



**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 2012 – 2013**

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2012



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 2012 a Septiembre 2013, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2012 a Marzo 2013.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de fechas similares de 2011 y 2012, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2011 y las b, al año 2012; 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

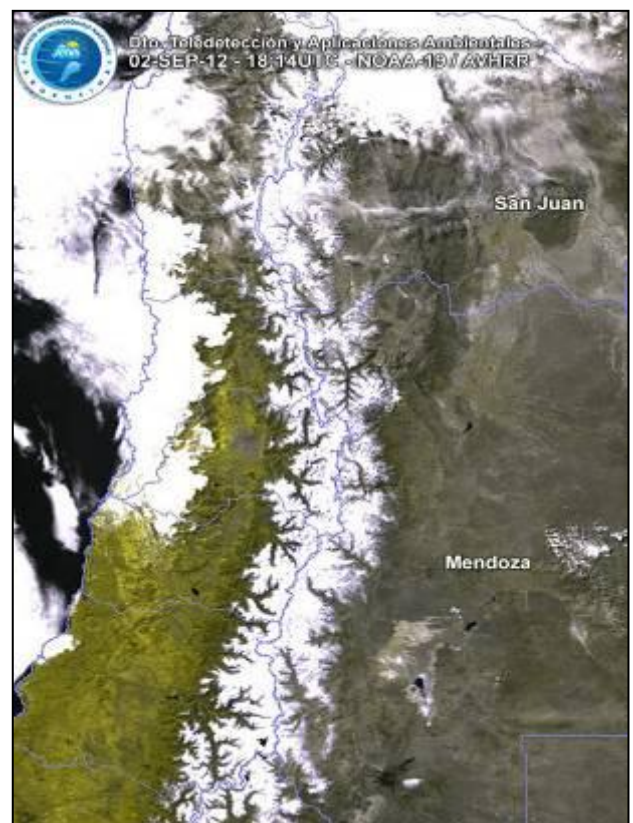


Figura N° 1.b

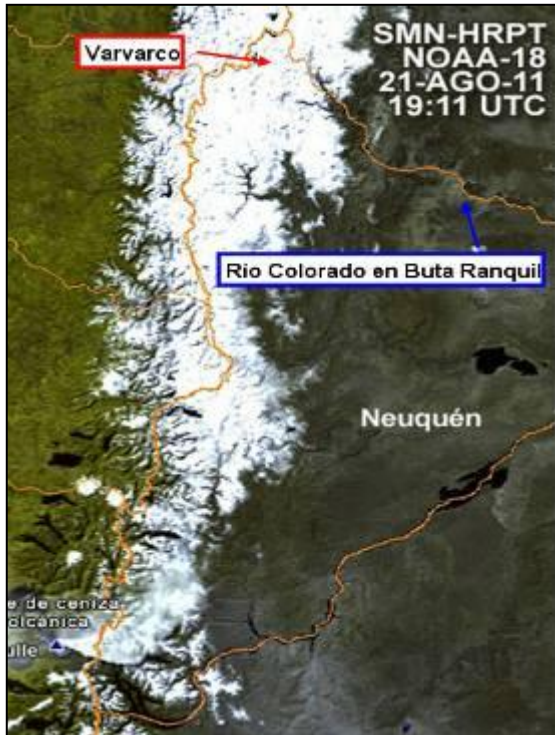


Figura N° 2.a

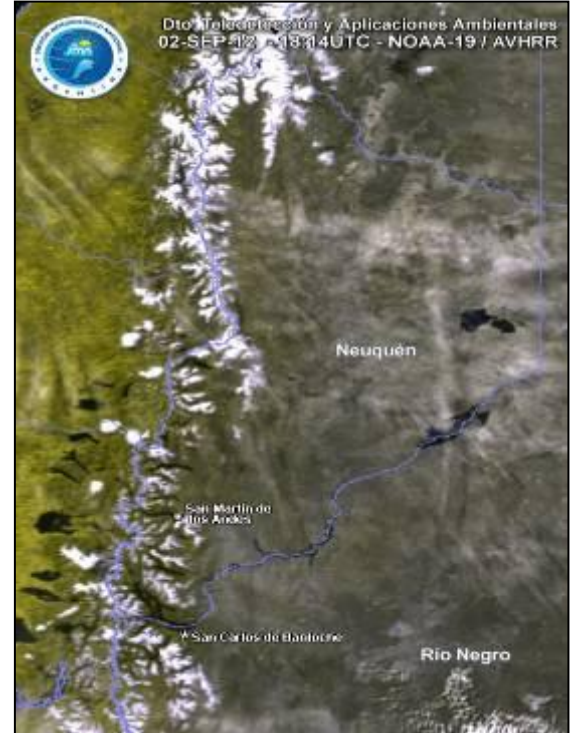


Figura N° 2.b

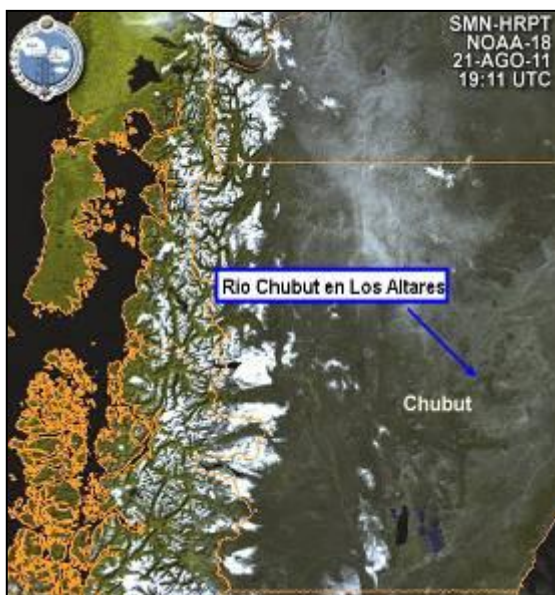


Figura N° 3.a

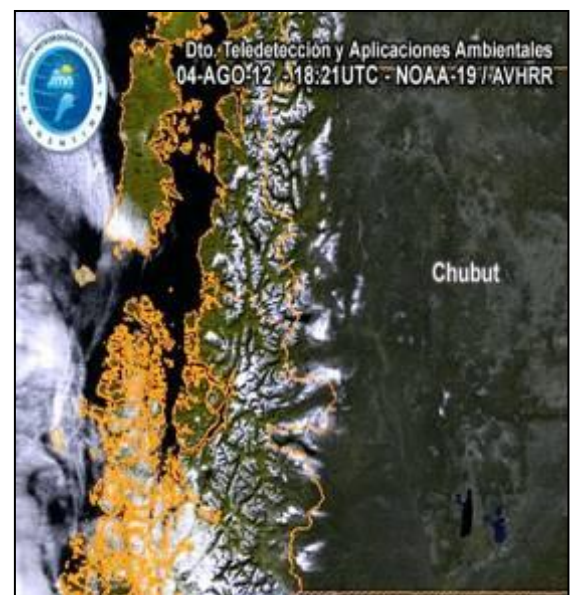


Figura N° 3.b

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 bajo la normal, respecto de la media histórica, en todas las estaciones nivométricas, excepto Laguna Diamante que tiene un valor superior a la media.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2012	2011	2010
Teatinos	San Juan	518	213	376	145
Toscas	Mendoza – Tunuyán	300	192	118	0
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	461	487	161	207
Laguna Atuel	Atuel	1153	913	643	620
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	792	499	437	363
Pehuenche	Colorado	1242	383	742	728
Varvarco	Neuquén	1145	S/D	402	475

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 2011.

