



**Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios**

Secretaría de Obras Públicas

Subsecretaría de Recursos Hídricos

Dirección Nacional de Conservación y Protección
de los Recursos Hídricos

**PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTOS
TEMPORADA 2015 – 2016**

Ríos

San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Colorado y Chubut

SEPTIEMBRE 2015



Contrato S.O.P. – EVARSA: Ampliación y Mejoramiento de la Red Hidrológica Nacional. Adquisición de Datos y Tareas Accesorias. EXPEDIENTE Nº S01: 0338277/2006

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este informe técnico es poner en conocimiento de los diversos usuarios del agua, las perspectivas hídricas para el período Octubre 2015 a Septiembre 2016, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2015 a Marzo 2016.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de fechas similares de 2014 y 2015, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2014 y las b, al año 2015; sobre las primeras se han ubicado las estaciones fluviométricas (en azul) y nivométricas (en rojo) correspondientes a las zonas de:

- ✓ Cuyo (Figura N° 1 a)
- ✓ Comahue (Figura N° 2 a)
- ✓ Patagonia (Figura N° 3 a)



Figura N° 1.a

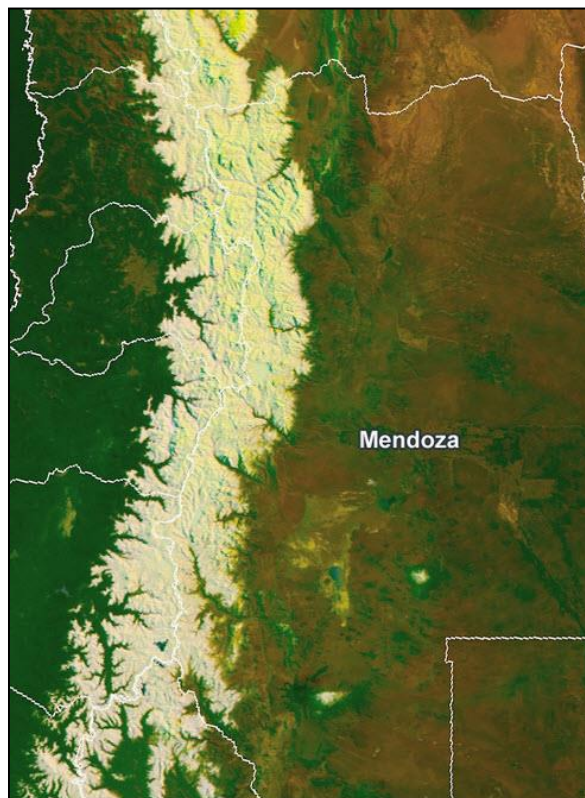


Figura N° 1.b



Figura Nº 2.a

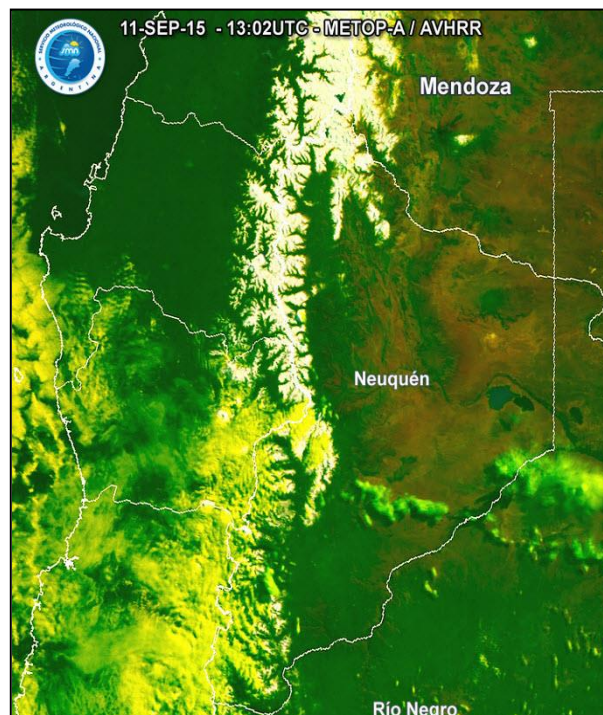


Figura Nº 2.b

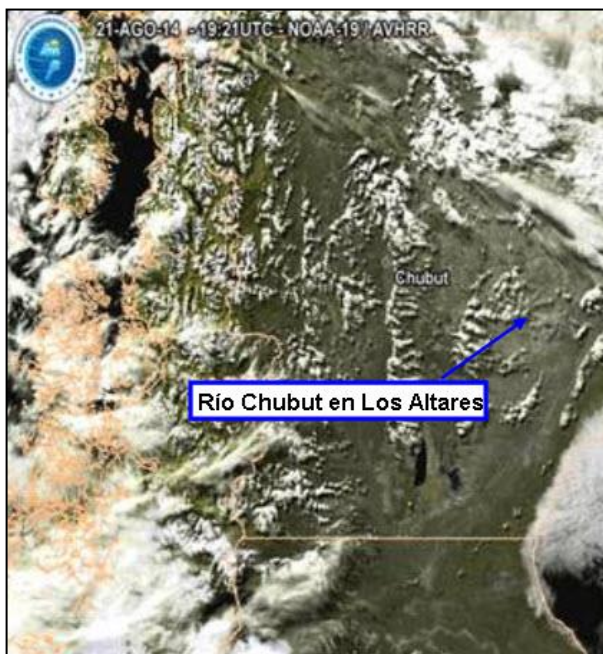


Figura Nº 3.a



Figura Nº 3.b

La acumulación nívea observada a fin de septiembre, en las altas cuencas del frente cordillerano (entre los paralelos 30° y 40° de latitud sur), se ha caracterizado como una temporada por debajo de la normal, excepto en las estaciones nivométricas Toscas y Valle Hermoso que están por encima de la media histórica.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2015	2014	2013
Teatinos	San Juan	495	390	185	209
Toscas	Mendoza – Tunuyán	290	358	64	122
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	453	296	170	222
Laguna Atuel	Atuel	1144	905	867	947
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	777	845	496	436
Pehuenche	Colorado	1195	763	846	594
Varvarco	Neuquén	1115	1038	1072	967

Cuadro Nº 1

El Cuadro Nº 1 muestra para cada estación nivométrica, el equivalente de agua en nieve E.A.N [mm.] máximo alcanzado hasta la fecha, el máximo de los últimos dos años y la media histórica hasta el año 2014.

EQUIVALENTE DE AGUA DE LA NIEVE

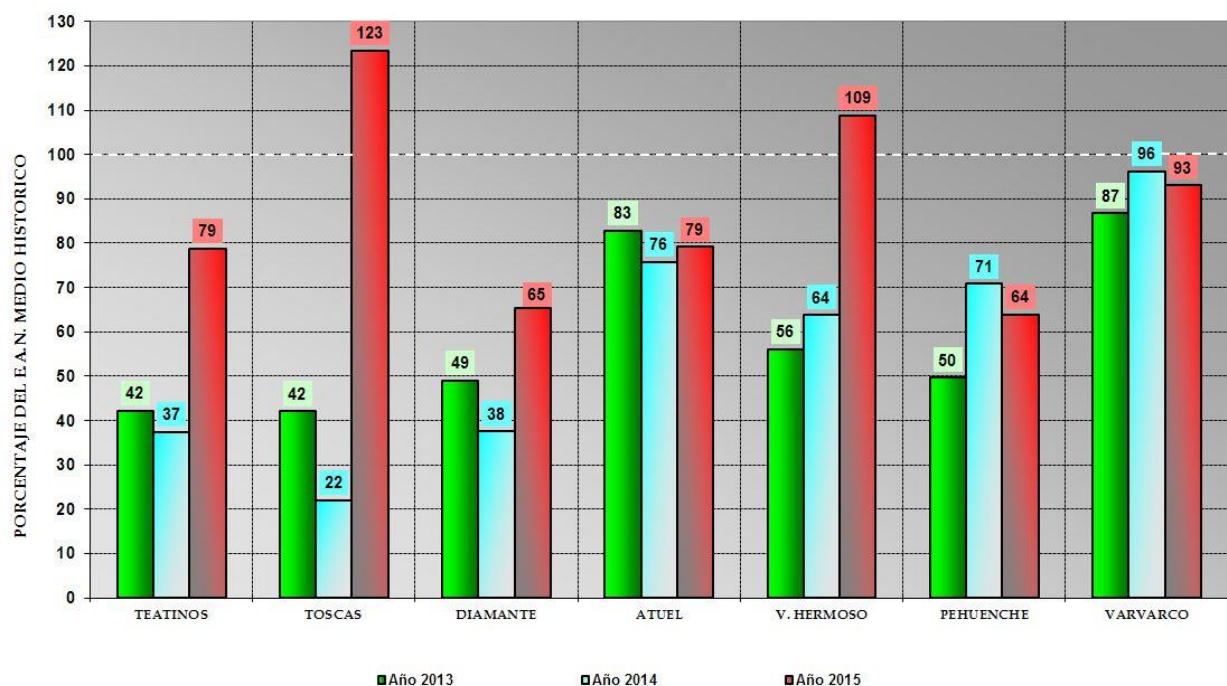


Figura N° 4

La Figura N° 4, es una representación gráfica en porcentajes del equivalente de agua en nieve respecto al medio histórico de los registros indicados en el cuadro N° 1.

