



**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 2009 – 2010**

**Ríos**

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

**SEPTIEMBRE 2009**



**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 2009 a Septiembre 2010, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica solamente el período Octubre 2009 a Marzo 2010.

## 2. SITUACIÓN GENERAL

### 2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de septiembre 2008 y septiembre 2009, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2008 y las b, al año 2009; 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

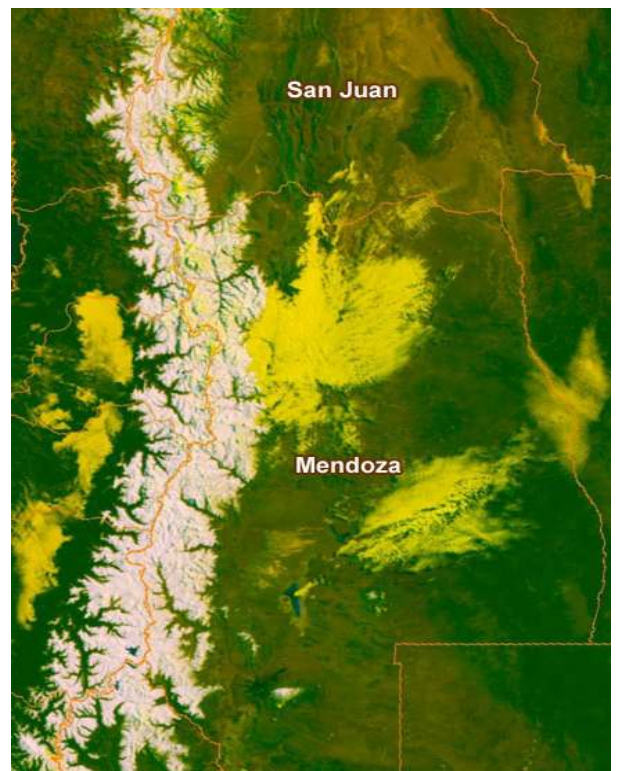


Figura N° 1.b



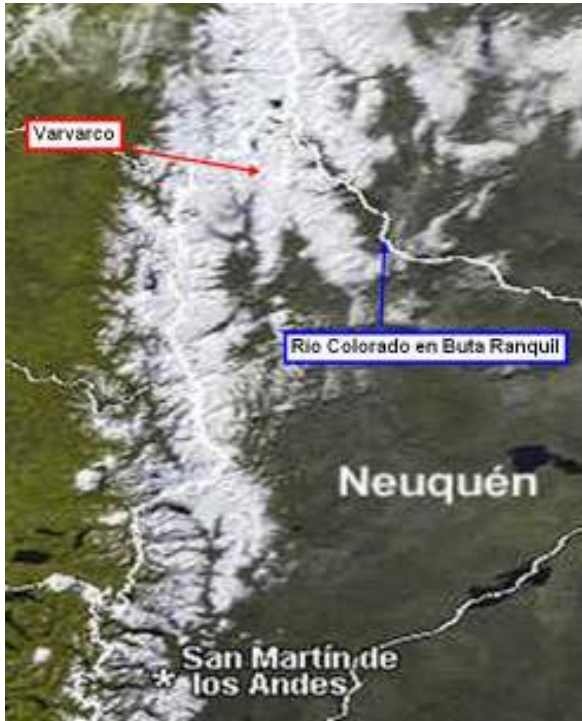


