



Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda

Secretaría de Obras Públicas

Subsecretaría de Recursos Hídricos

Dirección Nacional de Conservación y Protección
de los Recursos Hídricos

PRONÓSTICOS DE ESCURRIMIENTOS

TEMPORADA 2016 – 2017

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2016



Contrato S.O.P. – EVARSA: Ampliación y Mejoramiento de la Red Hidrológica Nacional. Adquisición de Datos y Tareas Accesorias. EXPEDIENTE N° 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 2016 a Septiembre 2017, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2016 a Marzo 2017.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de fechas similares de 2015 y 2016, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2015 y las b, al año 2016; 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

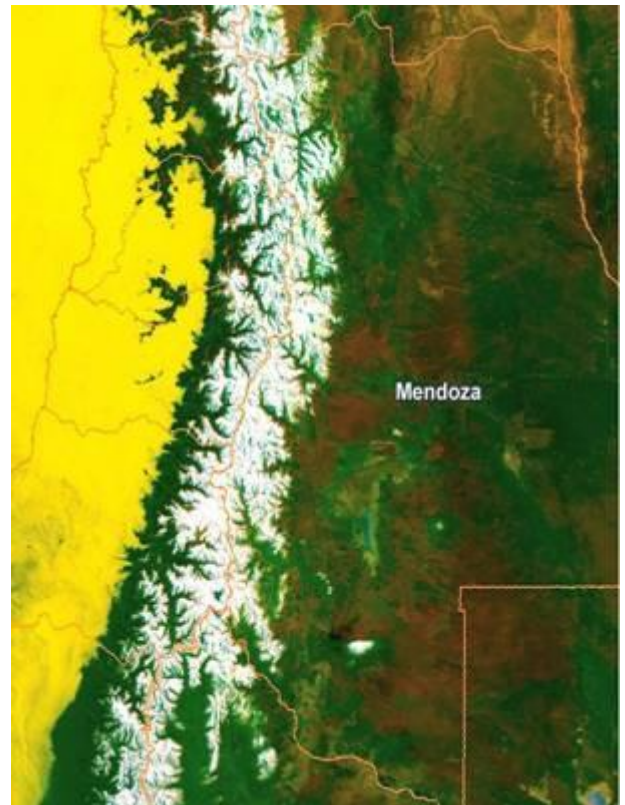


Figura N° 1.b

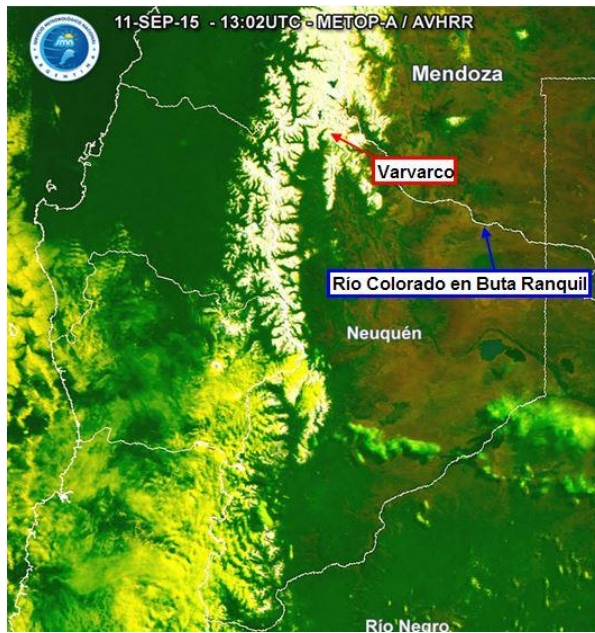


Figura Nº 2.a



Figura Nº 2.b



Figura Nº 3.a

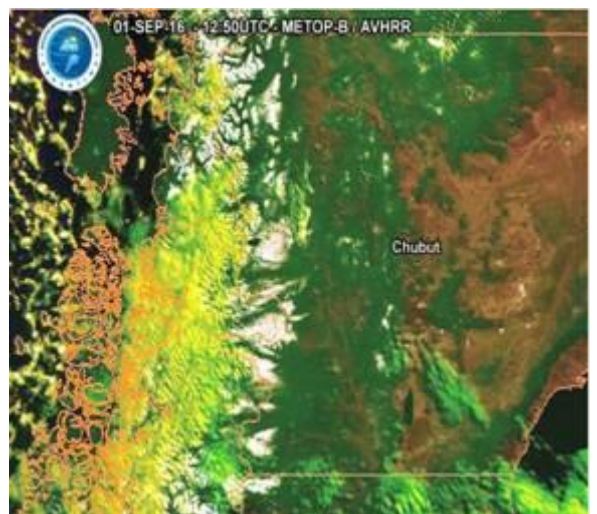


Figura Nº 3.b

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 la estación nivométrica Laguna Diamante que registra un valor medio.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2016	2015	2014
Teatinos	San Juan	495	448	390	185
Toscas	Mendoza – Tunuyán	291	150	358	64
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	452	450	388	170
Laguna Atuel	Atuel	1144	627	1145	867
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	778	320	845	496
Pehuenche	Colorado	1184	280	763	846
Varvarco	Neuquén	1114	382	1038	1072

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 2015.

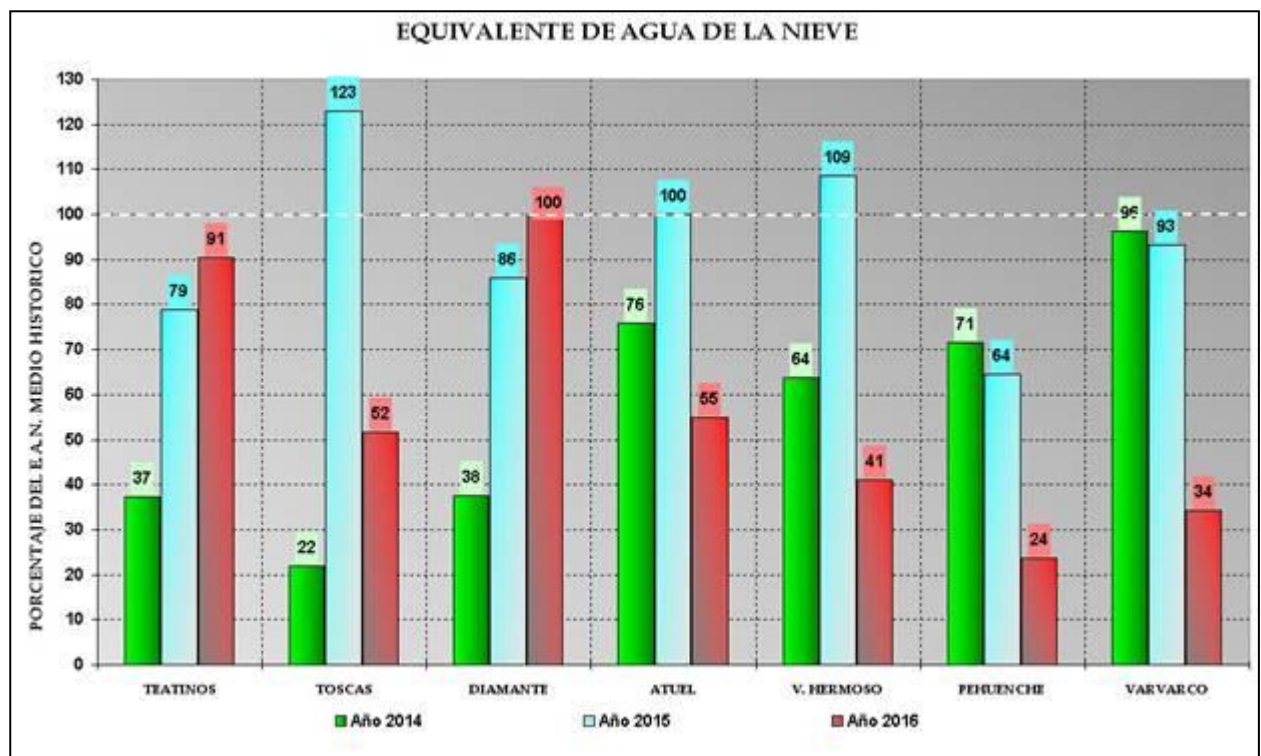


Figura Nº 4

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:

- Respecto a la media histórica: inferiores, excepto Laguna Diamante.
- Respecto a las registradas en el año 2015: inferiores excepto Laguna Diamante y Teatinos.

