



## Informe Técnico de Avance

Nombre del proyecto	Diseño de un sistema de gestión hídrica para la Junta de Vigilancia de Río Elqui y sus Afluentes, para mejora la eficiencia en el uso del recurso hídrico bajo escenarios de cambio climático
Código del proyecto	PYT - 2017 - 0215
Nº de informe	1
Período informado	desde el 1 de diciembre 2017 hasta el 31 de mayo 2018
Fecha de entrega	9 junio de 2018

## CONTENIDO

## 1 ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	Universidad de La Serena
Nombre(s) Asociado(s):	Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes
Coordinador del Proyecto:	Pablo Álvarez Latorre
Regiones de ejecución:	Región de Coquimbo
Fecha de inicio iniciativa:	1 de diciembre de 2017
Fecha término Iniciativa:	30 de noviembre de 2019

## 2 EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto		\$ xxxxxxxxxxxx	0,0% xxxxxxxxxxxx
Aporte total FIA		\$	0,0%
Aporte Contraparte	Pecuniario	\$	0,0%
	No Pecuniario	\$	0,0%
	Total	\$	0,0%

Acumulados a la Fecha		Monto (\$)
Aportes FIA del proyecto		
1. Aportes entregados	Primer aporte	XXXXXXXXXXXXXX
	Segundo aporte	
	Tercer aporte	
	n aportes	
2. Total de aportes FIA entregados (suma N°1)		
3. Total de aportes FIA gastados		
4. Saldo real disponible (N°2 – N°3) de aportes FIA		
Aportes Contraparte del proyecto		
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario	
	No Pecuniario	
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario	
	No Pecuniario	
3. Saldo real disponible (N°1 – N°2) de aportes Contraparte	Pecuniario	
	No Pecuniario	

## **2.1 Saldo real disponible en el proyecto**

SI	XX
NO	XX

## **2.2 Diferencia entre el saldo real disponible y lo ingresado en el SDGL**

## **3 RESUMEN DEL PERIODO**

## **4 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO**

Implementar un sistema de gestión hídrica en el área de la JVRE, mediante un modelo hidrológico y de gestión; propuesta de una regla de gestión; y desarrollo de una interfaz de soporte de decisiones.

## **5 OBJETIVOS ESPECIFICOS (OE)**

1. Identificar, caracterizar y parametrizar aquellos componentes que describan la regla operacional vigente de asignación de los recursos hídricos de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes.
2. Proponer ajustes a la regla operacional vigente a partir del modelamiento hidrológico de distintos escenarios hidro-climáticos en la zona de estudio.
3. Diseñar un modelo hidrológico base en función de los componentes utilizados en la regla operacional de asignación de recursos hídricos de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes.
4. Diseñar e implementar una plataforma de interfaz entre el usuario y el modelo de gestión hídrica.
5. Desarrollar un programa de transferencia y difusión con los resultados en el desarrollo del programa para los distintos beneficiarios de este.

### 5.1 Porcentaje de Avance

Nº OE	Descripción del OE	% de avance a la fecha
1	xx	
2		
3		
4		
5		

## 6 RESULTADOS ESPERADOS (RE)

### 6.1 Cuantificación del avance de los RE a la fecha

Indicador de Resultados (IR)								
Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta	% de avance a la fecha
1	1	Criterios técnicos validados para el diseño de la nueva regla operacional						
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
X								
X								
X								
X								
X								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra).								
X								
X								
X								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)				Fecha alcance meta	% de avance a la fecha
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)		
1	2	Modelo Hidrológico basado en la regla actual.						
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
x x x x x								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra).								
x x x								

## 7 CAMBIOS Y/O PROBLEMAS

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
x		
x		
x		
x		
x		
x		
x		
x		

## 8 ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERIODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas en el período del informe.

8.2 Actividades programadas y no realizadas en el período del informe.

8.3 Actividades programadas para otros períodos y realizadas en el período del informe.

8.4 Actividades no programadas y realizadas en el período del informe.

## 9 HITOS CRÍTICOS DEL PERIODO

Hitos críticos	Fecha programada de cumplimiento	Cumplimiento (SI / NO)	Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)
Determinar criterios técnicos utilizados por la JVRE para la asignación de recursos hídricos			

**9.1 En caso de hitos críticos no cumplidos en el período, explique las razones y entregue una propuesta de ajuste y solución en el corto plazo.**

## **10 CAMBIOS EN EL ENTORNO**

## **11 DIFUSIÓN**

**11.1 Actividades de difusión programadas durante el período:**

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxxxxxxxx	xx	xxxxxxxxxxxxxxxxx

**11.2 Actividades de difusión realizadas durante el período:**

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxxxxxxxx	xx	xxxxxxxxxxxxxxxxx



## **12 CONCLUSIONES**

- 12.1 ¿Considera que los resultados obtenidos hasta la fecha permitirán alcanzar el objetivo general del proyecto?.**
- 12.2 ¿Considera que el objetivo general del proyecto se cumplirá en los plazos establecidos en el plan operativo?.**
- 12.3 ¿Há tenido dificultades o inconvenientes en el desarrollo del proyecto?.**
- 12.4 ¿Cómo ha sido el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?.**
- 12.5 En relación a lo trabajado en el período informado, ¿tiene alguna recomendación para el desarrollo futuro del proyecto?.**
- 12.6 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).**

## **13 ANEXOS**

### **14 Cuenca del río Elqui**

La cuenca del Río Elqui está ubicada en la provincia de Elqui, Región de Coquimbo, entre los paralelos 29°34' – 30°27' Latitud Sur y meridianos 71°22' – 69°52' longitud Oeste. Al norte limita con las cuencas del Río Huasco, quebrada de Los Choros, Honda y Chacay, al Sur con la cuenca del Río Limarí y las cuencas costeras de las quebradas El Culebrón y Lagunillas, al Este con la Republica Argentina y al Oeste con el Océano Pacífico (Dattwyler, 2008). Esta cuenca presenta un régimen nivo-pluvial, vale decir que el caudal se origina por el derretimiento de la nieve acumulada en la alta cordillera, así como del escurrimiento de las precipitaciones en forma de lluvia de las subcuencas de menor cota. Además existen afloramientos y vertientes que se producen a lo largo de su lecho, así como derrames y sobrantes devueltos al río por los canales de riego.

