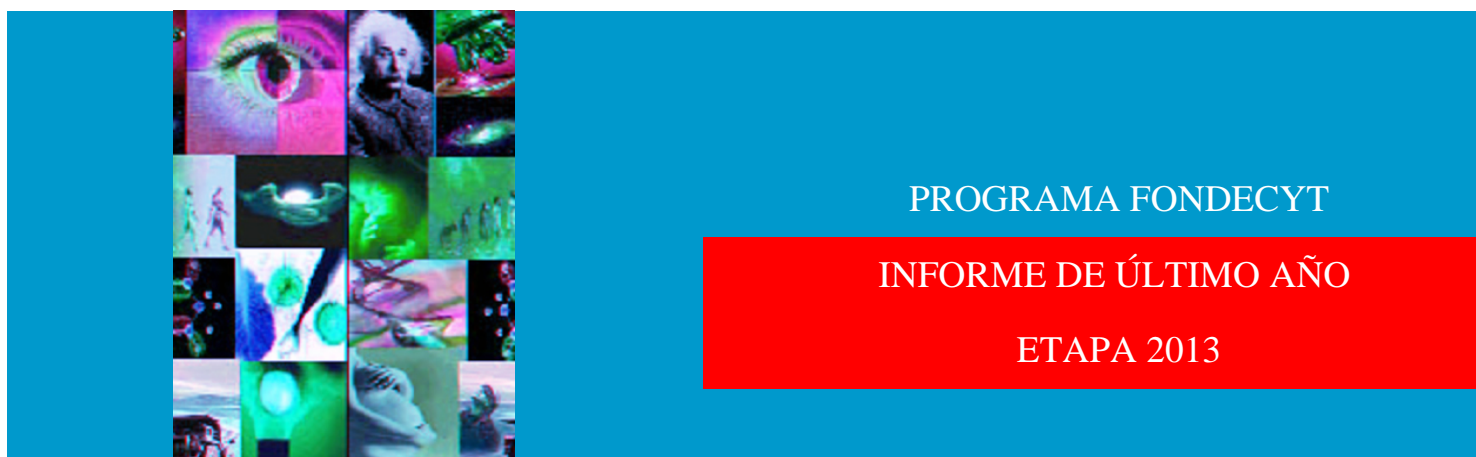




Comisión Nacional de Investigación
Científica y Tecnológica - CONICYT



COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACION CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

VERSION OFICIAL

FECHA: 15/03/2014

N° PROYECTO : 1110297

DURACIÓN : 3 años

AÑO ETAPA : 2013

TÍTULO PROYECTO : DEVELOPMENT OF ADAPTATION MEASURES TO COPE WITH THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AT THE BASIN LEVEL.

DISCIPLINA PRINCIPAL : INGENIERIA HIDRAULICA

GRUPO DE ESTUDIO : INGENIERIA 1

INVESTIGADOR(A) RESPONSABLE : SEBASTIAN VICUNA

DIRECCIÓN : Unamuno 590

COMUNA : Las Condes

CIUDAD : Santiago

REGIÓN : METROPOLITANA

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO CIENTIFICO Y TECNOLOGICO (FONDECYT)

Bernarda Morín 551, Providencia - casilla 297-V, Santiago 21

Telefono: 435 43 50 FAX 365 4435

Email: informes.fondecyt@conicyt.cl

INFORME DE ÚLTIMO AÑO

PROYECTO FONDECYT REGULAR

OBJETIVOS

Cumplimiento de los Objetivos planteados en la etapa final, o pendientes de cumplir. Recuerde que en esta sección debe referirse a objetivos desarrollados, NO listar actividades desarrolladas.

Nº	OBJETIVOS	CUMPLIMIENTO	FUNDAMENTO
1	Desarrollar una herramienta con la que se puede estimar la demanda de agua para diferentes cultivos basada en procesos fenológicos y dependiente de condiciones climáticas y que se pueda integrar dentro de un modelo de recursos hídricos de la cuenca del Limarí.	TOTAL	Se concluyó en el periodo anterior una herramienta de estrategias de riego que estima el agua demandada en base a los procesos fisiológicos, condiciones climáticas y entrega como resultado el rendimiento potencial relativo. El resultado se presenta como una matriz multicultivo con las demandas de riego, la ruta de manejo de la aplicación de agua y el rendimiento potencial relativo
2	Entender la decisión de los agricultores durante el año ante la variación hidrológica	TOTAL	A traves de entrevistas concluidas en el periodo anterior, guiadas a diferentes productores de cultivos de ciclo corto (cultivos anuales) en la zona baja de la cuenca del Rio Limari se pudo caracterizar las decisiones y sus fundamentos de cuándo, cuánto y qué cultivar ante distintos escenarios de disponibilidad hídrica.
3	Modelar estas decisiones e integrarlas en un modelo de recursos hídricos de la cuenca del Limari	PARCIAL	El desarrollo de este objetivo planteo desafíos que no fue posible de resolver en el marco del proyecto. Por una parte el desarrollo de la información de base que fuera fiel representante de la toma de decisiones en la cuenca fue un proceso complejo que abarcó prácticamente todo el proyecto. Por otra parte pese a estudiarse una serie de métodos alternativos posibles para modelar la toma de decisiones particulares en la cuenca del Rio Limari no fue posible desarrollar el método que incorporara todas esas condiciones. Pese a los importantes avances realizados es necesario desarrollar un nuevo proyecto de investigación que siga el trabajo encaminado en este punto.