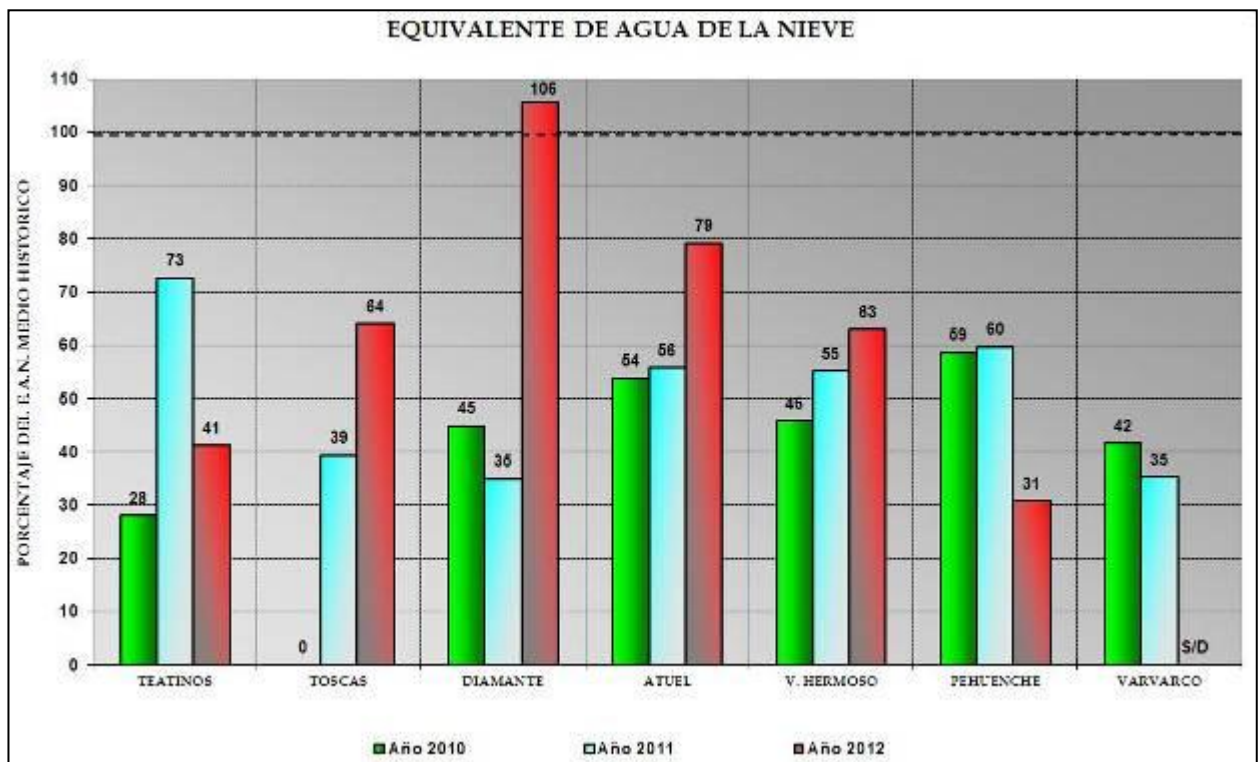


Figura Nº 4

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; como se puede apreciar las nevadas ocurridas en el presente año son superiores a las registradas en los dos años anteriores, excepto en Teatino y Pehuenche.

Cabe aclarar que no se dispone de información nivea de la estación nivométrica Varvarco para este período, la misma es muy importante para la predicción de los caudales del río Barrancas y por ende del río Colorado.

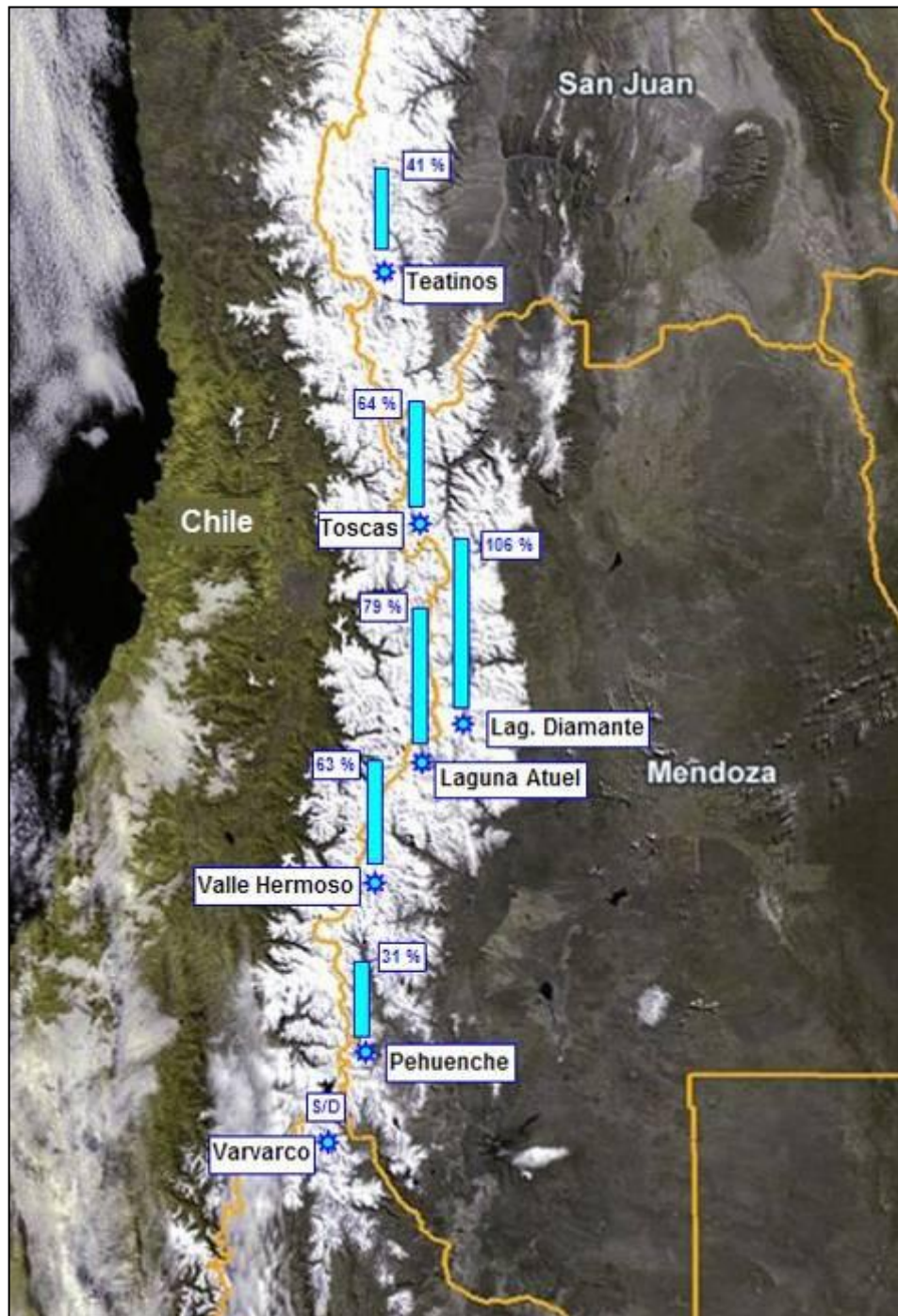


Figura N° 5

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 N° 4.

El dato de la estación nivométrica Teatinos ha sido suministrado por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de San.

Por lo tanto del análisis de las figuras anteriores vemos que las precipitaciones níveas se han concentrado sobre la parte central de la cordillera cuyana.

Las Figuras N° 6, 7 y 8 ilustran los registros diarios del equivalente de agua en nieve (E.A.N.), en las estaciones nivométricas Valle Hermoso, 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; completan esta red nivométrica las estaciones Laguna Atuel y Pehuenche.

En dichas figuras se ha graficado:

- ❖ Los registros diarios del equivalente de agua de la nieve para la presente temporada 2012, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2011 (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 los últimos 23 años (línea negra)
- ❖ Escenarios extremos de máxima y de mínima (líneas amarilla 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.