En invierno el escurrimiento es principalmente de origen pluvial mientras que en primavera y verano es de origen nival (Galleguillos, 2004). El principal cauce de esta cuenca y que le da el nombre a la misma corresponde al Río Elqui, el cual se forma por la confluencia de los ríos Turbio y Claro, en las cercanías de la localidad de Rivadavia, aproximadamente a 75 km de La Serena. Las principales quebradas aportantes a este cauce

natural ubicadas en la ribera norte corresponden a Marquesa y Santa Gracia. En la ribera sur destacan las quebradas de San Carlos, “Arrayan” y Talca (DGA, 2004).

#### **14.1 Hidrografía**

Los principales tributarios del río Elqui son los ríos Turbio y Claro, aguas debajo de la unión de dichos cauces se habla de río Elqui, este punto se ubica a 815 m.s.n.m en la cercanías de la localidad de Rivadavia (figura xxx, mapa con ríos de Elqui).



Figura 1: Hidrografía de la Cuenca del río Elqui.

#### **14.1.1 Río Turbio.**

La cuenca del río turbio posee una superficie total de  $4.196 \text{ km}^2$ . Este cauce se forma 43 km aguas arriba de la localidad de Rivadavia a 1.370 m.s.n.m, a partir de la unión de los ríos Toro y La Laguna. Ambos cauces tienen su origen en el área norte de la cordillera en los límites con la República Argentina. El río Toro drena la zona nororiente y sus principales tributarios corresponden al estero Tambo el que cambia de denominación a río Vacas Heladas y los ríos malo y Toro Muerto. El Río La Laguna se ubica al sur de la cuenca del Río Toro y en su cabecera se ubica el único glaciar que existe en la cuenca, el glaciar El Tapado. Los principales cauces tributarios al río la laguna corresponden a los ríos Colorado y La Gloria. (figura xxx, mapa con ríos de turbio) El principal tributario al río Turbio corresponde al río Incahuaz, lo que ocurre en el sector de las terneras. Este río al igual que los ríos Toro, La laguna y Turbio tiene un régimen marcadamente nival, lo que hace que el régimen de escurrimiento sea permanente. Otro cauce de importancia afluente al río Turbio corresponde a la Quebrada del Calvario, cuya cuenca se ubica al norte del río Turbio y con respaldo principalmente pluvial. A partir de dicho punto a la altura de la localidad de Huanta, el río Turbio cambia de rumbo a uno final N-S que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario (Zavala et al. 2008).

#### **14.1.2 Río Claro.**

El río Claro se forma de la unión del río Cochiguaz y el Estero Derecho, en la localidad de Montegrande a 1.223 m.s.n.m. La subcuenca del río Cochiguaz, colinda con la subcuenca del río La Laguna y su nacimiento es en la alta cordillera en zonas vecinas a la República Argentina y su único afluente es el río Cochiguaz. El estero Derecho limita por el sur con la cuenca del río Hurtado. Aguas debajo de la localidad de Montegrande el río claro recibe como principal aporte a la Quebrada de Paihuano, a la altura de la localidad del mismo nombre. (figura xxx, mapa con ríos de claro) El área total de los ríos Turbio y Claro, esto es el área tributaria al río Elqui desde donde comienza dicha denominación propiamente tal es de  $5.719 \text{ km}^2$ , lo que corresponde al 58,4% del área total de la cuenca. Esto significa que desde este punto hacia aguas abajo se ubica el 41,6% de la cuenca, la que de acuerdo a las altitudes que la conforman hacen que sea formado por una serie de quebradas de régimen pluvial. La dirección de este curso de agua es claramente Este-oeste, con una distancia total hasta su desembocadura de aproximadamente 65 km. Por la ribera norte las quebradas más importantes son (desde aguas arriba hacia aguas abajo): Marquesa, Los Perales y Santa Gracia, que de acuerdo a Morales (2001) poseen superficies de  $939,8 \text{ km}^2$ ,  $39,8 \text{ km}^2$  y  $1.066,8 \text{ km}^2$  respectivamente. Por la ribera sur las principales quebradas tributarias son (desde aguas arriba hacia aguas abajo): San Carlos, El Arrayán, Talca y Las Animas, con superficies de  $252 \text{ km}^2$ ,  $571,8 \text{ km}^2$ ,  $146 \text{ km}^2$  y  $45,5 \text{ km}^2$  respectivamente. La totalidad de estas subcuencas conforman un área de  $3.061,8 \text{ km}^2$ , lo que corresponde al 32,5% del área total de la cuenca del Río Elqui y al 83,2% de la reas de la cuenca aguas debajo de la junta de los ríos Turbio y Claro (Zavala

et al. 2008). (figura xx, mapa con quebradas de Elqui).

## **14.2 Clima.**

En el caso de la Región de Coquimbo, un factor dominante del clima es el Anticiclón del Pacífico que provoca el permanente bloqueo de los sistemas frontales provenientes del S-W, causante de lluvias. La presencia del anticiclón da forma al carácter semiárido de la zona. Sin embargo, durante los años de ocurrencia del Fenómeno del Niño (Ciclo ENSO), el anticiclón se desplaza hacia el norte, y la región puede recibir precipitaciones 2 o 3 veces superiores a lo normal. Por otra parte, pese a que las precipitaciones en la desembocadura de la Cuenca son del orden de solo 90 mm en años normales, ellas llegan a duplicarse en la cabecera de la cuenca, lo que determina efectivamente el caudal de los ríos (Galleguillos, 2004). Por otra parte, el relieve propio de la cuenca posee gran importancia en las características de su clima, ya que su forma controla el ingreso hacia tierras interiores de las masas de aire húmedo y de los escasos sistemas frontales que alcanzan estas latitudes. La Corriente de Humboldt tiene un efecto moderador del régimen térmico, estabilizador del aire y sobre la tasa de evaporación del agua, limitando la formación de nubes que generan precipitaciones. Finalmente la fisiografía de la región, controla la intrusión de masas de aire marino que transportan la neblina costera hacia los valles (Galleguillos, 2004). La cuenca del Río Elqui, presenta tres tipos climáticos, el Estepárico costero o nuboso, Estepa Cálida y Templado Frio de Altura (DGA, 2004).

### **14.2.1 Clima Estepárico costero o Nuboso.**

Se presenta a lo largo de toda la costa. Su influencia llega hasta 40 km al interior, por medio de los valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales con un periodo seco de 8 a 9 meses.

