

## **Modelo estacional de caudal basado en cobertura de nieve**

*Por: Cristian Orrego Nelson, CEAZA, 2018*

### **Introducción**

Dentro del estudio del ciclo hidrológico existe un problema muy puntual que resolver que está asociado a la caracterización, modelación y pronóstico de los caudales en los ríos y su relación con la disponibilidad de agua líquida o sólida en las cuencas.

Conocer el comportamiento futuro de los caudales tiene múltiples utilidades, muchas asociadas también a la escala temporal de los pronósticos, en particular los pronósticos estacionales de caudales tienen una utilidad de gran importancia para las actividades productivas de todos los grandes consumidores de agua, como son, en la Región de Coquimbo la agricultura y la minería.

Existen muchas formas de abordar el problema del pronóstico de caudales, dentro del aspecto de la forma, se distinguen los modelos dinámicos que intentan describir y simular los procesos físicos del ciclo hidrológico entre los cuales estarán los flujos. Este tipo de modelos tiene la ventaja de permitir explicar a nivel físico la causa y efecto de los fenómenos y la desventaja de requerir grandes cantidades de información del estado actual del sistema, que muchas veces no existe y por lo tanto de ser usados dependen de una gran cantidad de supuestos y asunciones.

La otra aproximación es abordar el problema estadísticamente encontrando relaciones numéricas entre los parámetros específicos que han sido medidos, esperando que los parámetros usados sean suficientemente descriptivos para asegurar que las relaciones se mantienen en el tiempo, sin embargo cuentan con la ventaja de requerir un número menor de datos. En este enfoque una de las desventajas más importantes de este tipo de acercamientos es que no permiten explicar directamente las dinámicas del sistema.

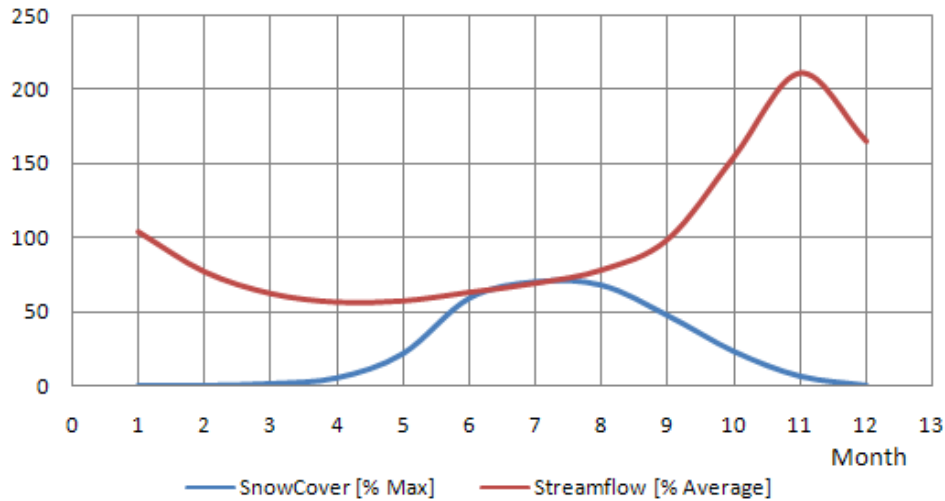
En lo que resta de este documento se describirá un modelo estadístico basado en la cobertura de nieve y el estado pasado de los caudales durante el invierno para predecir el estado general de los caudales durante los meses de verano y otoño.

### **Temporalidad de acumulación de agua y ciclo de los caudales**

Algunos lugares del mundo que cuentan con cordilleras altas tienen un ciclo hidrológico dominado por una acumulación de agua en forma de nieve durante el invierno y en donde la mayoría del aporte de las aguas a los ríos ocurre durante el periodo de deshielo entre primavera y verano. Este escenario es el caso de las tres cuencas de la Región de Coquimbo. Esta región cuenta además con un ciclo de precipitaciones muy marcadas con montos cercanos a 0 en verano y cerca de 150 mm/año en promedio en donde la mayoría cae en los meses de invierno. Debido además a que la precipitación aumenta de costa a cordillera y que las temperaturas sobre los 2500msnm se mantienen bajo 0°C durante invierno, hacen que la mayoría del agua disponible en las cuencas se acumule y se concentre en la cordillera durante invierno. Este comportamiento hace que normalmente las precipitaciones invernales no impacten en gran magnitud a los caudales