Figura N° 2.a



Figura N° 2.b

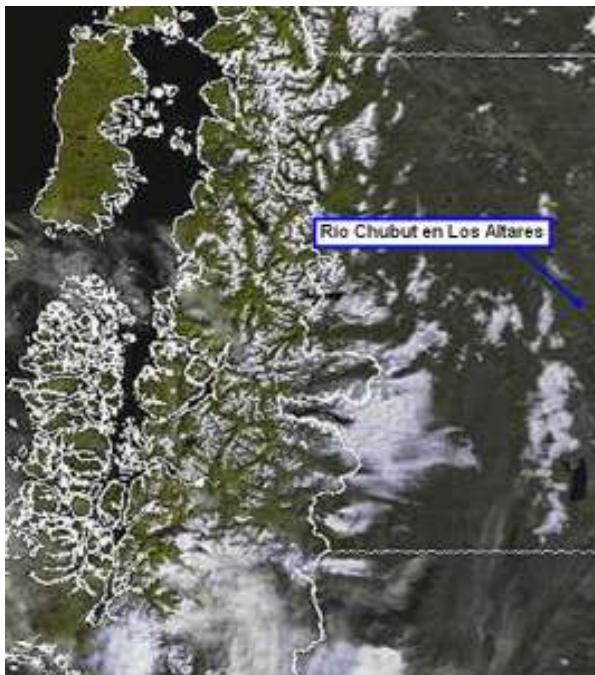


Figura N° 3.a

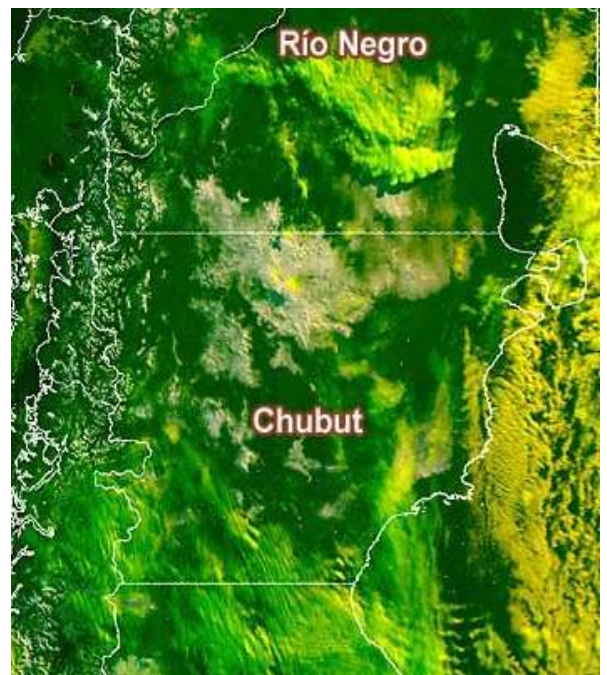


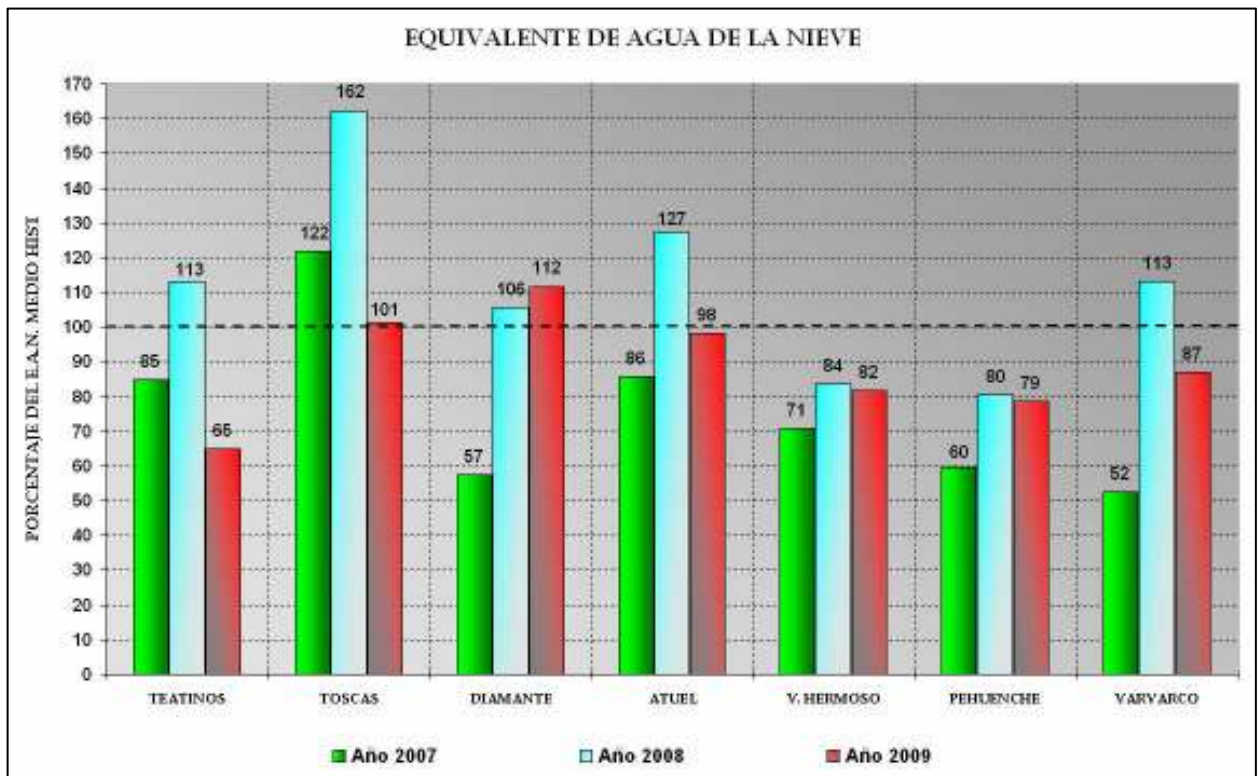
Figura N° 3.b

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 normal, respecto de la media histórica, en las estaciones Nivométricas Toscas, Laguna Diamante y Laguna Atuel y bajo la normal en las restantes.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2009	2008	2007
Teatinos	San Juan	530	345	600	450
Toscas	Mendoza – Tunuyán	308	312	500	375
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	470	525	497	270
Laguna Atuel	Atuel	1176	1155	1500	1008
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	808	660	675	570
Pehuenche	Colorado	1278	1004	1027	764
Varvarco	Neuquén	1185	1030	1341	621

**Cuadro N° 1**

El Cuadro N° 1 muestra para cada estación nivométrica, el equivalente de agua de la nieve E.A.N [mm.] máximo alcanzado hasta la fecha, el máximo de los últimos dos años y la media histórica hasta el año 2008.



**Figura N° 4**



La Figura N° 4, es una representación gráfica en porcentajes del equivalente de agua en nieve medio histórico, de los registros indicados en el cuadro N° 1; como se puede apreciar las nevadas ocurridas en el presente año son inferiores en general a las registradas en el año 2008; y superiores al acumulado en el año 2007, en todas las cuencas, excepto las del norte (San Juan y Mendoza).