4	Desarrollar un modelo de recursos hídricos de la sección inferior de la cuenca del Limarí, que permita integrar los aspectos mencionados, pero también tomar en consideración los contextos físicos (embalses y sistemas de distribución) e institucionales (derechos de agua) existentes	PARCIAL	Se ha avanzado en el desarrollo del objetivo incorporando un nuevo set de reglas de operación para representar la distribución de agua entre organizaciones de usuarios. Se ha iniciado también la implementación del modelo agronómico en los nodos de demanda. Quedó pendiente la implementación del modelo de decisiones agrícolas.
5	Desarrollar escenarios de cambio climático a través de un downscaling estadístico de modelos de circulación global.	PARCIAL	Se han estudiado diferentes métodos de downscaling estadístico tomando en cuenta las características que se espera de estos métodos (preservar la estadística histórica del lugar y las tendencias futuras brutas de las salidas de los GCMs). En base a este análisis se ha elegido un método que mejora el método utilizado en publicaciones anteriores.
6	Correr escenarios futuros de cambio en el modelo de recursos hídricos para entender las vulnerabilidades futuras de los agricultores tomando en cuenta sus potenciales reacciones a cambios en la demanda y oferta de agua pero sin incluir estrategias de adaptación.	PARCIAL	Se ha corrido un modelo hidrológico para la cuenca del Limari, con escenarios futuros de cambio climático. De estas simulaciones, se evaluó el desempeño hidrológico de los embalses y asociaciones de canalistas. Estas simulaciones, se repetirán con las series futuras obtenidas a partir del nuevo método de downscaling estadístico que se está desarrollando. Quedó pendiente incorporar las decisiones de agricultores en reacción a los cambios en oferta hidrológica.
7	Desarrollar un marco de optimización que se puede utilizar para evaluar diferentes estrategias de adaptación en la cuenca con la representación explícita de la incertidumbre del cambio climático.	TOTAL	Habiéndose decidido en etapa anterior usar un marco de simulación por sobre uno de optimización se ha generado el marco de trabajo que permite evaluar las diferentes estrategias de la cuenca.
8	Basado en lo anterior, desarrollar una estrategia para determinar las reglas de operación óptimas para el sistema.	TOTAL	Se ha desarrollado una estrategia para representar reglas de operación basada en una serie de ecuaciones matemáticas, que tomen en consideración la historia hidrológica reciente, para tomar la decisión de entrega de agua. Esto permite una constante adaptación a los cambios en el clima, lo cual le permite situarse en la realidad hidrológica cambiante, en vez de estacionaria. Esta regla no se basa en optimización, si no que en un correcto desempeño hidrológico, bajo clima cambiante.

Otro(s) aspecto(s) que Ud. considere importante(s) en la evaluación del cumplimiento de objetivos planteados en la propuesta original o en las modificaciones autorizadas por los Consejos.

--

RESULTADOS OBTENIDOS: Para cada uno de los objetivos específicos, describa o resuma los resultados. Relacione las publicaciones y /o manuscritos enviados a publicación con los objetivos específicos. En la sección Anexos incluya información adicional que considere pertinente para efectos de la evaluación. **La extensión máxima de esta sección es de 5 páginas (letra tamaño 10, Arial o Verdana).**

Objetivo 1. Desarrollar una herramienta con la que se puede estimar la demanda de agua para diferentes cultivos basada en procesos fenológicos y dependiente de condiciones climáticas y que se pueda integrar dentro de un modelo de recursos hídricos de la cuenca del Limarí.

Este objetivo fue concluido en periodo anterior.

Objetivo 2. Entender la decisión de los agricultores durante el año ante la variación hidrológica.

Este objetivo fue concluido en periodo anterior.

Objetivo 3. Modelar estas decisiones e integrarlas en un modelo de recursos hídricos de la cuenca del Limarí

Durante los dos primeros años de investigación los esfuerzos se enfocaron en identificar las condiciones básicas de la toma de decisiones de los agricultores de la cuenca del río Limarí (Objetivo 2). La identificación y creación de los hechos estilizados de la agricultura del Limarí generó productos específicos, tales como; la matriz de cultivos de la cuenca de Limarí y el manejo agrícola que se otorga a cada una, la clasificación de tipo de agricultores, la agrupación de agricultores de acuerdo a la ubicación geográfica de predios y a la asociación de riego a la que pertenecen, los periodos de decisión que enfrentan los agricultores, las variables que generan incertidumbre al momento de tomar las decisiones y los momentos de decisión donde aparece.