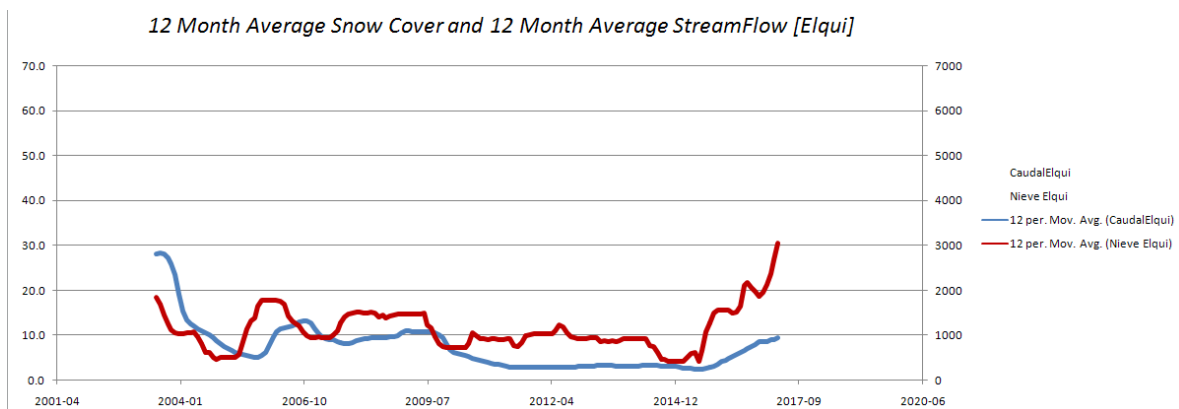
invernales, cuyos máximos se registran típicamente entre octubre y diciembre, meses que tienen muy bajas precipitaciones.

### Snow Cover & Streamflow climatology [2002-2016, Coquimbo Basins]



#### Relación general entre cobertura de nieve y caudales

Dadas las particularidades del régimen climático de la región y el bajo impacto de las precipitaciones líquidas en los caudales a nivel anual, el análisis a nivel anual del comportamiento de estas 2 variables en la última década permiten inferir que sus comportamiento a pesar de estar desplazados aproximadamente 4 meses siguen un patrón reconocible.



Lo que finalmente da pie a las preguntas:

1. ¿Es posible el comportamiento anual de la nieve medida como cobertura de nieve permita caracterizar el comportamiento anual de los caudales?

2. ¿Si existe un desfase entre el máximo de nieve y el máximo de los caudales, es posible predecir el máximo de los caudales una vez que ocurrió el máximo de la nieve?

### **Datos**

Se recolectaron los datos de caudales mensuales para 3 puntos ubicados en las 3 cuencas de la Región de Coquimbo. También se calcularon los totales de cobertura de nieve a partir de datos MODIS para la zona cordillerana (2500msnm) de las 3 cuencas de la Región de Coquimbo.

### **Modelo**

Al igual que otros modelos como el SRM [Martinec, 1995], este modelo asume que los caudales están relacionados con la cantidad de nieve disponible. La diferencia en este caso, es que primero se explorara la magnitud de la relación en términos globales, por lo tanto en vez de abordar el problema de la relación día a día, o mes a mes, entre la nieve y los caudales esta vez se analizara la relación entre los valores anuales de cada una de las variables para en una segunda etapa analizar las relaciones mensuales en los totales anuales.

El modelo es el siguiente:

Caudales [aug-mar] =  $K1 * f(SC[apr-dec])^4 + K2 * \text{Caudales [apr]}$ , con SC = Cobertura de Nieve

Donde K1 y K2 son constantes que relacionadas con la influencia la nieve en la cuenca y el caudal medido en alguna sub-cuenca en particular. Donde K1 está relacionado con la magnitud del área de nieve y el caudal, y K2 es el decaimiento basal del flujo. Que para el caso del las cuencas de la Region de Coquimbo es 0.7 por lo tanto el modelo tendría un único parámetro relacionado con el caso particular.

Además  $f(SC[apr-dec])$  se puede ver como una función lineal de los promedios mensuales de cobertura de nieve ( $SC[apr-dec] = a4*SC_{apr} + a2*SC_{may} + \dots + a12*SC_{dec}$ ) pero es independiente de la cuenca y que describen las diferencias en el aporte total en los caudales según el mes del año, ya que por ejemplo un alto porcentaje de cobertura de nieve en noviembre afecta en mayor medida a los caudales que un alto porcentaje en agosto.

En lo teórico finalizado diciembre se podría tener el pronóstico de los caudales de enero-marzo, sin embargo la mayoría de las veces los eventos terminan en septiembre y por lo tanto desde octubre se podrían tener valores estimados del promedio de los caudales desde octubre a marzo.

### Estado actual prototipo

Usando los datos entre septiembre 2002 hasta diciembre 2016, calculando cobertura de nieve desde los datos del MODIS y usando los datos mensuales reportados por la DGA como caudales mensuales. Los valores son los siguientes.