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

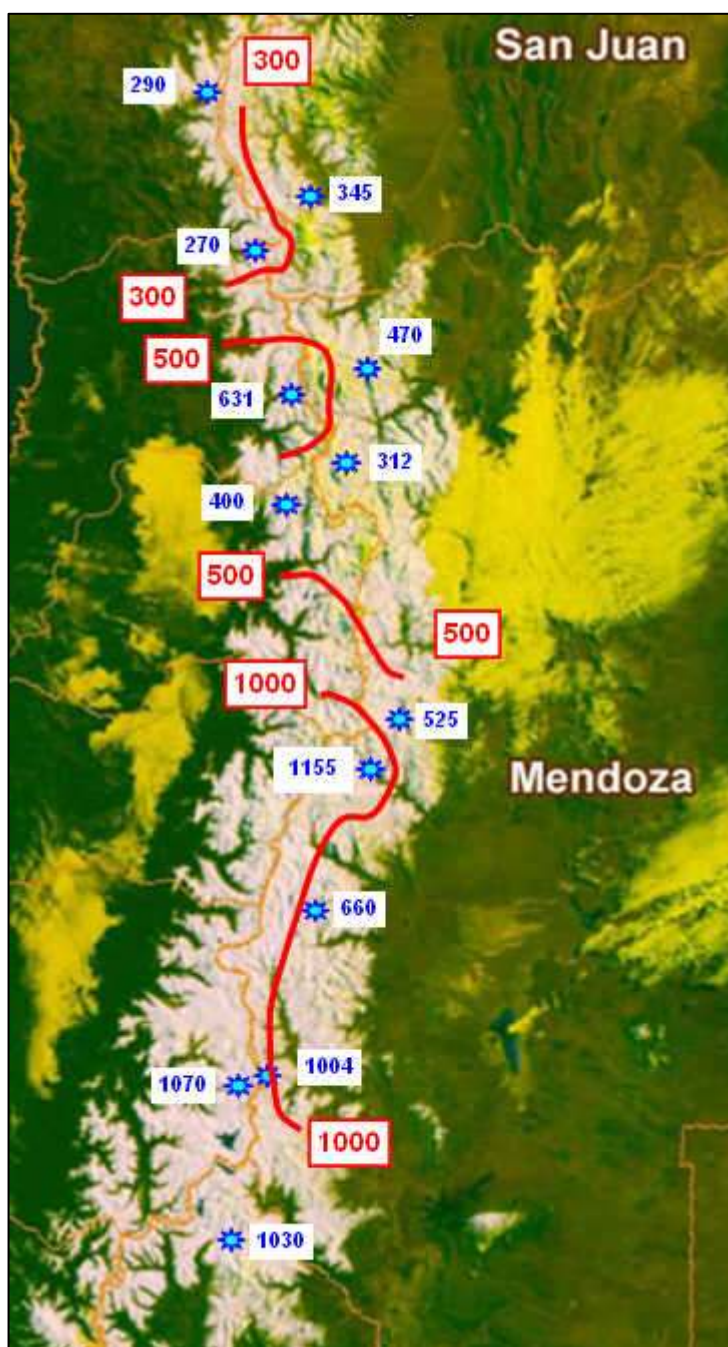


Figura N° 5

En la figura N° 5 se han trazado las isoyetas (curva de igual precipitación nívea) sobre la cordillera central. Para ello, además de los datos de nieve disponibles, fue necesario contar con información de estaciones nivométricas chilenas, las cuales se obtuvieron de la página Web de la Dirección General de Aguas de la República de Chile.

Por lo tanto del análisis de dicha figura podemos tener una idea mas completa sobre la distribución y magnitud de las nevadas ocurridas.

Las Figuras N° 6, 7 y 8 ilustran los registros diarios del equivalente de agua de la 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) y transmitidos mediante el Sistema de Tele Transmisión por Reflexión Meteórica a la Estación Maestra ubicada en la ciudad de Cipolletti (Pcia. de Río Negro); 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 2009, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2008 (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 20 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 el escenario níveo actual.

Por lo tanto de dichas figuras podemos analizar como fue la evolución del manto níveo en la presente temporada invernal.

En los Andes Centrales la acumulación nívea comenzó a partir de la segunda quincena de junio, durante julio no hubieron eventos de magnitud y en agosto volvió a precipitar, incrementado paulatinamente el manto níveo hasta principios de septiembre donde se produjo la última nevada de relevancia.