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 2016, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2015 (línea azul)
- ❖ La media histórica del registro completo de mediciones (puntuales y tele medidas)
- ❖ 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.

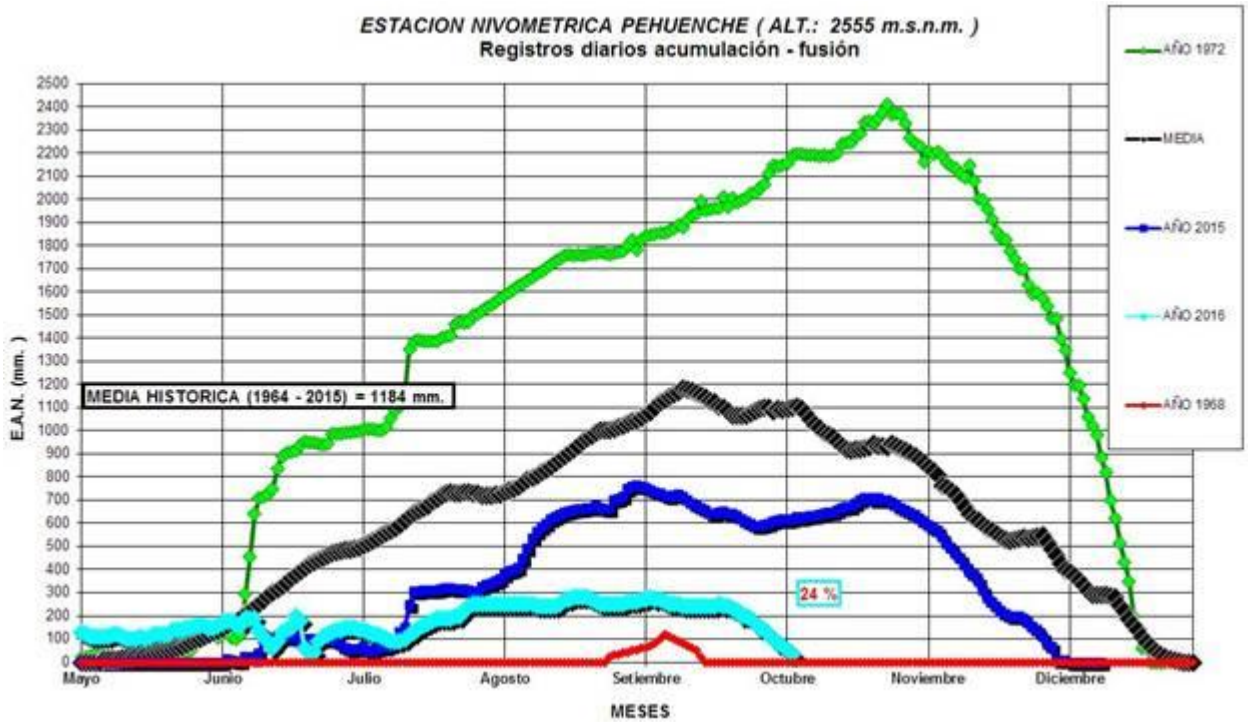