Con lo antes aprendido se dio pie a la selección de modelos que representaran la toma de decisiones previamente identificada y la realidad agrícola de la cuenca. Inicialmente se propuso modelar las decisiones de los agricultores con un enfoque econométrico (Ej. Müller et al, 2011), debido a su eficiencia para representar el uso de la tierra y las decisiones ligadas, sin embargo este tipo de modelación no corresponde bien a la escala espacial del proyecto, ya que los modelos econométricos de uso de recursos agrarios regionales están sujetos a un nivel de agregación explicable por la escasez de datos disponibles, y esta agregación enmascara diferencias transversales entre regiones (Howitt, 1994). Es decir, la escasez de datos de la zona impide realizar estimaciones econométricas robustas de los parámetros de interés y además impide llegar a un nivel de agregación tal que se puedan representar los nodos especificados por el modelo hidrológico. Por lo antes mencionado es que se propuso utilizar modelos de programación ya que estos representan ventajas importantes al momento de llevarlos al contexto de la cuenca del Rio Limarí, ya que pueden generarse utilizando conjunto mínimos de datos, mostrar explícitamente como utilizar los recursos y el efecto de las restricciones medio ambientales (Howitt, 1995). A pesar de ser el tipo de modelación que cubría las necesidades del proyecto el problema de la linealidad en los factores de producción, y más importante aún, el no reflejar cómo es que la incertidumbre se presenta a distintos momentos de decisión llevo a considerar la programación estocástica discreta. Una de las herramientas concretamente consideradas fue el modelo SWAP desarrollado por el profesor Richard Howitt para representar la decisión de agricultores en el estado de California (Howitt et al, 2012). Sin embargo, a través de una colaboración directa con el profesor Howitt el equipo de investigación pudo percatarse que esta solución tampoco iba a satisfacer las necesidades del proyecto por dos razones específicas: el modelo SWAP no considera los efectos económicos del riego deficitario ni la posibilidad de establecer un mercado de agua a la escala que sucede en la cuenca del Limari.

Finalmente se ha decidido que la mejor conceptualización para resolver el problema de la toma de decisiones en la cuenca del Limari considerar elementos del modelo desarrollado por Calatrava y Garrido (2005) el cual modela la participación del mercado de agua bajo incertidumbre en conjunto con la idea de utilizar programación matemática positiva como vía de calibración del modelo estocástico discreto de dos etapas como fuera planteado por Marques et al (2005).

Tomando en cuenta que tanto el proceso de generación de información de base y búsqueda de la herramienta adecuada fueron de una complejidad superior a la esperada no se pudo concluir este objetivo en cuanto a su implementación quedando cerrado el objetivo en la formulación matemática que se presenta en el Anexo 1. Se espera concluir este trabajo a través de un proyecto de investigación que continúe los avances realizados. La falta de implementación de este objetivo tiene consecuencias en la realización de los Objetivos 4 y 6 del proyecto.

Objetivo 4. Desarrollar un modelo de recursos hídricos de la sección inferior de la cuenca del Limarí, que permita integrar los aspectos mencionados, pero también tomar en consideración los contextos físicos (embalses y sistemas de distribución) e institucionales (derechos de agua) existentes

Se ha avanzado en dos puntos concretos en el desarrollo de este objetivo. Lo primero está relacionado con una mejora en la regla de distribución de agua desde los embalses a las distintas Asociaciones de Canalistas y el segundo se asocia a la implementación del modelo Plant Growth Model (PGM) en los nodos de consumo agrícola en la parte baja de la cuenca.

Asignación de agua del Sistema Paloma

El propósito de esta actividad fue incorporar en el Modelo WEAP-Limarí un conjunto de algoritmos que representaran los criterios de asignación de agua del Sistema Paloma.

En una primera etapa se recopilaron las reglas y se definió un criterio que permitiera incorporarlas en los *Key Assumption* del modelo. Como resultado se generó una estructura en la que se consideró la oferta, la demanda y el balance hídrico según se menciona a continuación:

- "Oferta Hídrica Generada por Reglas Operacionales" que se divide en las asignaciones provisionales de "mayo" y "octubre" con lo cual se puede establecer la asignación de la temporada completa, "Oferta Hídrica Total", desde el nivel de las "Macro Reglas" (Embalses) al de las "Micro Reglas", obteniendo así la dotación hasta nivel predial.
- "Demanda Hídrica Requerida", obteniendo la demanda a nivel de nodos, luego por canales y por OU, hasta generar la demanda de la temporada completa.
- "Balance Hídrico Total", que establece la vinculación de la oferta con la demanda y genera de este modo las "Reservas", "Sobregiros" y el "Balance Restrictivo".

Como segunda etapa se vinculó, bajo la forma de una "cuenta corriente", la topología del modelo (canales matrices) con los resultados del balance. Así los consumos se ven acotados por el balance del periodo previo y la capacidad de conducción de la red de distribución. Parte de los resultados de la generación de este modelo de asignación, consisten en valores control en cada una de las etapas de la toma de decisiones, en la asignación hídrica considerando las reglas operacionales. Un resultado importante corresponde a la simulación de los volúmenes almacenados mensualmente en los embalses de la cuenca. A partir de esto fue posible contrastar los volúmenes reales observados, incluyendo el análisis de la probabilidad de excedencia ($P_{exc} 85\%$), el cual mostró que la operación real de los embalses presentó una menor seguridad de riego que la que el modelo (sin sobregiros ni sub-consumos).