### **14.2.2 Clima Estepa Cálida.**

Este clima se sitúa en el valle del río Elqui, por sobre los 800 m.s.n.m. hasta los 3.000 m.s.n.m. y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Sus temperaturas son mayores que en la costa. A medida que nos adentramos en el Valle del Elqui, las temperaturas aumentan alcanzando las máximas a los 1.200 m.s.n.m., luego comienzan a disminuir nuevamente. En invierno se presentan intensas heladas. Las precipitaciones no son tan abundantes y los periodos de sequía son característicos. Las precipitaciones promedio anuales son de 90 mm, solo aumentadas en los años con presencia del fenómeno de El Niño, oportunidad en que esta cifra puede duplicarse o triplicarse.

### 14.2.3 Clima Templado Frío de Altura.

este clima se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altitud con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el periodo estival. El hecho de que la alta cordillera registre una pluviometría mayor, favorece la acumulación de nieve en invierno y las reservas hídricas naturales para la época estival. En algunas temporadas las áreas cordilleranas presentan precipitaciones en la temporada estival, producto de tormentas tropicales que se desplazan al sur desde el altiplano boliviano. Con relación a las precipitaciones registradas en toda la cuenca, los registros de precipitación media anual corresponden a 73,9 mm en el sector de Huanta, 92,4 mm en Paihuano y 137,5 mm en la localidad de Vicuña. El total de agua caída por año alcanza a 125,7 mm. En el caso de las temperaturas registradas en la cuenca, se considera la caracterización descrita en el estudio “Zonificación Agroclimática de la IV región” (DMC, 2016) donde a partir de estaciones agroclimáticas emplazadas en la región se logra describir las variaciones climáticas que en esta se registran. En la Cuenca del río Elqui, este estudio considero 4 estaciones: La Serena, Pan de Azúcar, Vicuña y Pisco Elqui, las cuales logran describir la amplitud de regímenes térmicos registrados en la zona de estudio.

- En el caso de la estación ubicada en La Serena, se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 14,3°C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 21,4°C, valor que está influenciado por la cercanía al mar, cumpliendo un rol moderador del régimen térmico.
- La estación ubicada en el sector de Pan de Azúcar, presenta una temperatura media anual de 14,1°C, con una máxima media en enero de 24,4°C y una temperatura mínima promedio en julio de 5,4°C. Presenta un periodo libre de heladas de 8 meses entre agosto a marzo.
- La estación ubicada en la ciudad de Vicuña registra un régimen térmico donde la temperatura media anual de 15,2°C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 29°C y una temperatura mínima promedio del mes más frío (julio) de 5,2°C. el periodo libre de heladas se extiende entre los meses de septiembre a marzo.
- La estación ubicada en la localidad de Pisco Elqui, presenta un régimen térmico donde la temperatura media anual alcanza los 16,1°C, estableciéndose una temperatura máxima promedio del mes más cálido (enero) de 32,7°C y una mínima media del mes más frío (julio) de 6,5°C.
- En la parte alta de la Cordillera de Los Andes son frecuentes las temperaturas inferiores a 0°C, lo que hace que las precipitaciones invernales sean preferentemente sólidas.

Finalmente toda la caracterización climática previa permiten definir para la Cuenca del río Elqui un periodo seco que se manifiesta entre los meses de Septiembre a Abril con precipitaciones medias mensuales que varían entre 0 y 3,1 mm y temperaturas comprendidas entre 13,1 y 20,1 °C (enero). El periodo húmedo, se presenta desde Mayo a Agosto registrando precipitaciones mensuales entre 18,8 y 27,6 mm y temperaturas entre 11,5 y 13,6 °C (DGA, 2004).

## **15 Organizaciones involucradas en la administración del recurso hídrico en la cuenca del Río Elqui.**

En la cuenca del río Elqui existen dos organizaciones que administran en forma directa los recursos hídricos; la principal organización es la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes (JVRE) y la Junta de Vigilancia del Estero Derecho (JVED) El primer Rol de regantes existente en la cuenca fue la Asociación de Canalistas del Río Coquimbo y sus Afluentes, conformada en junio de 1943 y contemplaba 191 bocatomas o encauzamientos. El Estero Derecho, como tributario solo ocasional del sistema, formó una Junta de Vigilancia independiente en 1968. El 11 de Junio de 1993 se constituye la Junta de Vigilancia del Río Elqui y Sus Afluentes remplazando a la anterior Asociación de Canalistas del Río Coquimbo. A la fecha la Junta del Río Elqui posee bajo su jurisdicción 117 canales más 6 captaciones a través de elevación mecánica (Morales, 2005).

### **15.1 Junta de Vigilancia Estero Derecho.**

Por Decreto Supremo N°26, del 10 de enero de 1977, del Ministerio de Obras Públicas, se aprobó la constitución y estatutos de la Junta de Vigilancia del Estero Derecho, y posteriormente mediante Resolución Exenta N°2.568, de 20 de Septiembre de 2001, de la Dirección General de Aguas, se dispone su anotación en el Registro de Juntas de Vigilancia y se la declara organizada. La Junta de Vigilancia ejerce jurisdicción en el estero Derecho que es afluente del río Claro, tributario por la izquierda del río Elqui y la Quebrada de Paihuano. Los canales que forman parte de esta Junta de Vigilancia, que alcanza a un total de 20 canales, se encuentran legalmente organizados, como Comunidades de Aguas e inscritas todos en el Conservador de Bienes Raíces (CBR) de Vicuña (CNR, 2013).

### **15.2 Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes.**

Por Decreto Supremo N° 173, de 11 de junio de 1993, del Ministerio de Obras Públicas, se aprobó la constitución y estatutos de la Junta de Vigilancia del Elqui y sus afluentes, y posteriormente mediante Resolución Exenta N°1.606, de 25 de Junio de 1996, de la Dirección General de Aguas, se dispone su anotación en el Registro de Juntas de Vigilancias y se la declara Organizada. La Junta de Vigilancia es la encargada de administrar

y distribuir los recursos hídricos destinados para el desarrollo del riego de los agricultores de la provincia de Elqui, ejerciendo jurisdicción en el río Elqui y sus afluentes, como en los subafluentes de los ríos Claro, Turbio y Cochiguaz.

La mayor parte de los canales que forman parte de esta Junta de Vigilancia se encuentran organizados, casi todos ellos como Comunidades de Aguas y otras pocas como Asociaciones de Canalistas; otros tantos canales funcionan como organizaciones de hecho. Finalmente existen aquéllos de uso exclusivo, esto es, que pertenecen a un solo usuario (CNR, 2013).