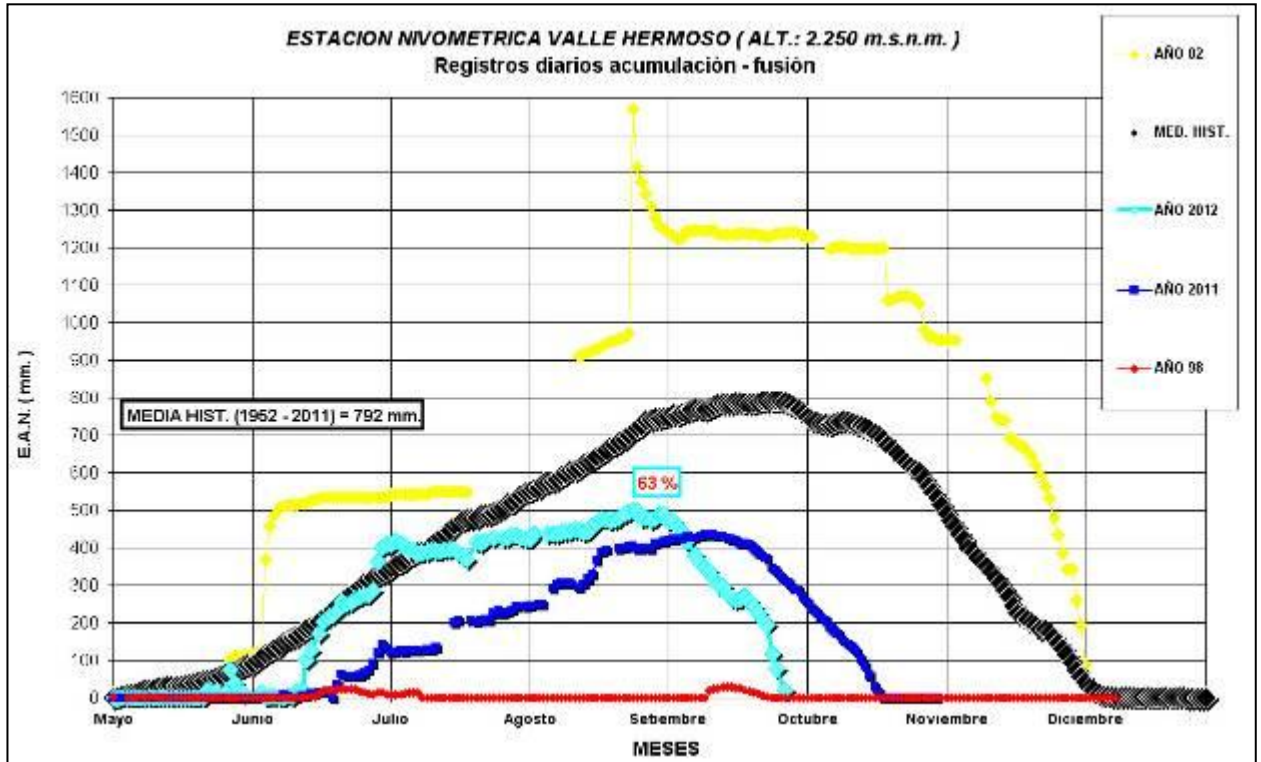


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

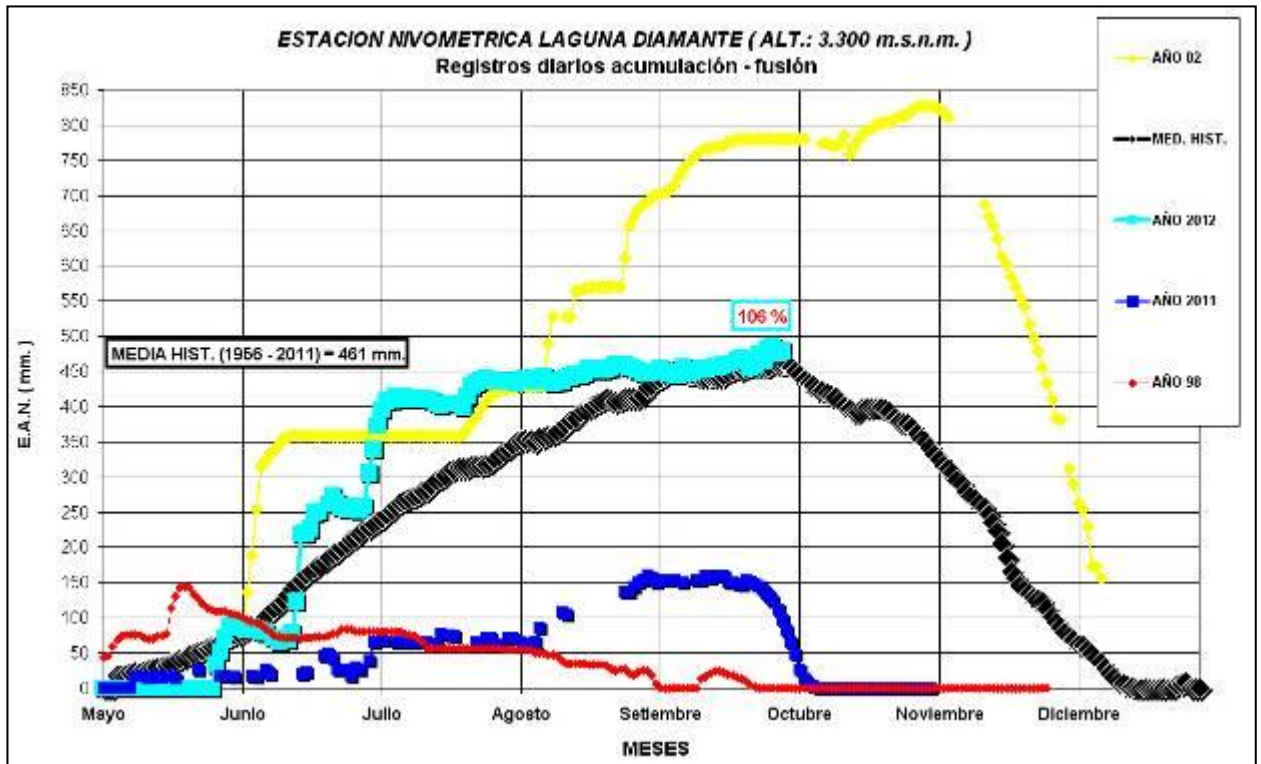
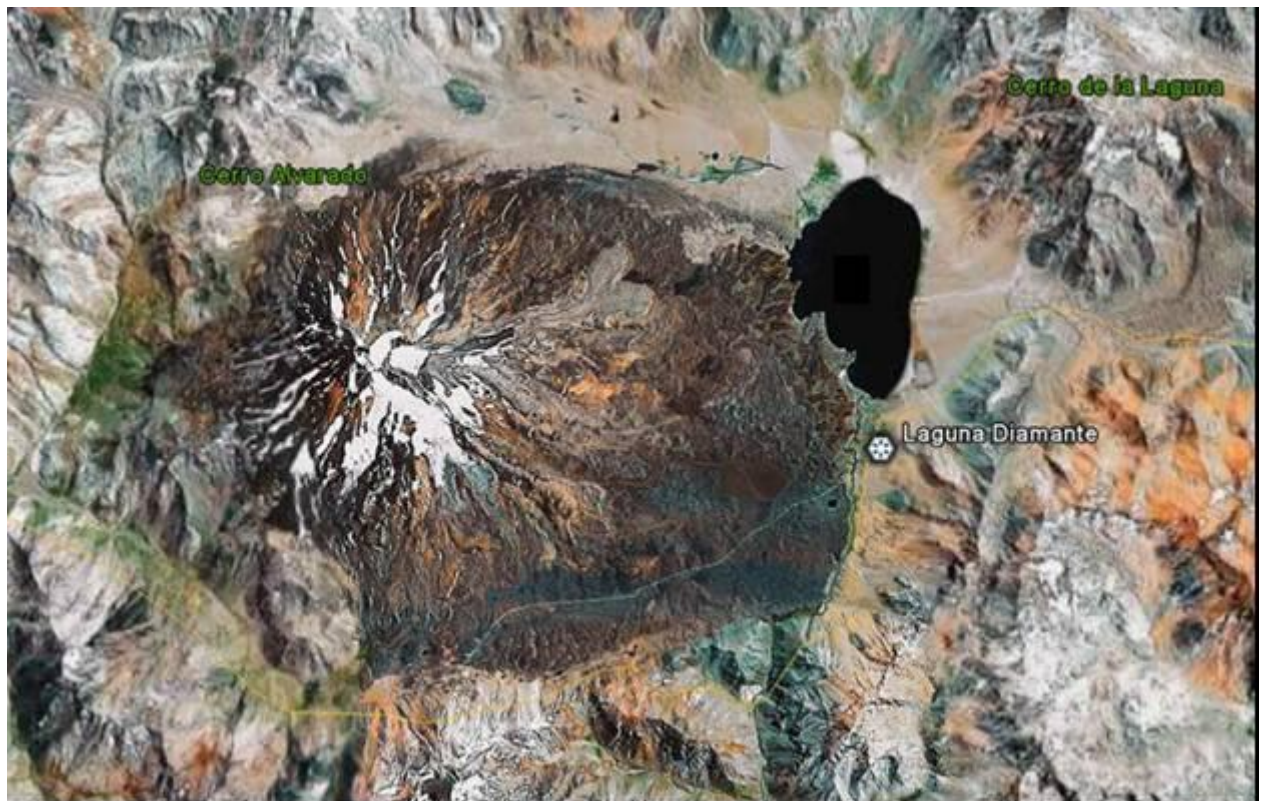