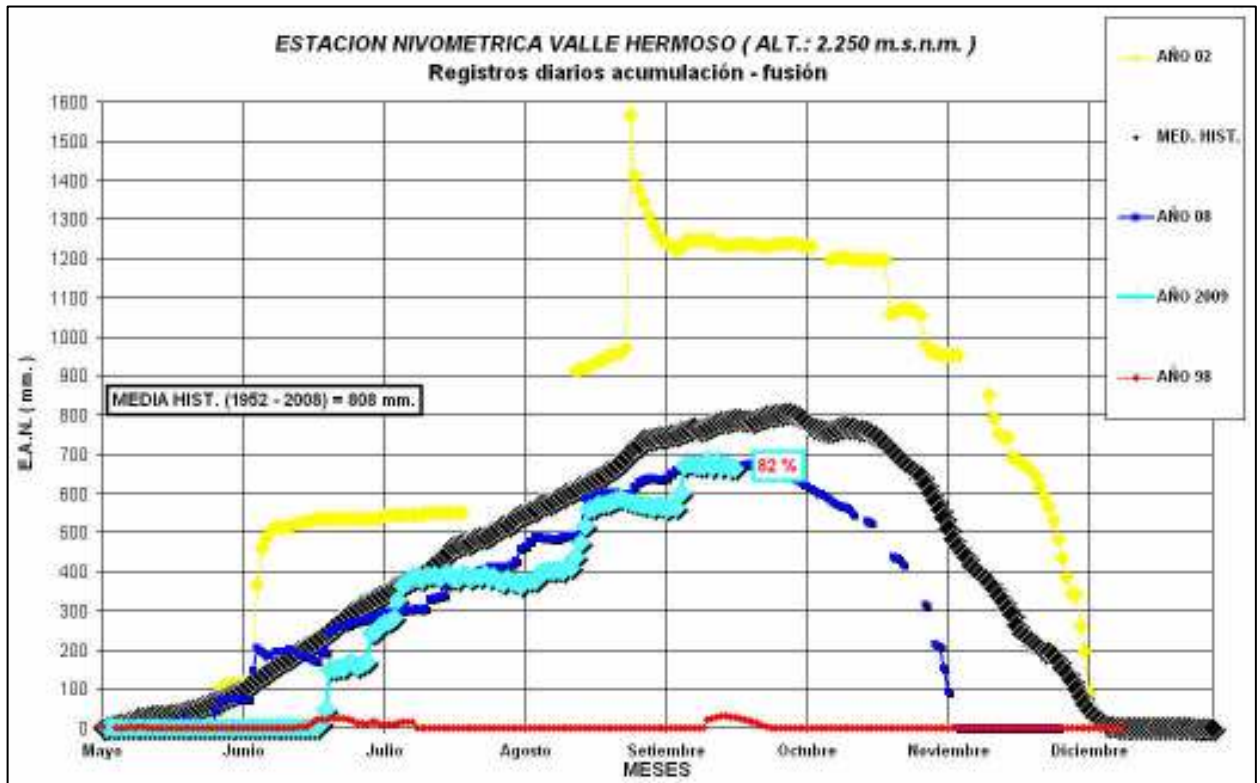


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso



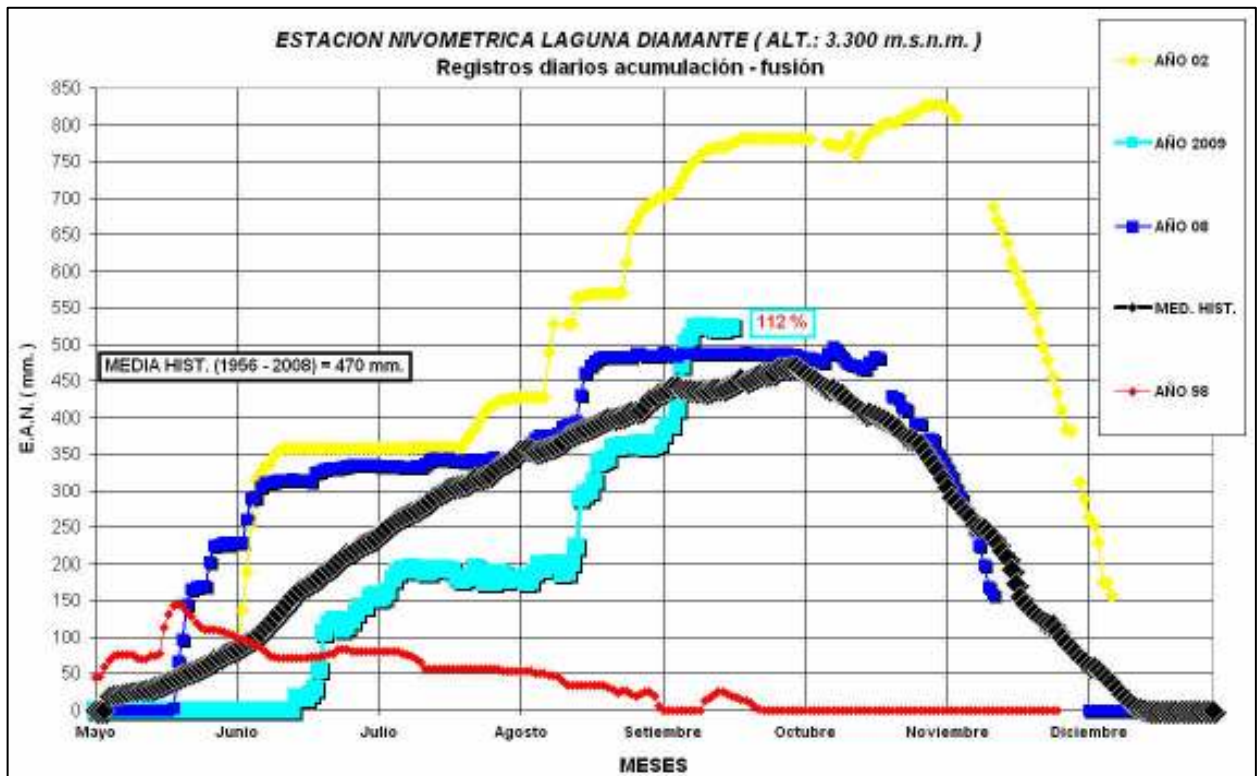


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante



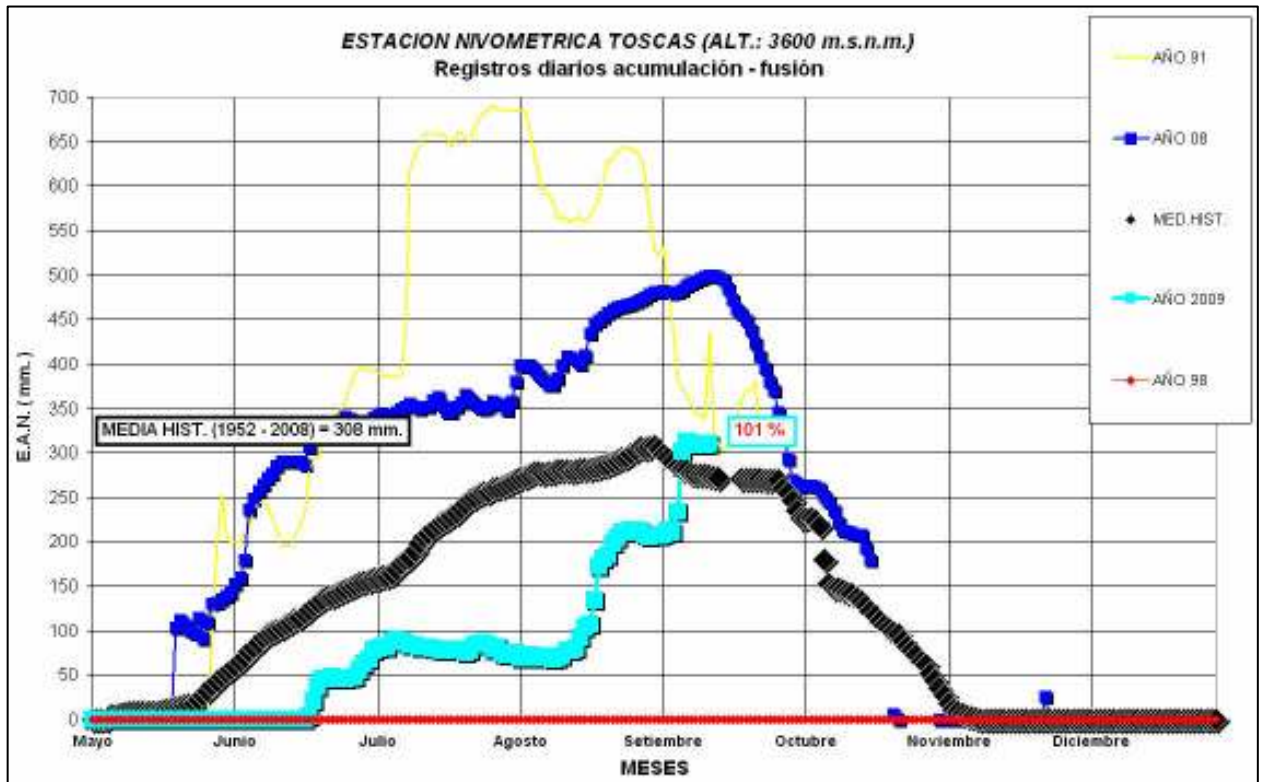


Figura N° 8



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.



La arquitectura de una RNA de Pronósticos de Derrames tiene las siguientes características (Figura N° 9):

- ❖ 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.