El sistema de riego del Río Elqui y sus afluentes está compuesto por dos embalses conectados entre sí (La Laguna y Puclaro) y de una extensa red de 126 canales de riego que captan sus aguas por medio de 117 bocatomas y captaciones de elevación mecánica. Las aguas superficiales de donde extraen gravitacionalmente los canales corresponde a los ríos Turbio, Cochiguaz, Claro y Elqui específicamente (Zavala, 2008).

## **16 Estructura administrativa de la Junta de Vigilancia del Río Elqui.**

La Junta está encabezada por la Asamblea General de accionistas, el cual elige un Directorio conformado por 7 Directores que según los estatutos de la organización permanecen durante 3 años en su cargo con la posibilidad de ser reelegidos indefinidamente. El Directorio es asesorado técnicamente por el Ingeniero Repartidor de Aguas y el Subdelegado del Río y apoyado administrativamente por un encargado de finanzas y una secretaria (figura xx). A su vez se cuenta con asesores externos en temáticas jurídicas, contables e informáticas (CNR, 2007).

## **17 Administración del recurso hídrico JVRE.**

Nº de acciones brutas y netas distribuidas por la JVRE La Junta de Vigilancia del Río Elqui, reconoce una división interna del área jurisdiccional del río en tres secciones (figura xx), las cuales se refieren a sectores de distribución de agua en forma homogénea.

### **17.1 Primera sección.**

Agrupar a todos los canales cuyas bocatomas se encuentran adyacentes a los ríos Cochiguaz y Claro. Esta sección presenta un total de 3.855,28 acciones brutas y 469 regantes, los cuales se abastecen del recurso hídrico a través de 39 puntos de entrega, divididos en 3 captaciones y 36 canales.



## **17.2 Segunda sección.**

Agrupar a todos los canales cuyas bocatomas se encuentran adyacentes a los ríos Turbio y Elqui, este último sobre embalse Puclaro. Esta sección presenta un total 8.238,87 acciones brutas y 1.696 regantes, los cuales se abastecen del recurso hídrico a través de 53 puntos de entrega, divididos en 12 captaciones y 41 canales.

## **17.3 Tercera sección.**

Agrupar a todos aquellos canales cuyas bocatomas se encuentran adyacentes al río Elqui bajo embalse Puclaro. Esta sección presenta un total de 13.234,16 acciones brutas y 1.342 regantes los cuales se abastecen del recurso hídrico a través de 17 puntos de entrega, todos ellos corresponden a canales.

## **18 Infraestructura de almacenamiento y distribución de aguas (JVRE).**

La distribución de las aguas en la cuenca del Elqui se lleva a cabo mediante dos embalses y una red de canales de 600,1 km. de longitud.

### **18.1 Embalse La Laguna.**

El embalse La Laguna se encuentra ubicado en la zona cordillerana a 3.275 m.s.n.m distante a 100 kilómetros al oriente de la ciudad de Vicuña (figura xx). Este embalse presenta una cortina de concreto armado en la parte inferior y recubrimiento de enrocado. Tiene capacidad para almacenar 40 millones  $m^3$ . Las aguas del embalse son entregadas al río La Laguna para ser conducidas por el río Turbio hasta el río Elqui, donde son captadas por los diversos canales existentes. Su construcción data de los años 30 y su entrada en operación desde el año 1941 (CNR, 2007).

### **18.2 Embalse Puclaro.**

El embalse Puclaro se encuentra ubicado en el Valle de Elqui, a 46 km al oriente de la ciudad de La Serena a 432 m.s.n.m. (figura xx). En marzo de 1996 se aprueba su construcción y en agosto del mismo año se inician las obras que permiten que el día 15 de octubre de 1999 puedan iniciar el llenado del embalse. Los estudios determinaron que la capacidad de almacenamiento de 207.000.000  $m^3$ . El embalse de generación multianual regula el Río Elqui, permitiendo una adecuada seguridad de riego a 20.700 ha aproximadamente, lo que significa más que duplicar las áreas regadas antes de la construcción (Dattwyler, 2008).

### 18.3 Red de Canales.

La red de canales dependientes de la JVRE, está compuesta por 107 bocatomas, que a su vez presentan igual número de canales de aducción y que abastecen a 109 puntos de entregas. Existen 10 canales de aducción unificados, vale decir que abastecen a más de un punto de entrega, por esta razón existe una diferencia entre el número de bocatomas y puntos de entrega. De esta manera el número definitivo de entregas administrados por la JVRE corresponde a 109, de los cuales 15 corresponden a captaciones y 94 a canales (PROMMRA, 2016). La longitud total de los canales actualmente administrados por la JVRE corresponde a 600,11 km (cuadro xx), donde el 57,8% de la longitud de canales se encuentra en la sección río Elqui bajo Puclaro. Sin embargo, la longitud en uso de dichos canales corresponde solo a 519,43 km, dicha extensión se encuentra en un 78,4% sin revestimiento (cuadro xxx).

Cuadro 1: Longitud de canales por sección en la cuenca del río Elqui, bajo administración de la JVRE.

Sección cuenca SIMCA	Sección cuenca JVRE	Longitud (km)
Río Turbio	1ª	30,72
Río Cochiguaz	1ª	28,82
Río Claro	1ª	27,55
Río Elqui sobre Embalse Puclaro	2ª	166,01
Río Elqui bajo Embalse Puclaro	3ª	347,00
<b>Total</b>		<b>600,11</b>

Cuadro 2: Longitud de revestimiento según sección de los canales administrados por la JVRE.

Sección SIMCA	Sección JVRE	Sin Revestimiento (km)	Revestimiento (km)			Total (km)
			1/3	2/3	100%	
Río Turbio	1ª	27,03	0,37	0,16	4,86	32,41
Río Cochiguaz	1ª	15,54	-	-	9,54	25,08
Río Claro	1ª	20,61	0,06	0,36	8,44	29,47
Río Elqui sobre Puclaro	2ª	101,97	0,04	0,01	43,11	145,14
Río Elqui Bajo Puclaro	3ª	241,88	0,22	0,14	45,07	287,32
<b>Total</b>		<b>407,05</b>	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>	<b>111,02</b>	<b>519,43</b>

## **19 Asignación de los recursos hídricos por parte de la JVRE**

### **19.1 Levantamiento de información sobre la distribución hídrica JVRE**

En un estudio realizado por la consultora RODHOS, donde pretendían simular escenarios del sistema hídrico de la cuenca del río Elqui, la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes les proporcionó información sobre los criterios que establecen el cálculo de desmarque para la temporada. Estos criterios se señalan a continuación:

- Altura de nieve caída en la temporada, junto con la de la temporada anterior.
- Volumen esperado de escorrentía en Elqui en Algarrobal.
- Volumen esperado de escorrentía en el río La Laguna en entrada embalse La Laguna.
- Castigo de los volúmenes esperados de escorrentía en función del año anterior respecto al actual.