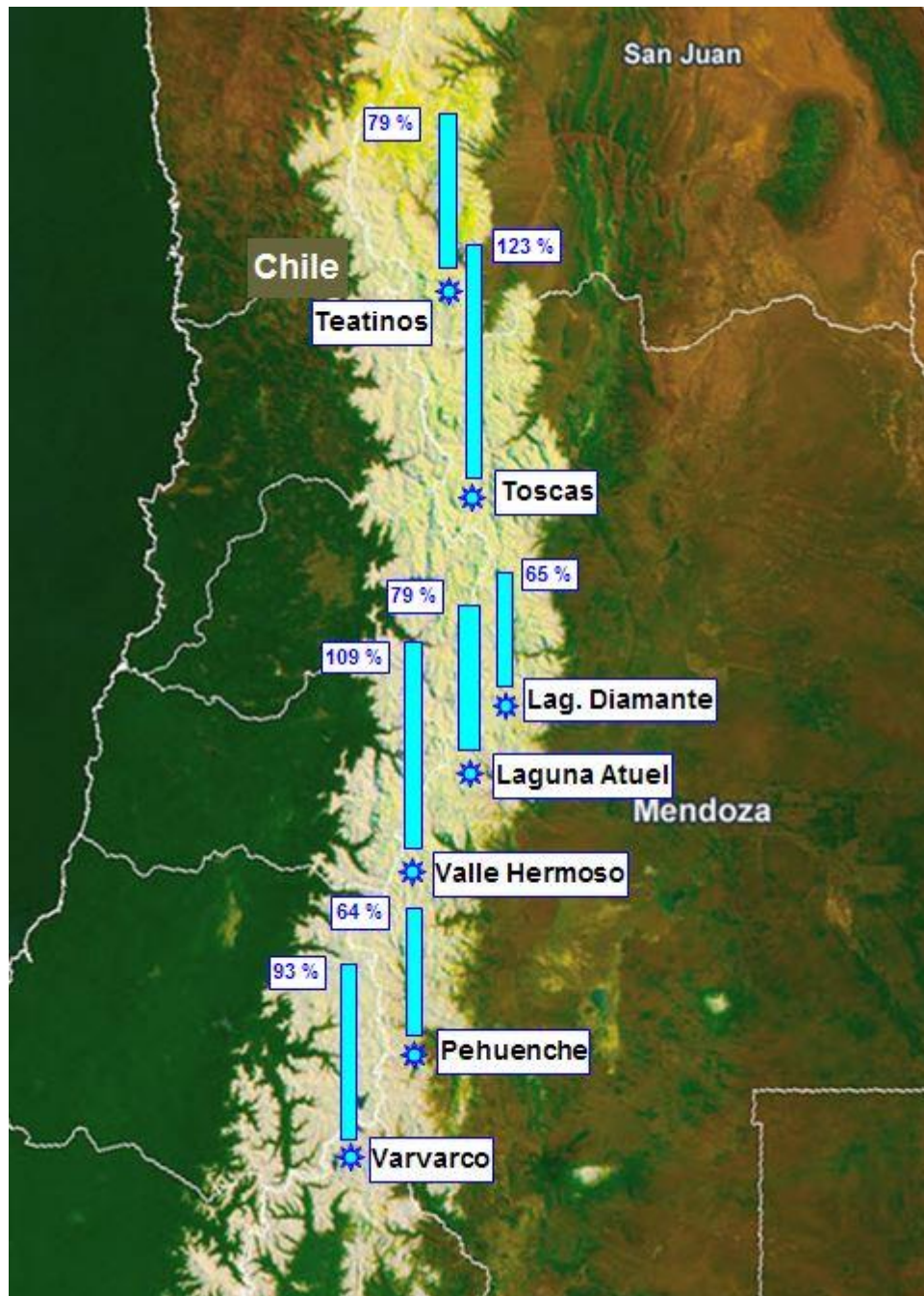


Figura N° 5

En la figura N° 5 se ha trazado sobre la cordillera central los porcentajes del equivalente de agua en nieve respecto al medio histórico, indicados en la figura y tabla anterior.

El dato de la estación nivométrica Teatinos ha sido suministrado por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de San Juan y la información de la estación Nivométrica Varvarco (Pampa de Chacaico) por la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.

Por lo tanto del análisis de las figuras anteriores, podemos concluir que las precipitaciones níveas registradas este año, son:

- Inferiores a la media histórica, excepto Toscas y Valle Hermoso.
- Respecto a las registradas en los años 2013 y 2014, superiores en Teatinos, Toscas, Diamante y Valle Hermoso e inferiores en las restantes.

Las Figuras Nº 6, 7, 8, 9 y 10 ilustran los registros diarios del equivalente de agua en nieve (E.A.N.) de las estaciones nivométricas Pehuenche, Valle Hermoso, Laguna Atuel, Laguna Diamante y Toscas, datos que son obtenidos de las respectivas almohadillas de nieve (snow – pillow).

El sistema EVS2500 desarrollado por EVARSA permite la adquisición, almacenamiento y transmisión de datos mediante la red de satélites ORBCOMM, especialmente orientado a las aplicaciones de monitoreo de parámetros hidrometeorológicos

En dichas figuras se ha graficado:

- ❖ Los registros diarios del equivalente de agua de la nieve para la presente temporada 2015, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2014 (línea azul)
- ❖ La media histórica del registro completo de mediciones (puntuales y telemedidas)
- ❖ La curva de los valores medios diarios históricos del E.A.N. calculado sobre la base de registros diarios de la serie (línea negra)
- ❖ Escenarios extremos de máxima y de mínima (líneas verde y roja)

Esta información permite a los usuarios tener una idea acabada sobre la evolución del manto níveo actual respecto al año anterior, a la media y a eventos extremos.