- ❖ Actualización de Pesos Bach.

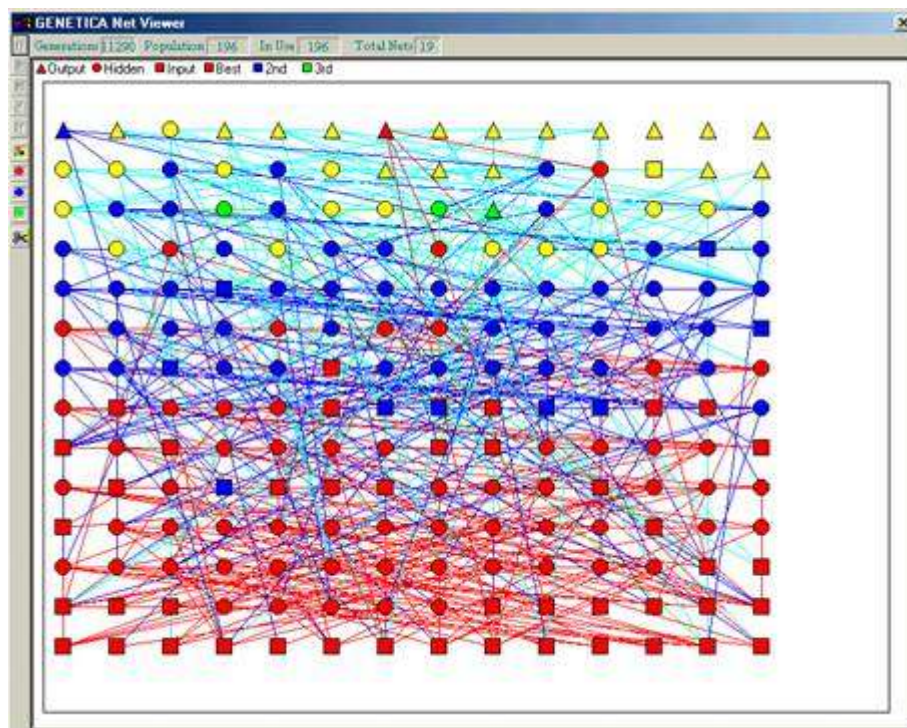


Figura N° 9

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 (crossover) 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 2009 - 2010

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 – 2008
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2008
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2008
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2008
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2008
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2008
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2008

Cuadro N° 2

Este año 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 2009/10.

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.

***Los caudales medios mensuales en el período estacional, pueden sufrir desviaciones importantes ya que dependen del comportamiento de variables meteorológicas tales como precipitación, temperatura y radiación solar.***