Implementación de nuevo modelo agronómico.

Avanzando con las necesidades del Objetivo 4 se ha empezado a implementar el modelo agronómico Plant Growth Model (PGM) a los catchments (nodos de demanda) agrícolas de la sección inferior del modelo WEAP-Limarí. Este modelo simula el desarrollo fenológico de cultivos anuales, pastizales, frutales deciduos y perennes a través del desarrollo de biomasa a nivel diario, el cual está restringido por factores de estrés de temperatura e hídrico (ver Anexo 2 con una mayor descripción del modelo y su implementación). PGM está incorporado de manera natural a WEAP, por lo que la interacción entre los catchments agrícolas y el modelo hidrológico se efectúa de manera interna, considerando todos los flujos de agua existentes en estos (precipitaciones y riegos). Provee de esta manera la posibilidad de incorporar de manera explícita las condiciones agronómicas de riego y generar como resultados el rendimiento de cultivos bajo distintas condiciones climáticas y de estrés hídrico y los caudales de retorno desde la zona agrícola de vuelta hacia el cauce del río o los acuíferos.

Ya se ha finalizado la calibración de los principales cultivos presentes en la cuenca, de acuerdo a su fenología, rendimientos y demandas de agua por temporada nivel de hectárea considerando

una disponibilidad hídrica completa para el desarrollo de estos. Estos parámetros de calibración ya han sido implementados en WEAP. Solamente queda por terminar la calibración de los caudales de retorno y su efecto en las condiciones hidrológicas a la salida de la cuenca y en los acuíferos.

Para terminar el Objetivo 4 es necesario concluir el modelo de decisiones que cada inconcluso en el desarrollo del Objetivo 3 del proyecto.

Objetivo 5. Desarrollar escenarios de cambio climático a través de un downscaling estadístico de modelos de circulación global.

Los resultados obtenidos de los Modelos de Clima Global (GCM por sus siglas en inglés) representan las condiciones climáticas a gran escala (orden de 200 kms). Para poder representar el clima local (ej. precipitaciones y temperatura) es necesario desarrollar un proceso de bajada de escala llamado downscaling. Para generar los datos climáticos al nivel de la cuenca del Rio Limari se ha escogido la técnica del downscaling estadístico que consiste en realizar el escalamiento de la información de los GCM, por medio de herramientas estadísticas, para obtener series de clima que simulen correctamente el clima local tanto en sus condiciones promedio, variabilidad y estacionalidad dentro del año. El método de downscaling estadístico desarrollado en Meza et al. (accepted) es efectivo en representar el clima local, sin embargo, el método (basado en parte en el método BCSD de Wood et al, 2004) no preserva las tendencias lineales, porcentaje de cambio, entre el período de control y futuro, proyectadas de las salidas brutas de los GCM.

En este proyecto se han estudiado una serie de métodos alternativos de downscaling estadístico que pretenden no solo representar las condiciones históricas sino que también preservar la tendencia lineal proyectada por los GCMs brutos. En el Anexo 3 se presentan una descripción y un análisis comparativo de estas alternativas.

La herramienta de downscaling estadístico finalmente seleccionado consiste en un generador aleatorio de datos climáticos futuros a nivel anual con propiedades estadísticas que evolucionan en el tiempo de acuerdo a la tendencia proyectada por las salidas brutas de los GCMs. Algunas ventajas de esta herramienta, son su mayor flexibilidad, preservar la variabilidad interanual climatológica del lugar, tanto en el período de control, como el futuro y una preservación de las tendencias futuras. La relevancia de la variabilidad interanual en esta región queda de manifiesta en el trabajo de Meza (2013) realizado en el marco de este proyecto de investigación. El nuevo proceso de downscaling estadístico, también usa el re-escalamiento temporal, para pasar a escalas temporales menores, las cuales son necesarias para correr los modelos hidrológicos y agronómicos a la escala temporal adecuada.

Objetivo 6. Correr escenarios futuros de cambio en el modelo de recursos hídricos para entender las vulnerabilidades futuras de los agricultores tomando en cuenta sus potenciales reacciones a cambios en la demanda y oferta de agua pero sin incluir estrategias de adaptación.

Utilizando el modelo hidrológico y de recursos hídricos desarrollado en el marco del Objetivo 4 del proyecto se han realizado simulaciones para la cuenca del Limari considerando distintos escenarios de cambio climático. Estos resultados, se han obtenido, con el downscaling estadístico desarrollado en Meza et al (accepted) explicado en el Objetivo 5. Queda pendiente repetir dichos resultados, con el método de downscaling a desarrollar.