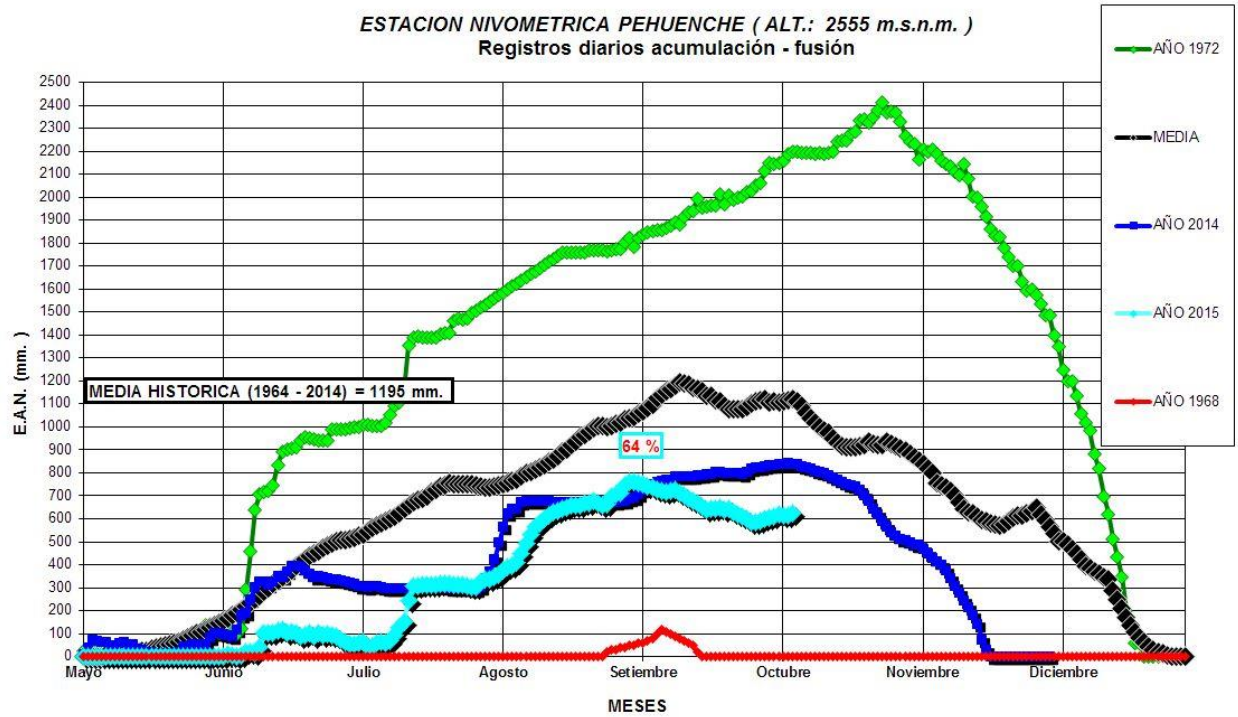


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Pehuenche

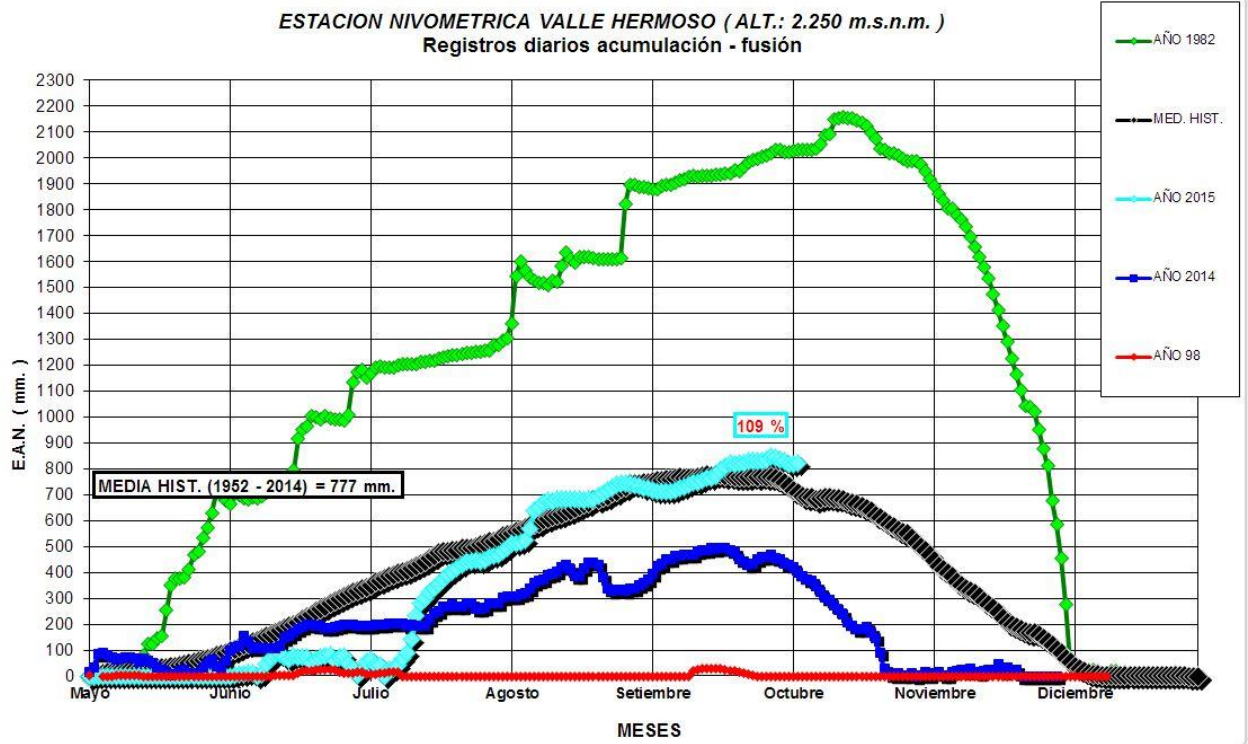


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

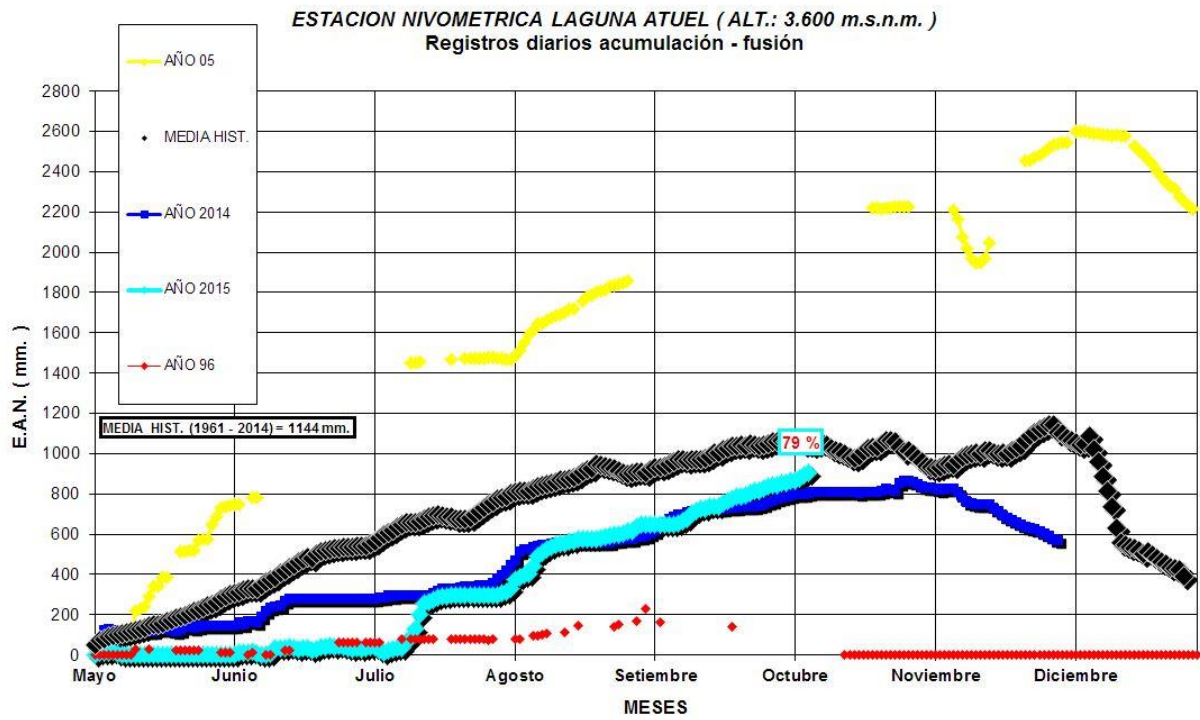


Figura Nº 8



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Atuel

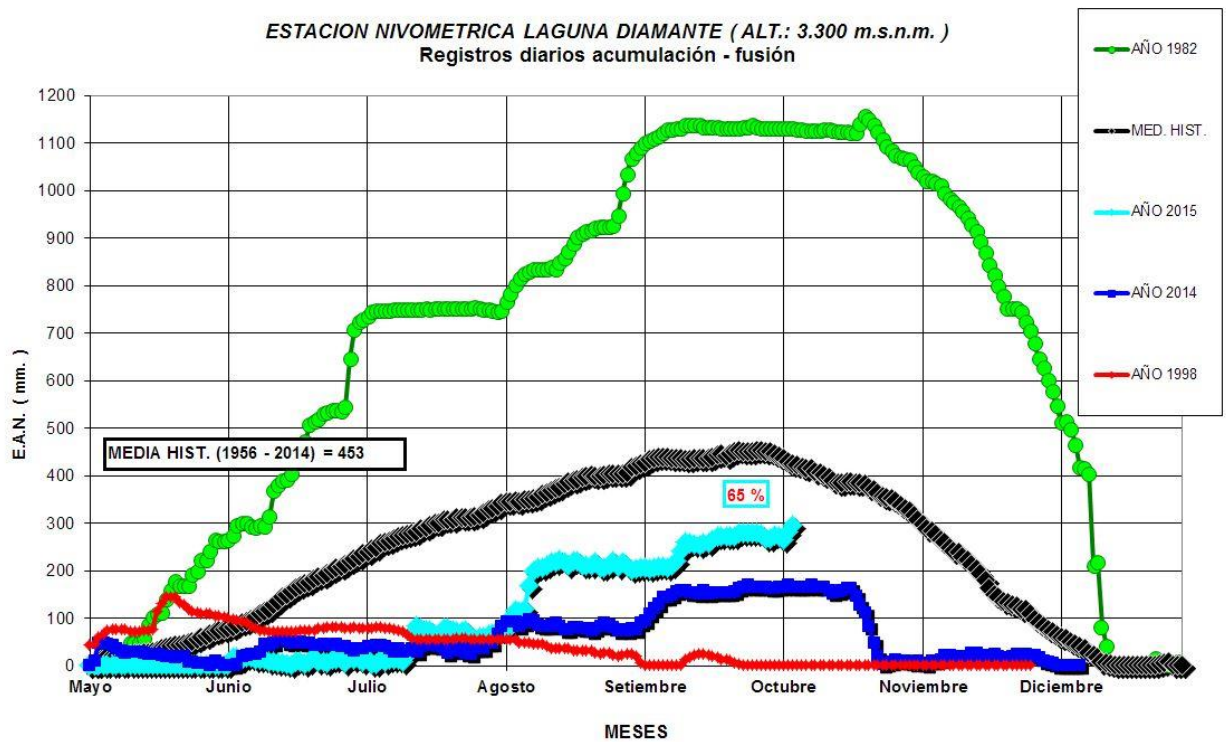
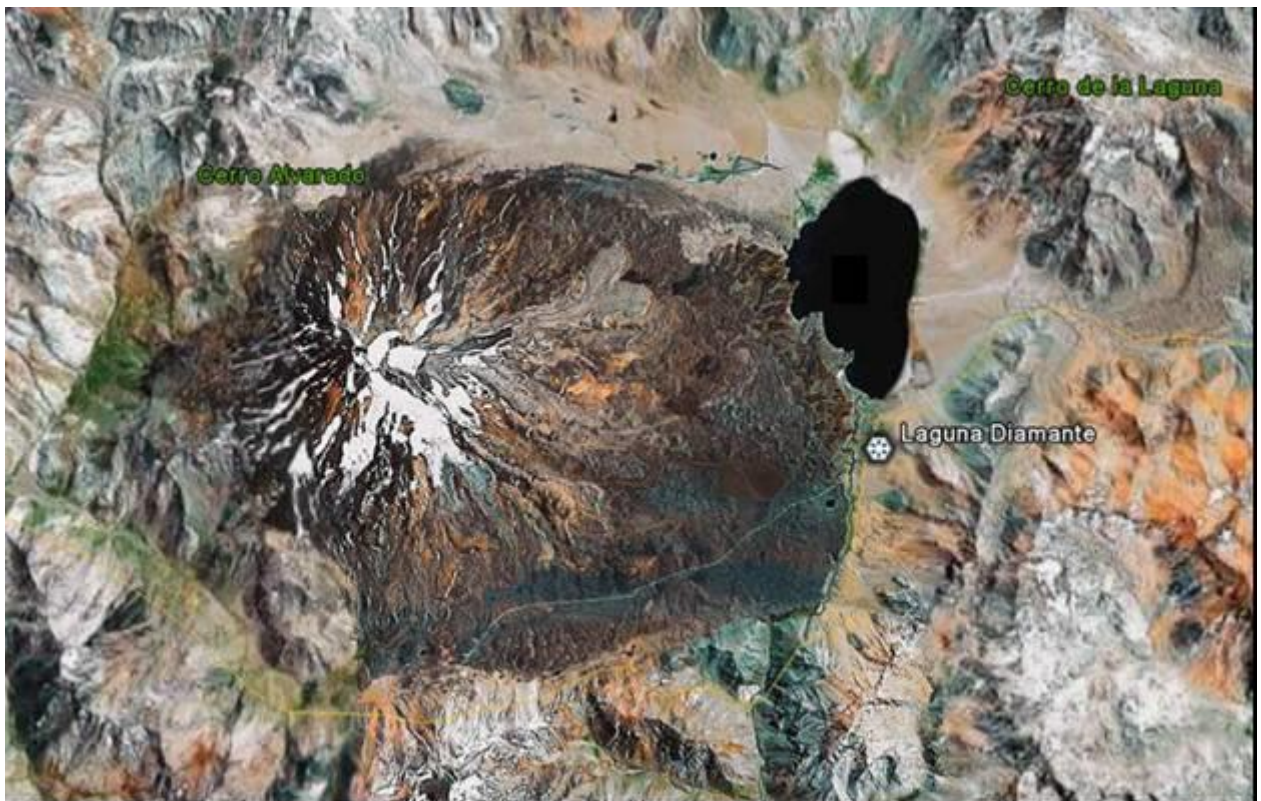


