



**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 2013 – 2014**

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2013



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 2013 a Septiembre 2014, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2013 a Marzo 2014.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de fechas similares de 2012 y 2013, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2012 y las b, al año 2013; 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

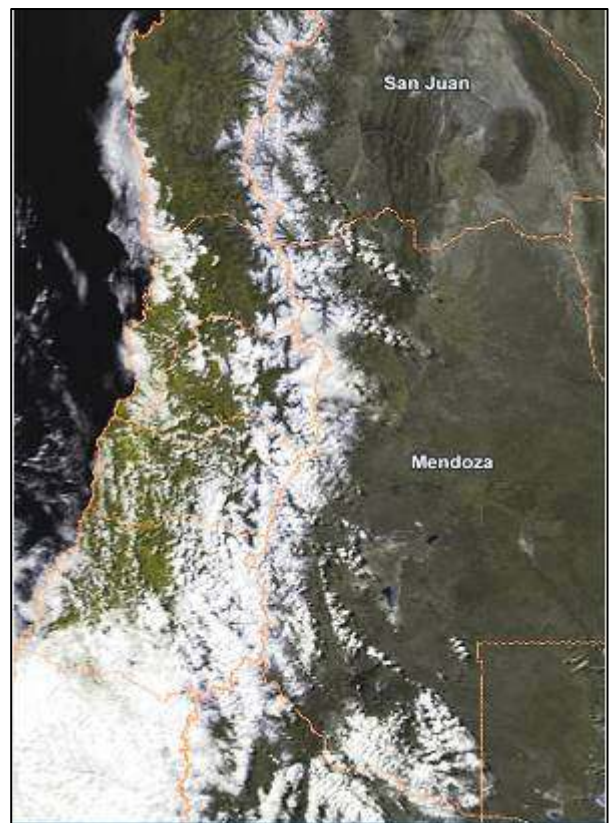


Figura N° 1.b



Figura N° 2.a



Figura N° 2.b

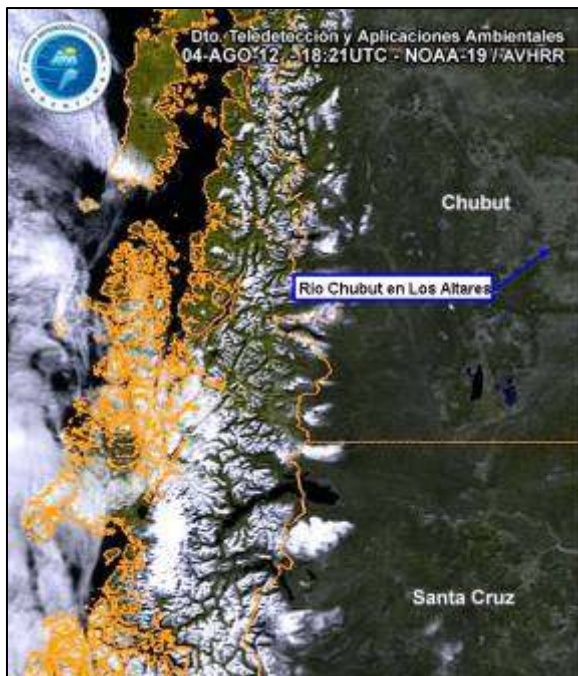


Figura N° 3.a

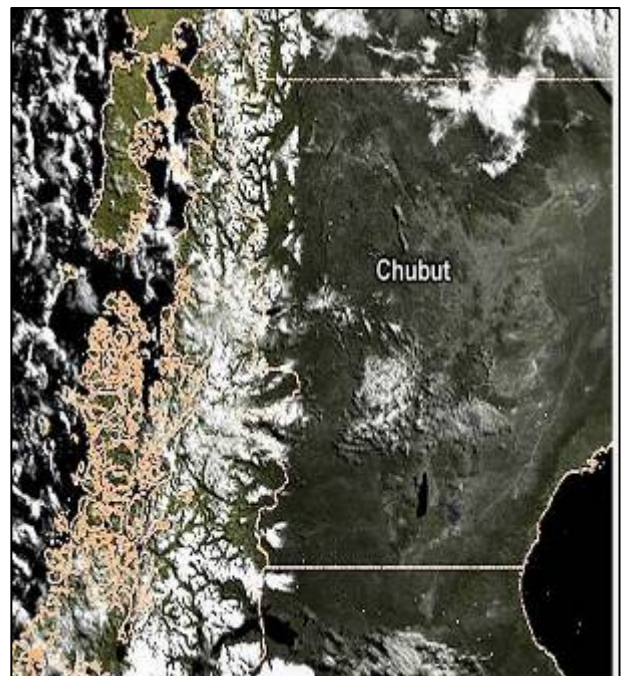


Figura N° 3.b

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 muy por debajo de la normal, respecto de la media histórica, en todas las estaciones nivométricas.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2013	2012	2011
Teatinos	San Juan	510	209	213	376
Toscas	Mendoza – Tunuyán	297	122	192	118
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	462	222	487	161
Laguna Atuel	Atuel	1152	837	1121	790
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	787	436	499	435
Pehuenche	Colorado	1220	594	383	742
Varvarco	Neuquén	1150	967	173	402

Cuadro N° 1

El Cuadro N° 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 2012.

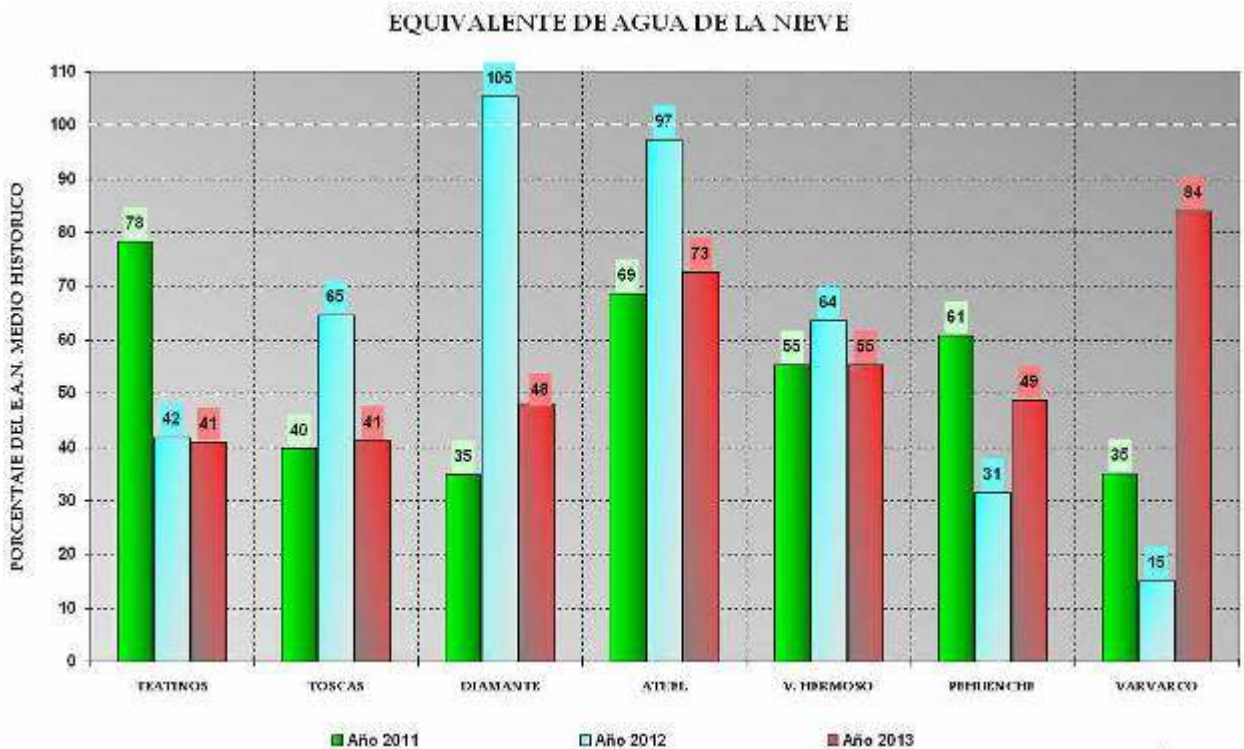


Figura N° 4

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; como se puede apreciar las nevadas ocurridas en la estaciones de los andes centrales para el presente año son inferiores a las registradas en el año 2012, excepto en las estaciones Pehuenche y Varvarco donde la precipitación nívea de este año ha sido mayor, sobretodo en la estación neuquina.

