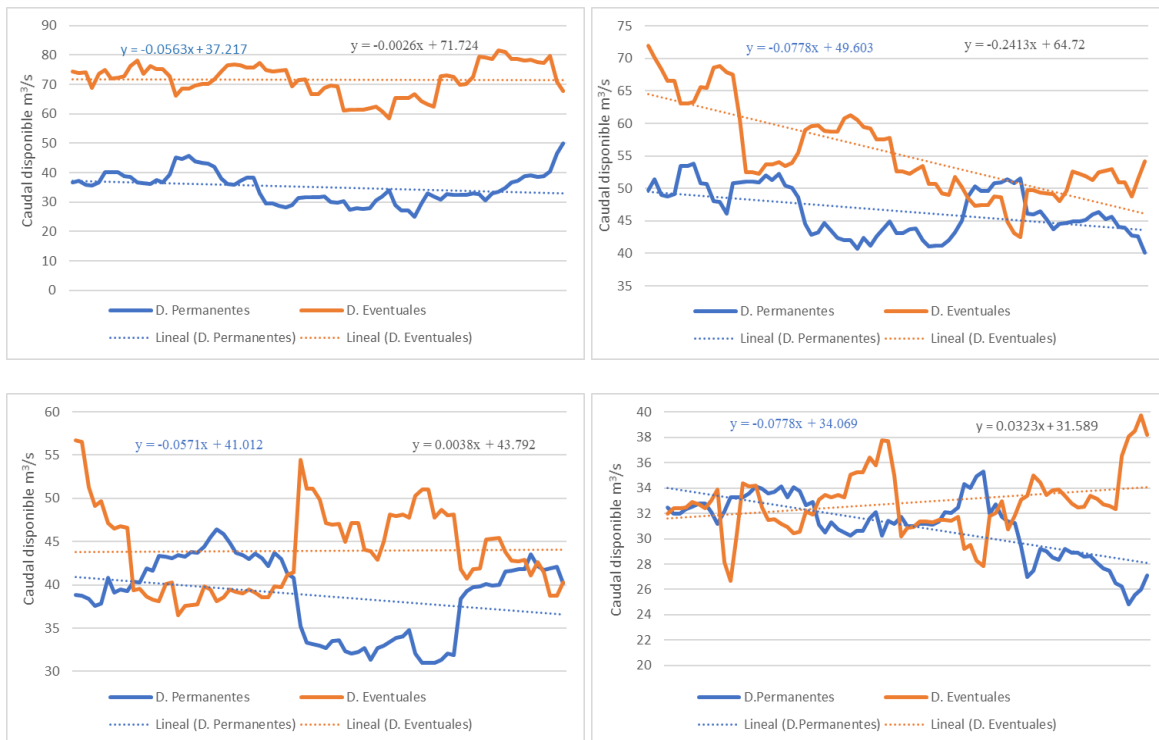


Figura 10: Derechos eventuales y permanentes en el punto de estudio para los meses Junio, Julio, agosto y septiembre.