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Pehuenche

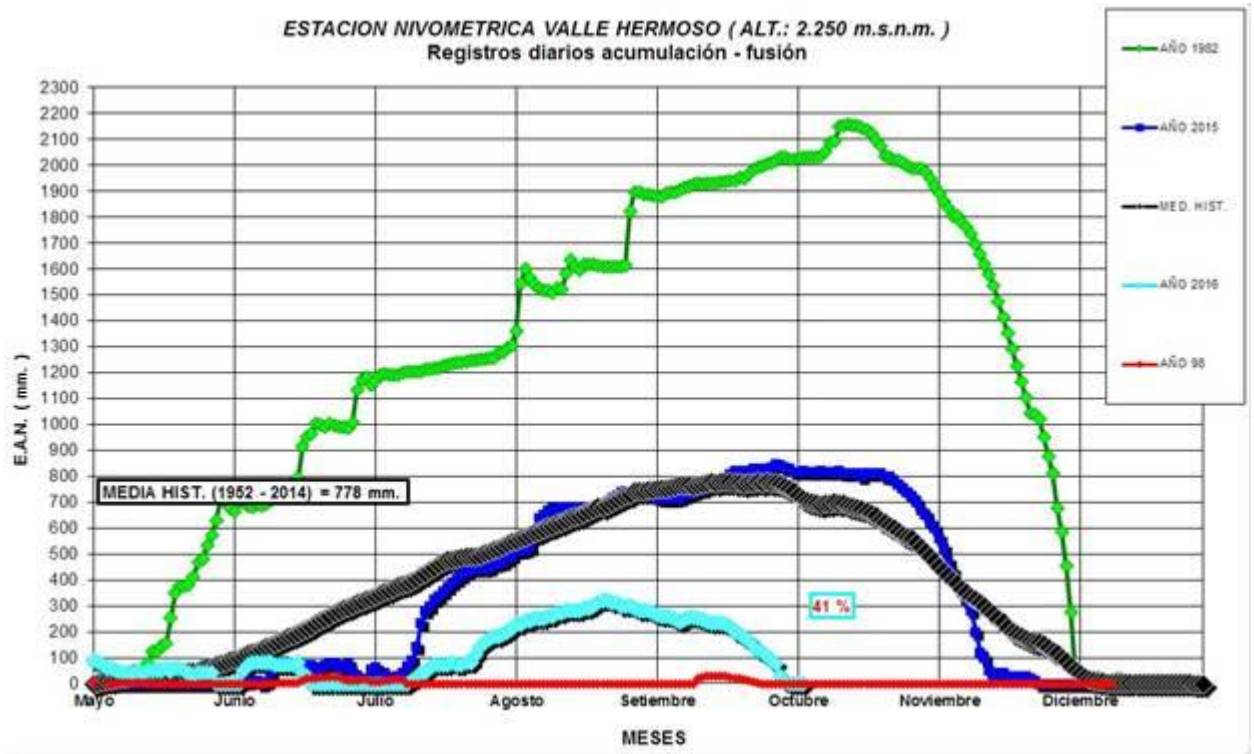


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

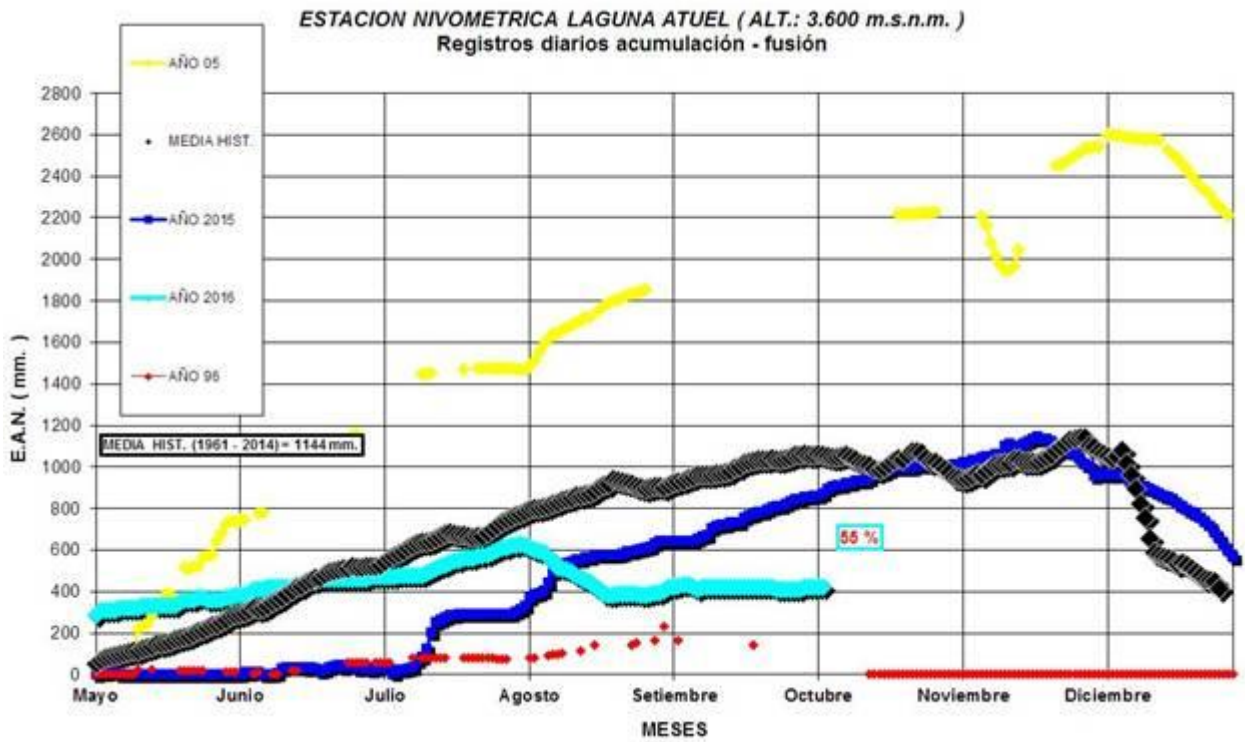


Figura N° 8



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Atuel

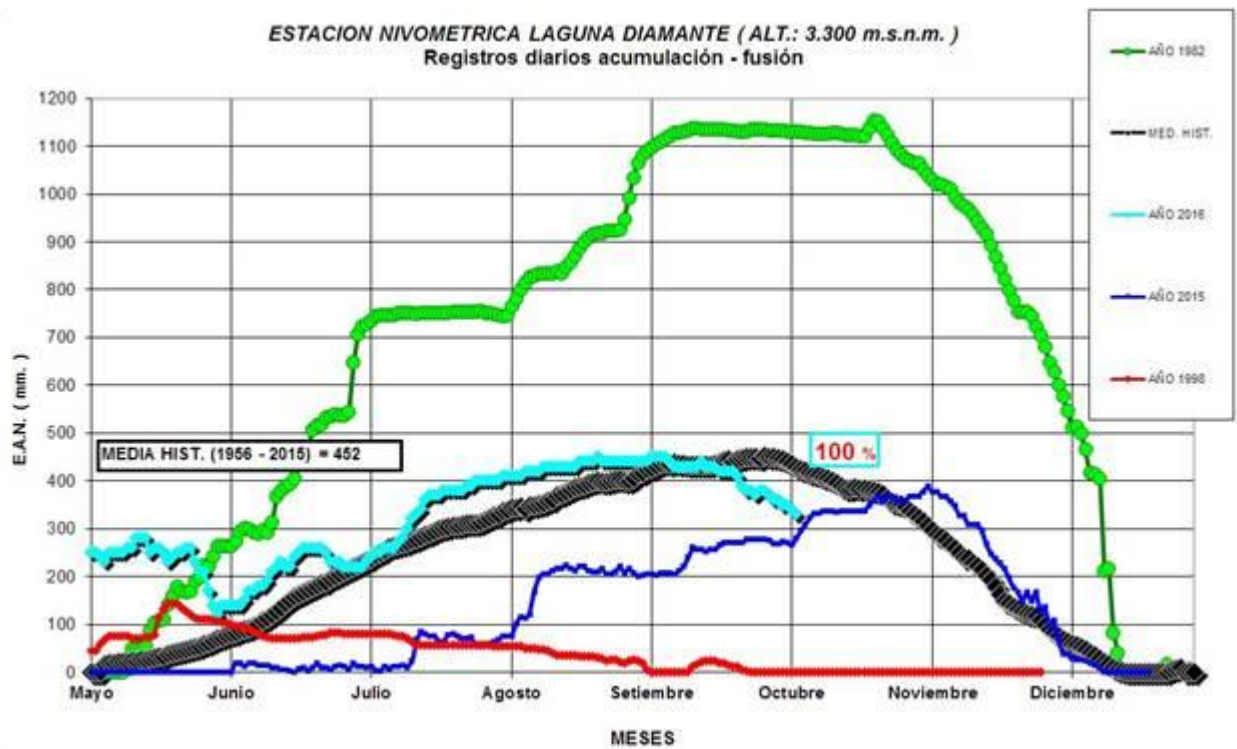
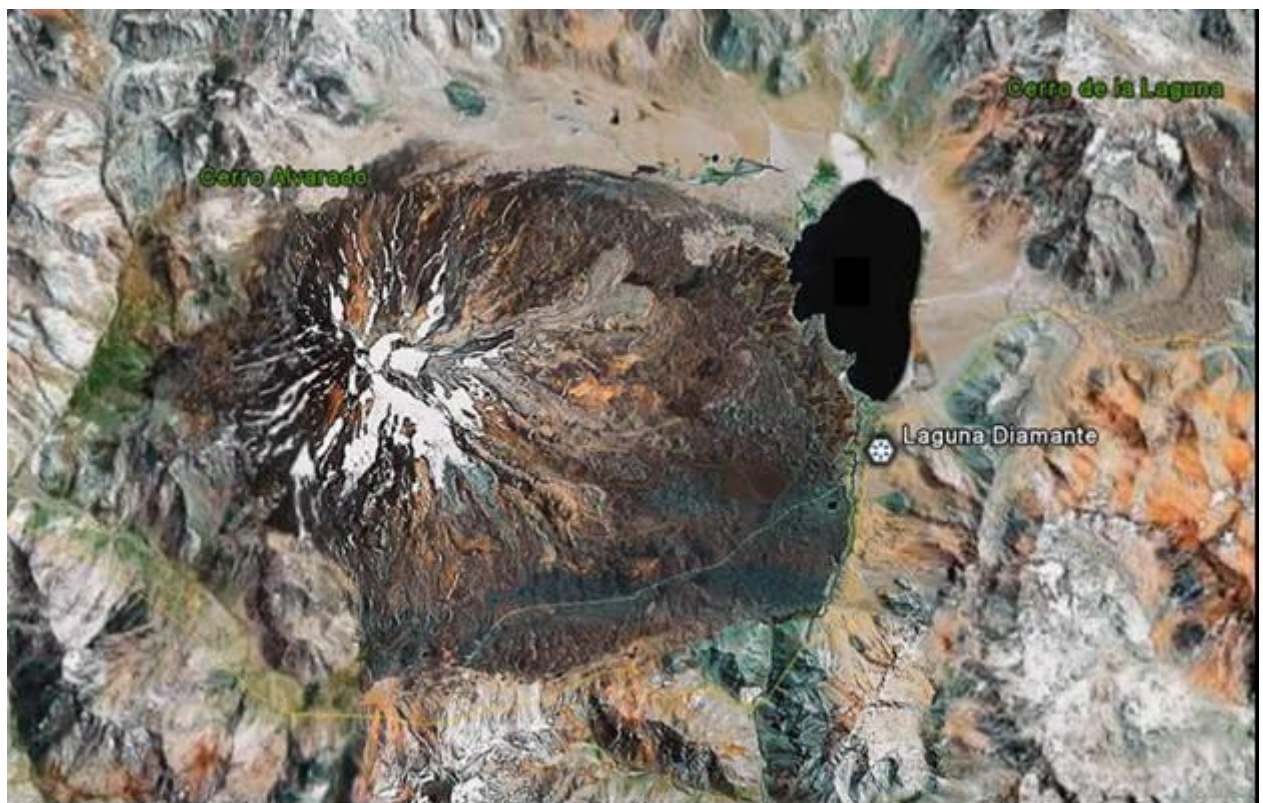