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

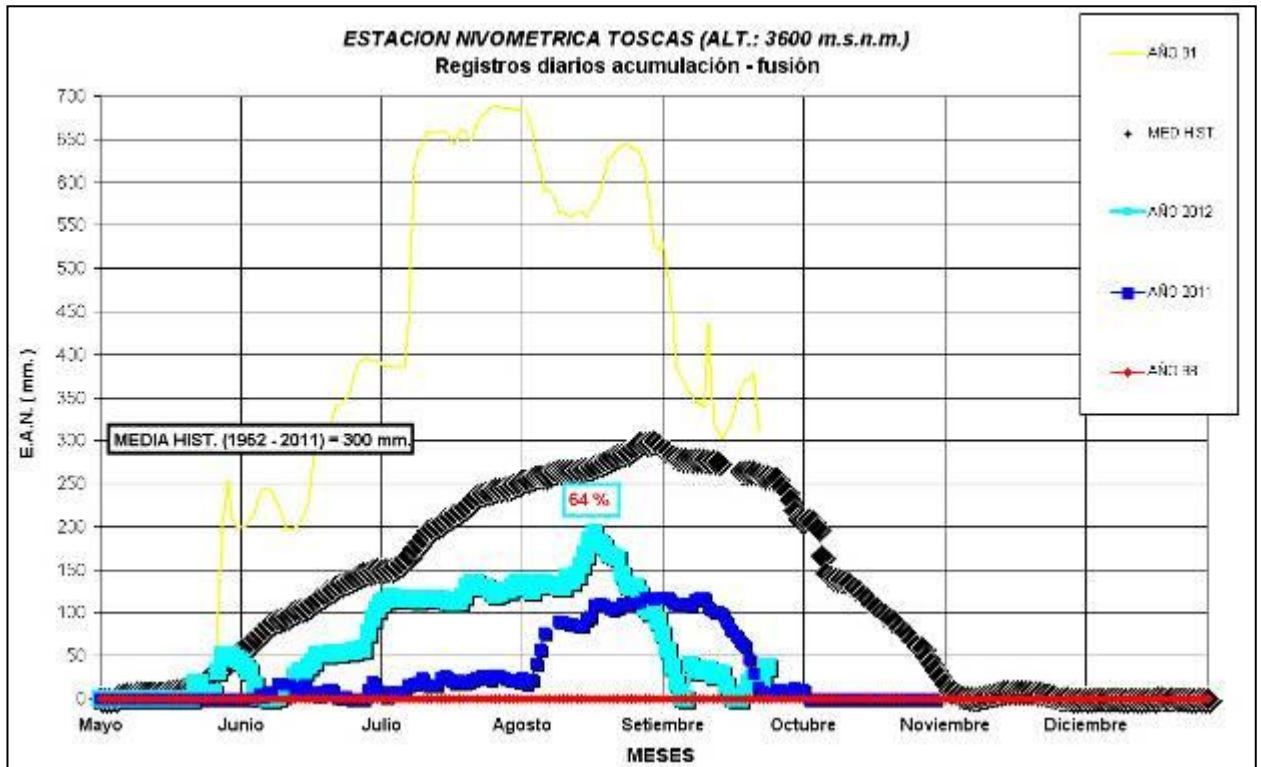
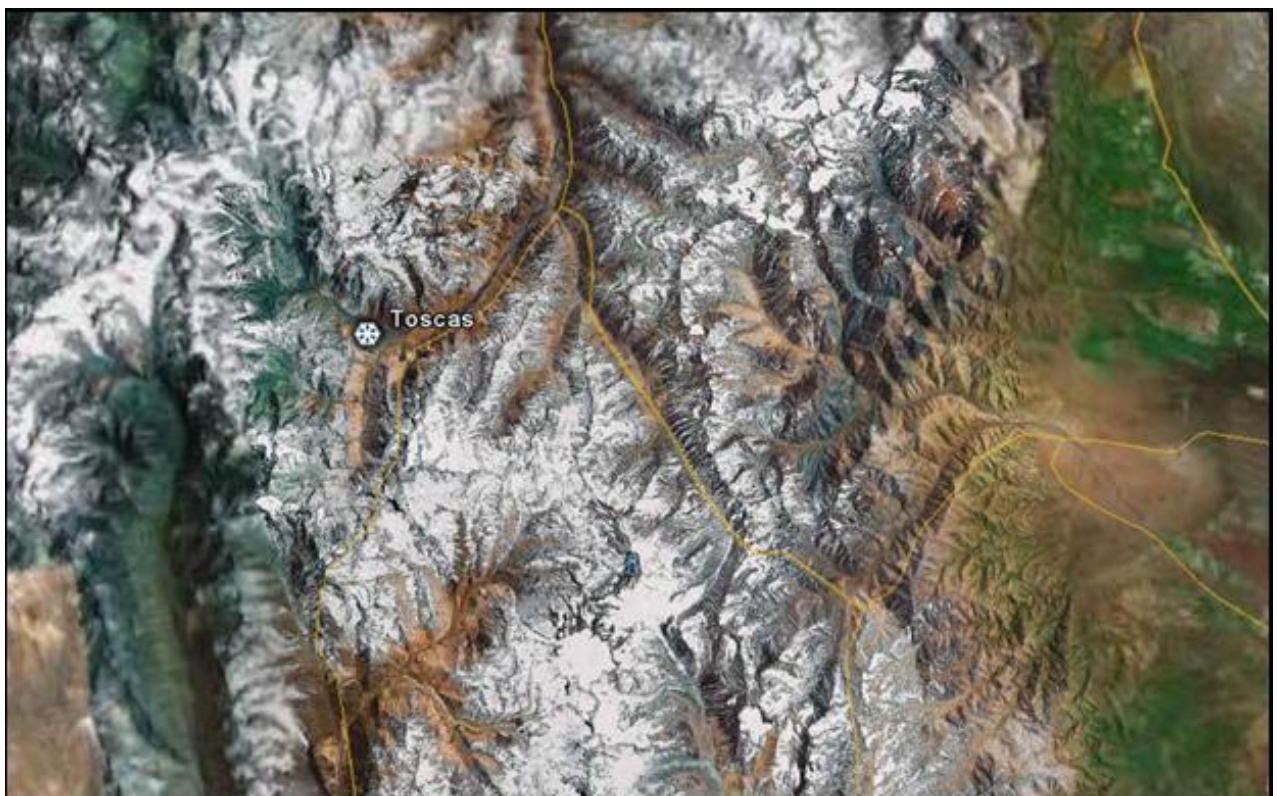


Figura N° 8



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° 9 se aprecia la pantalla de trabajo del Programa Neurofo-

recaster/GA para el río Diamante en La Jaula (octubre 2012 – marzo 2013). La arquitectura de una RNA de Pronósticos de Derrames tiene las siguientes características

- ❖ Múltiples Capas.
- ❖ MISO: múltiples entradas (predictores) y única salida (volumen estacional).
- ❖ Totalmente Conectada.
- ❖ Feed Forward: en cuanto a la transmisión de la información.
- ❖ Método de Aprendizaje Supervisado de Retro Propagación.