Figura N° 9



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

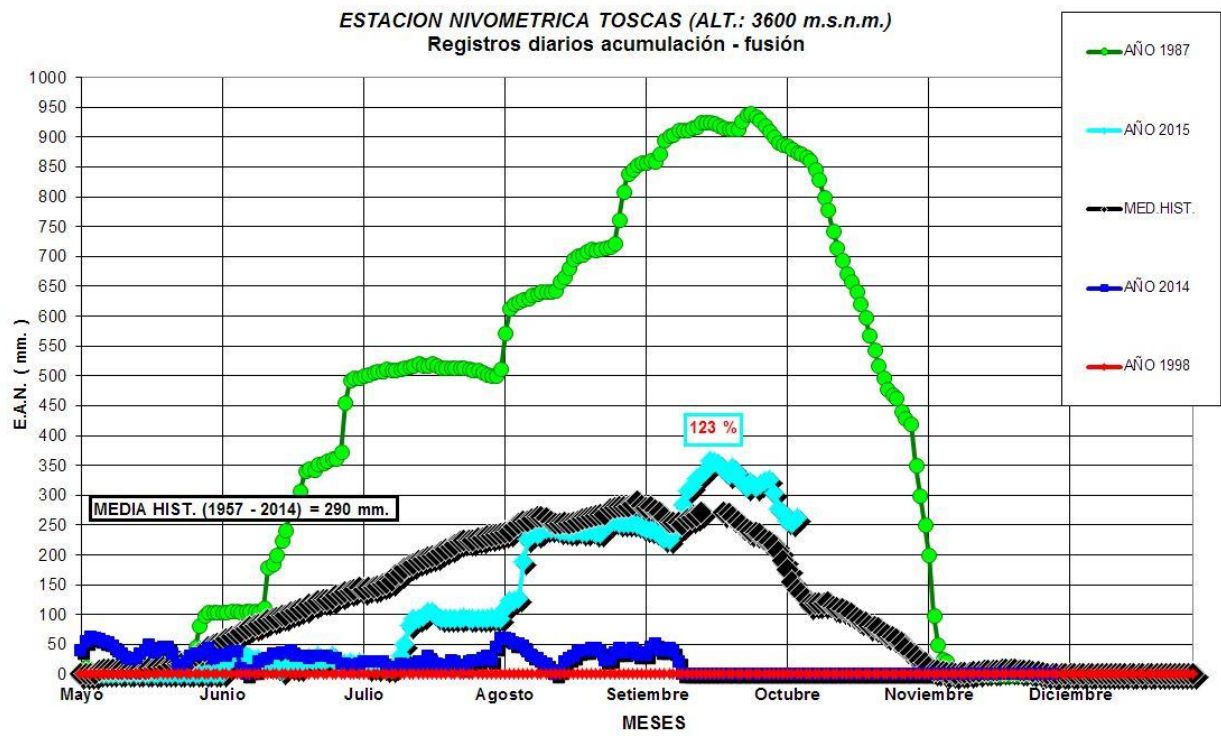


Figura Nº 10



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Toscas

3. METODOLOGÍA

Se describe en forma breve, la metodología aplicada en el desarrollo de los modelos estadísticos de pronósticos estacionales.

Los modelos utilizan un enfoque metodológico clásico, del tipo *Estadístico*, sobre la base de las técnicas de Análisis de Componentes Principales y Regresión Múltiple Lineal.

Se trabajó además con modelos no lineales tales como Redes Neuronales optimizadas con Algoritmos Genéticos, que se adaptan muy bien al cálculo de previsiones de derrames.

El análisis de componentes principales (ACP), es una técnica comúnmente usada en el tratamiento de datos, para optimizar el volumen de la información que es utilizada en la representación del proceso. Esta técnica consiste en la reducción de la cantidad de variables iniciales, mediante una transformación lineal de p variables originales a q variables independientes nuevas, denominadas Componentes Principales (CP), donde cada una de éstas es una combinación lineal de las originales.

El Análisis de Componentes Principales es aplicado a los caudales medios mensuales históricos de cada río, con el propósito de reducir el conjunto inicial de datos.

La técnica de *Regresión Múltiple Lineal (Step-Wise)* permite estimar la variable Y (dependiente) en base a un conjunto de variables independientes denominadas *regresores* X_i .

Dichos variables o predictores principales son:

- Inercia hídrica.
- Equivalente de agua en nieve (E.A.N.) de las estaciones nivométricas ubicadas en la parte alta de la cuenca.
- Temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas regionales.
- Stock de agua subterránea.
- Número de Wolf (manchas solares): indicativo de la Radiación Solar.
- Indicadores de la Variabilidad Climática Global, como son las temperaturas medias mensuales de la superficie del mar y el Índice de Oscilación del Sur del Fenómeno ENSO.

A las variables anteriores se les realiza previamente un análisis estadístico de: homogeneidad y consistencia (Test de Mann Kendall y Test de Smirnov), detección de saltos y tendencias (Test de Fisher y Test de Spearman), análisis de normalidad (Test de Shapiro Wilks), de valores extremos o outliers y análisis de cross correlación con el objeto de seleccionar los mejores predictores para modelar. El análisis de los estadísticos R , R^2 y error cuadrático medio (entre observaciones y estimaciones) en cada modelo permite evaluar su bondad de ajuste.

Las redes neuronales artificiales (RNAs) son sistemas de razonamiento distribuido de tipo conexionistas que tratan de emular el comportamiento de la mente humana a nivel neuronal. En la figura N° 11 se aprecia la pantalla de trabajo del Programa Neuroforecaster/GA para el río Diamante en La Jaula. La arquitectura de una RNA de Pronósticos de Derrames tiene las siguientes características

- ❖ **Múltiples Capas:** lo que permite resolver sistemas no lineales.
- ❖ **MISO:** múltiples entradas (predictores) y única salida (volumen estacional).
- ❖ **Totalmente Conectadas:** todos los elementos de una capa se conectan con todos los elementos de la capa siguiente.
- ❖ **Feed Forward:** en cuanto a la transmisión de la información; estas redes son las más veloces y están construidas en forma jerárquica, de tal manera que las entradas dentro de cualquier unidad, vienen solo desde unidades de capas antecesoras, siendo el flujo de la información unidireccional. Esta topología de red es ideal para resolver problemas de predicción.
- ❖ **Método de Aprendizaje Supervisado de Retro Propagación:** el valor de salida generado por la red se compara con el valor patrón objetivo; se calcula el error cuadrático medio y luego se transmite hacia atrás (Retro Propagación) hacia las capas intermedias, donde las neuronas ocultas absorben una fracción del error de manera similar a la contribución que aporata esa neurona para generar ese valor de salida; produciéndose de esta manera la actualización de los pesos sinápticos de las conexiones entre las neuronas.