Figura N° 9



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

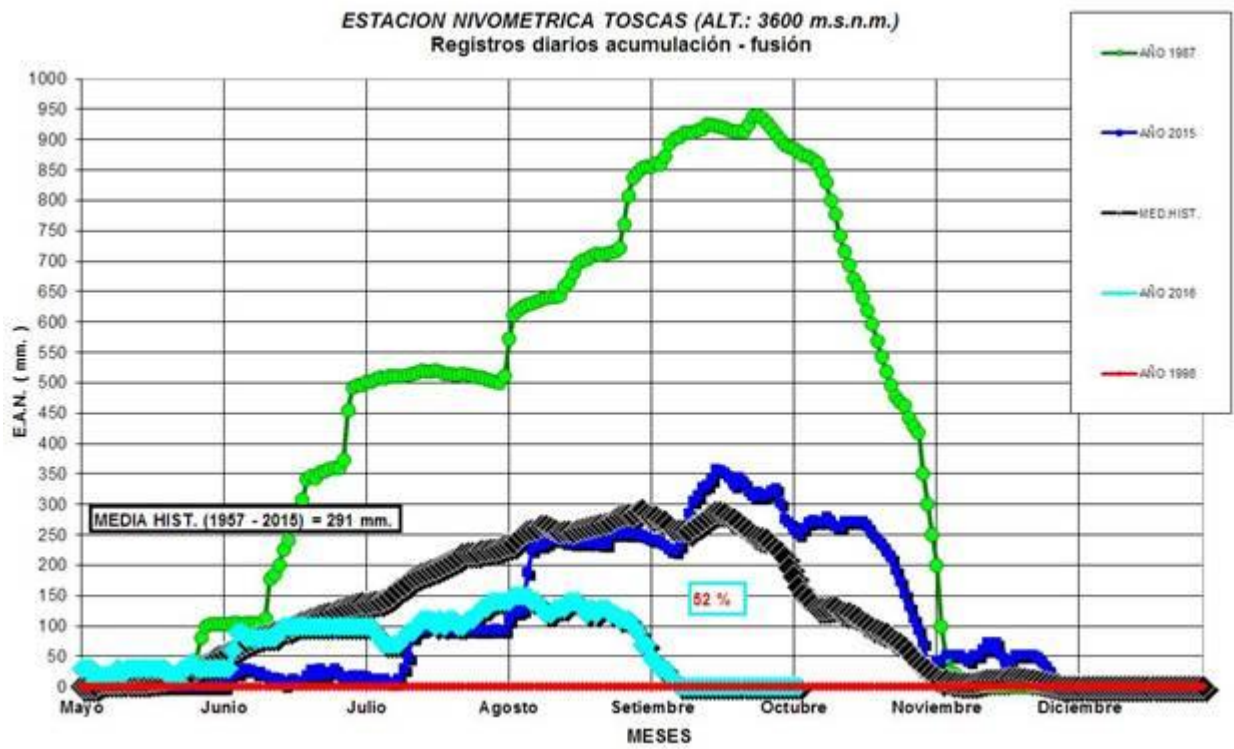


Figura Nº 10



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 Mendoza en Guido. 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.

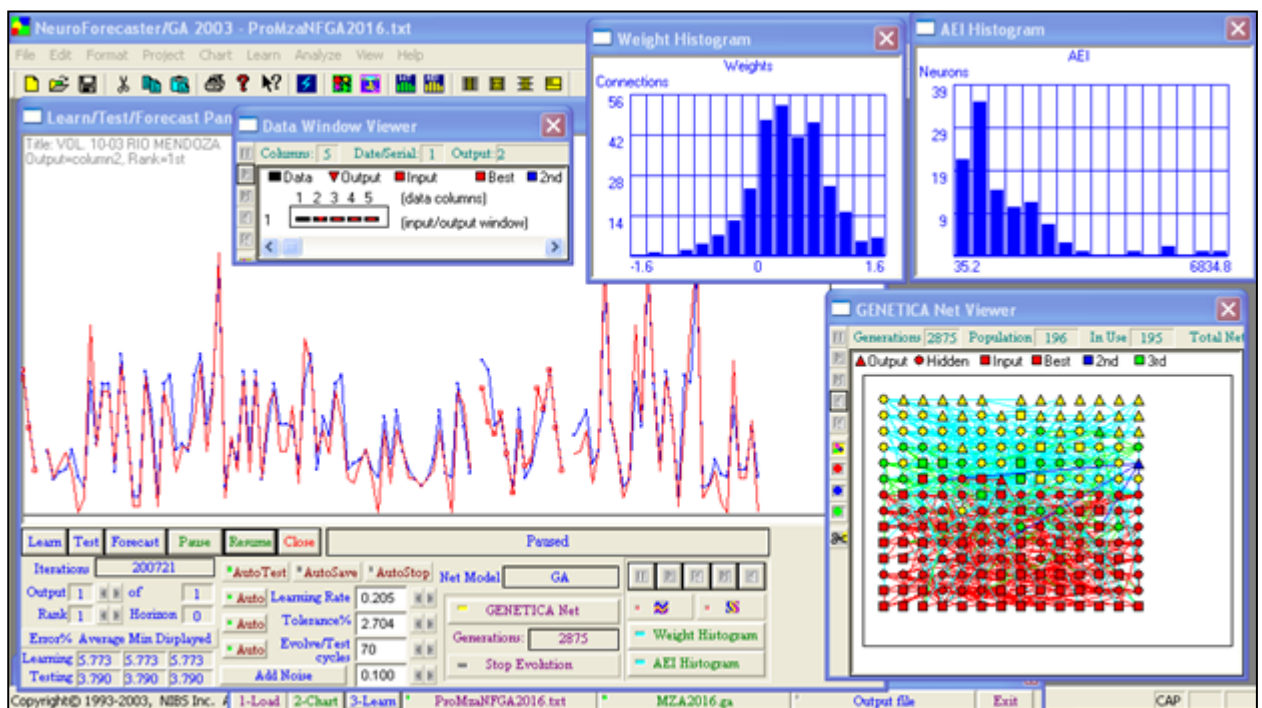


Figura N° 11

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 Darwinia-

na, por lo tanto cumplen con los cuatro procesos de la evolución: inicialización, evaluación 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 2016 - 2017

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 – 2015
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2015
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2015
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2015
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2015
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2015
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2015

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 2016/17.

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.