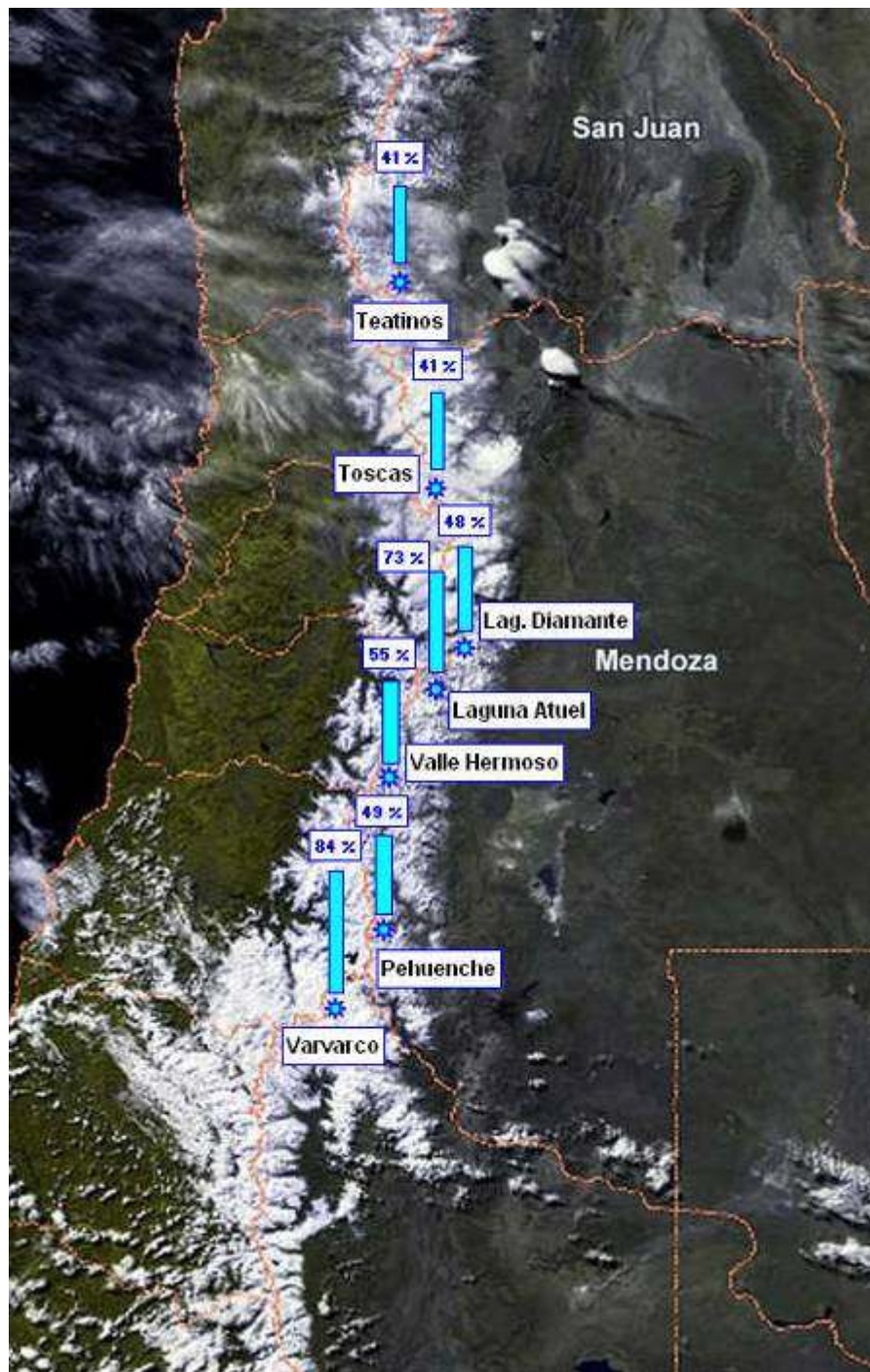


Figura N° 5

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 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 vemos que las precipitaciones níveas se han concentrado sobre la parte sur de la cordillera central.

Las Figuras N° 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; 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 2013, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2012 (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 24 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.

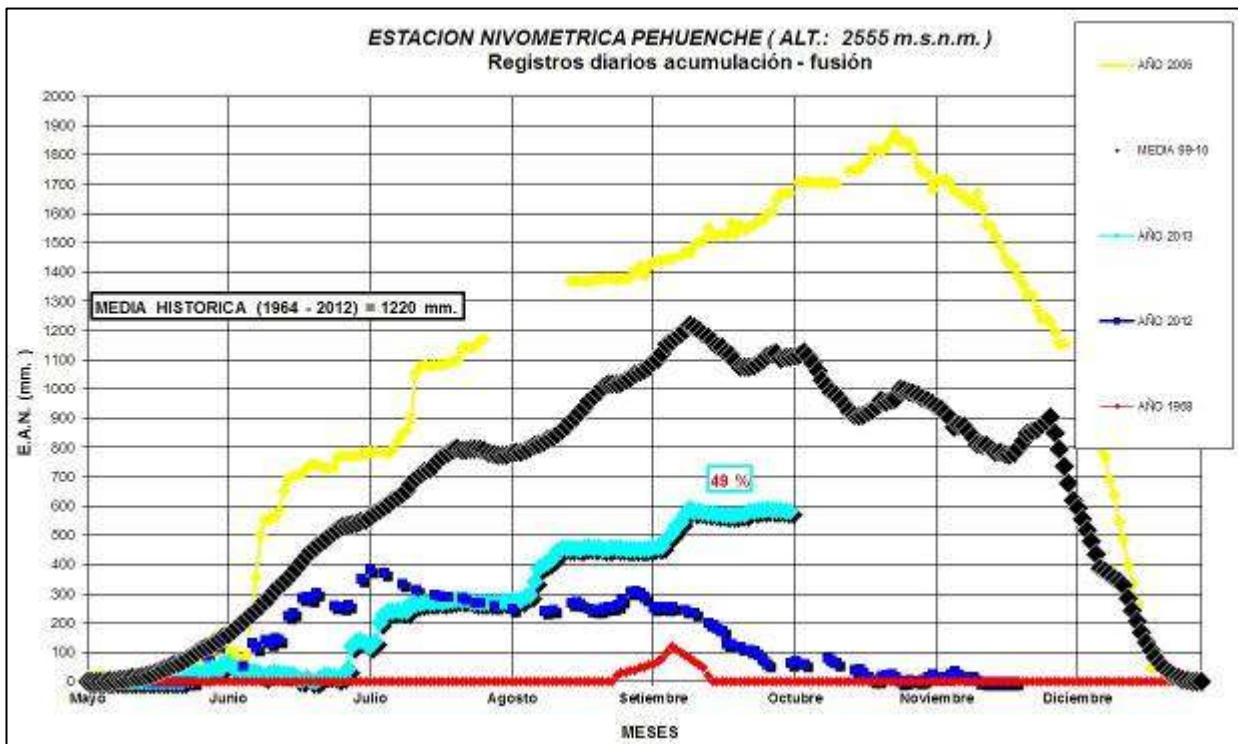
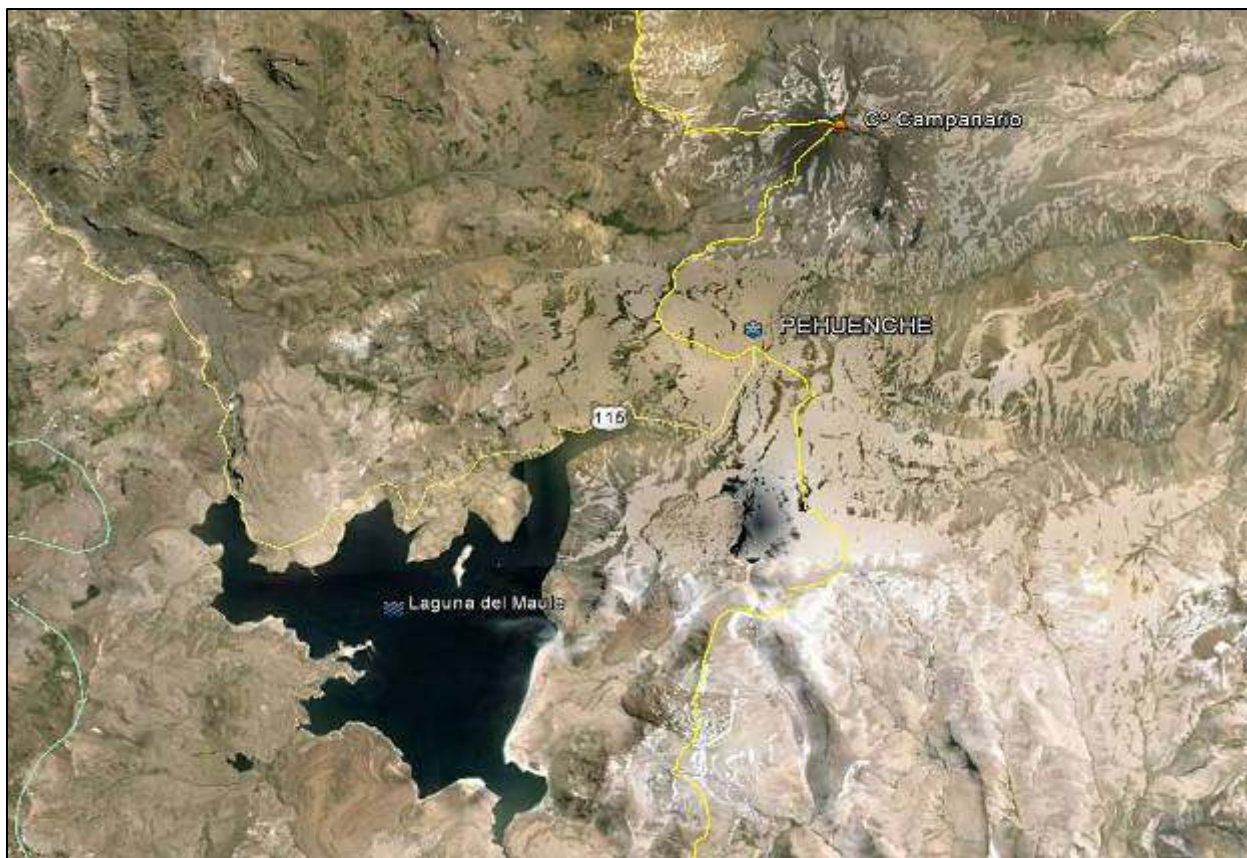