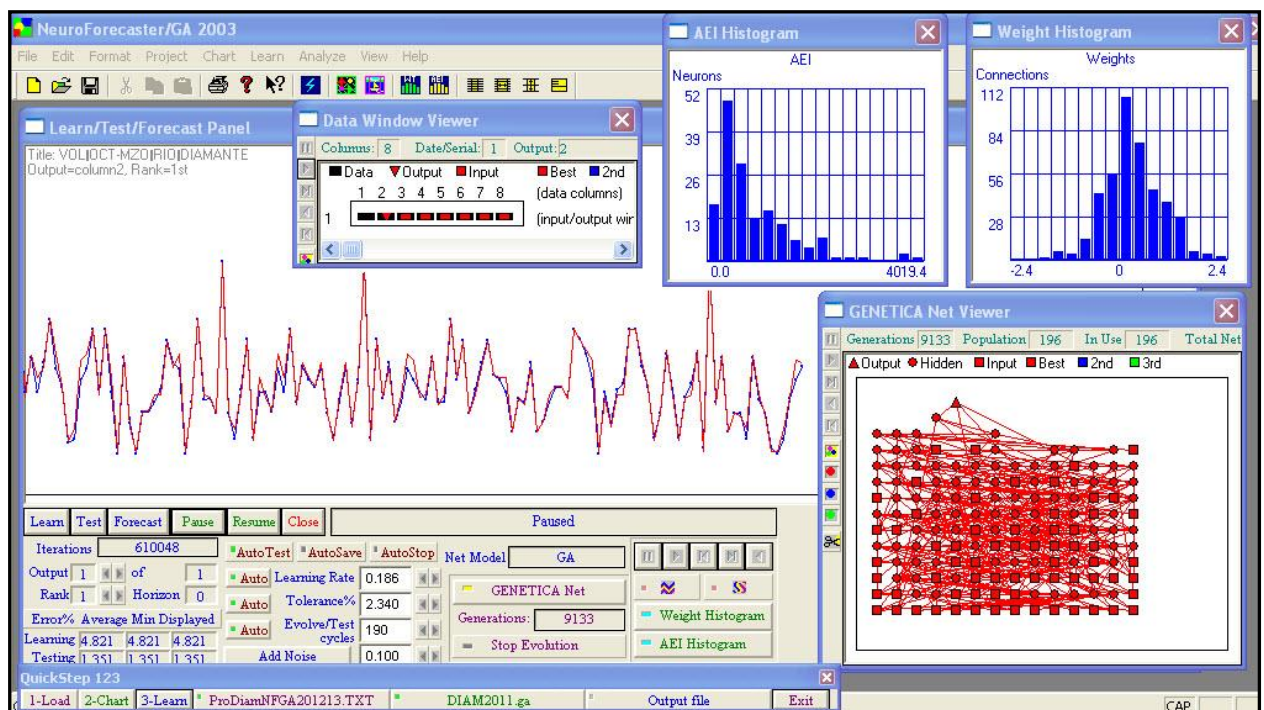


Figura Nº 11

El modelo de neurona y la arquitectura de una red neuronal describen como la red transforma sus entradas en salidas, donde los pesos sinápticos de las conexiones son los que codifican el conocimiento de la red.

Los algoritmos genéticos son métodos sistemáticos utilizados para la resolución de problemas de búsqueda y optimización que emulan la evolución biológica Darwiniana, por lo tanto cumplen con los cuatro procesos de la evolución: inicialización, evalua-

ción y selección, reproducción y mutación. De tal manera que los miembros más aptos tendrán una mayor probabilidad de apareamiento que los miembros menos adecuados para producir descendientes, los cuales retendrán las características deseadas de sus patrones y heredarán el conocimiento ya adquirido por los mismos. De este modo se conseguirá que cada generación de individuos sea mejor que la anterior y si el algoritmo converge adecuadamente el último individuo será el más apto.

Los algoritmos genéticos permiten optimizar la topología de las RNAs, el número de capas ocultas, de nodos ocultos y de patrones de interconexión.

4. PRONÓSTICO TEMPORADA 2015 - 2016

Los mismos corresponden a las cuencas del frente cordillerano desde el Sur de la provincia de San Juan hasta la cuenca del embalse Ameghino en la provincia de Chubut, abarcando los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Colorado y Chubut.

Los pronósticos son realizados sobre las estaciones de control indicadas en el Cuadro N° 2:

RÍO	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	SERIE HISTÓRICA
San Juan	Km. 101	31° 20'	69° 06'	1971 – 2014
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2014
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2014
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2014
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2014
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2014
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2014

Cuadro N° 2

Se han determinado para todos los ríos, excepto el Chubut, además de los volúmenes estacionales octubre - marzo, el volumen anual octubre – setiembre.

A continuación se publican en detalle los cuadros y gráficos correspondientes a dichas previsiones 2015/16.

En los cuadros se detalla la distribución de caudales medios mensuales más probable o **Valor Central** y los escenarios mensuales correspondientes al intervalo de confianza del 70%, ellos son los caudales que corresponden al **Límite Superior** que tienen una probabilidad del 15% de ser superados y al **Límite Inferior** en los cuales existe una probabilidad del 15% de esperar caudales inferiores. Se completan dichas tablas con parámetros que caracterizan el régimen hidrológico de cada cuenca.

En las gráficas, además de colocar los valores indicados en los cuadros, se presenta la distribución de caudales medios mensuales correspondientes a condiciones

normales y condiciones de máximos y mínimos aportes estacionales históricos, sobre la base de las series estudiadas.

Como los ríos cuyanos son netamente Termonivales, los caudales medios mensuales en el período estacional, pueden sufrir desviaciones importantes ya que dependen de la ubicación de la isoterma de 0°C (a mayor altura mayor área expuesta al calor). Además es suficiente que la isoterma descienda abruptamente uno o dos días para que se interrumpa la inercia térmica y consecuentemente decrezcan los caudales.

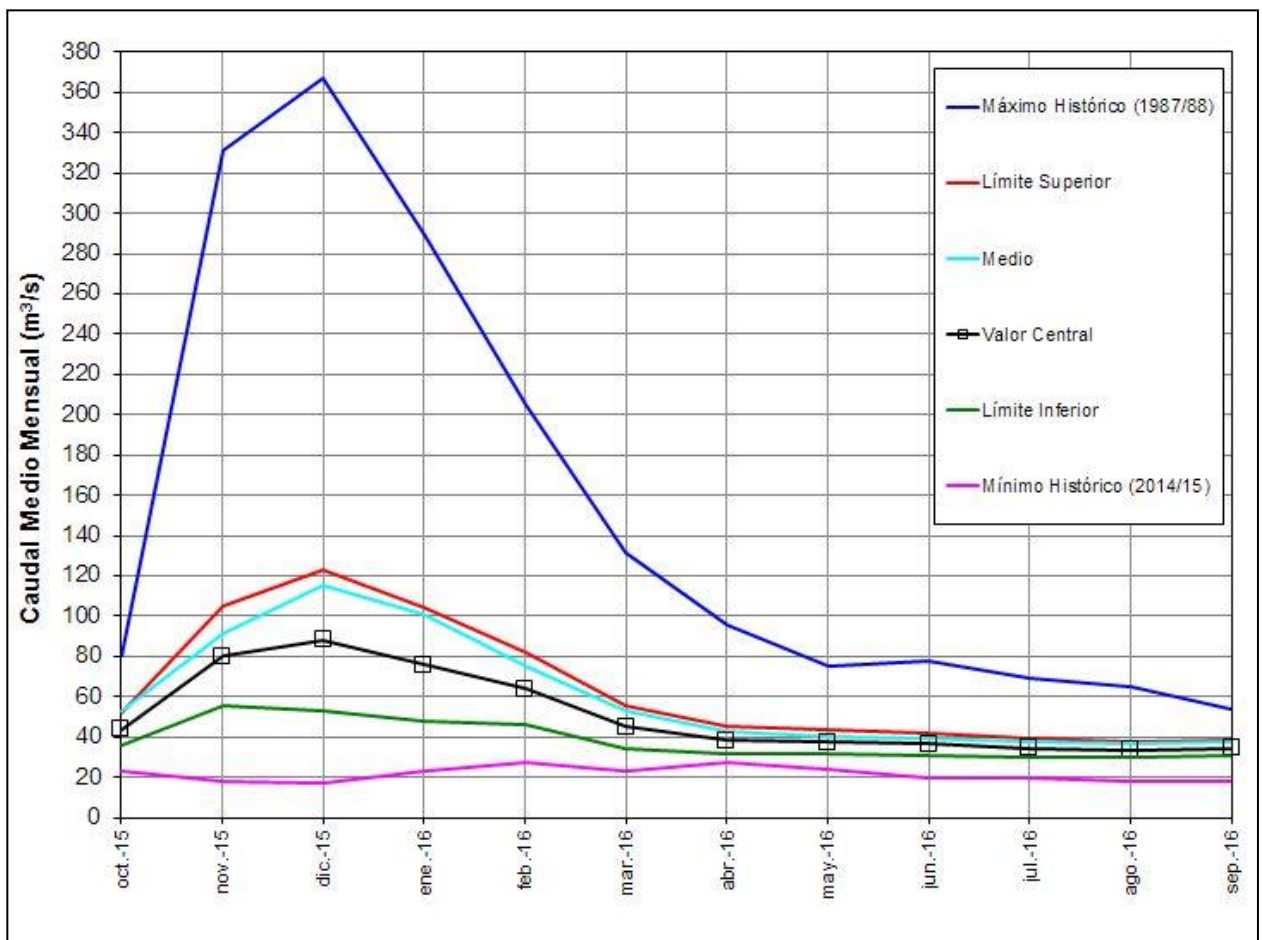
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-15	36	44	52
nov-15	55	80	105
dic-15	53	88	123
ene-16	48	76	104
feb-16	46	64	82
mar-16	34	45	55
abr-16	31	38	46
may-16	32	37	43
jun-16	31	36	42
jul-16	30	35	39
ago-16	30	34	38
sep-16	31	35	39