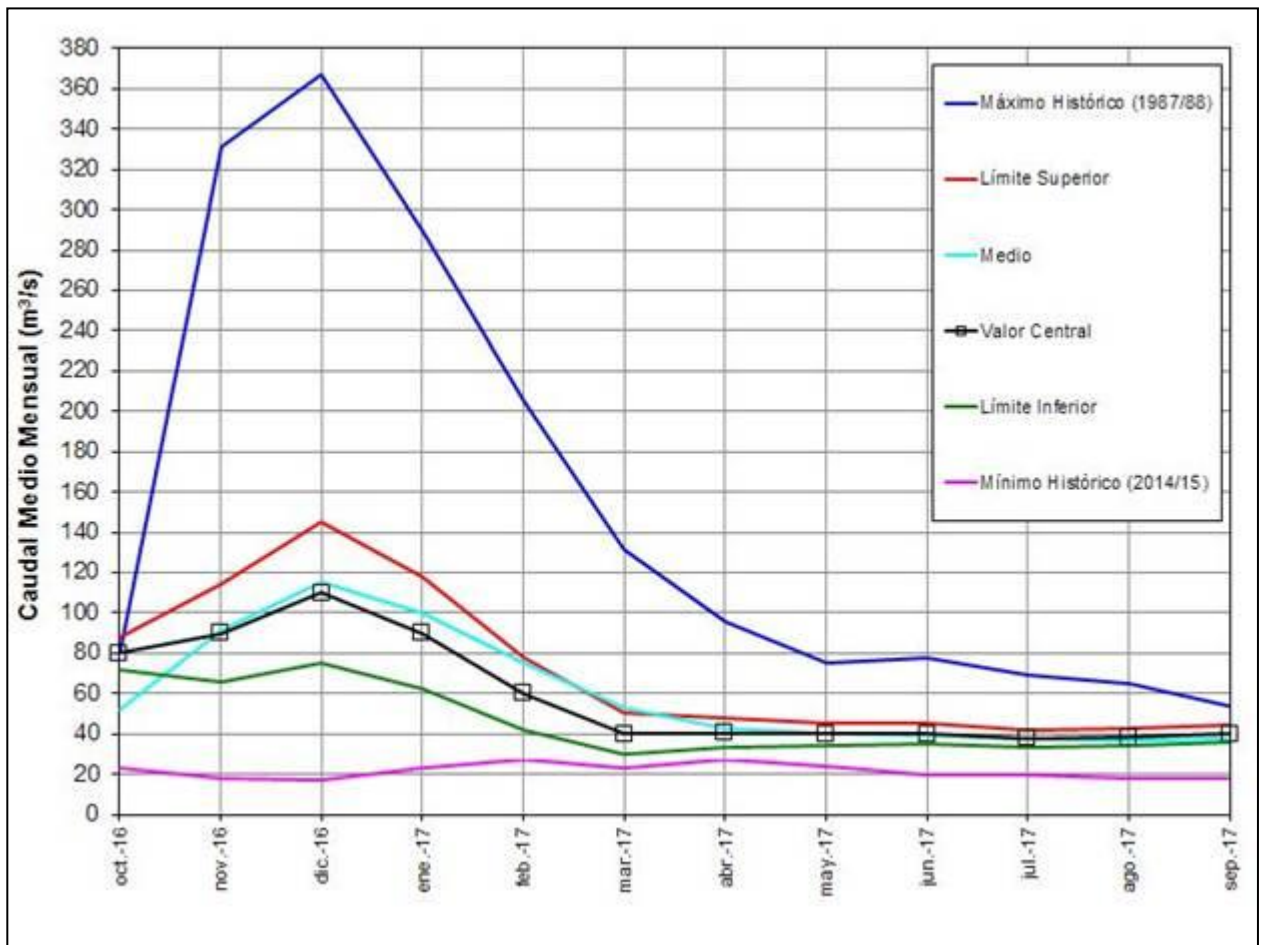
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-16	72	80	88
Nov-16	65	90	115
Dic-16	75	110	145
Ene-17	62	90	118
Feb-17	42	60	78
Mar-17	30	40	50
Abr-17	33	41	48
May-17	34	40	46
Jun-17	35	40	45
Jul-17	33	38	42
Ago-17	34	38	42
Sep-17	36	40	44

Volúmen octubre - setiembre:	1859	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	59	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	60	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1236	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	78	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	81	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	98	%

Régimen : Medio

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	911	1236	1560
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	1454	1859	2264



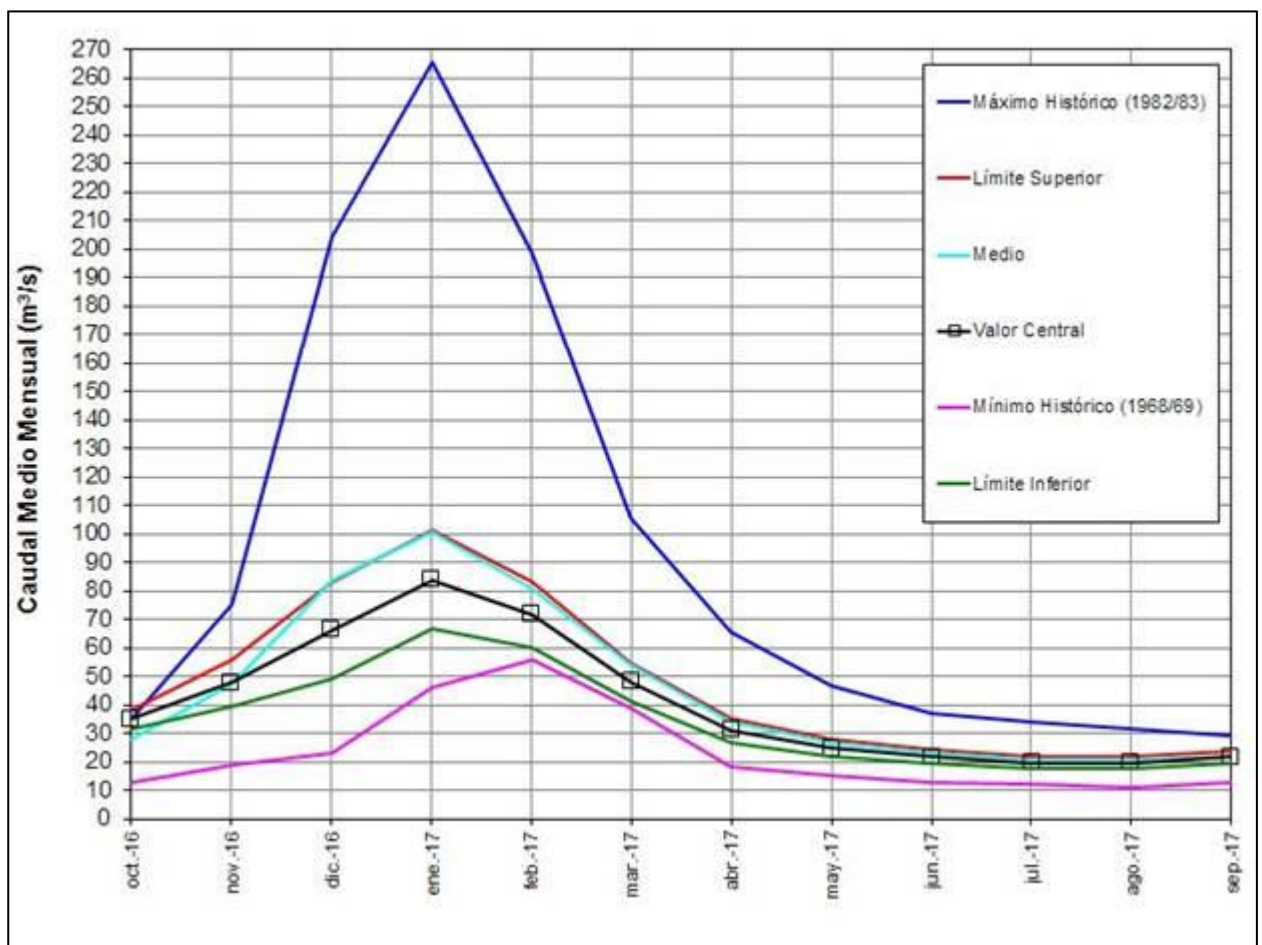
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-16	32	35	38
nov-16	39	48	56
dic-16	49	66	83
ene-17	67	84	101
feb-17	60	72	83
mar-17	41	48	55
abr-17	27	31	35
may-17	22	25	28
jun-17	19	22	24
jul-17	17	19	22
ago-17	18	20	22
sep-17	20	22	24