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Pehuenche

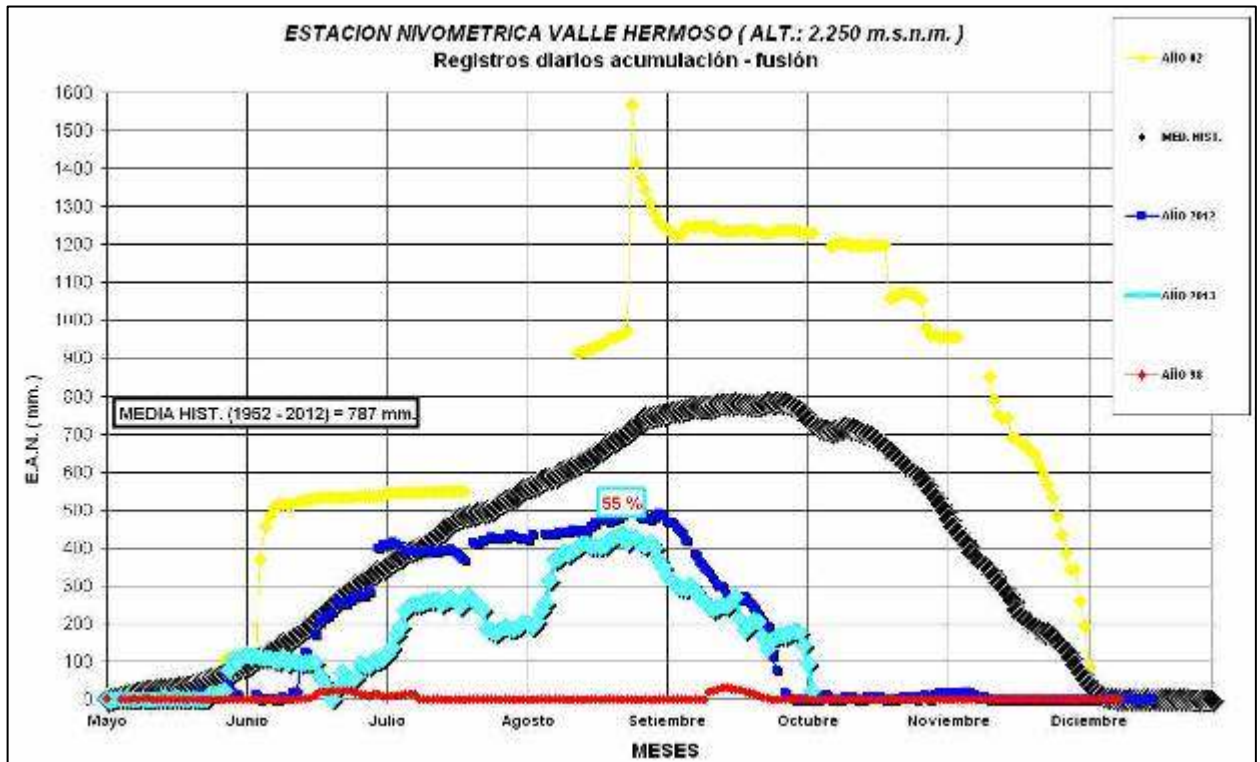


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

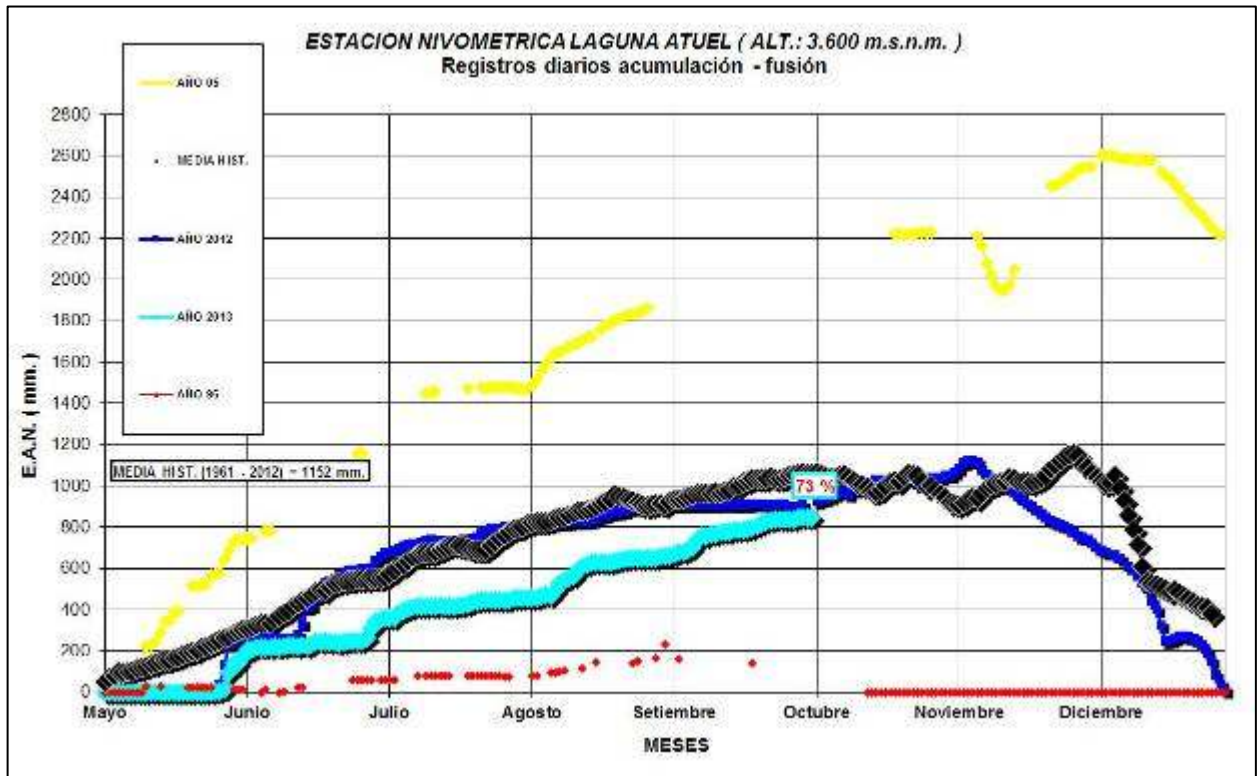


Figura N° 8



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Atuel

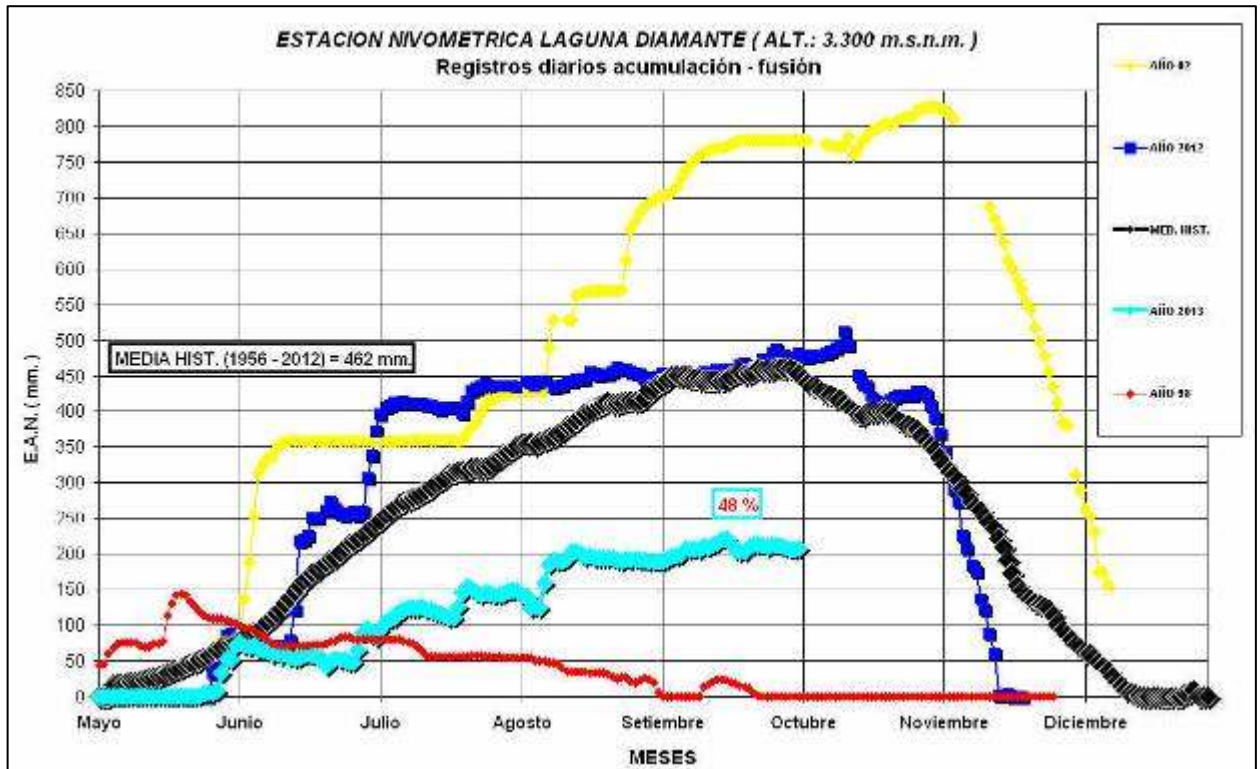


Figura N° 9