Con los resultados obtenidos se ha evaluado el desempeño hídrico a través de tres índices, confiabilidad, resiliencia y vulnerabilidad. La confiabilidad consiste en que porcentaje del tiempo que se está cumpliendo con el umbral de entrega de agua desde un embalse o a una Asociación de Canalistas determinado. Se ha definido el umbral de entrega como el 85% de la entrega histórica modelada. La resiliencia representa, una vez que el sistema ha fallado, en la probabilidad de que este salga de la falla en un periodo. Por último la vulnerabilidad, pretende medir el daño causado por dicha falla, en este caso medido por el déficit de agua durante la falla. Típicamente la operación de sistemas de cuenca se evalúa con el índice de confiabilidad, sin embargo, es relevante tener los otros en cuenta, ya que para un correcto manejo del recurso hídrico, es necesario un uso sustentable en el tiempo. Para lo cual es necesario concentrarse en el uso de agua a lo largo del tiempo, escenario en el que son muy útiles dichos índices.

Una explicación de las métricas utilizadas y los resultados obtenidos se presenta en el Anexo 4. Se puede apreciar un deterioro en general de las condiciones de desempeño hídrico en la cuenca en escenarios futuros. Es importante destacar que no se ha incluido aun en el modelo la capacidad de reacción que puedan tener los agricultores a cambios en la oferta de agua. Se espera poder incorporar esto cuando se complete el Objetivo 3 del proyecto.

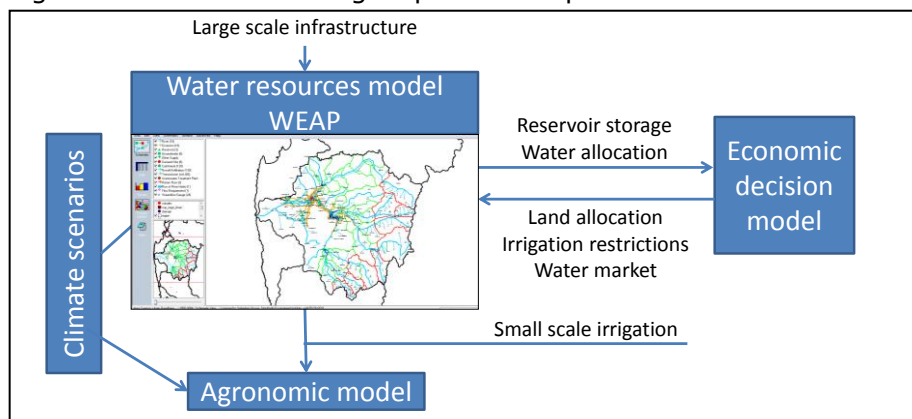
Objetivo 7. Desarrollar un marco de optimización que se puede utilizar para evaluar diferentes estrategias de adaptación en la cuenca con la representación explícita de la incertidumbre del cambio climático.

Concluyendo el análisis retrospectivo de la evolución de la toma de decisiones en la cuenca del Limari (clave para la generación del marco de adaptación) se prepararon dos manuscritos enviados a la revista Water International (Vicuna et al, in review) y HESS-Hydrology and Earth System Sciences (Scott et al, accepted). Estos trabajos retratan el clave rol que tiene la evolución de la superficie bajo riego para determinar las condiciones de vulnerabilidad de la cuenca bajo escenarios de variabilidad y cambio climático. Como consecuencia de estos análisis se ha finalizado la integración de la toma de decisiones en la cuenca del Limari en un marco que tome en cuenta las diferentes escalas temporales y espaciales en la cuenca. Este marco presentado en Vicuna et al (2013) graficado en la Figura 1 está compuesto de los siguientes elementos claves:

- En abril, el agua almacenada en los embalses se asigna a todas las Organizaciones de Usuarios y, posteriormente, a los agricultores que pueden decidir en ese momento cuantas hectáreas de cultivos de invierno producir y la cantidad de suministro de agua a los cultivos permanentes. En septiembre (después de la temporada de lluvias de invierno) se realiza una segunda asignación. Los agricultores en ese momento deciden las hectáreas de cultivos de verano, como continuar el riego de cultivos permanentes y la participación en el mercado del agua, ya sea como compradores y vendedores.
- A escalas temporales más grandes (interanuales, decadales) se toman decisiones sobre la infraestructura de riego en las Organizaciones de Usuarios y a nivel de la cuenca así como también las reglas de operación de embalses tomando en cuenta los escenarios climáticos y la incertidumbre asociado a ellos.

Para poder representar estas decisiones se genera una relación entre diferentes tipos de modelos y metodologías. La piedra angular de este enfoque es el modelo hidrológico y de recursos hídricos (modelo WEAP-PGM Limari) capaz de reproducir las características hidrológicas a gran escala de la cuenca. El rendimiento del cultivo en función de riego (derivado de un modelo CropSyst) en conjunto con las restricciones de agua para riego se utilizan en el modelo de decisiones a nivel de agricultores conectado con WEAP. Este modelo se calibra usando el uso de tierra histórico derivado de la combinación de fuentes que van desde diferentes tipos de datos censales, más imágenes satelitales.