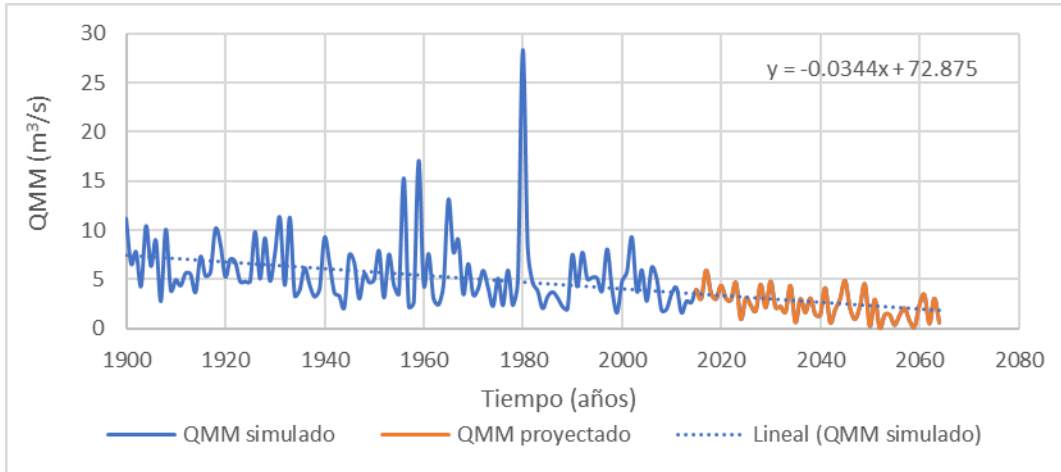


Figura 11: Caudales medios mensuales acumulados en el período enero-abril

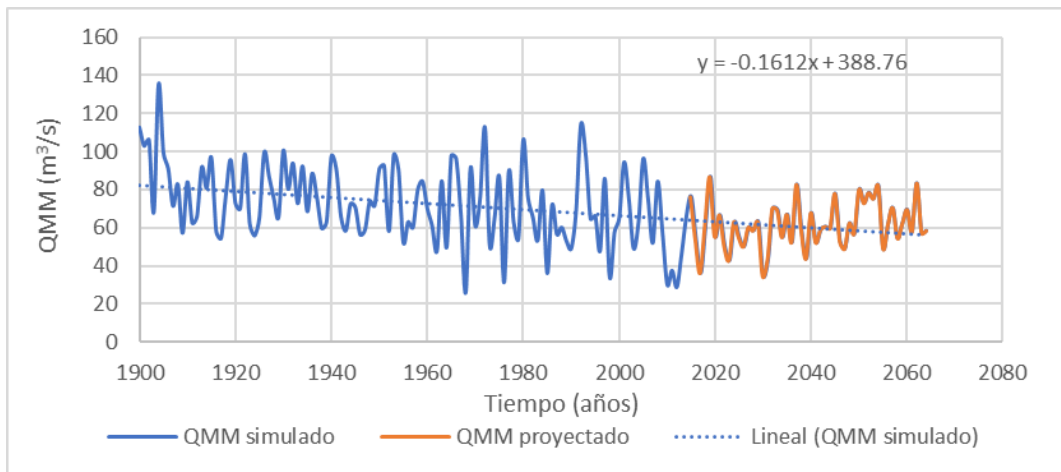


Figura 12: Caudales medios mensuales acumulados en el período mayo-agosto

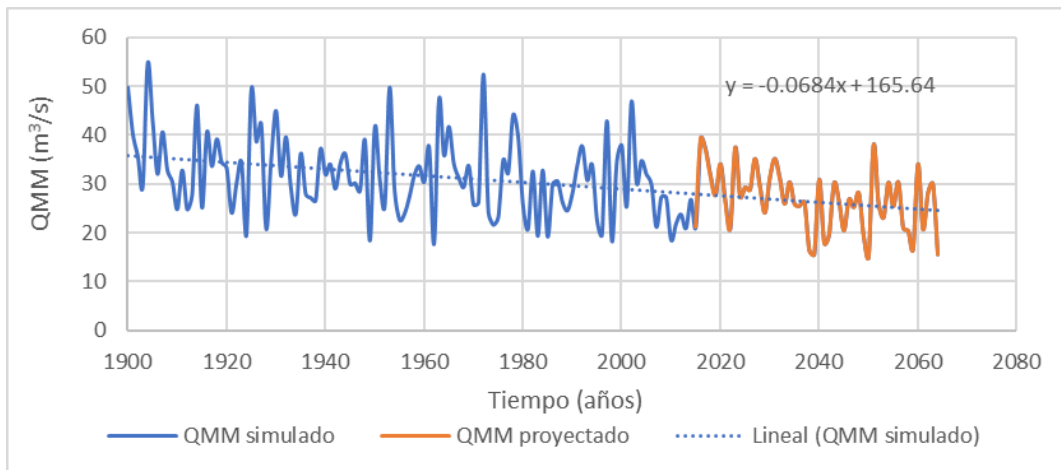


Figura 13: Caudales medios mensuales acumulados en el período septiembre-diciembre

CONCLUSIONES

A partir de la modelación de la cuenca del embalse Zapallar, se puede concluir que el caudal medio anual en el punto de estudio disminuirá aproximadamente $0.09 \text{ m}^3/\text{s/año}$. Por otro lado, la temperatura y la evapotranspiración aumentarán $0.005 \text{ }^\circ\text{C/año}$ y 0.01 mm/año respectivamente. Las precipitaciones medias disminuirán 4.46 mm/año .