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

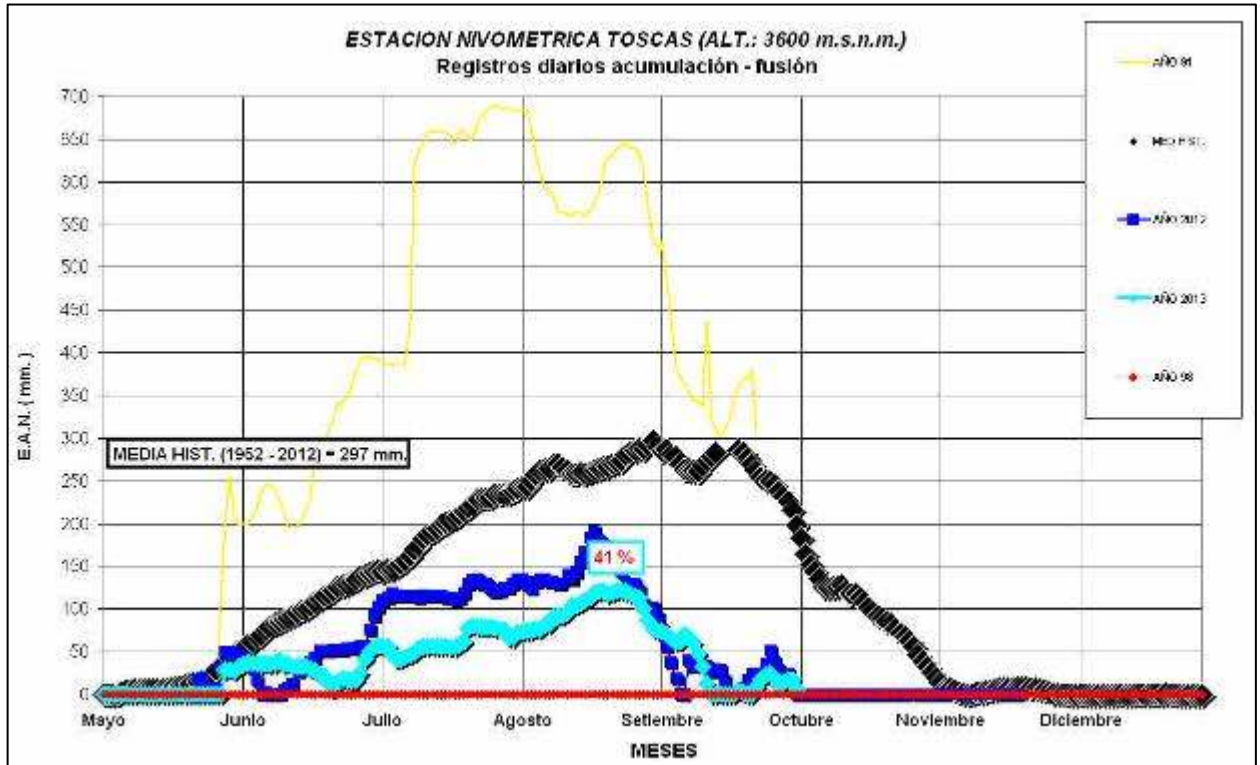
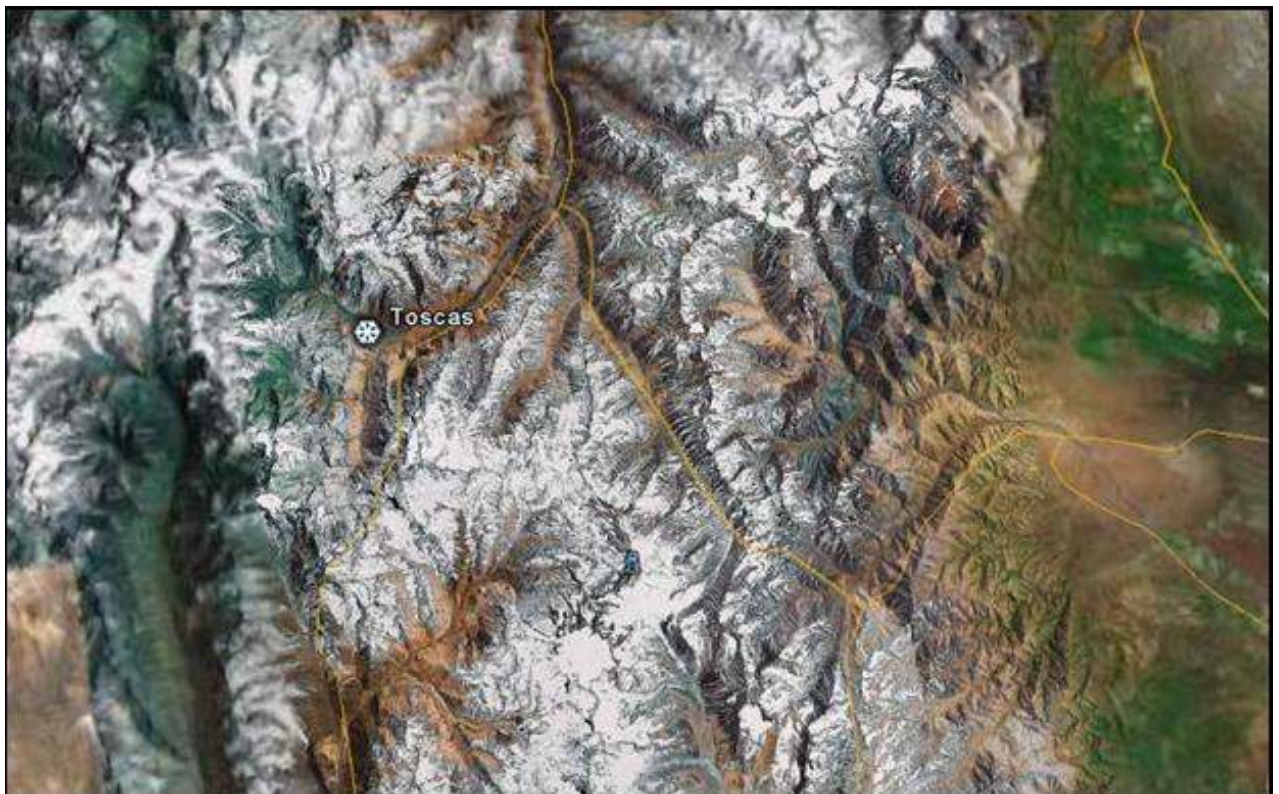


Figura Nº 10



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 Neuro-

forecaster/GA para el río Atuel en La Angostura (octubre 2013 – marzo 2014). 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.