Figura 1. Marco metodológico para la adaptación en la cuenca del Rio Limari



Vicuna et al (2013)

Objetivo 8. Basado en lo anterior, desarrollar una estrategia para determinar las reglas de operación óptimas para el sistema.

Esta parte del proyecto se relaciona con las reglas de operación del Sistema de Embalses de la cuenca, llamado el Sistema Paloma. La operación de este Sistema se basa en la actualidad en un

set de reglas que fue derivado en la década de los 70s al momento en que se terminaba la construcción del Embalse Paloma que concentra el 75% de la capacidad de almacenamiento de la cuenca. La manera en que se derivaron estas reglas de operación utiliza aspectos metodológicos clásicos de la fecha que tratan de optimizar la entrega de agua tomando en cuenta las condiciones climáticas imperantes en la cuenca. En el caso particular del Sistema Paloma se utilizaron las condiciones climáticas de 30 años anteriores a la entrada en operación del Sistema. Al haber transcurrido ya más de 40 años desde la concepción original de estas reglas de operación existe la noción de que estas sean modificadas tomando en cuenta la historia climática más reciente.

Sin embargo, tomando en cuenta la gran (e irreducible) incertidumbre asociada a los escenarios de cambio climático se concluye que esta estrategia es inconveniente. La estrategia sugerida en este trabajo (detalles en Anexo 5) es operar el Sistema Paloma bajo reglas que presenten una constante adaptación al clima, repartiéndose el agua en función de la climatológica reciente al momento de tomar la decisión. Lo que hacen estas reglas, es plantearse en una ventana de años futuros, para los cuales el sistema de embalses tiene que funcionar. Luego a través de funciones estadísticas y una versión reducida del modelo hidrológico se estima el agua futura que debiese entrar al embalse. En función de distintos criterios de riesgos asumidos en la toma de decisión de los agricultores se decide el agua que va a ser entregada o embalsada. Este proceso se repite cada año cambiando la historia climatológica en función del escenario de cambio climático que se toma en cuenta. Lo novedoso de esta metodología es que permite una adaptación a lo largo del tiempo, dado que el agua a repartir depende directamente del agua que ha entrado al sistema los últimos años. Por lo que si a futuro el escenario es más o menos húmedo, esta metodología permite una constante adaptación función del clima esperado.

Referencias

- Calatrava, Javier, and Alberto Garrido. "Modelling water markets under uncertain water supply." *European Review of Agricultural Economics* 32.2 (2005): 119-142.
- Howitt, R. E. (1994). Nuevos métodos de modelización económica para medir la interacción entre agricultura y medio ambiente. *Revista de Estudios Agro Sociales*.
- Howitt, Richard E. "Positive mathematical programming." *American Journal of Agricultural Economics* 77.2 (1995): 329-342.
- Howitt, R.E., Medellín-Azuara, J., MacEwan, D., Lund, J.R., 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modeling & Software* 38 244-258.
- Marques, Guilherme F., Jay R. Lund, and Richard E. Howitt. "Modeling irrigated agricultural production and water use decisions under water supply uncertainty." *Water resources research* 41.8 (2005).
- Meza, F. J., Vicuña, S., Jelinek, M., Bustos, E., Bonelli, S. (20XX). 'Assessing water demands and coverage sensitivity to climate change in the urban and rural sectors in Central Chile', *Journal of Water and Climate Change*. Accepted.
- Meza, F. J. (2013). 'Recent trends and ENSO influences on droughts in Northern Chile: An application of the Standard Precipitation Evapotranspiration Index', *Weather and Climate Extremes*. 2013. 1: 51-58.
- Müller, C., Cramer, W., Hare, W. L., & Lotze-Campen, H. (2011). Climate change risks for African agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), 4313-4315.
- Scott, C. A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F., and Varela-Ortega, C.: Irrigation efficiency and water-policy implications for river-basin resilience, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10, 9943-9965, doi:10.5194/hessd-10-9943-2013, 2013.
- Wood A.W., Leung L.R., Sridhar V., Lettenmaier D.P. 2004 Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs, *Climatic Change* 62: 189-216.
- Vicuña, S., Melo, O., Meza, F., Alvarez, P., Maureira, F., Sanchez, A., Tapia, A., Cortes, M., Dale, L., An integrated framework to assess adaptation options to climate change impacts in an irrigated basin in Central North Chile, Abstract H41K-1389 presented at 2013 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 9-13 Dec.
- Vicuña, S., Alvarez, P., Melo, O., Dale, L., and Meza, F., Irrigation infrastructure development in the Limarí basin in Central Chile: implications for adaptation to climate variability and climate change. *Water International*, In review.

PRODUCTOS

ARTÍCULOS

Para trabajos en Prensa/ Aceptados/Enviados adjunte copia de carta de aceptación o de recepción.

Nº : 1
Autor (a)(es/as) : Vicuña, S.; McPhee, J.; Garreaud, R.D.
Nombre Completo de la Revista : Journal of Water Resources Planning and Management
Título (Idioma original) : Agriculture vulnerability to climate change in a snowmelt driven basin in semiarid Chile
Indexación : ISI
ISSN : 1943-5452
Año :
Vol. :
Nº :
Páginas :
Estado de la publicación a la fecha : Aceptada
Otras Fuentes de financiamiento, si las hay :

No hay otras fuentes de financiamiento para el autor principal y PI del proyecto FONDECYT.