Los caudales en los meses enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre disminuyeron $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente en todo el período de estudio (114 años), sin embargo, los caudales proyectados en los meses mayo-agosto aumentaron $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, esto significa que los caudales de crecidas en la temporada de invierno aumentaron con los años.

La tasa de disminución de los caudales disponibles para derechos permanentes y eventuales en los meses junio, julio, agosto y septiembre son las siguientes: $-0.06 \text{ m}^3/\text{s/año}$ y $-0.003 \text{ m}^3/\text{s/año}$, $-0.08 \text{ m}^3/\text{s/año}$ y $-0.24 \text{ m}^3/\text{s/año}$, $-0.06 \text{ m}^3/\text{s/año}$ y $0.004 \text{ m}^3/\text{s/año}$, $-0.08 \text{ m}^3/\text{s/año}$ y $0.03 \text{ m}^3/\text{s/año}$ respectivamente. La disminución de caudales disponibles puede generar conflictos por los derechos y usos del agua, es importante tomar medidas de gestión a largo plazo, para poder evitarlos.

La tasa de disminución de los caudales afluentes se traduce en una disminución de aproximadamente 2.840 hm^3 de agua al año, esto tendrá consecuencias negativas principalmente en la zona agrícola de las comunas beneficiadas con el proyecto, ya que afectará el riego de los beneficiados y por ende a la economía de los regantes. El caudal medio mensual entre los meses enero y abril (período de riego más crítico) disminuirá en promedio $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$. Una buena administración y distribución de los recursos previo al inicio de la temporada, puede mitigar las posibles pérdidas de cultivos debido a la disminución de los caudales.

La falta de información sobre los derechos permanentes y eventuales no permitió realizar un análisis preciso de cual será realmente la cantidad de agua disponible para riego en el embalse Zapallar. Es necesario tener claridad sobre estos para poder realizar una correcta distribución de los recursos.

REFERENCIAS

- Aceituno, P., Fuenzalida H, and B. Rosenbluth, 1992: Climate along the extropical West coast of South America. Pp. 61-69 en *Earth Systems responses to global change* (Eds. H. A. Mooney, B. Kronberg and E. R. Fuentes), Académico Preses
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Know RT, Laprise R, Magaña V, Mearns CG, Menendez CG, Rainsanen J, Rinke A, Sarr A, Whetton P. 2007. Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Garreaud, R. D. (2011). *Cambio Climático: Bases Físicas e impactos en Chile*.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2008). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: *Journal of Hydrology*, 80-91.
- Ministerio de Justicia. (1981). *Código de aguas*.

Muñoz. (2014).

Muñoz, E. (2010). *Desarrollo de un modelo hidrológico como herramienta de apoyo para la gestión del agua. Aplicación a la cuenca del Río Laja, Chile. Tesis de Master, Departamento de Ciencias y Técnicas del agua y del Medio Ambiente. Universidad de Cantabria, España.*

Muñoz, E. (2011). *Perfeccionamiento de un modelo hidrológico aplicación de análisis de identidicabilidad dinamico y uso de datos grillados. Tesis de Doctorado, Departamento de Recursos Hídricos. Universidad de Concepción, Chile.*

Nash and Sutcliffe. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I: a discussion of principles. *Journal of Hidrology* 10(3), 282-290.

ODEPA. (2013). *Cambio Climático Impacto en la gricultura Heladas y Sequía.*

René Zuñiga, Enrique Muñoz y José Luis Arumí. (2012). *Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín.*

Saldías, F. (2013).

Thornthwaite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.

Wagener and Kollat. (2007). *Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental models using the Monte Carlo analysis toolbox.*

Zuñiga, R., Muñoz, E., Arumí, J. (2012). Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín. *Obras y Proyectos* 11, 69-78.