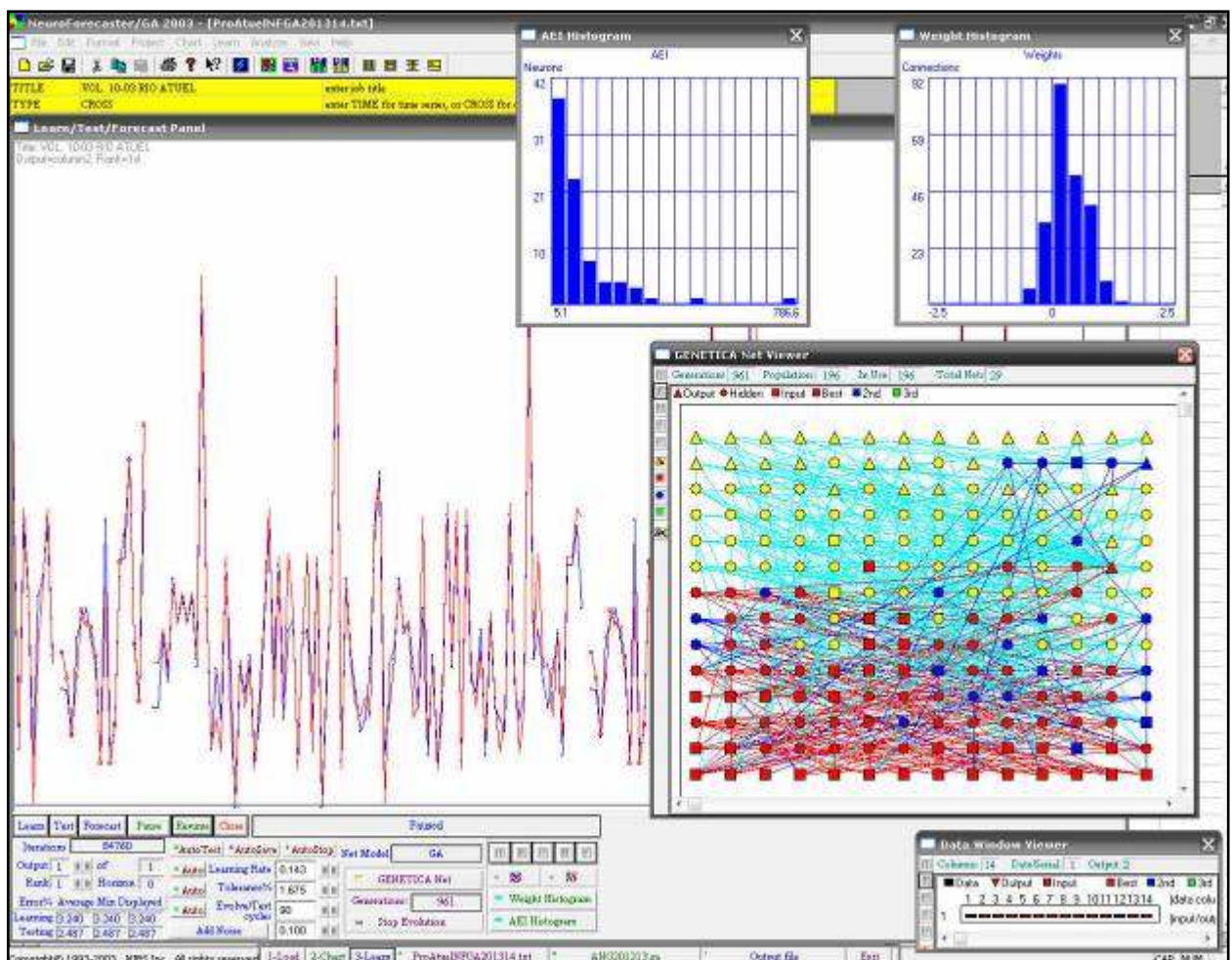


Figura N° 11

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, 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 2013 - 2014

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 – 2012
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2012
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2012
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2012
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2012
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2012
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2012

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 2013/14.

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.

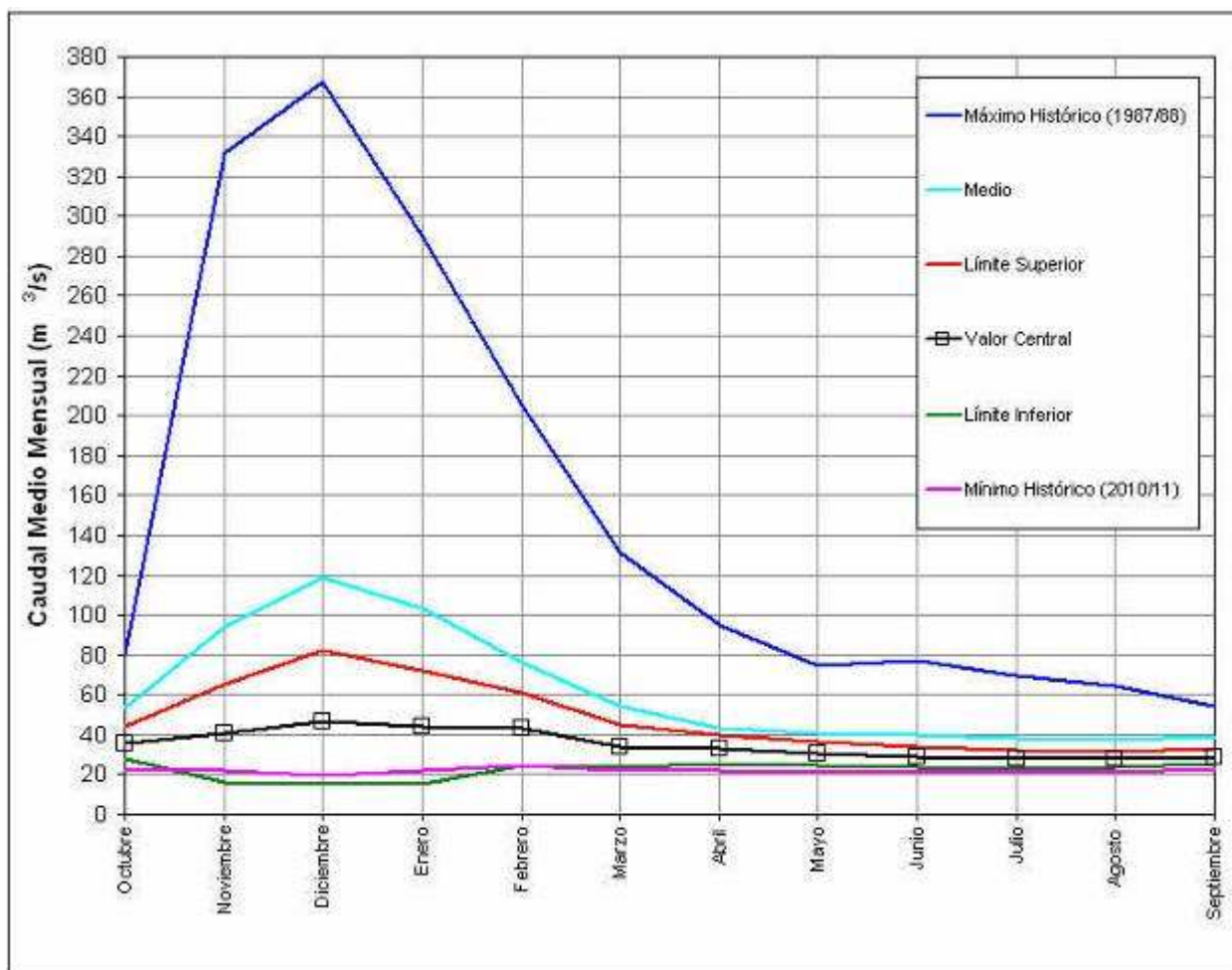
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	28	36	44
Noviembre	16	41	65
Diciembre	15	47	82
Enero	16	44	73
Febrero	25	43	61
Marzo	24	34	45
Abril	26	33	40
Mayo	25	31	36
Junio	24	29	34
Julio	23	28	32
Agosto	24	28	32
Septiembre	25	29	33

Volúmen octubre - setiembre:	1105	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	62	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	640	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	41	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	84	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	49	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	322	640	968
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	707	1105	1513