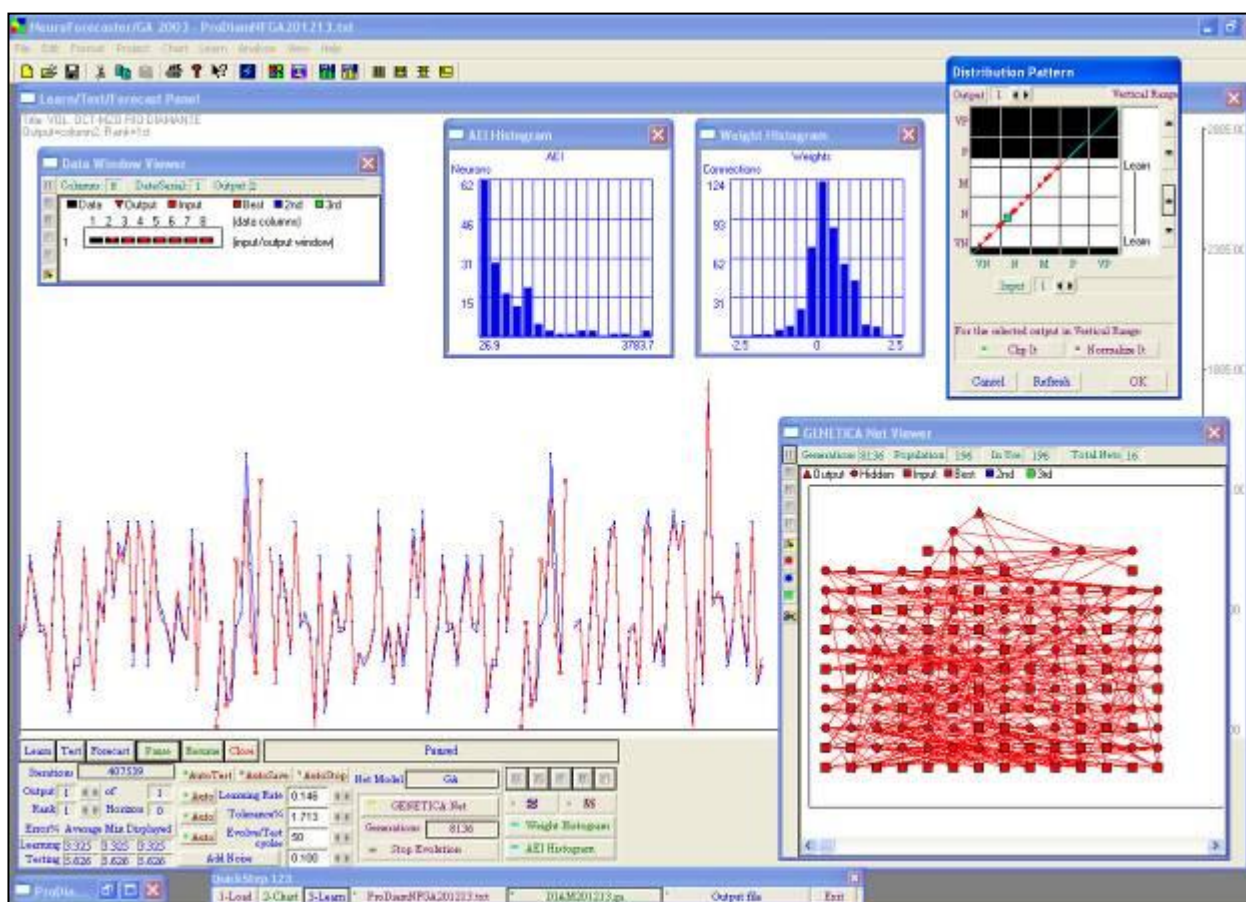


Figura N° 9

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, evaluación y selección, reproducción y mutación. Permiten optimizar la topología de las RNAs, el número de capas ocultas, de nodos ocultos y de patrones de interconexión.

4. PRONÓSTICO TEMPORADA 2012 - 2013

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 – 2011
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2011
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2011
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2011
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2011
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2011
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2011

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 2012/13.

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 hídrica y consecuentemente decrezcan los caudales.

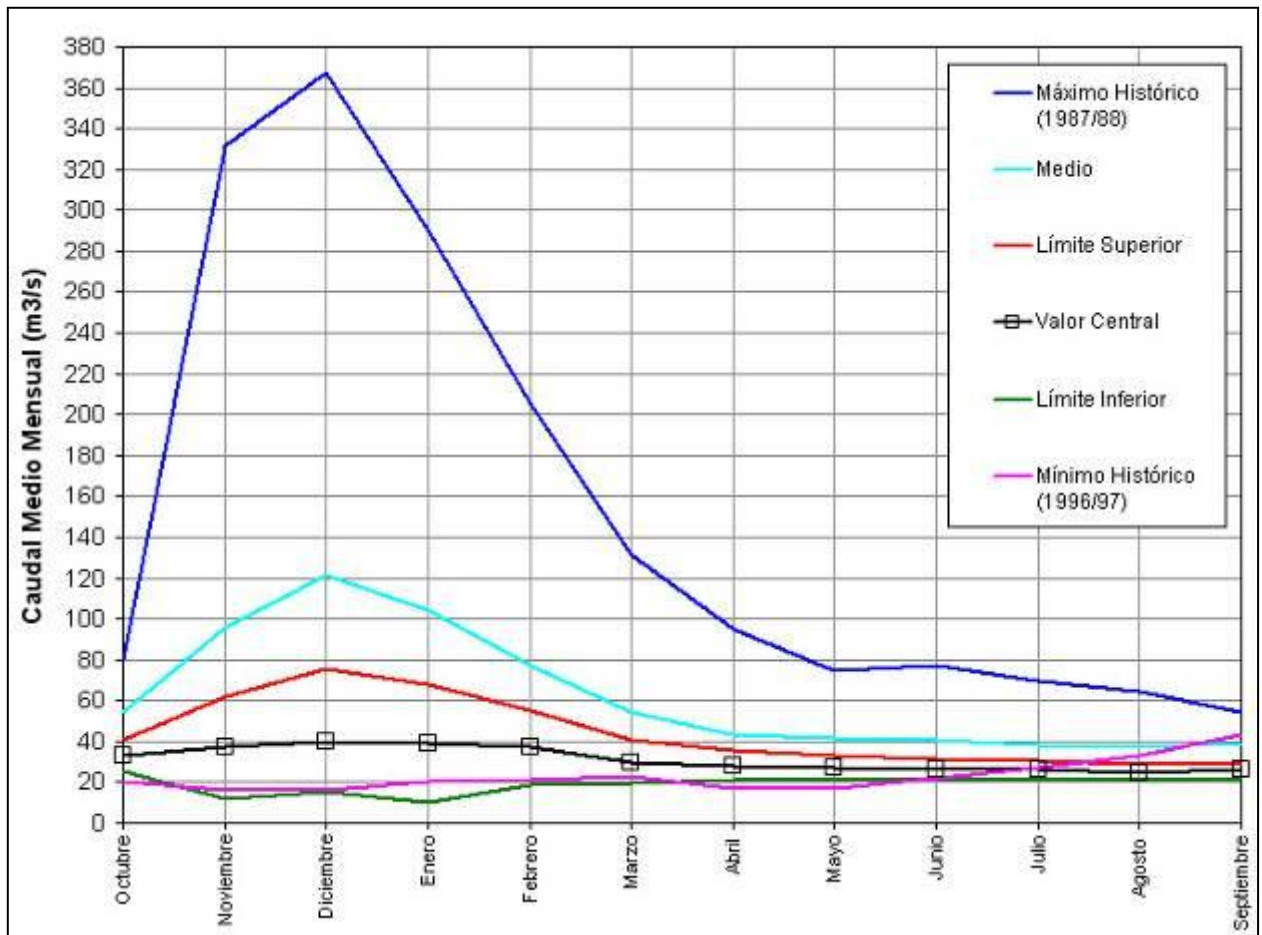
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	25	33	41
Noviembre	12	37	62
Diciembre	15	40	76
Enero	10	39	68
Febrero	19	37	55
Marzo	20	30	40
Abril	21	28	35
Mayo	21	27	33
Junio	21	26	31
Julio	22	26	31
Agosto	21	25	29
Septiembre	22	26	30

Volúmen octubre - setiembre: 983 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 31 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 62 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo: 566 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo: 36 m³/s.
 Módulo octubre - marzo: 85 m³/s.
 Porcentaje año medio: 43 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	265	566	895
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	604	983	1390