### **19.2 Reuniones Técnicas**

Con el objeto de reunir información específica sobre la regla operacional que utilizan en la JVRE, tanto de los criterios de asignación, regulación y distribución de las aguas que realizan en la actualidad, como las metodologías utilizadas en temporadas anteriores. De esta manera, se realizaron 3 reuniones programadas con personas involucrados directamente en la toma de decisión de la distribución del agua en la cuenca.

#### *Primera Reunión*

El día 11 de enero de 2018 se realizó la primera reunión técnica en las dependencias de la JVRE, Embalse Puclaro. En ella, participó el Gerente de la JVRE Dagoberto Bettancourt, principal actor en la toma de decisión de la distribución de las aguas a sus usuarios.

Dentro de lo conversado, el gerente de la JVRE informa sobre los principales aspectos que involucran la distribución de las aguas en la cuenca del río Elqui, las que a continuación se mencionan.

- La JVRE establece su temporada hídrica entre el 1 de Septiembre y el 31 de Agosto del siguiente año. En dicho periodo, se asigna el agua en función a un desmarque (%) que se fija a inicio de temporada, en base al caudal nominal (1 L/s) por acción. Dichos desmarques poseen variabilidad mensual de acuerdo a las demandas que existan dentro de la cuenca. Sin embargo, al término de la temporada, estos se ajustarán con el desmarque asignado al inicio.

- Existen 5 sectores dentro de la cuenca que la JVRE designa para su operación, el cual se manejan con desmarques diferenciados en función de lo ofertado por los cauces naturales, la regulación que estos posean y la demanda existente, teniendo siempre en cuenta que los desmarques sean equivalentes al desmarque asignado a inicio de temporada. Río Claro; Cochiguaz; Río Turbio; Río Elqui sobre Puclaro; y Río Elqui Bajo Puclaro componen dichos sectores.
- Dentro de la asignación del desmarque, los embalses La Laguna y Puclaro, son de gran importancia, debido a la regulación que realizan para entregar de forma pertinente el agua a distribuir, y su participación dentro de la asignación, como volumen almacenado a inicio de temporada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los volúmenes almacenados al término de esta, permitirán tener un respaldo para la asignación de la siguiente temporada, es por esto que en estas obras de acumulación, su operación debe ser manejado de manera óptima.

### *Segunda Reunión*

Una segunda reunión se realizó el día 19 de enero de 2018, en las dependencias de la Universidad de La Serena, Campus Limarí, Ovalle. En ella participó nuevamente el gerente de la JVRE, junto con miembros del laboratorio PROMMRA.

En esta reunión, se indagó con mas detalle el concepto de *Desmarque*, indicador (%) de la asignación de la temporada del recurso hídrico, en función de los derechos de aprovechamiento. Además, se conocieron algunos criterios e indicadores que utiliza la Junta para distribuir el agua según lo asignado a inicio de la temporada (Septiembre). Los nuevos antecedentes de la regla operacional actual se resumen en los siguientes párrafos.

- Hasta el año 2012, el embalse Puclaro al término de la temporada, debía almacenar el 50% del volumen con que se inició. Sin embargo, a partir de ese año, el volumen almacenado al 31 de agosto debe fluctuar entre 70 - 100  $Mm^3$ ; situación que fue gatillada por la sequía vivida en esos años, donde los volúmenes a repartir llegaron a gestionarse con un desmarque del 20%, en el año 2015. De esta manera, manteniendo estos volúmenes al término de una temporada, se pretende generar una menor incertidumbre en la asignación del siguiente periodo.
- El cálculo del desmarque, es un proceso que se realiza cada temporada con cierta incertidumbre, ya que se debe distribuir en las acciones que la JVRE gestiona, el agua total generada por la cuenca en la temporada (Septiembre - Agosto), dato que al 1 de septiembre se desconoce en gran parte. Esto se debe, a que aún no ocurren los deshielos de primavera - verano, principal aporte a los cauces naturales de la

cuenca; sumado a la posible ocurrencia de precipitaciones y su escurrimiento a los cauces, en el periodo invernal del siguiente año, principalmente. De esta manera, el cálculo del agua generada por la cuenca como volumen total/temporada, se estima mediante correlaciones entre los datos disponibles, tales como altura de nieve, precipitaciones ocurridas hasta la fecha, entre otras; sumado a la apreciación de imágenes satelitales de la cobertura de nieve y su posible comportamiento en los meses siguientes. Con estos antecedentes, y la revisión de antecedentes hidrológicos históricos, bajo un panorama hidroclimático similar, se realiza una estimación del total de agua generada por la cuenca en la temporada, su comportamiento mensual, y por ende, el *Desmarque (%)* a aplicar en la temporada.

- Debido a que el comportamiento hidrológico en la temporada es un dato estimado, el cual mantiene cierta incertidumbre; la JVRE maneja datos de ciertas estaciones fluviométricas como indicadores del comportamiento de los cauces naturales en la cuenca, con el fin de evidenciar el comportamiento del panorama hídrico estimado, manteniendo la distribución hídrica acorde a lo asignado a inicio de temporada. Estos indicadores, permitirán gestionar el recurso hídrico, como por ejemplo, a partir de la regulación de los embalses de acumulación, Puclaro y La Laguna. Cabe destacar, que el embalse La Laguna opera habitualmente entre los meses de diciembre a abril, o cuando el caudal pasante en la estación fluviométrica de la DGA, Elqui en Algarrobal sea inferior a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### *Tercera Reunión*

Esta reunión se desarrolló en los establecimientos de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes, ubicados en el embalse Puclaro, Vicuña, donde participó el presidente de la Junta, Pelayo Alonso, el gerente, Dagoberto Bettancourt, junto con miembros del laboratorio PROMMRA.