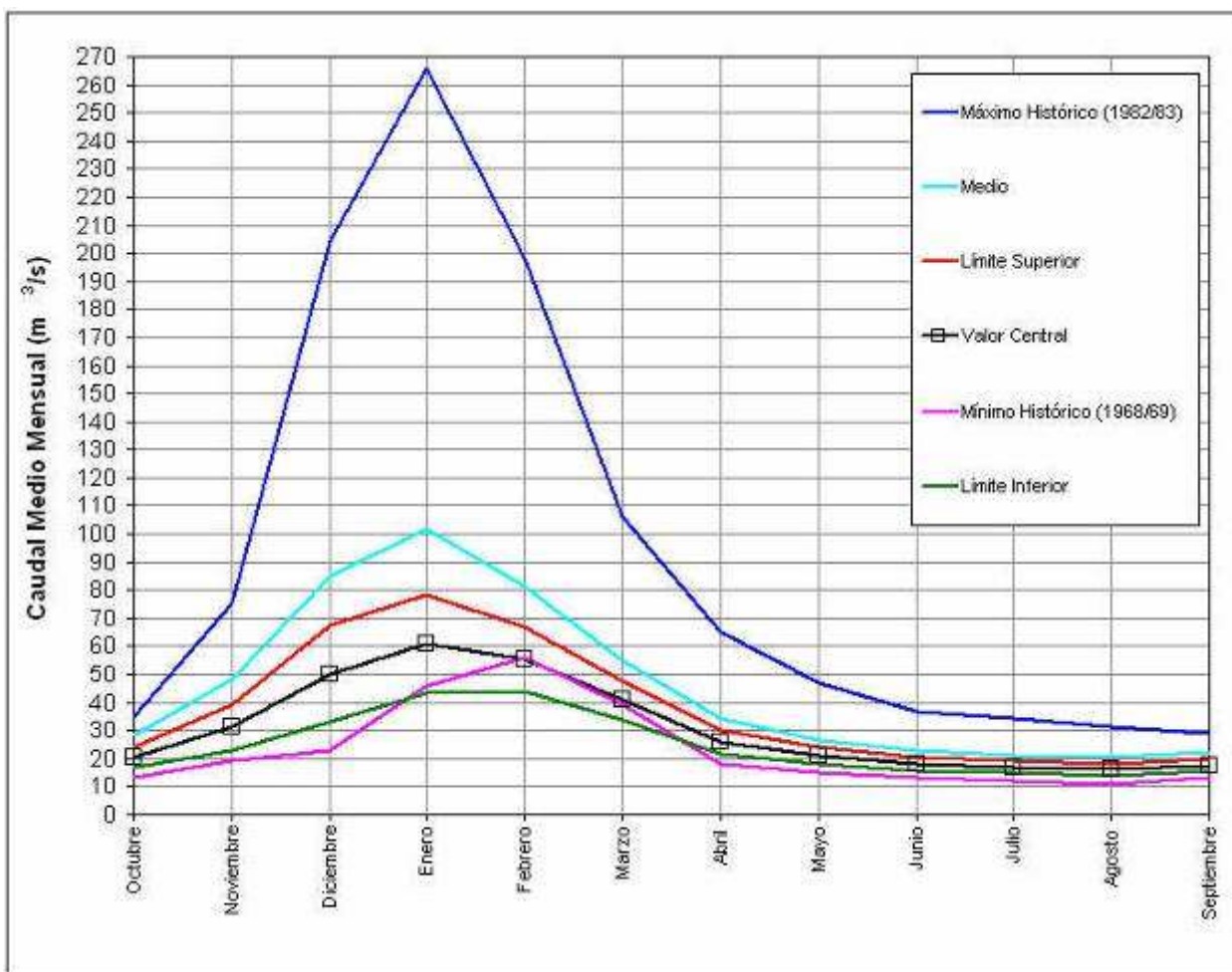
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	17	20	24
Noviembre	23	31	39
Diciembre	33	50	68
Enero	43	61	79
Febrero	44	55	67
Marzo	34	41	48
Abril	22	26	30
Mayo	18	21	24
Junio	16	18	20
Julio	15	17	19
Agosto	14	16	18
Septiembre	16	18	20

Volúmen octubre - setiembre:	981	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	31	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	676	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	43	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	66	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	65	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	505	676	847
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	768	981	1194



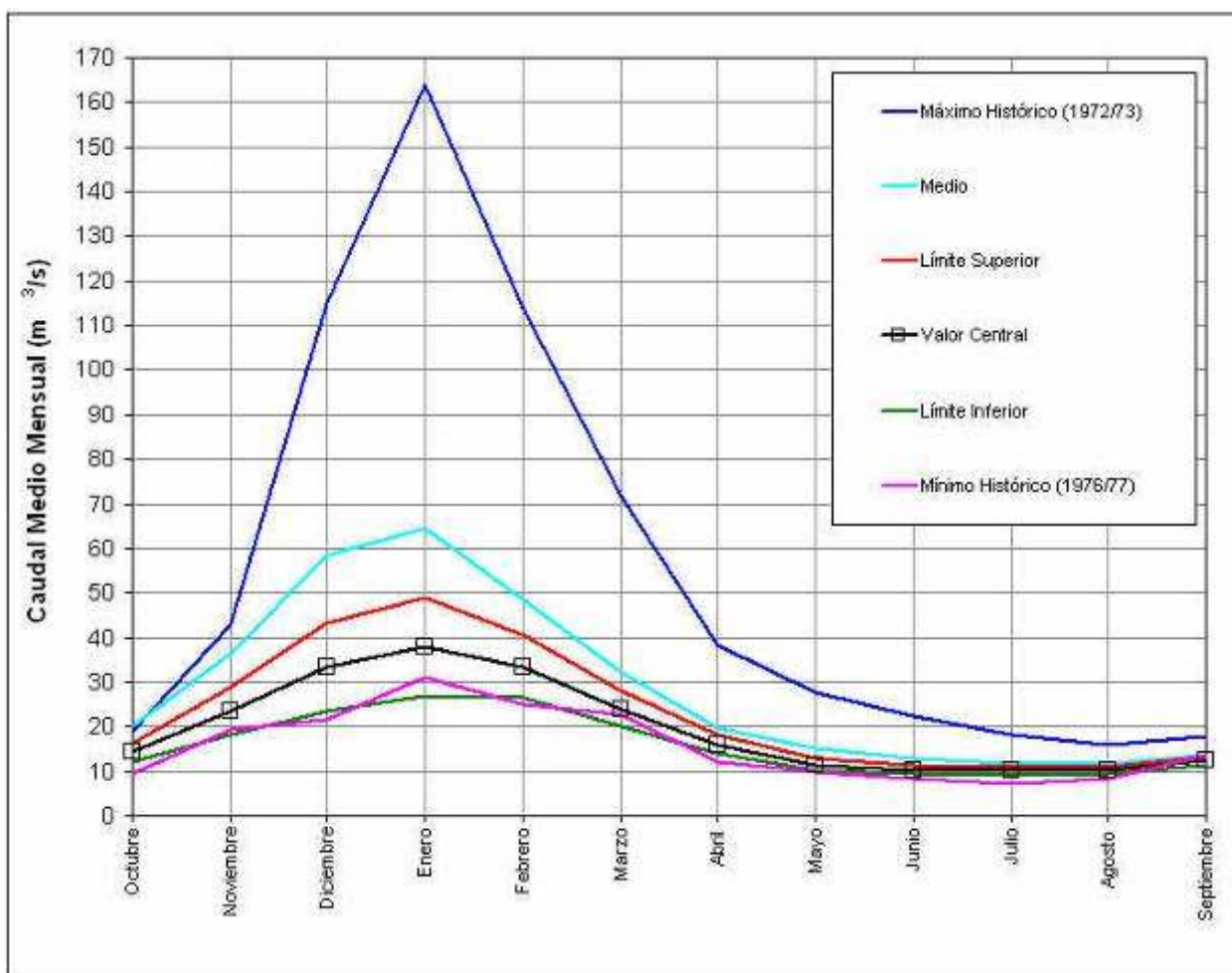
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	12	14	15
Noviembre	18	23	29
Diciembre	23	33	43
Enero	27	38	49
Febrero	27	34	40
Marzo	20	24	28
Abril	14	16	18
Mayo	10	11	13
Junio	9	10	11
Julio	9	10	11
Agosto	10	10	11
Septiembre	12	12	13

Volúmen octubre - setiembre:	622	Hm ³
Caudal medio octubre - setiembre:	20	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	29	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	436	Hm ³
Caudal medio octubre - marzo :	28	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	43	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	64	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	333	436	539
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	500	622	743