Volúmen octubre - setiembre:	1612	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	51	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	60	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1045	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	66	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	81	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	85	%

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	716	1045	1374
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	1201	1612	2022



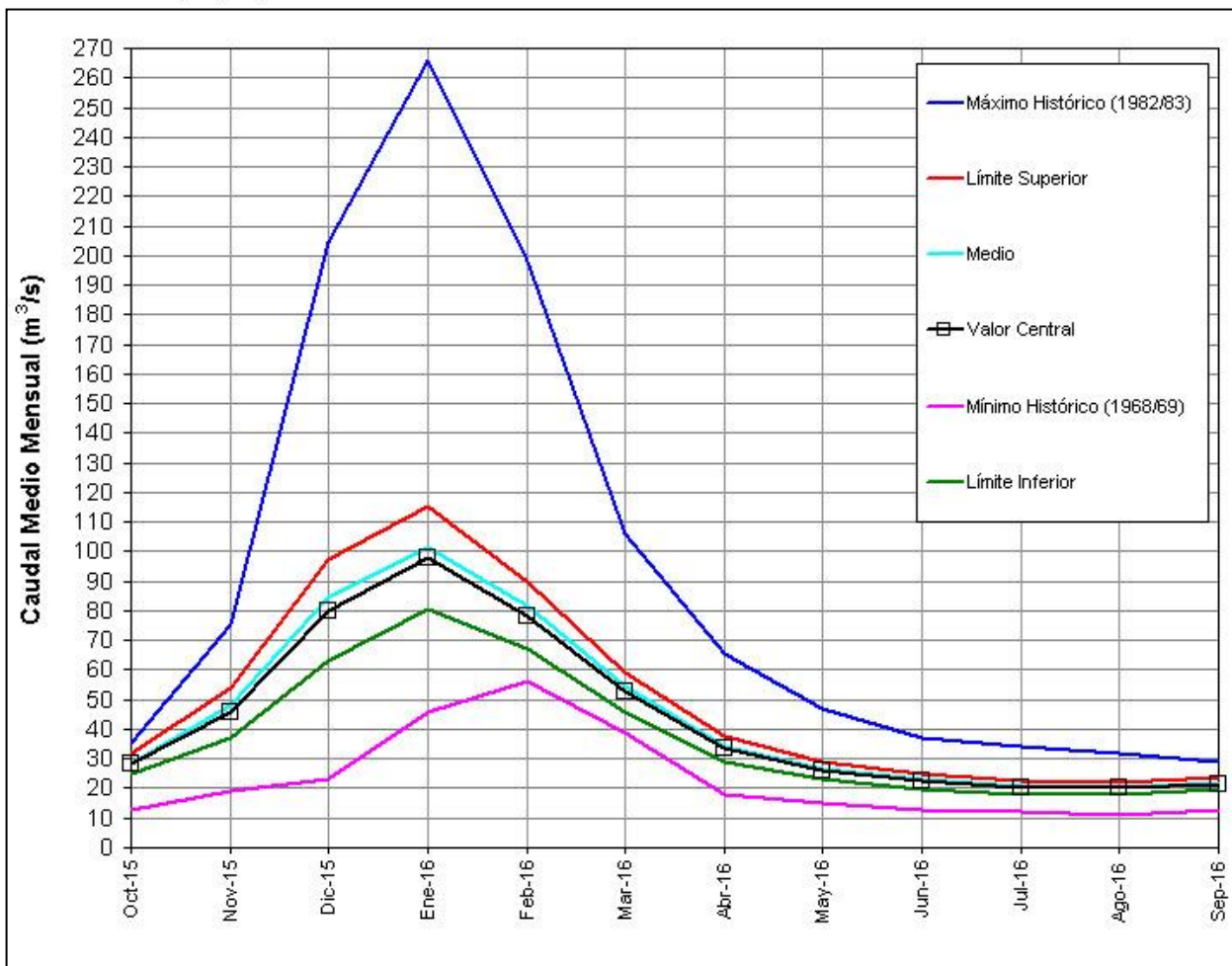
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	25	28	32
Nov-15	37	46	54
Dic-15	63	80	97
Ene-16	80	98	115
Feb-16	67	78	90
Mar-16	46	52	59
Abr-16	29	33	38
May-16	23	26	29
Jun-16	20	22	25
Jul-16	18	20	23
Ago-16	18	20	22
Sep-16	20	22	24

Volúmen octubre - setiembre:	1387	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	44	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	45	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1007	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	64	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	66	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	97	%

Régimen : Medio

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	836	1007	1178
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	1174	1387	1599



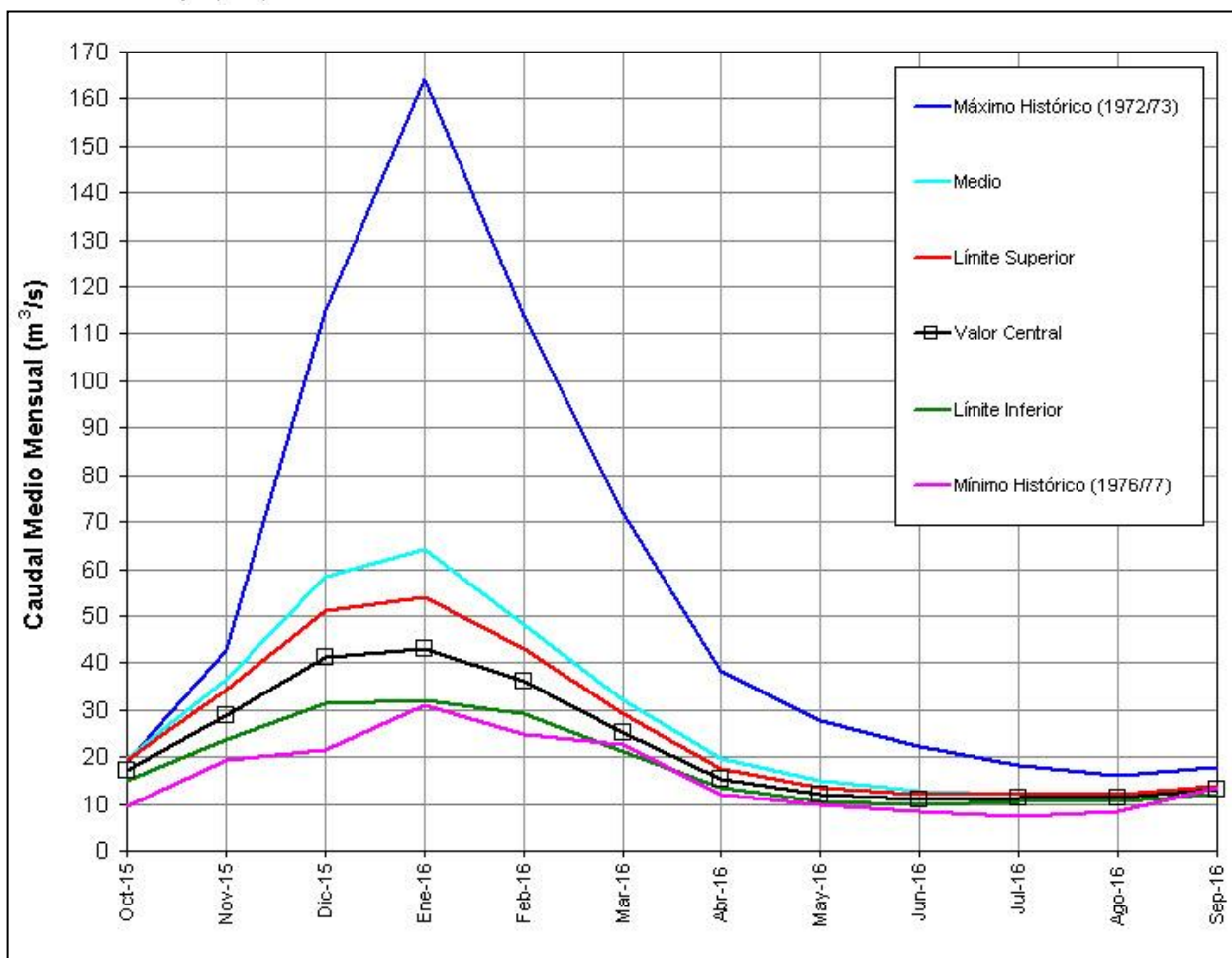
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	15	17	19
Nov-15	24	29	34
Dic-15	31	41	51
Ene-16	32	43	54
Feb-16	29	36	43
Mar-16	21	25	29
Abr-16	13	16	18
May-16	11	12	13
Jun-16	10	11	12
Jul-16	10	11	12
Ago-16	11	11	12
Sep-16	12	13	14