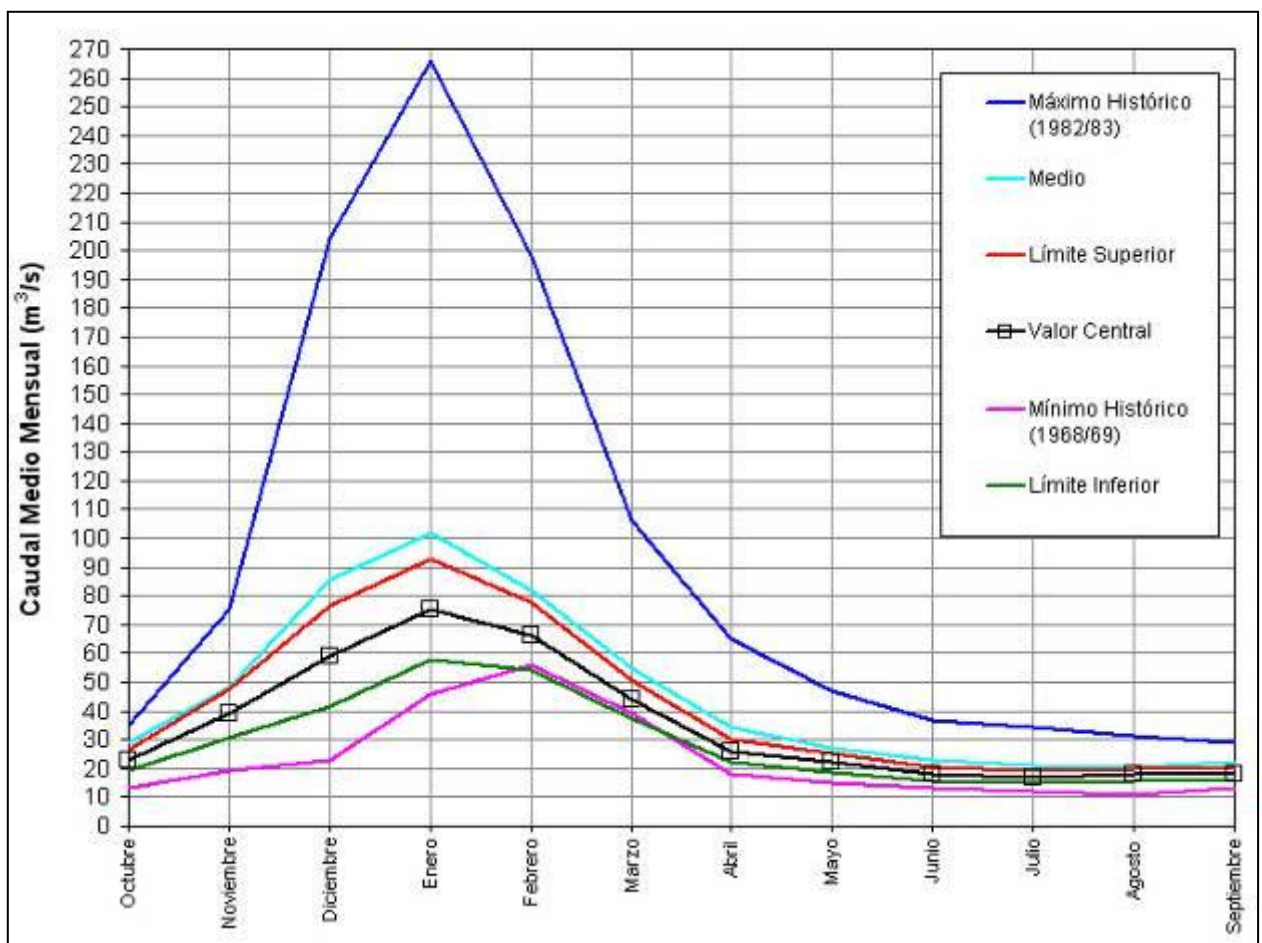
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	19	23	27
Noviembre	31	39	47
Diciembre	42	59	76
Enero	58	75	93
Febrero	54	66	78
Marzo	37	44	51
Abril	22	26	30
Mayo	19	22	25
Junio	16	18	20
Julio	15	17	19
Agosto	16	18	20
Septiembre	16	18	20

Volúmen octubre - setiembre:	1114	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	800	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	51	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	67	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	76	%

Régimen : Moderadamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	628	800	972
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	900	1114	1328



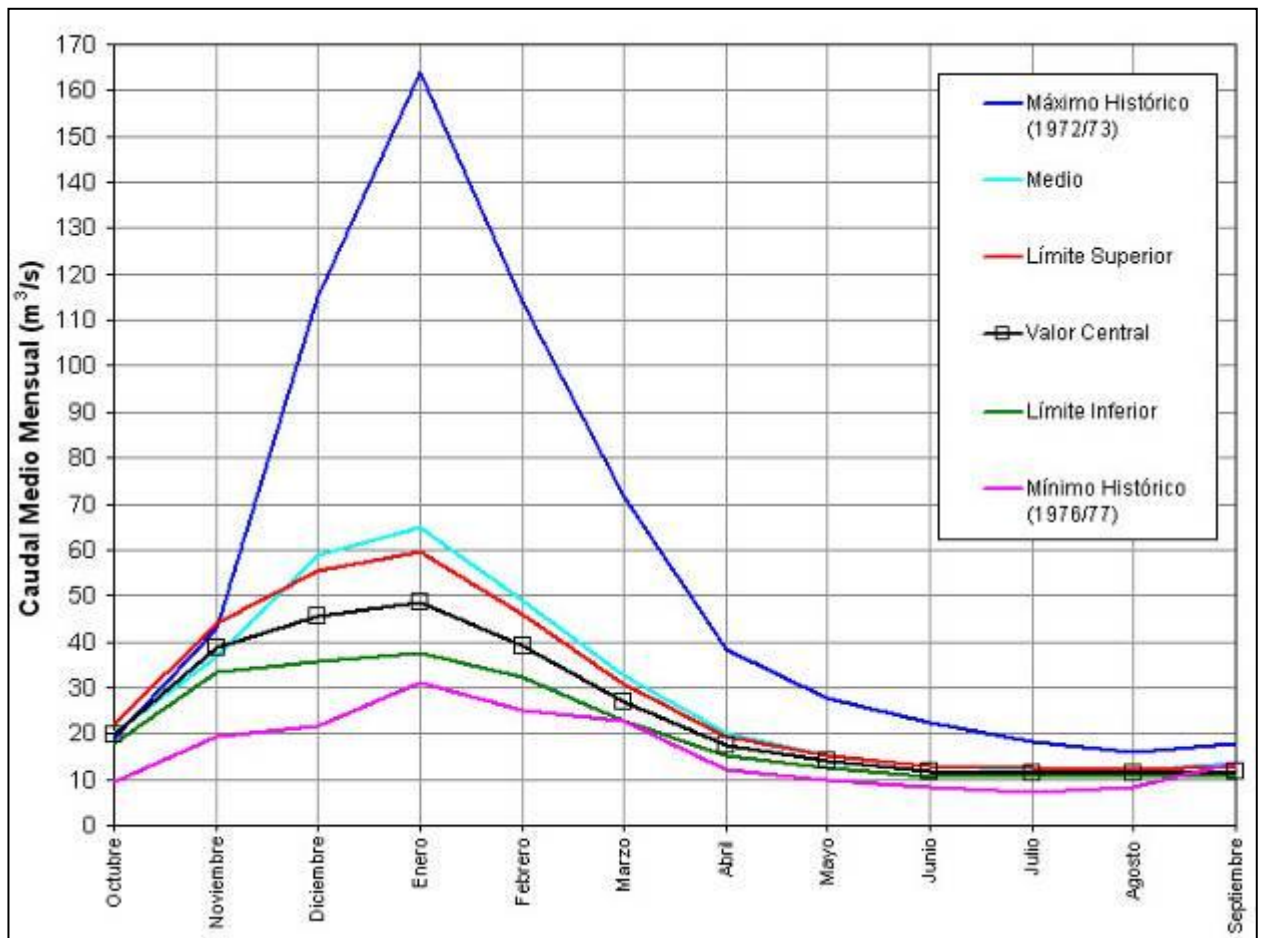
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	18	20	22
Noviembre	33	39	44
Diciembre	36	46	55
Enero	38	49	60
Febrero	32	39	46
Marzo	23	27	31
Abril	15	17	19
Mayo	13	14	15
Junio	11	12	13
Julio	11	12	12
Agosto	11	11	12
Septiembre	11	12	13

Volúmen octubre - setiembre:	780	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	25	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	29	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	575	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	36	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	44	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	63	%

Régimen : Moderadamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	471	575	674
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	658	780	898