### **19.3 Entrevistas**

### **19.4 Descripción de la regla operacional existente**

### **19.5 Selección y jerarquización de criterios de operación**

### **19.6 Validación de criterios de operación**

## **20 Modelo Hidrológico Base**

### **20.1 Descripción del modelo Elqui**

### **20.2 Actualización del modelo Elqui**

#### **20.2.1 Incorporación Regla Operacional JVRE**

### **20.3 Calibración y Validación del modelo Elqui**

La Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes (JVRE), tiene desde el siglo pasado dividido el sistema en tres secciones.

La **Primera Sección** corresponde a los canales pertenecientes a los principales afluentes del río Elqui, es decir, los río Turbio y Claro, y aquellos del propio río desde su formación hasta unos 3 kilómetros aguas abajo de la ciudad de Vicuña, donde se ubica el Canal Los Romero, último de la primera sección. En la actualidad, aunque legalmente no hay cambio oficial de nombre, al hablarse de "Primera Sección", se hace referencia sólo al río Elqui, designándose el resto por el río que las sirve (Río Cochiguaz, Río Claro, Río Turbio).

La **Segunda Sección** comprende el río Elqui desde el último canal de la Primera Sección hasta la gran zona de recuperaciones del valle, ubicada al llegar al pueblo de Marquesa. El último canal de esta sección es el canal Quiscal.

La **Tercera Sección**, completa la jurisdicción de la JVRE. Esta comienza muy poco aguas abajo de la bocatoma del canal Casuto, luego de la cual se inicia la segunda y más importante zona de recuperaciones del río. La Tercera Sección termina en la desembocadura del río Elqui al mar.

La Junta de Vigilancia ejerce la acción que le otorgan los Estatutos y el Código de Aguas, en toda la hoya hidrográfica del río Elqui y sus Afluentes, incluido el embalse La Laguna, desde la cordillera hasta el mar, con las únicas excepciones del Estero Derecho.

Para comprender el sistema de distribución de las aguas del río Elqui y sus afluentes, es necesario definir los conceptos de "río libre" y "río en desmarque", que son de uso común en la zona.

Tomando como base que el valor nominal de la acción en el río es de 1 L/s, se entiende como condiciones de "río libre", aquellas en que el valor de la acción alcanza o sobrepasa el valor nominal. Esta es una definición teórica, puesto que en la práctica se declara "río libre" en condiciones menos favorables en cuanto a la disponibilidad hídrica, ya que muchos canales no tienen la capacidad suficiente para captar el gasto con las acciones cotizadas a su valor nominal, o bien los usuarios no desean captarlo por no tener demanda para ser suplida. Expuesto de manera mas sencilla, en las condiciones de "río libre", la Junta de Vigilancia no requiere ejercer control en la toma de los canales, captando cada uno de ellos lo que estime necesario.

El ingeniero Juan Bennett, estableció que en promedio por secciones y sectores, es posible declarar "río libre" cuando se cuenta como mínimo, con le caudal necesario para hacer entregas, el cual se muestran en el (Cuadro 3)

Cuadro 3: Desmarque mínimo para considerar "río Libre". (DGA, 1995)

<b>Sección</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>
<b>Primera</b>												
Claro y Cochiguaz	25	25	25	25	30	40	45	60	60	50	35	25
Turbio	20	20	20	25	25	35	40	45	45	40	30	25
Vicuña	30	30	35	40	55	65	70	80	70	65	55	40
<b>Segunda</b>	35	35	40	40	45	55	60	55	50	45	40	35
<b>Tercera</b>	40	40	40	55	65	90	80	75	70	60	55	45

- Para realizar interlineado entre párrafos se utiliza \.
- Para **escribir en negrita**: \textbf{texto}.
- Para *escribir en cursiva*: \textit{texto}.
- Para ***escribir en negrita y cursiva***: \textit{\textbf{texto}} (por lo tanto se pueden anidar los comandos).
- Para crear una sección: \section{nombre}.
- Para crear una subsección: \subsection{nombre}.
- Para crear una subsubsección: \subsubsection{nombre}.

- Una lista como la actual se crea indicando donde comienza:

```
\begin{itemize}
```

Cada ítem se debe ir agregando:

```
\item un ítem cualquiera
```

Para cerrar la lista:

```
\end{itemize}
```

- Para cambiar el tamaño de la letra hay muchas opciones, una de ellas es `\scriptsize{texto}` para obtener un tamaño como este.
- También se puede escribir en formato máquina de escribir para denotar código u otra cosa que requiera una fuente diferente: `\texttt{texto}` y el resultado será así.

Para más información de formato y afines, visitar los sitios web [Share \$\LaTeX\$](#)  y [Wiki-books](#).

## 21 Citas

En el caso de las citas, es algo más complicado de realizar. Primero, hay que descargar e instalar el paquete `flexbib` para poder personalizar bibliografías en español ya que  $\LaTeX$  por defecto compila las bibliografías en inglés (el vínculo de descarga se encuentra en la línea 9 del presente documento). De igual manera se pueden citar los documentos y añadirlos a la bibliografía, pero estarán con el formato en Inglés. Luego, hay que crear una base de datos en Zotero (recomendado) mediante los siguientes pasos:



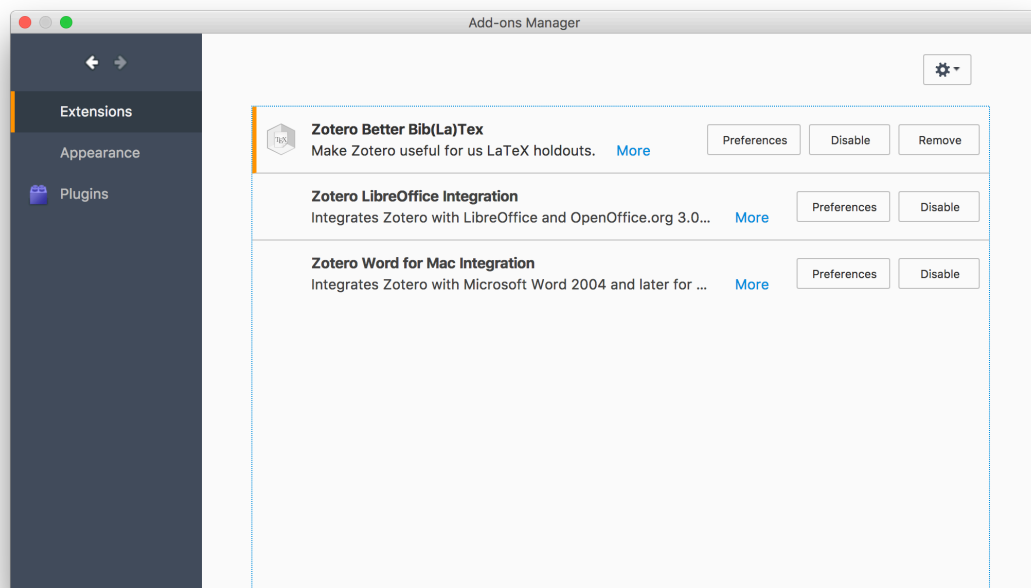


Figura 2: Instalar Zotero y los plugins necesarios (especialmente el de flexbib).