Volúmen octubre - setiembre: 700 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 22 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 29 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 505 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 32 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 43 m³/s.
 Porcentaje año medio : 77 %

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	402	505	608
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	578	700	822



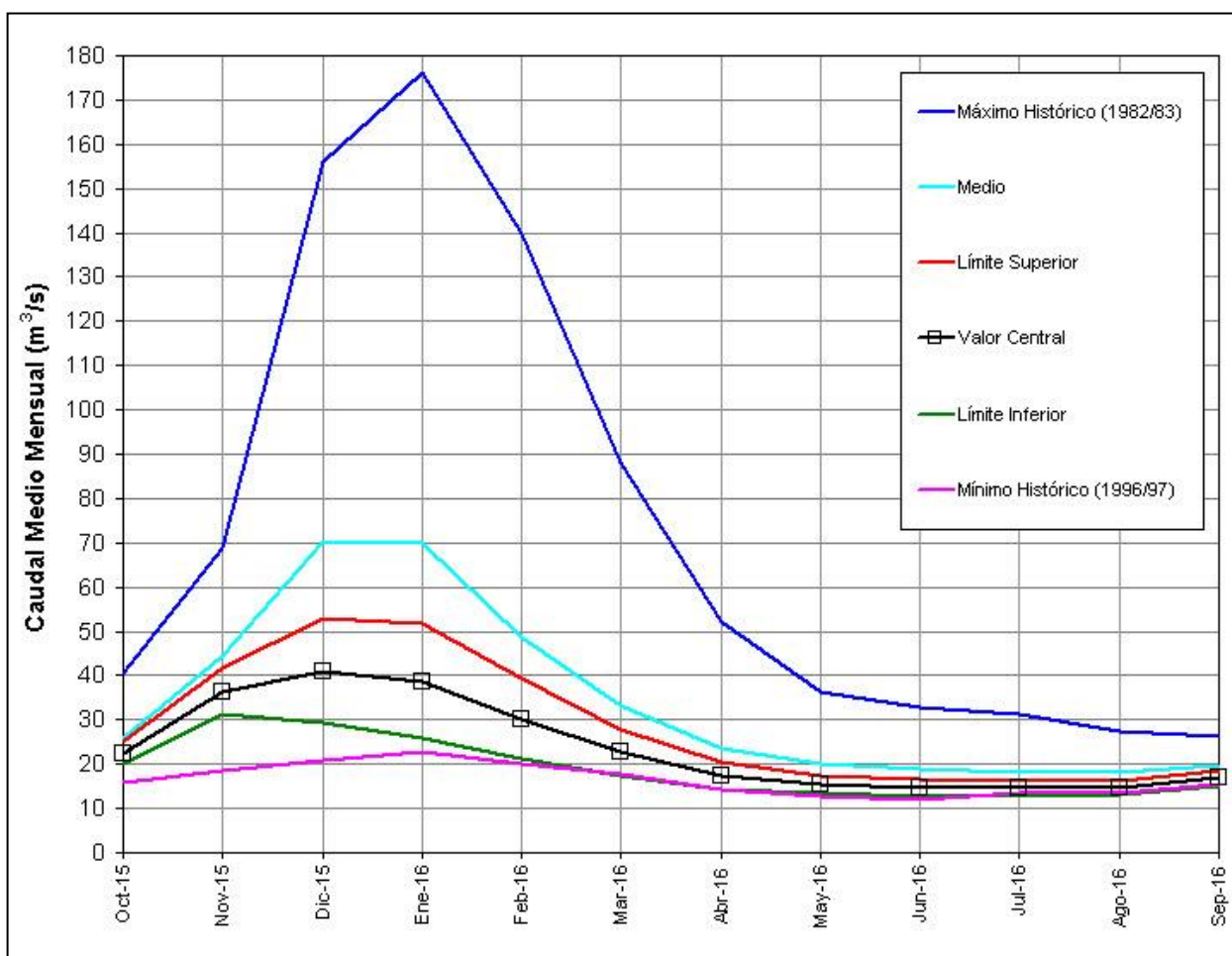
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	20	23	25
Nov-15	31	37	42
Dic-15	29	41	53
Ene-16	26	39	52
Feb-16	21	30	39
Mar-16	17	23	28
Abr-16	14	17	21
May-16	13	15	17
Jun-16	13	15	17
Jul-16	13	15	16
Ago-16	13	15	16
Sep-16	15	17	19

Volúmen octubre - setiembre:	752	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	24	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	34	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	505	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	32	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	49	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	70	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	381	505	629
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	596	752	908



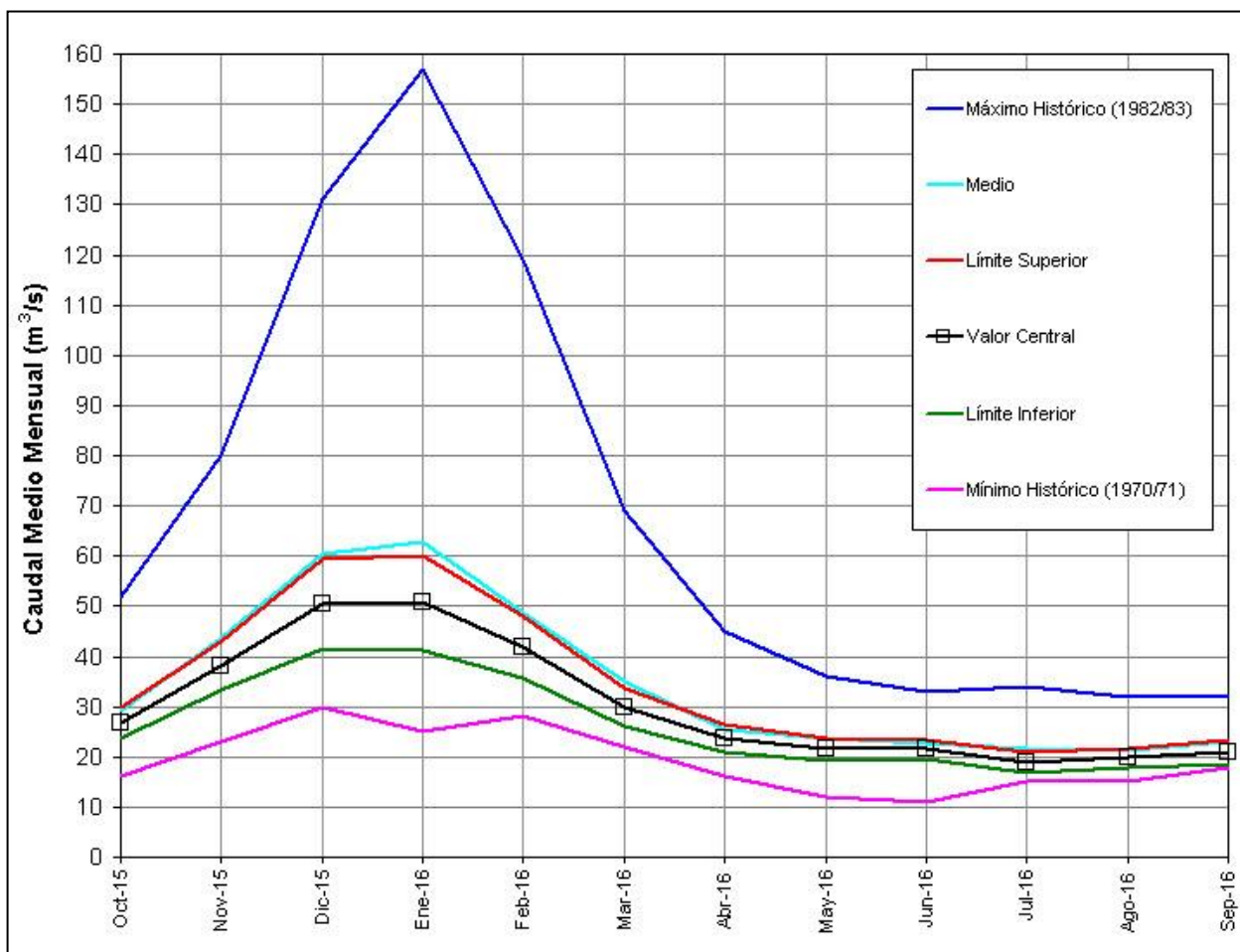
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	24	27	30
Nov-15	33	38	43
Dic-15	42	51	59
Ene-16	41	51	60
Feb-16	36	42	48
Mar-16	26	30	34
Abr-16	21	24	26
May-16	19	21	24
Jun-16	19	21	23
Jul-16	17	19	21
Ago-16	18	20	22
Sep-16	19	21	23

Volúmen octubre - setiembre: 960 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 30 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 35 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 627 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 40 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 47 m³/s.
 Porcentaje año medio : 87 %

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	532	627	723
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	830	960	1090