Cuenca del Elqui

$$\text{Flow}[\text{Ago-Mar}] = 2.074182 * f(\text{SC}[\text{Apr-Dec}])^4 + \text{Flow}[\text{Apr}] * 0.7 + -0.123905, R^2=0.954$$

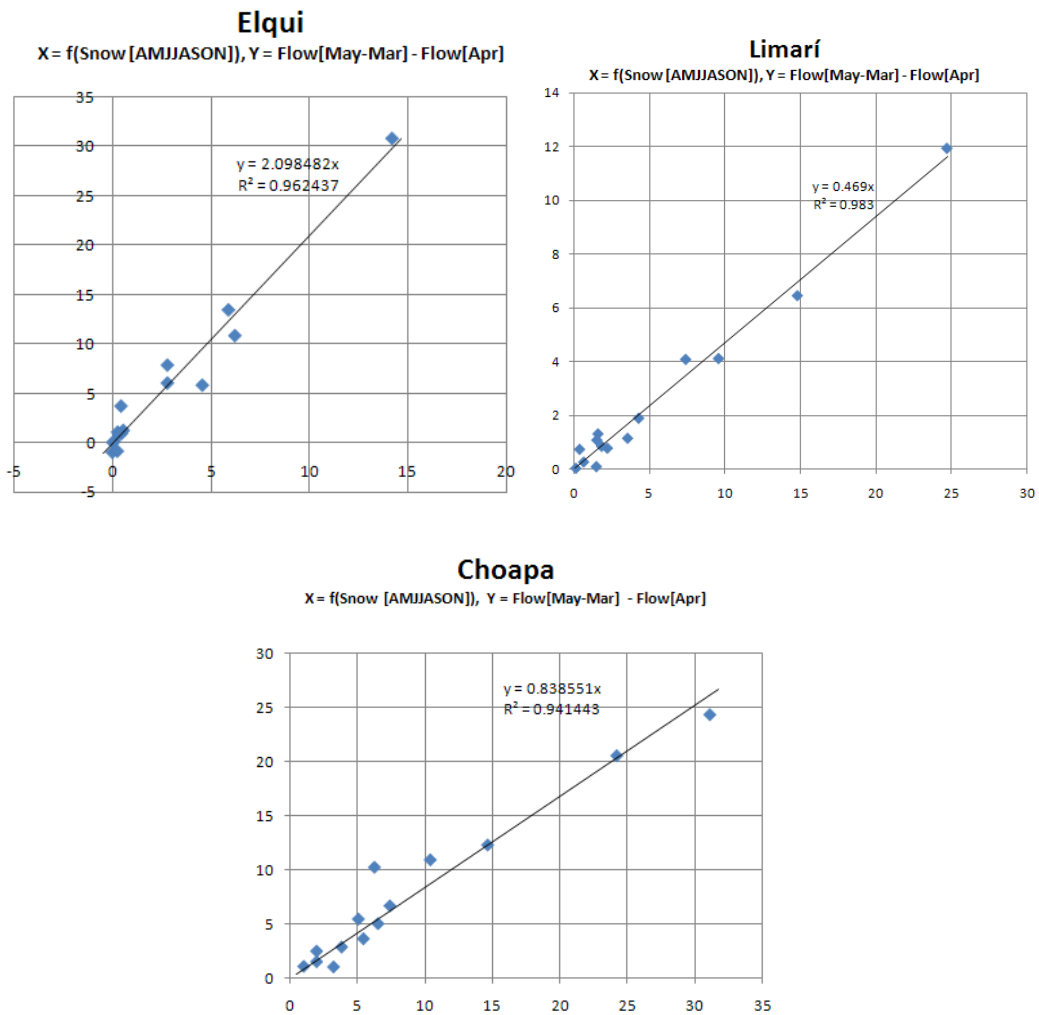
Cuenca del Limari

$$\text{Flow}[\text{Ago-Mar}] = 0.101847 * f(\text{SC}[\text{Apr-Dec}])^4 + \text{Flow}[\text{Apr}] * 0.7 + -0.007584, R^2=0.948$$

Cuenca de Choapa

$$\text{Flow}[\text{Ago-Mar}] = 0.476043 * f(\text{SC}[\text{Apr-Dec}])^4 + \text{Flow}[\text{Apr}] * 0.7 + 0.015112, R^2=0.979$$

## Gráficos



Nota:

Las diferencias entre los R<sup>2</sup> que se ven en las formulas y los gráficos se deben a que las formulas se usaron con un script PHP que incluyo algunos datos distintos.

## Otros gráficos

### Correlación entre caudales