The screenshot shows a web browser window with the ScienceDirect website. The address bar shows 'sciencedirect.com'. The page title is 'A review of drought concepts - ScienceDirect'. The main content area displays the article 'A review of drought concepts' from the 'Journal of Hydrology', Volume 391, Issues 1-2, 14 September 2010, Pages 202-216. The authors are Ashok K. Mishra and Vijay P. Singh. The article is a review paper. The summary states: 'Owing to the rise in water demand and looming climate change, recent years have witnessed much focus on global drought scenarios. As a natural hazard, drought is best characterized by multiple climatological and hydrological parameters. An understanding of the relationships between these two sets of parameters is necessary to develop measures for mitigating the impacts of droughts. Beginning with a'.

On the right side, there are recommended articles and citing articles. The recommended articles include 'Drought modeling - A review' and 'Drought characterization from a multivariate pe...'. The citing articles section shows 778 articles.

A red box highlights the Zotero icon in the browser's toolbar, which is used for saving citations.

Figura 3: Clickear el ícono de Zotero para guardar cita

Citation Key: Mishrareviewdroughtconcepts2010

Item Type	Journal Article
Title	A review of drought concepts
Author	Mishra, Ashok K.
Author	Singh, Vijay P.
(...) Abstract	Summary Owing to the rise in water deman...
Publication	Journal of Hydrology
Volume	391
Issue	1
Pages	202-216
Date	September 14, 2010
Series	
Series Title	
Series Text	
Journal Abbr	Journal of Hydrology
Language	
DOI	10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
ISSN	0022-1694
Short Title	
URL	http://www.sciencedirect.com/science/arti...
Accessed	11/2/2017, 10:49:41 AM
Archive	
Loc. in Archive	
Library Catalog	ScienceDirect
Call Number	
Rights	
Extra	bibtex: Mishrareviewdroughtconcepts2010
Date Added	11/2/2017, 10:49:41 AM

Figura 4: Crear un pip de bibtex con la cita

▶	A New Curve o...	Zhao et al.	▶	zhao
▶	A review of as...	Congalton	▶	Conga...
▶	A review of dr...	Mishra and ...	▶	Mishr...
▶	A Soil-Adjuste...	Huete	▶	huete_...
▶	A support vect...	Zheng et al.	▶	Zheng...
▶	A survey of de...	Safavian an...	▶	Safavi...
▶	An agricultural...	Li et al.	▶	Liagri...
▶	An Evaluation ...	McEvoy et ...	▶	McEv...
▶	An integrated f...	Vicuna et al.	▶	Vicun...
▶	Assessing agri...	Sierra-Sole...	▶	Sierra...
▶	Assessing mul...	Mtui et al.	▶	MtuiA...
▶	Assessing res...	Brekke et al.	▶	Brek...
▶	Bias in random...	Strobl et al.	▶	Strobl...
▶	Building Predi...	Kuhn	▶	Kuhn2...
▶	Caracterizació...	Morales et ...	▶	moral...
▶	Catastro Frutic...	CIREN	▶	CIREN...
▶	Catastro Frutic...	CIREN	▶	CIREN...
▶	Censo Agrope...	INE	▶	INE20...
▶	Characterizati...	Abbas et al.	▶	Abbas...
▶	Classification ...	P	▶	PClas...
▶	Climate Aridity...	Salvati et al.	▶	Salvat...
▶	Climatic chara...	Montecinos...	▶	Monte...
▶	Climatic Regio...	Sarricolea ...	▶	sarric...
▶	Coincident Det...	Barnes et al.	▶	barne...
▶	Comparison of...	Al-Ahmadi ...	▶	20113...
▶	Contribution o...	Carrão et al.	▶	Carra...
▶	Contribution o...	Addabbo et...	▶	addab...
▶	Critical Nitro...	Yue et al.	▶	yue...

Citation Key: Mishrareview

Item Type Journal Article

Title A review of drought concepts

▼ Author Mishra, Ashok K.

▼ Author Singh, Vijay P.

(...) Abstract Summary Owing to the rise in water deman...

Publication Journal of Hydrology

Volume 391

Issue 1

Pages 202-216

Date September 14, 2010

Series

Series Title

Series Text

Journal Abbr Journal of Hydrology

Language

DOI 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

ISSN 0022-1694

Short Title

URL http://www.sciencedirect.com/science/arti...

Accessed 11/2/2017, 10:49:41 AM

Archive

Loc. in Archive

Library Catalog ScienceDirect

Call Number

Rights

Extra **bibtex: Mishrareview**

Date Added 11/2/2017, 10:49:41 AM

Figura 5: Modificar el pin si se requiere para facilitar la llamada en el documento