Volúmen octubre - setiembre:	1287	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	41	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	45	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	922	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	59	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	66	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	91	%

Régimen : Medio

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	753	922	1090
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	1077	1287	1497



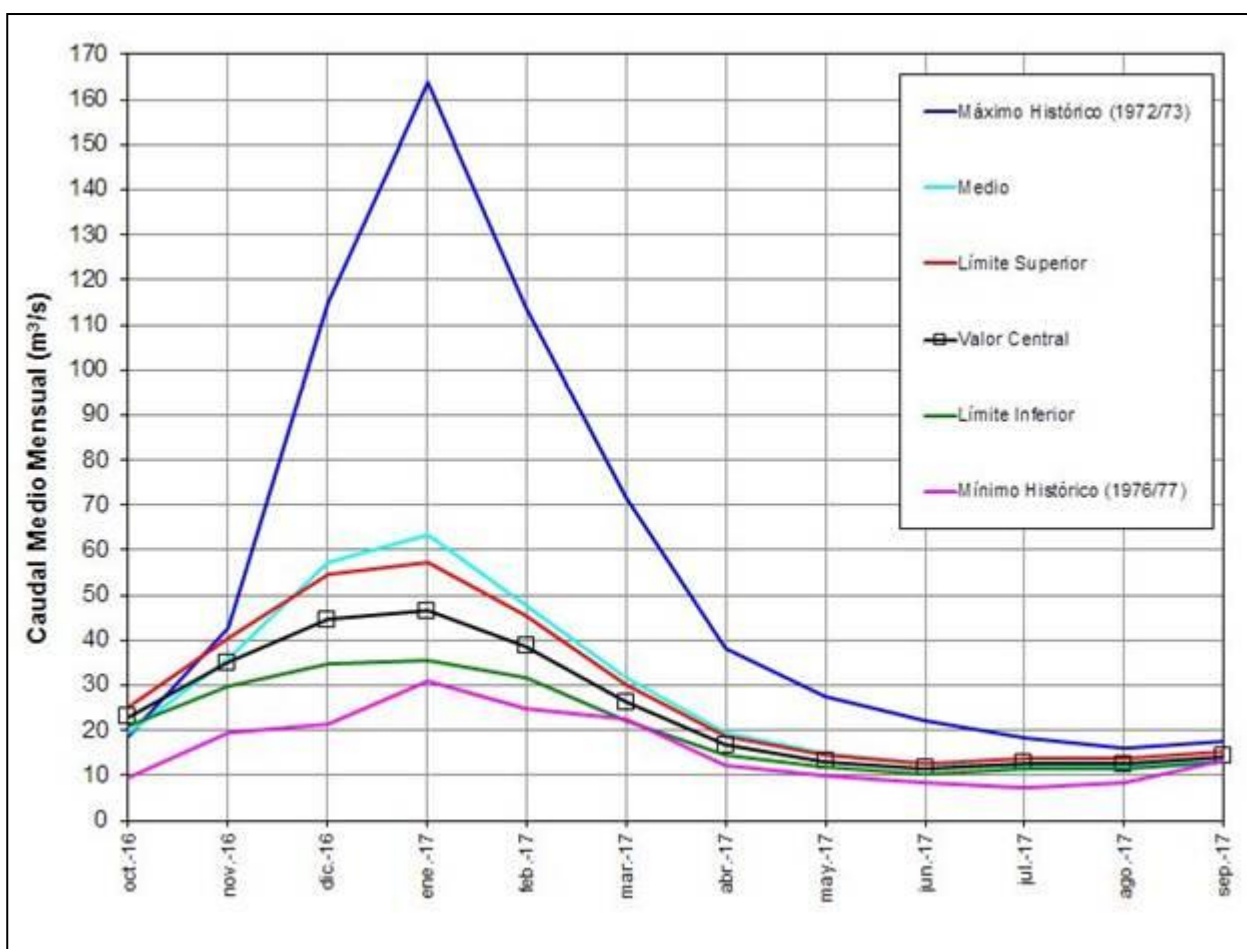
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m3/s.)		
	Limite Inferior	Valor Central	Limite Superior
oct-16	21	23	25
nov-16	30	35	40
dic-16	35	45	54
ene-17	36	47	57
feb-17	32	39	46
mar-17	22	26	30
abr-17	15	17	19
may-17	12	13	15
jun-17	10	11	13
jul-17	12	13	14
ago-17	12	13	14
sep-17	13	14	15

Volúmen octubre - setiembre:	773	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	25	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	28	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	560	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	36	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	43	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	87	%

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	458	560	663
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	650	773	896



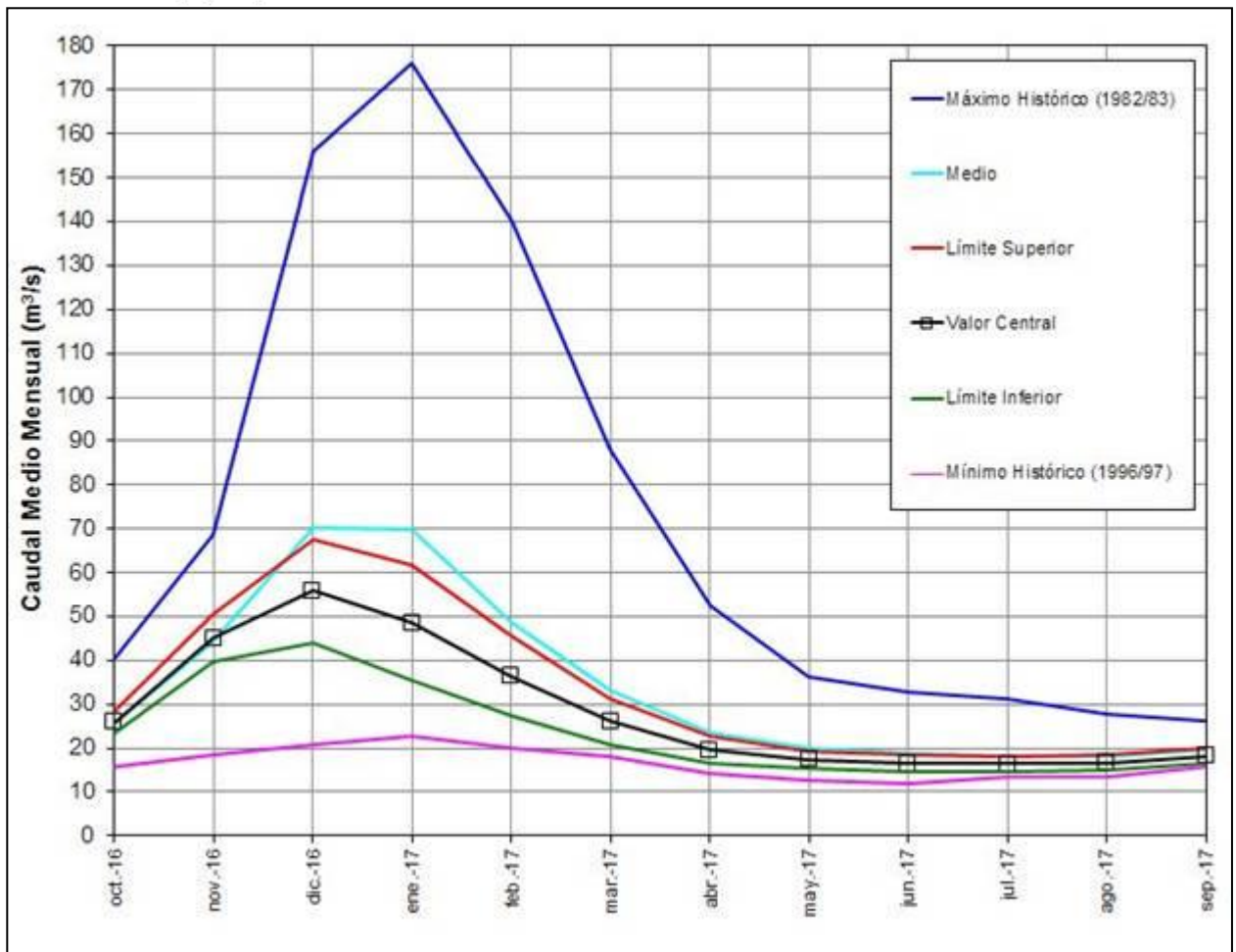
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-16	24	26	28
nov-16	40	45	50
dic-16	44	56	68
ene-17	35	49	62
feb-17	27	36	45
mar-17	21	26	31
abr-17	16	20	23
may-17	15	17	19
jun-17	15	17	18
jul-17	15	17	18
ago-17	15	17	18
sep-17	17	18	20