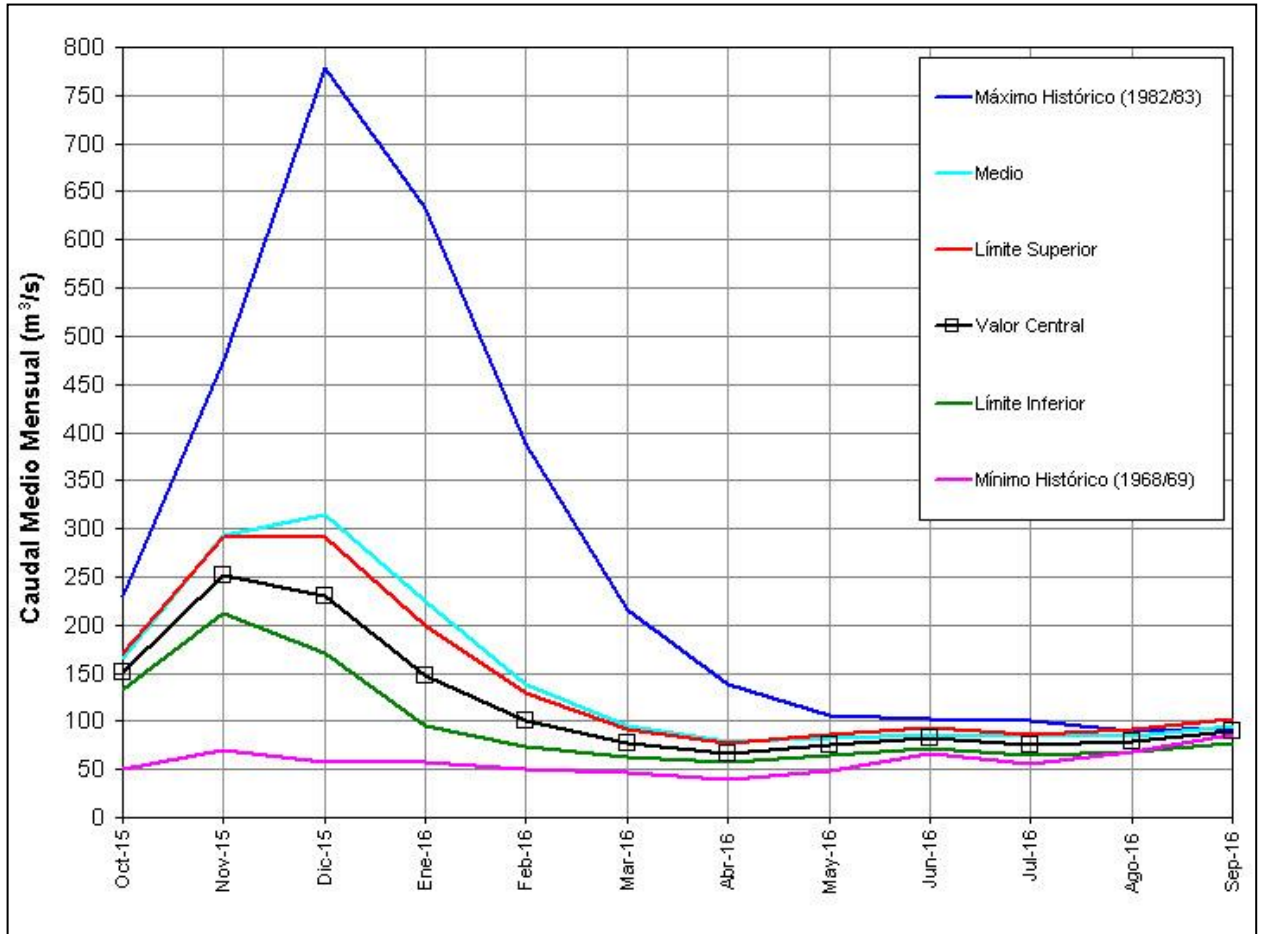
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	132	152	171
Nov-15	212	252	291
Dic-15	170	231	291
Ene-16	96	148	200
Feb-16	74	101	129
Mar-16	63	77	92
Abr-16	57	67	77
May-16	64	75	87
Jun-16	71	82	93
Jul-16	65	76	87
Ago-16	69	80	91
Sep-16	78	90	102

Volúmen octubre - setiembre:	3774	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	119	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	145	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	2535	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	160	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	205	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	82	%

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	1974	2535	3096
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	3038	3774	4510



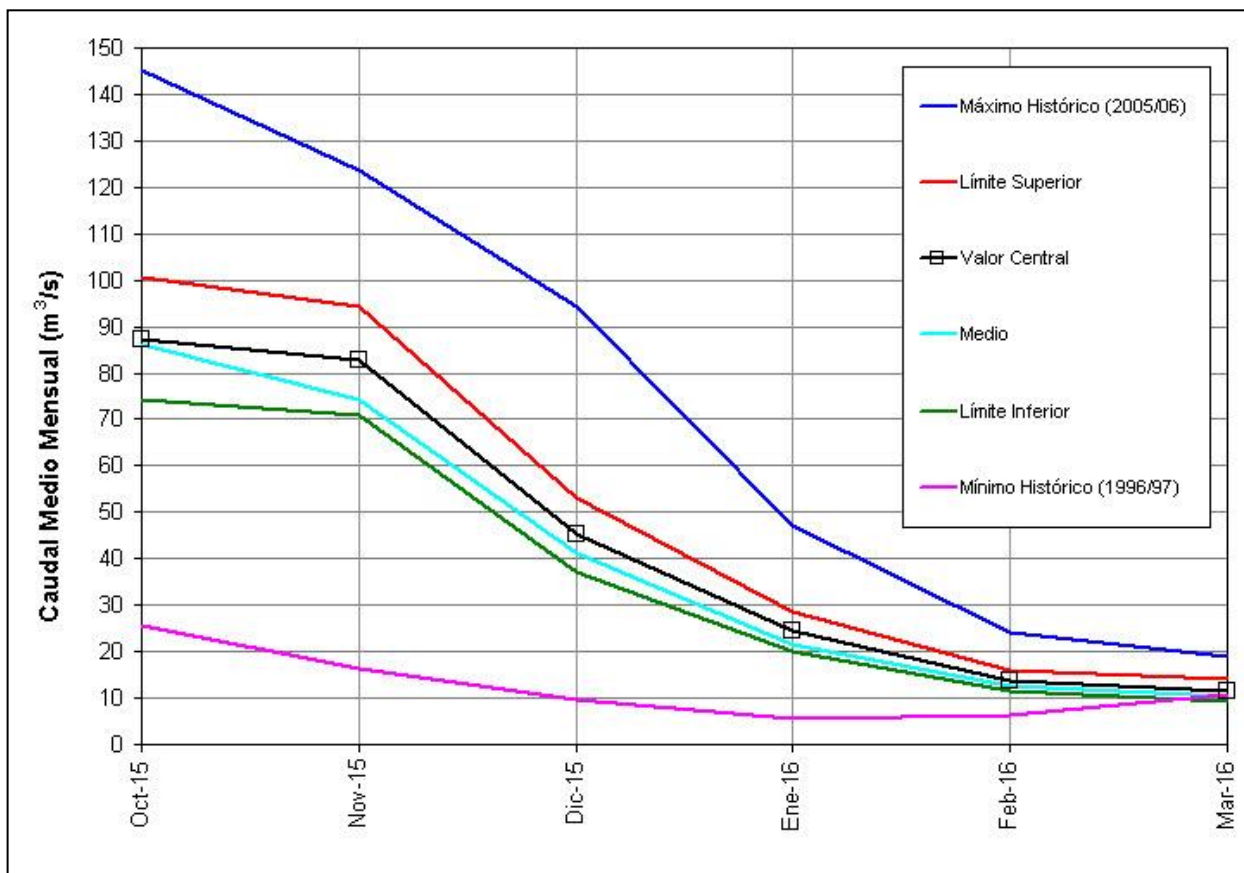
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-15	74	87	100
Nov-15	71	83	94
Dic-15	37	45	53
Ene-16	20	24	29
Feb-16	12	14	16
Mar-16	9	12	14

Volúmen octubre - marzo : 700 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 44 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 41 m³/s.
 Porcentaje año medio : 108 %

Régimen : Medianamente Húmedo

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 590 700 811



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2015/16 para cada río, e información adicional histórica como la media, mediana, mínimo y máximo; esto permitirá al usuario comparar el escenario previsto para la presente temporada en las diferentes cuencas, con los eventos históricos.

Como conclusión los regímenes hidrológicos esperados para los ríos de pronóstico varían, desde Seco para el río Diamante, Medianamente Seco para los ríos San Juan, Tunuyán, Atuel y Colorado, Medio para el río Mendoza y Medianamente Húmedo para el río Chubut.

RÍO	PRONOSTICO 2015-2016 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	1612	Medianamente Seco	1897 1554	680	4851
Mendoza	1387	Medio	1424 1327	731	2968
Tunuyán	700	Medianamente Seco	899 904	496	1752
Diamante	752	Seco	1058 1035	521	2302
Atuel	960	Medianamente Seco	1094 1059	607	2155
Colorado	3774	Medianamente Seco	4573 4582	1837	8796
Chubut (1)	700	Medianamente Húmedo	642 660	195	1198

(1) Pronóstico Estacional Octubre – Marzo.

Cuadro N° 3

Se ha incorporado la mediana como información adicional histórica ya que la misma divide al conjunto en dos partes iguales, a diferencia de la media que es el promedio de la cantidad finita de registros. Es por ello que se la considera más representativa del valor medio de la muestra, neutralizando el efecto de asimetría producido por los valores extremos (outliers)