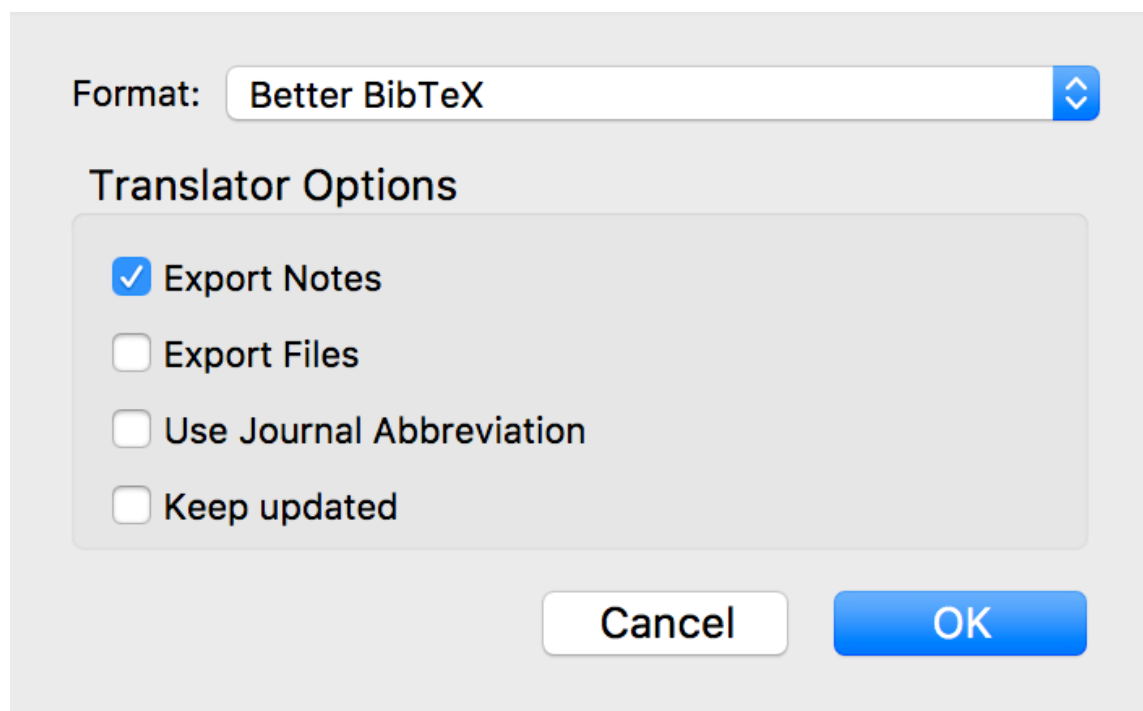


Figura 6: Exportar biblioteca como Better BibTeX y guardarla en el mismo lugar donde está almacenado el archivo `nombre.tex`

Luego, llamar la cita en base al pin asignado, que en este caso es `Mishrareview` con las funciones `\cite{}` o `\citep{}`. La primera es para citar con mención en el párrafo - como si ? dijo algo - y la segunda; para citar con paréntesis (?). Si se colocan comas entre los corchete para citar a una o más personas - como `\citep{Mishrareview,huete1988}` - el resultado será una cita formateada con separadores (??).

### 21.1 Información importante acerca de las citas

XeLaTeX no compila la bibliografía automáticamente... La elección de este compilador es sólo por el uso de Century Gothic como fuente. Por lo tanto hay que compilar varias primero por XeLaTeX, luego por BibTeX (para crear la bibliografía), luego nuevamente por XeLaTeX (aparecerá la bibliografía, pero las citas estarán con ?) y finalmente una última vez por XeLaTeX y todo se compilará a la perfección. Para ello, he ocupado TeXShop para compilar.

**Información importante:** al utilizar RStudio para compilar los documentos, no es necesario seguir los pasos mencionados anteriormente. Sólo se utiliza el ícono *Compile PDF* y el documento quedará correctamente compilado.

## 22 Tablas

Lo más sencillo para crear tablas es visitar el sitio web Tables Generator. Sólo crean la tabla en excel, csv o otro formato. La cargan en el menu desplegable *file* (Figura 7) y copian el resultado que se obtiene (Figura 8):

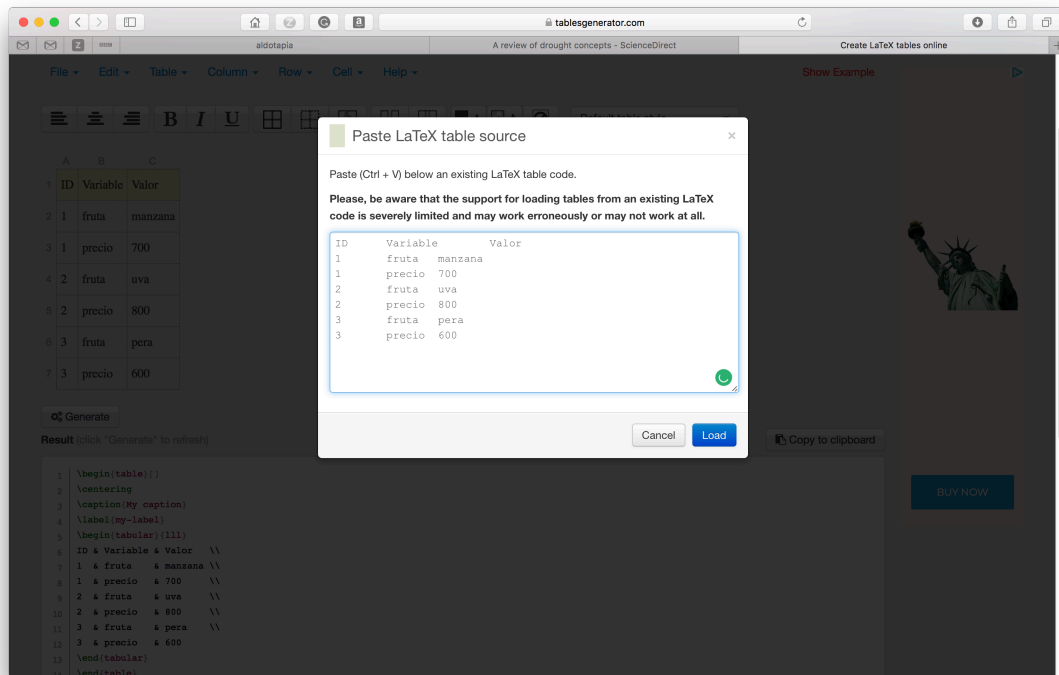


Figura 7: Pegado de la tabla

LaTeX Table Generator

File Edit Table Column Row Cell Help

Default table style

A	B	C
1	ID	Variable Valor
2	1	fruta manzana
3	1	precio 700
4	2	fruta uva
5	2	precio 800
6	3	fruta pera
7	3	precio 600

Generate

Result (click "Generate" to refresh)

```

1 \begin{table}[]
2 \centering
3 \caption{My caption}
4 \label{my-label}
5 \begin{tabular}{lll}
6 ID & Variable & Valor \\
7 1 & fruta & manzana \\
8 1 & precio & 700 \\
9 2 & fruta & uva \\
10 2 & precio & 800 \\
11 3 & fruta & pera

```

Copy to clipboard

BUY NOW

Figura 8: Resultado



Cuadro 4: Descripción de la tabla

ID	Variable	Valor
1	fruta	manzana
1	precio	700
2	fruta	uva
2	precio	800
3	fruta	pera
3	precio	600