Volúmen octubre - setiembre: 900 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 29 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 34 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 624 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 40 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 49 m³/s.
 Porcentaje año medio : 83 %

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	501	624	747
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	745	900	1055



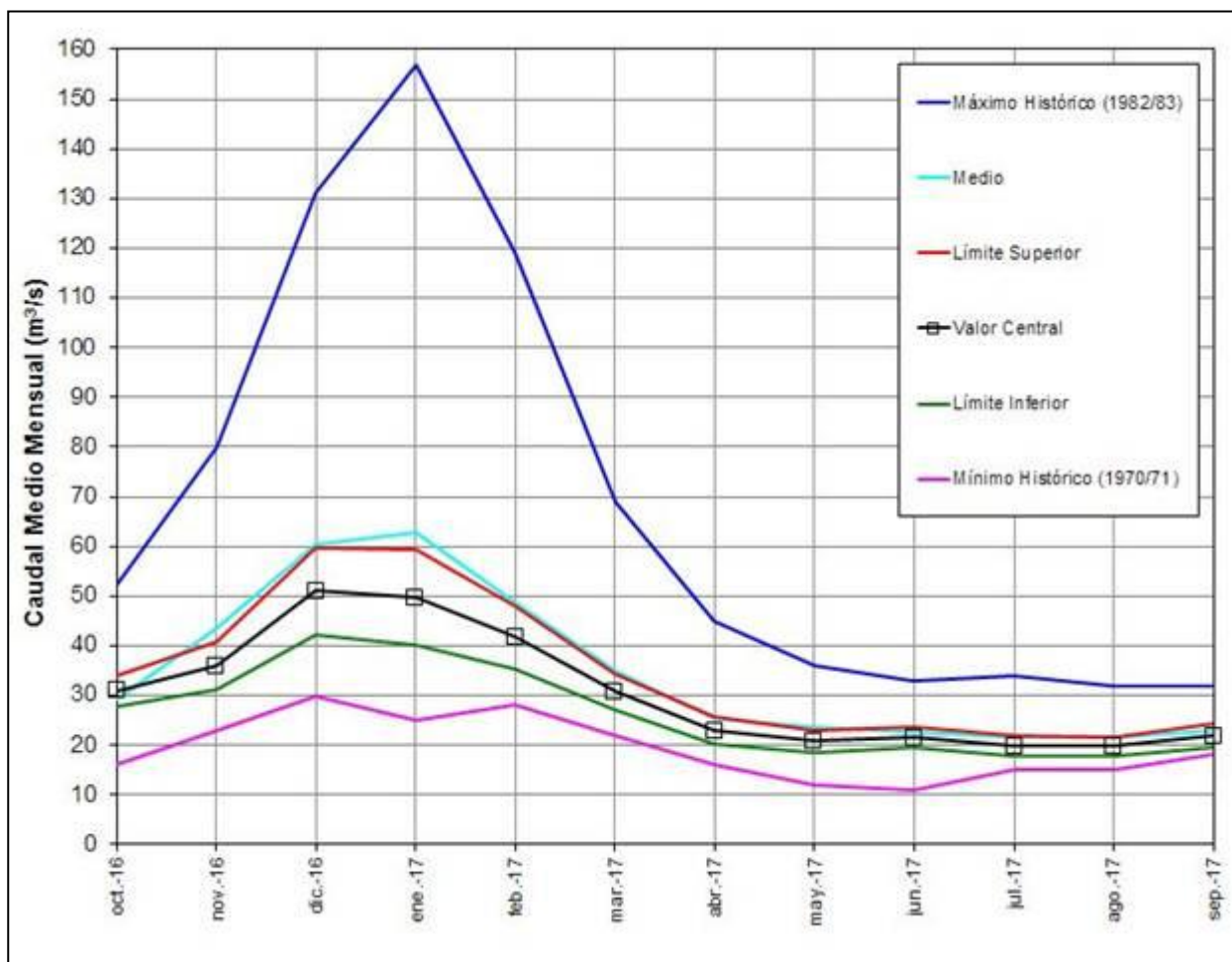
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-16	28	31	34
nov-16	31	36	41
dic-16	42	51	60
ene-17	40	50	59
feb-17	35	42	48
mar-17	27	31	34
abr-17	20	23	26
may-17	19	21	23
jun-17	20	22	24
jul-17	18	20	22
ago-17	18	20	22
sep-17	19	22	24

Volúmen octubre - setiembre:	963	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	31	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	630	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	40	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	46	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	88	%

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	534	630	725
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	834	963	1093