Envía documento en papel : no

Archivo(s) Asociado(s) al artículo :

Vicuna_et_al_20XX.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54092/1/

JWRPM_Acceptance_letter.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54092/2/

Nº : 2
Autor (a)(es/as) : Kiparsky, M.; Milman, A.; Vicuña, S.
Nombre Completo de la Revista : Annual Review of Environment and Resources
Título (Idioma original) : Climate and Water: Knowledge of Impacts to Action on Adaptation.
Indexación : ISI
ISSN :
Año : 2012
Vol. : 37
Nº : 1
Páginas : 163-194
Estado de la publicación a la fecha : Publicada
Otras Fuentes de financiamiento, si las hay :

Envía documento en papel : no

Archivo(s) Asociado(s) al artículo :

Kiparsky_et_al_2012.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54093/1/

Acceptance_letter_Kiparsky_et_al.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54093/2/

N° : 3
Autor (a)(es/as) : Meza, F.
Nombre Completo de la Revista : Weather and Climate Extremes
Título (Idioma original) : Recent trends and ENSO influences on droughts in Northern Chile: An application of the Standard Precipitation Evapotranspiration Index
Indexación : ISI
ISSN : 2212-0947
Año : 2013
Vol. : 1
N° :
Páginas : 51-58
Estado de la publicación a la fecha : Publicada
Otras Fuentes de financiamiento, si las hay :

Envía documento en papel : no
Archivo(s) Asociado(s) al artículo :
WACE2013_FM.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54094/1/

N° : 4
Autor (a)(es/as) : Scott, C. A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F., and Varela-Ortega, C.
Nombre Completo de la Revista : Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.
Título (Idioma original) : Irrigation efficiency and water-policy implications for river-basin resilience
Indexación : ISI
ISSN : eISSN 1812-2116
Año : 2013
Vol. :
N° :
Páginas :
Estado de la publicación a la fecha : Aceptada
Otras Fuentes de financiamiento, si las hay :

Envía documento en papel : no
Archivo(s) Asociado(s) al artículo :
Scott_et_al_Irrigation_Efficiency_HESS_2013.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54095/1/

Acceptance_letter_Scott_et_al.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54095/2/

N° : 5
Autor (a)(es/as) : Vicuña, S.; Alvarez, P.; Melo, O.; Dale, L. and Meza, F.

Nombre Completo de la Revista : Water International
Título (Idioma original) : Irrigation infrastructure development in the Limarí basin in Central Chile: implications for adaptation to climate variability and climate change
Indexación : ISI
ISSN : 0250-8060
Año :
Vol. :
Nº :
Páginas :
Estado de la publicación a la fecha : Enviada
Otras Fuentes de financiamiento, si las hay :

Envía documento en papel : no

Archivo(s) Asociado(s) al artículo :

Vicuna_et_al_(in_review).pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_articulos/descarga/12628913/1110297/2013/54096/1/

OTRAS PUBLICACIONES

Sin información ingresada.

CONGRESOS

Nº : 1

Autor (a)(es/as) : Vicuna, S; Alvarez, P; Melo, O; Dale, L; Meza, F.J.

Título (Idioma original) : Infrastructure development and agricultural exposure to climate variability and change: lessons from the Limarí basin in Central Chile

Nombre del Congreso : AGU Fall Meeting

País : ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

Ciudad : San Francisco

Fecha Inicio : 03/12/2012

Fecha Término : 07/12/2012

Nombre Publicación :

Año :

Vol. :

Nº :

Páginas :

Envía documento en papel : no

Archivo Asociado :

S_Vicuna_AGU_2012_Abstract_and_presentation.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_congresos/descarga/12628913/1110297/2013/84677/1/

N° : 2
Autor (a)(es/as) : Meza, FJ, Maureira, F, Stockle, C
Título (Idioma original) : Optimizing irrigation management using CropSyst: Solving water allocation problems under Climate Change scenarios
Nombre del Congreso : AGU Fall Meeting
País : ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
Ciudad : San Francisco
Fecha Inicio : 03/12/2012
Fecha Término : 07/12/2012
Nombre Publicación :
Año :
Vol. :
N° :
Páginas :
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
AGU2012_Meza_Maureira_Abstract_Poster.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_congresos/descarga/12628913/1110297/2013/84678/1/

N° : 3
Autor (a)(es/as) : Vicuña, S.; Melo, O.; Meza, F.; Alvarez, P.; Maureira, F.; Sanchez, A.; Tapia, A.; Cortes, M.; Dale, L.
Título (Idioma original) : An integrated framework to assess adaptation options to climate change impacts in an irrigated basin in Central North Chile
Nombre del Congreso : AGU Fall Meeting
País : ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
Ciudad : San Francisco
Fecha Inicio : 09/12/2013
Fecha Término : 11/12/2013
Nombre Publicación :
Año :
Vol. :
N° :
Páginas :
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
Abstract_Central_-_Payment_page.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_congresos/descarga/12628913/1110297/2013/84679/1/