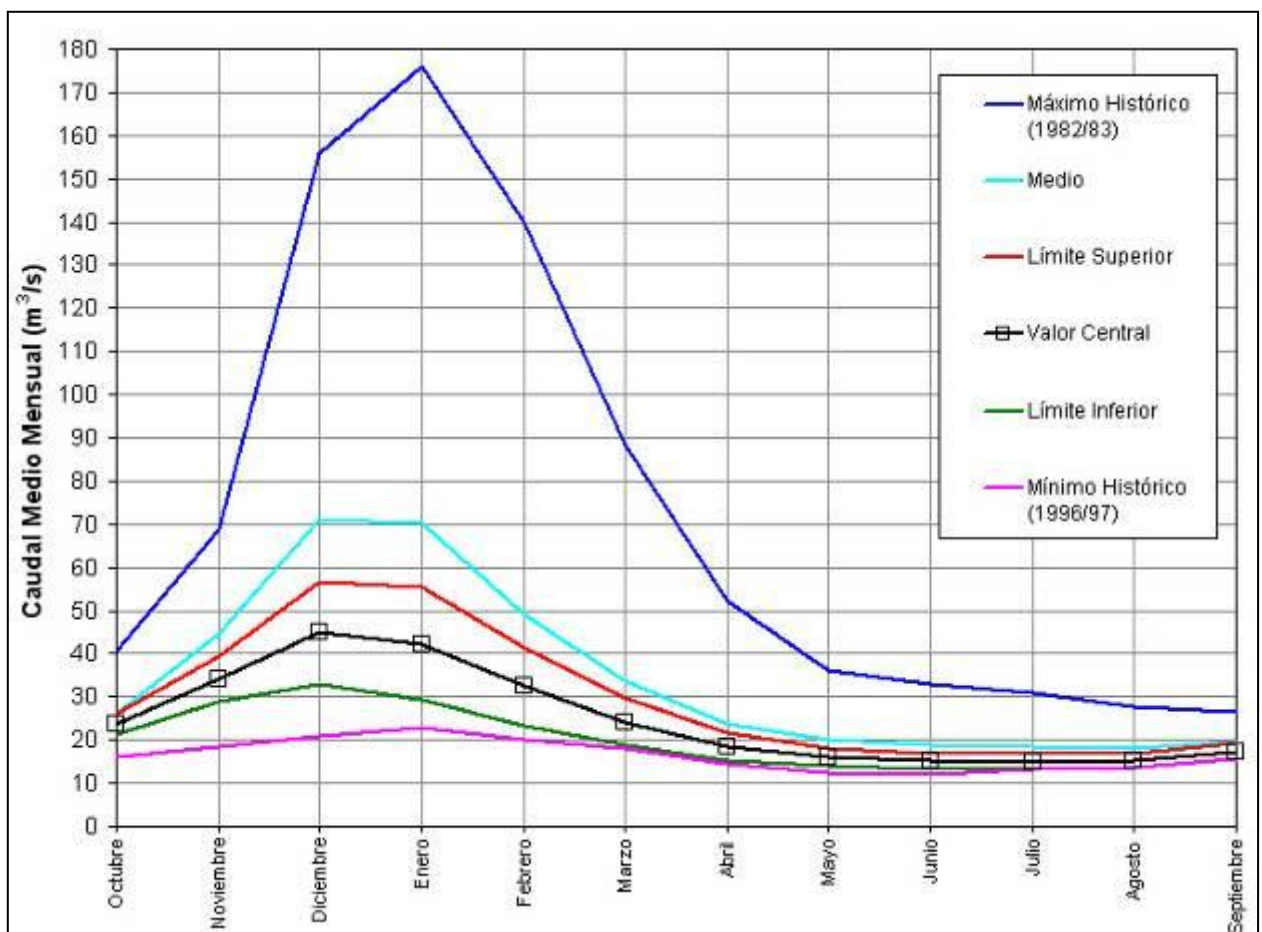
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	21	24	26
Noviembre	29	34	39
Diciembre	33	45	57
Enero	29	42	56
Febrero	23	32	42
Marzo	19	24	30
Abril	15	19	22
Mayo	14	16	18
Junio	13	15	17
Julio	13	15	17
Agosto	14	15	17
Septiembre	16	17	19

Volúmen octubre - setiembre:	785	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	25	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	529	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	34	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	49	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	68	%

Régimen : Moderadamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	405	529	652
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	629	785	940



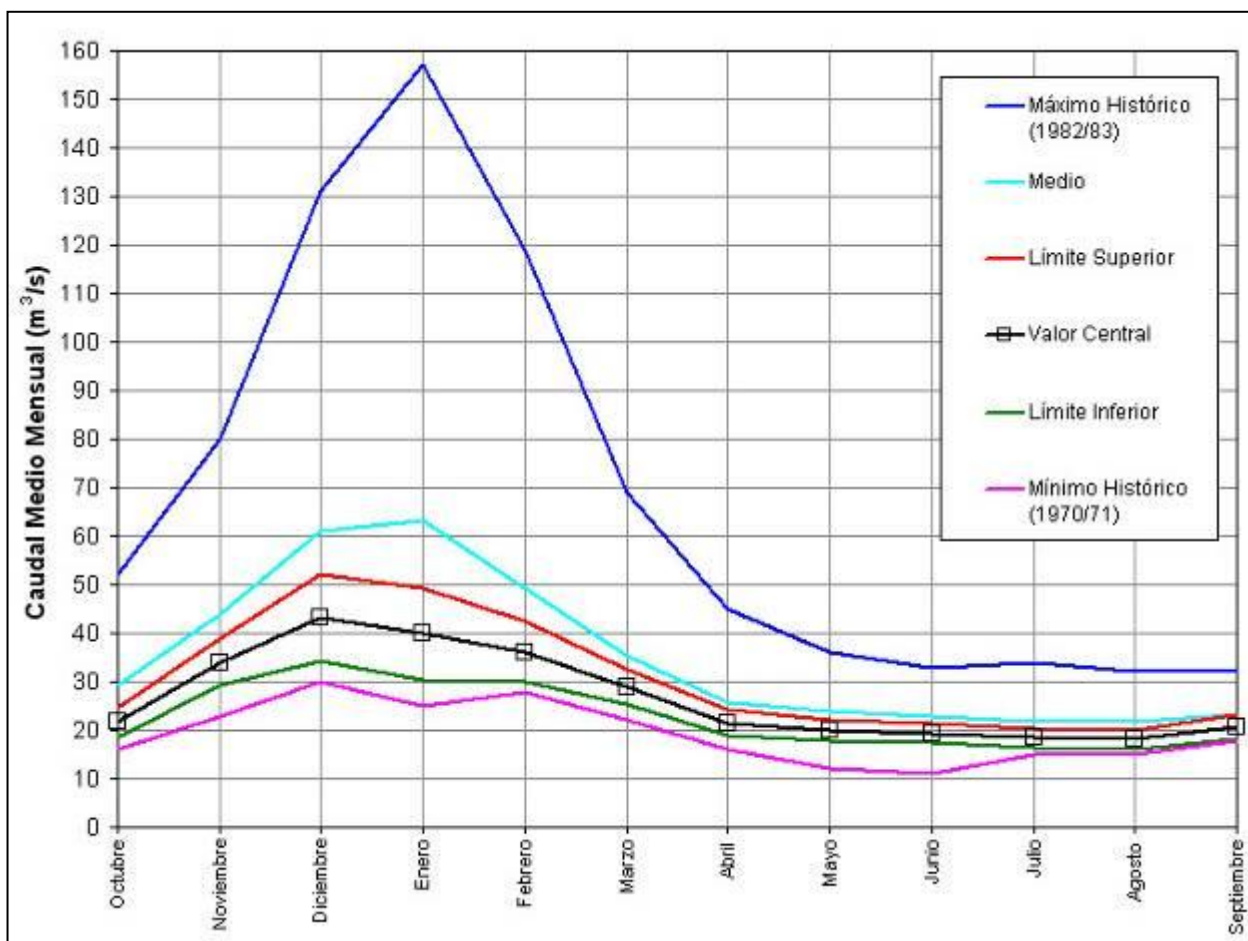
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	19	22	25
Noviembre	29	34	39
Diciembre	34	43	52
Enero	30	40	49
Febrero	30	36	42
Marzo	25	29	33
Abril	19	22	24
Mayo	18	20	22
Junio	17	19	21
Julio	16	18	20
Agosto	16	18	20
Septiembre	18	21	23

Volúmen octubre - setiembre:	845	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	27	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	534	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	34	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	47	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	72	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	439	534	629
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	716	845	975