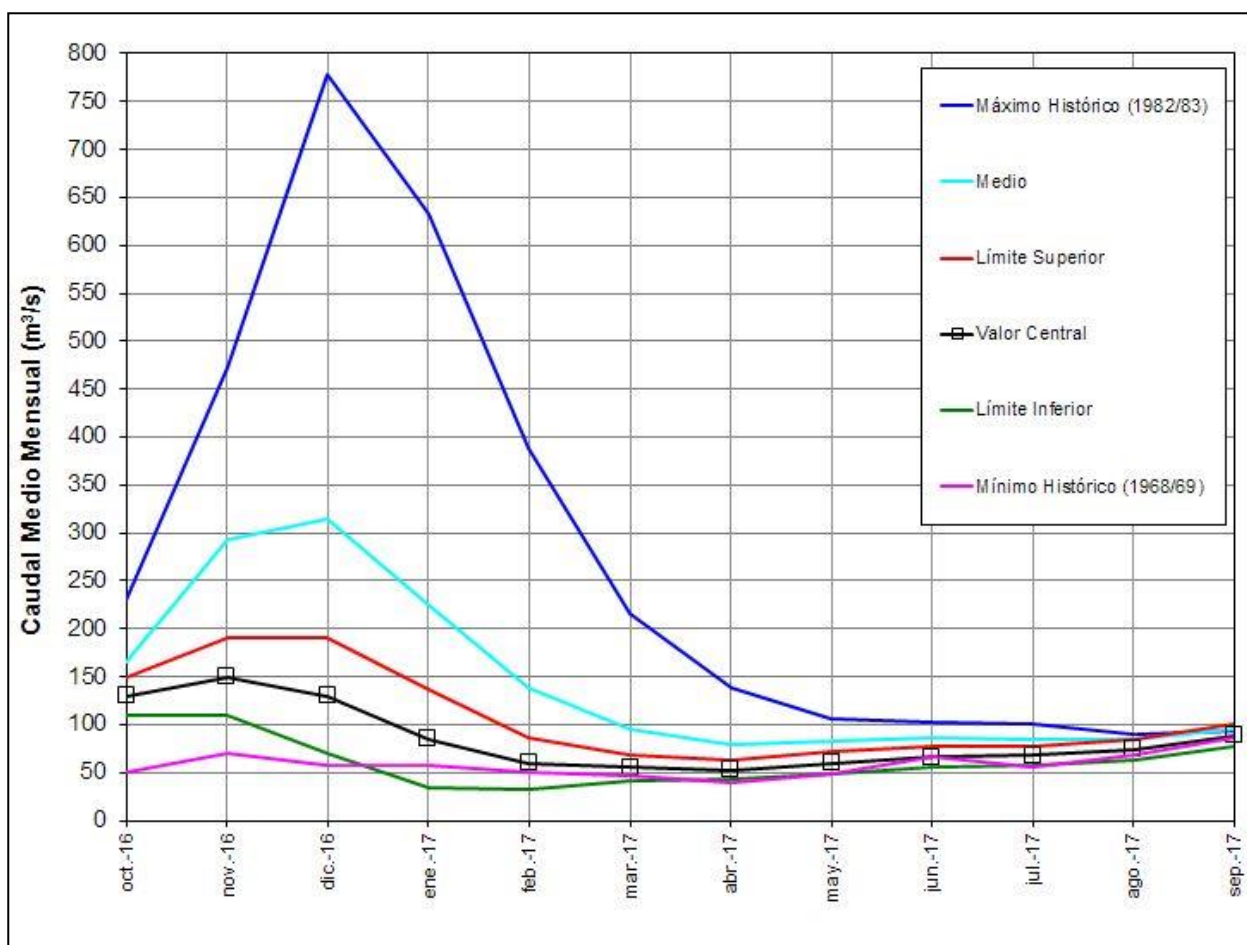
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-16	110	130	150
nov-16	110	150	190
dic-16	70	130	190
ene-17	34	85	136
feb-17	33	60	87
mar-17	41	55	69
abr-17	43	53	63
may-17	49	60	71
jun-17	55	66	77
jul-17	58	68	78
ago-17	64	75	85
sep-17	77	89	101

Volúmen octubre - setiembre:	2687	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	85	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	145	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1605	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	102	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	205	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	59	%

Régimen : Muy Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	1046	1605	2165
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	1956	2687	3418



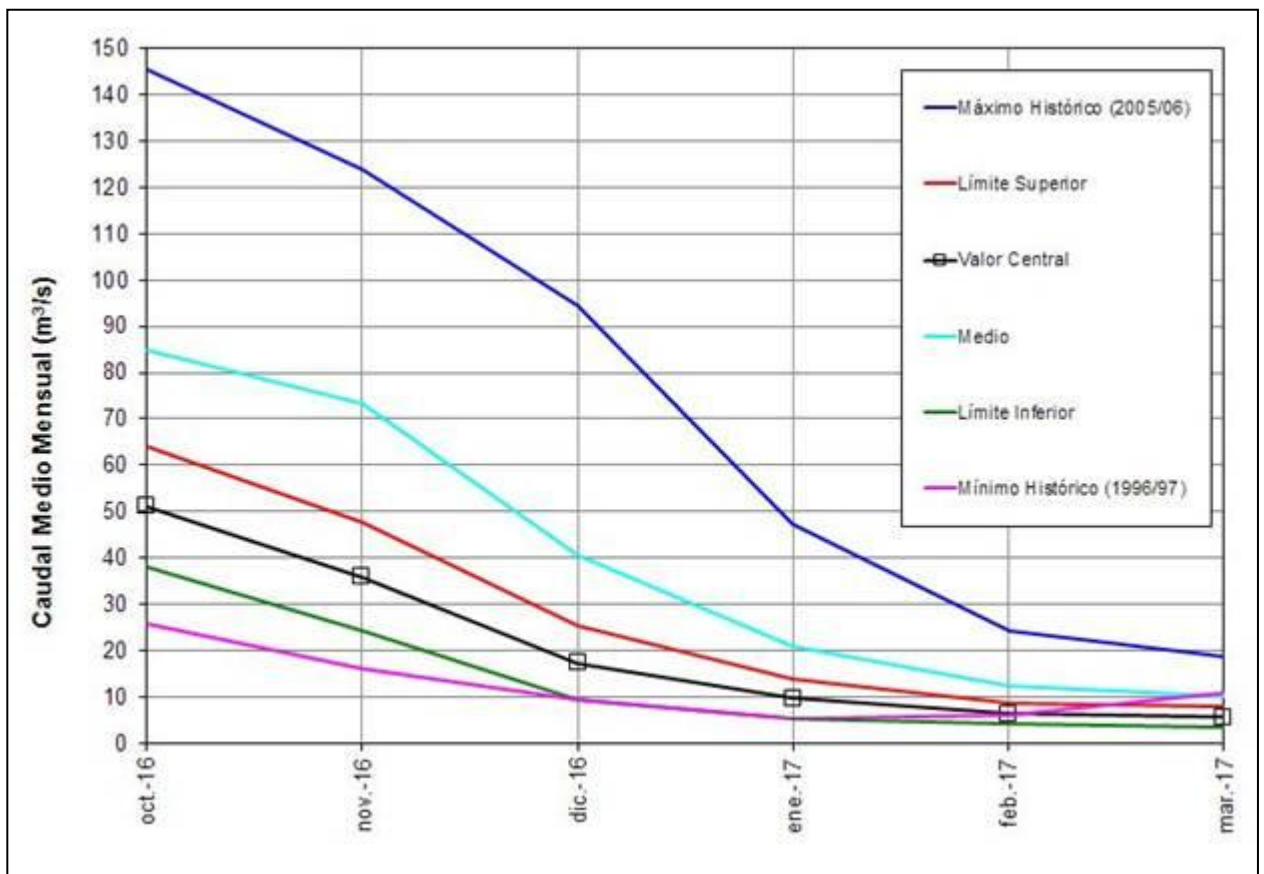
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Oct-16	38	51	64
Nov-16	24	36	48
Dic-16	9	17	25
Ene-17	6	10	14
Feb-17	4	6	9
Mar-17	3	6	8

Volúmen octubre - marzo : 333 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 21 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 40 m³/s.
 Porcentaje año medio : 52 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 224 333 443



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2016/17 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 regimenes hidrológicos esperados para los ríos de pronóstico varían, desde Muy Seco para el río Colorado, Seco para el río Chubut, Medianamente Seco para los ríos Atuel, Diamante y Tunuyán y Medio para los ríos Mendoza y San Juan.

RÍO	PRONOSTICO 2016-2017 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	1859	Medio	1894 1560	680	4851
Mendoza	1287	Medio	1424 1357	731	2968
Tunuyán	773	Medianamente Seco	896 891	496	1752
Diamante	900	Medianamente Seco	1054 1029	521	2302
Atuel	963	Medianamente Seco	1093 1058	607	2155
Colorado	2687	Muy Seco	4560 4547	1837	8796
Chubut (1)	333	Seco	640 659	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)