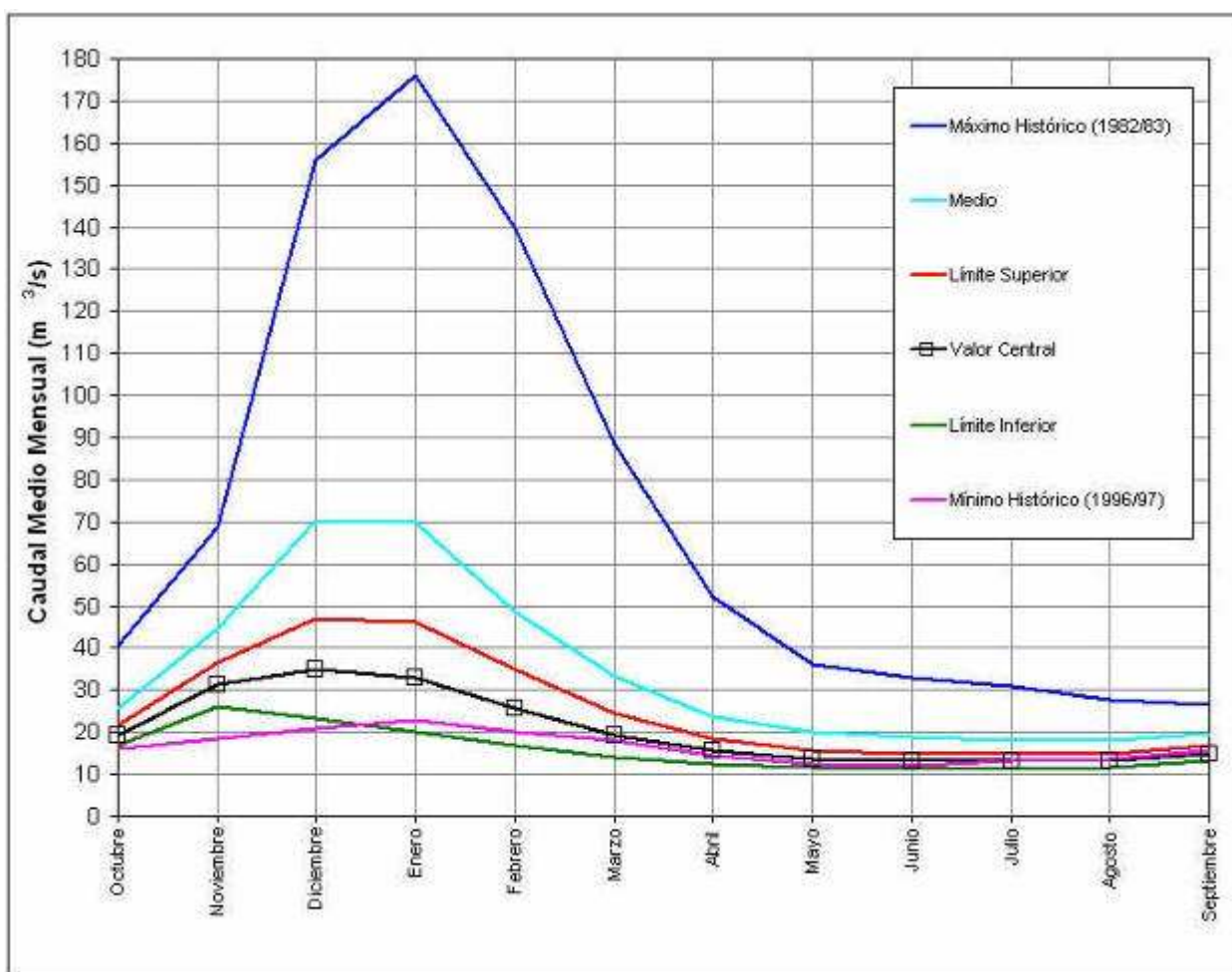
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	17	19	22
Noviembre	26	31	37
Diciembre	23	35	47
Enero	20	33	46
Febrero	17	26	35
Marzo	14	19	25
Abril	12	16	19
Mayo	12	14	16
Junio	11	13	15
Julio	11	13	15
Agosto	11	13	15
Septiembre	13	15	17

Volúmen octubre - setiembre:	650	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	21	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	34	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	430	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	27	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	49	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	56	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	307	430	554
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	495	650	806



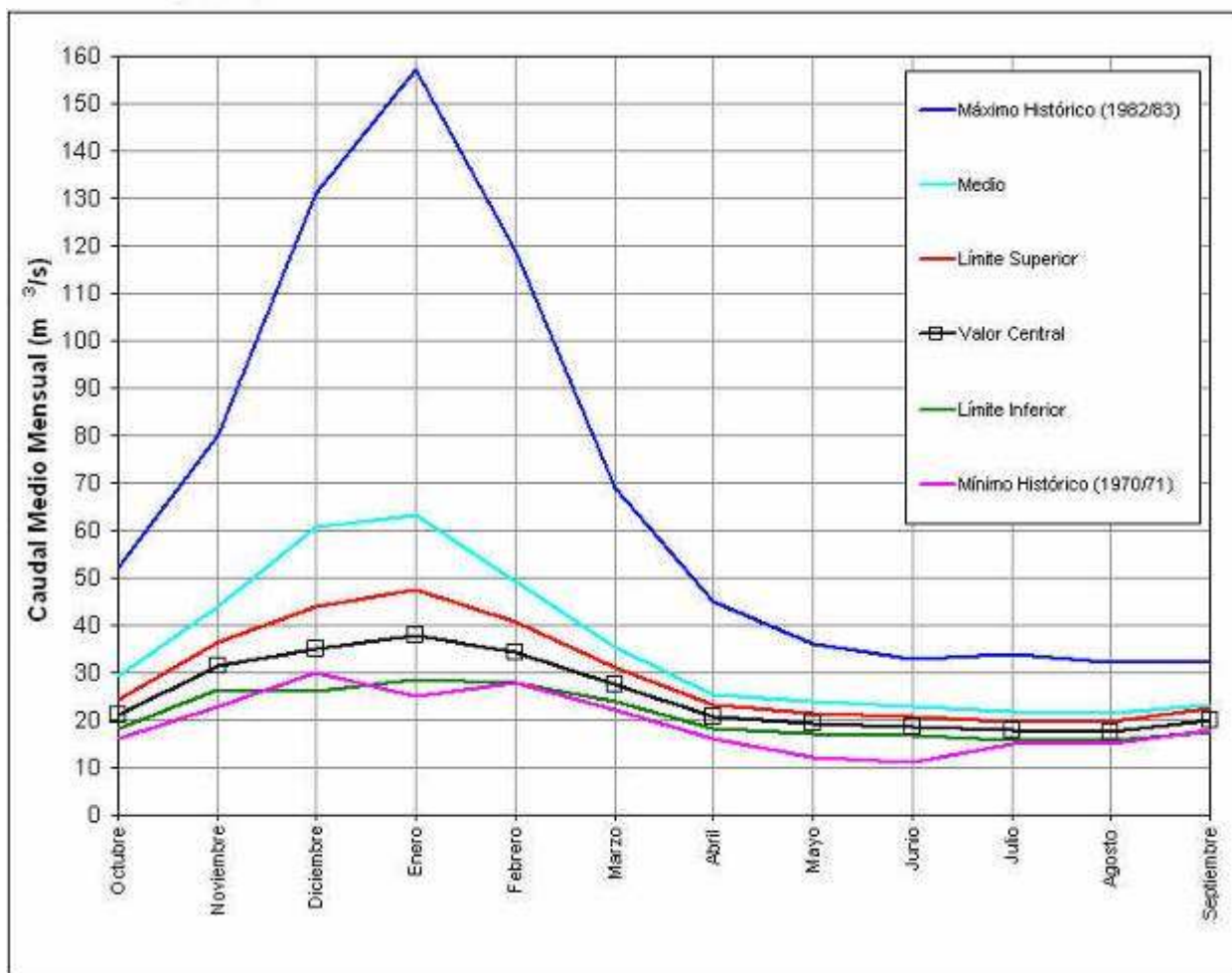
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	18	21	24
Noviembre	27	31	36
Diciembre	26	35	44
Enero	28	38	48
Febrero	26	34	41
Marzo	24	27	31
Abril	18	21	23
Mayo	17	19	21
Junio	17	19	21
Julio	16	18	20
Agosto	16	18	19
Septiembre	18	20	22

Volúmen octubre - setiembre:	790	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	25	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	490	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	31	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	47	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	67	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	395	490	585
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	660	790	920