TESIS/MEMORIAS

N° : 1

Título de Tesis : Operatividad del Sistema Paloma en base a Criterios de Asignación Hídrica desde Embalses a Zonas de Riego, Aplicado al Modelo Weap-Limarí.
Nombre y Apellidos del(de la) Alumno(a) : Christopher Nelson Vivanco Castillo
Nombre y Apellidos del(de la) Tutor(a) : Pablo Álvarez Latorre
Título Grado : Pregrado
Institución : Universidad de La Serena
País : CHILE
Ciudad : Ovalle
Estado de Tesis : En Ejecución
Fecha Inicio : 01/08/2011
Fecha Término : 27/03/2014
Envía documento en papel : si
Archivo Asociado :

Nº : 2
Título de Tesis : Simulación de la demanda hídrica de cultivos actual y futura ante escenarios de cambio climático en la cuenca del Limarí, Región de Coquimbo, Chile
Nombre y Apellidos del(de la) Alumno(a) : Fidel Maureira Sotomayor
Nombre y Apellidos del(de la) Tutor(a) : Francisco Meza
Título Grado : Magister
Institución : Pontificia Universidad Católica de Chile
País : CHILE
Ciudad : Santiago
Estado de Tesis : Terminada
Fecha Inicio : 25/01/2012
Fecha Término : 01/06/2013
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
TESIS_MSc_F_MAUREIRA.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_tesis_memorias/descarga/12628913/1110297/2013/44858/1/

Nº : 3
Título de Tesis : SISTEMATIZACIÓN DE DATOS DE USO DE SUELO AGRÍCOLA EN LAS ÁREAS DE RIEGO DE LA CUENCA DEL LIMARÍ, CHILE: ANÁLISIS HISTÓRICO DE BASE ESTADÍSTICA
Nombre y Apellidos del(de la) Alumno(a) : Aldo Andrés Tapia Araya
Nombre y Apellidos del(de la) Tutor(a) : Pablo Alvarez
Título Grado : Pregrado
Institución : Universida de La Serena
País : CHILE
Ciudad : Ovalle
Estado de Tesis : En Ejecución
Fecha Inicio : 05/03/2013

Fecha Término : 01/05/2014
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
RESUMEN_DE_ESTADO_DE_AVANCE_DE_TESIS__A_Tapia.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_tesis_memorias/descarga/12628913/1110297/2013/44859/1/

Nº : 4
Título de Tesis : MODELO DE TOMA DE DECISIONES EN LA AGRICULTURA DE RIEGO ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS
Nombre y Apellidos del(de la) Alumno(a) : Alynn Sánchez Mesa
Nombre y Apellidos del(de la) Tutor(a) : Oscar Melo
Título Grado : Doctorado
Institución : Pontificia Universidad Católica de Chile
País : CHILE
Ciudad : Santiago
Estado de Tesis : En Ejecución
Fecha Inicio : 01/06/2011
Fecha Término : 01/12/2014
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
RESUMEN_AVANCE_TESIS_A_Sanchez.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_tesis_memorias/descarga/12628913/1110297/2013/44860/1/

Nº : 5
Título de Tesis : Metodología para generar reglas de operación de embalses flexible, las que permiten la adaptación en el tiempo, frente al cambio climático
Nombre y Apellidos del(de la) Alumno(a) : Cristian Chadwick
Nombre y Apellidos del(de la) Tutor(a) : Jorge Gironas
Título Grado : Magister
Institución : Pontificia Universidad Católica de Chile
País : CHILE
Ciudad : santiago
Estado de Tesis : En Ejecución
Fecha Inicio : 01/08/2013
Fecha Término : 31/07/2014
Envía documento en papel : no
Archivo Asociado :
RESUMEN_DE_ESTADO_DE_AVANCE_DE_TESIS_C_CHADWICK.pdf
http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f4_tesis_memorias/descarga/12628913/1110297/2013/44861/1/

ANEXOS

Nº : 1

Archivo Asociado : Anexo_1_Objetivo_3.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f5_anexos/descarga/12628913/1110297/2013/50334/

Nº : 2

Archivo Asociado : Anexo_2_Objetivo_4.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f5_anexos/descarga/12628913/1110297/2013/50335/

Nº : 3

Archivo Asociado : Anexo_3_Objetivo_5.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f5_anexos/descarga/12628913/1110297/2013/50337/

Nº : 4

Archivo Asociado : Anexo_4_Objetivo_6.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f5_anexos/descarga/12628913/1110297/2013/50339/

Nº : 5

Archivo Asociado : Anexo_5_Objetivo_8.pdf

http://sial.fondecyt.cl/index.php/investigador/f5_anexos/descarga/12628913/1110297/2013/50341/

A continuación se detallan los anexos físicos/papel que no se incluyen en el informe en formato PDF.

Se entregará físicamente la tesis de pregrado el alumno Christopher Vivanco de la Universidad de La Serena.