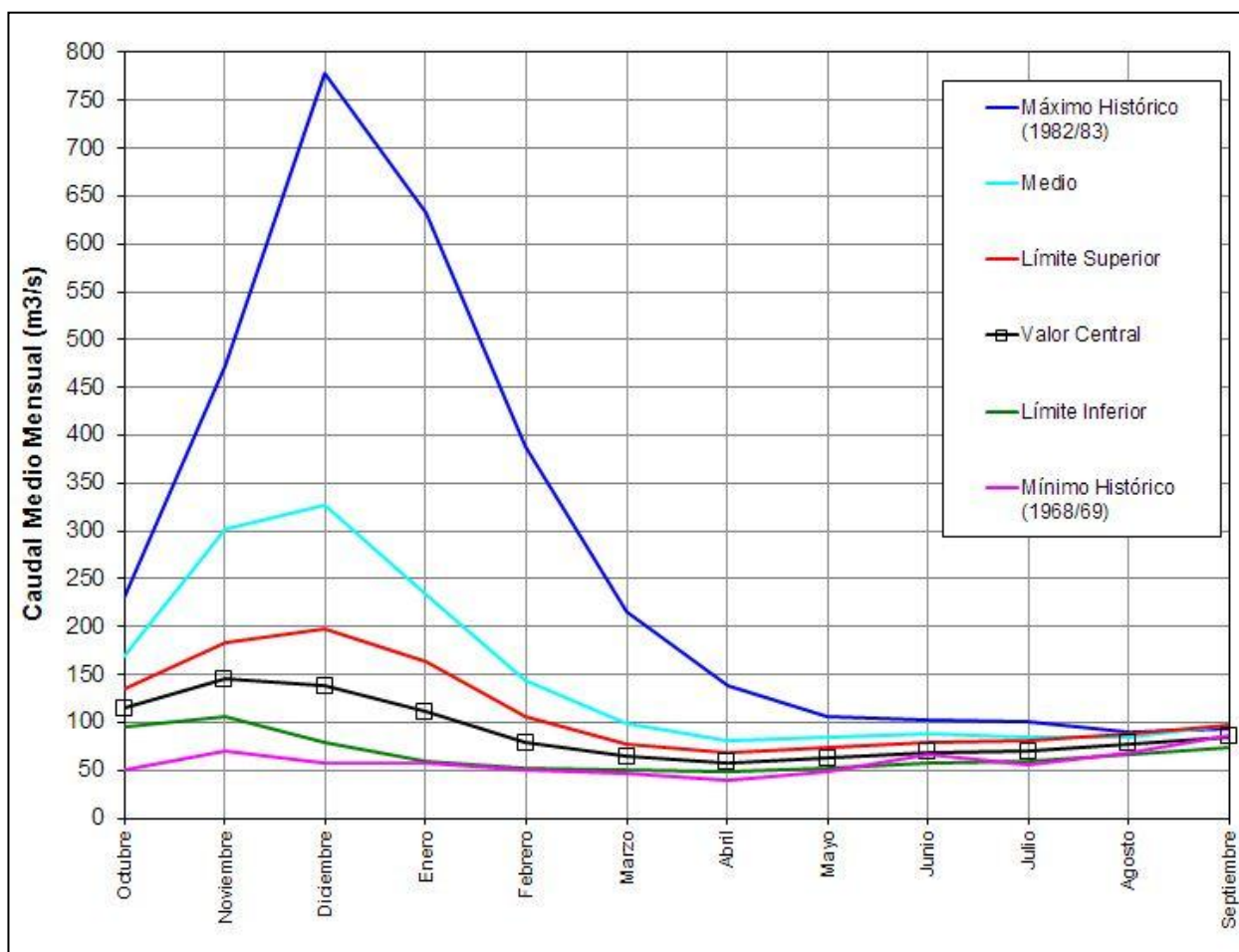
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m3/s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	95	115	135
Noviembre	106	145	184
Diciembre	79	138	198
Enero	59	111	163
Febrero	52	79	106
Marzo	50	64	78
Abril	48	58	68
Mayo	52	63	74
Junio	58	69	80
Julio	60	70	80
Agosto	67	78	89
Septiembre	73	85	97

Volúmen octubre - setiembre: 2829 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 90 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 149 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 1714 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 109 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 213 m³/s.
 Porcentaje año medio : 51 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	1157	1714	2271
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	2101	2829	3557



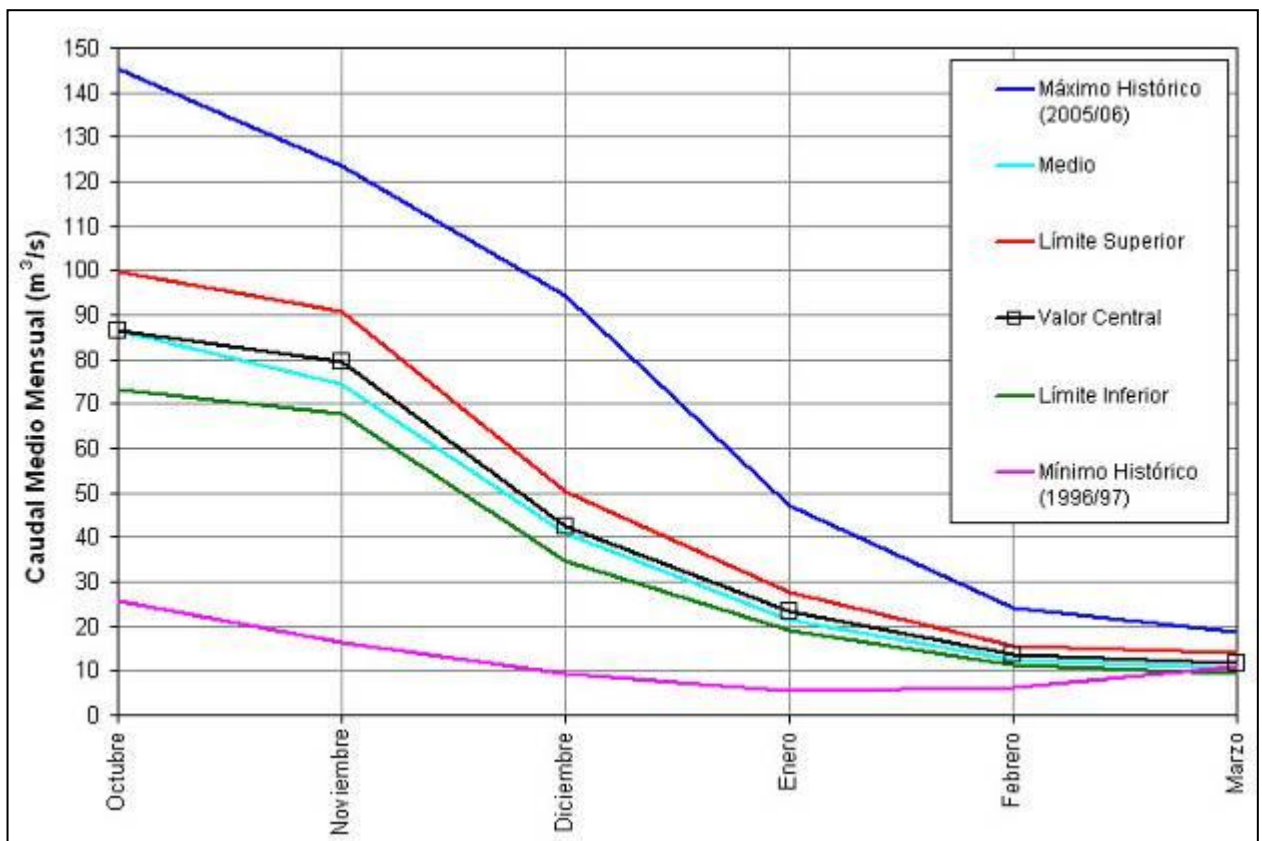
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	73	87	100
Noviembre	68	79	91
Diciembre	35	42	50
Enero	19	23	27
Febrero	11	14	16
Marzo	9	12	14

Volúmen octubre - marzo : 677 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 43 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 41 m³/s.
 Porcentaje año medio : 104 %

Régimen : Medio

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 567 **677** 786



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2012/13 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, el régimen hidrológico esperado en la zona de cuyo sería *Moderadamente Seco* para los ríos Mendoza, Tunuyán y Diamante y *Seco* para los ríos San Juan y Atuel.

El río Colorado también se presenta con régimen *Seco* y la cuenca del río Chubut, en el ingreso al embalse F. Ameghino estaría bajo un año *Medio*.

RÍO	PRONOSTICO 2012-2013 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	983	Seco	1969 1710	727	4837
Mendoza	1114	Moderadamente Seco	1445 1393	731	2967
Tunuyán	780	Moderadamente Seco	921 909	496	1752
Diamante	785	Moderadamente Seco	1089 1050	521	2302
Atuel	845	Seco	1109 1061	607	2155
Colorado	2829	Seco	4659 4613	1837	8796
Chubut (1)	677	Medio	651 659	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)