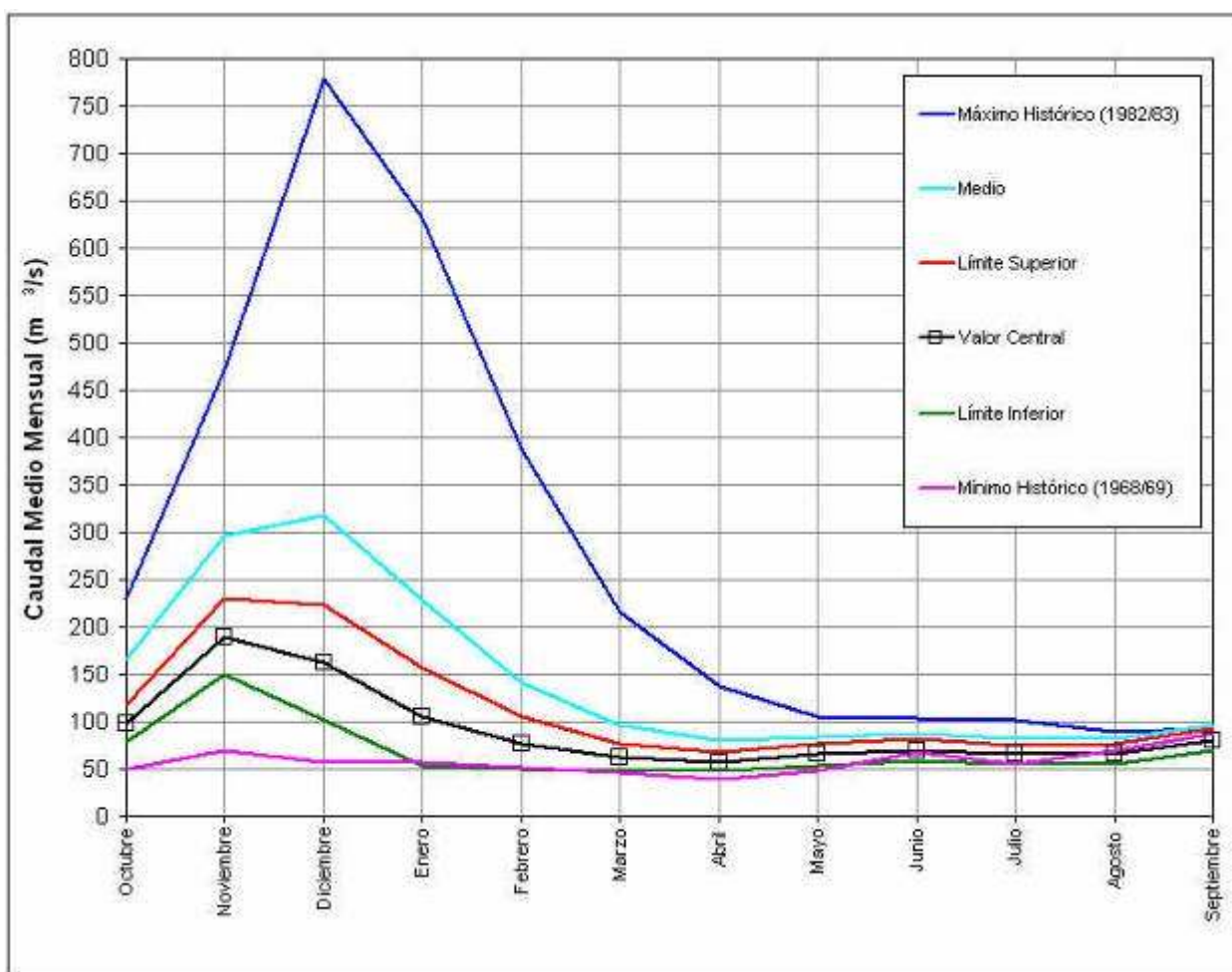
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	79	99	119
Noviembre	150	190	230
Diciembre	102	162	223
Enero	54	105	157
Febrero	50	78	105
Marzo	49	63	77
Abril	48	58	68
Mayo	54	65	76
Junio	59	70	81
Julio	55	65	75
Agosto	56	67	77
Septiembre	69	81	93

Volúmen octubre - setiembre:	2900	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	92	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	147	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	1830	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	116	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	208	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	56	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	1270	1830	2391
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	2170	2900	3631



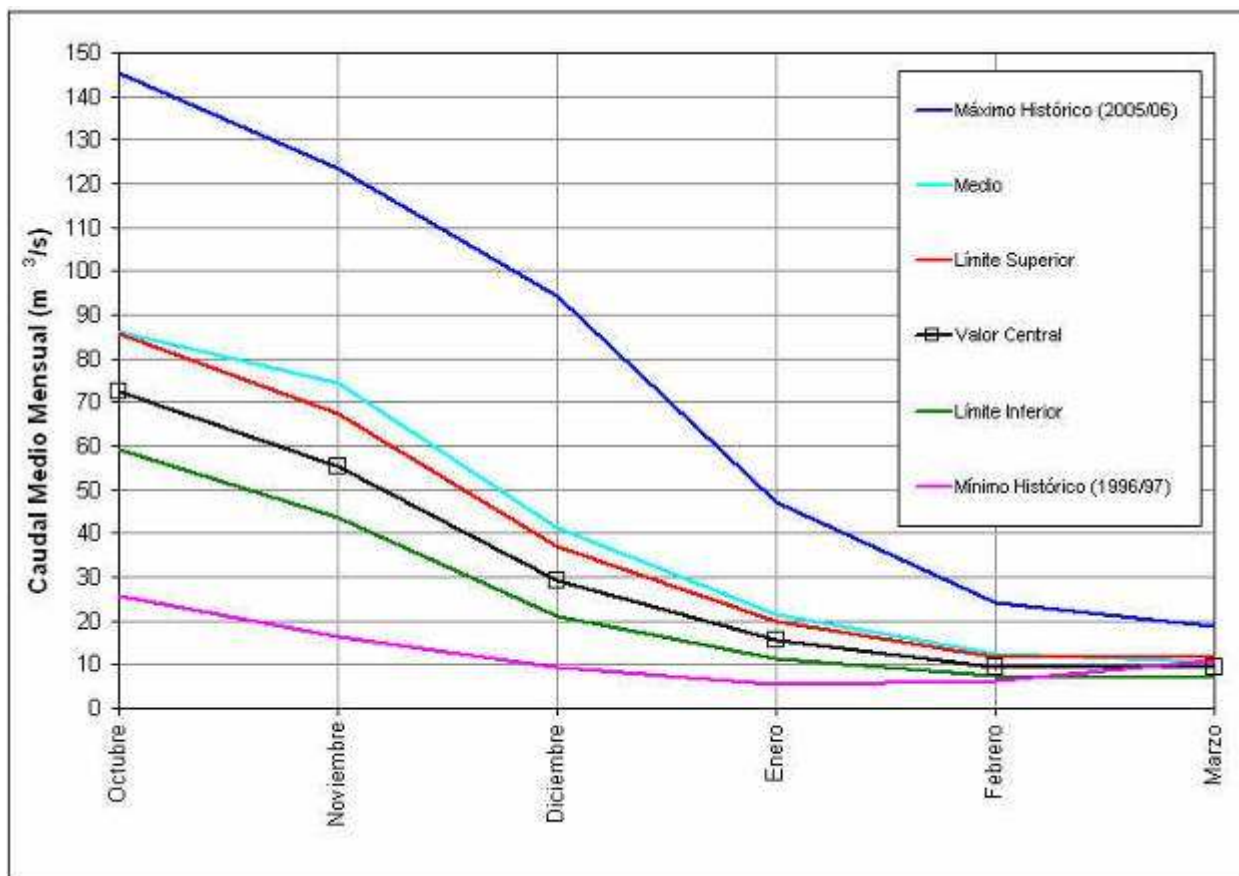
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	59	72	86
Noviembre	44	55	67
Diciembre	21	29	37
Enero	11	16	20
Febrero	7	9	12
Marzo	7	9	12

Volúmen octubre - marzo : 506 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 32 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 41 m³/s.
 Porcentaje año medio : 78 %

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 396 506 616



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2013/14 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 para todos los ríos de cuyo es Seco, incluso para el río Colorado; mientras que el río Chubut, en el ingreso al embalse F. Ameghino, se presenta bajo un régimen *Medianamente Seco*.

RÍO	PRONOSTICO 2013-2014 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	1105	Seco	1946 1635	691	4851
Mendoza	981	Seco	1438 1387	731	2967
Tunuyán	622	Seco	915 908	496	1752
Diamante	650	Seco	1080 1045	521	2302
Atuel	790	Seco	1105 1060	607	2155
Colorado	2900	Seco	4630 4595	1837	8796
Chubut (1)	506	Medianamente Seco	650 661	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)