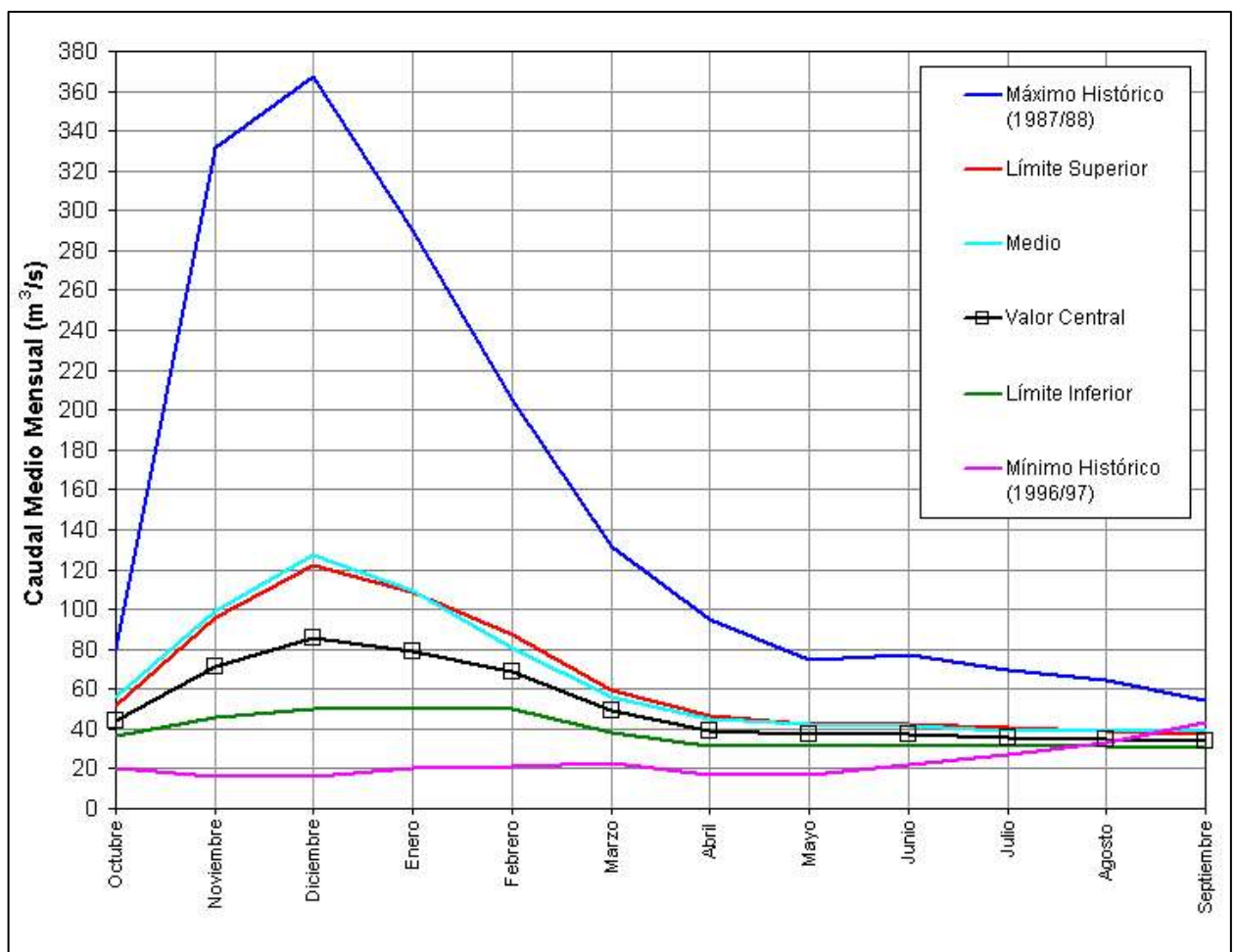
**RÍO SAN JUAN EN KM. 101**

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	36	44	52
Noviembre	46	71	96
Diciembre	50	86	122
Enero	50	79	108
Febrero	50	69	88
Marzo	38	49	60
Abril	32	39	46
Mayo	31	37	43
Junio	32	37	42
Julio	32	36	40
Agosto	31	35	39
Septiembre	30	34	38

Volúmen octubre - setiembre:	1616	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - setiembre:	51	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - setiembre:	65	m <sup>3</sup> /s.
Volúmen octubre - marzo :	1042	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - marzo :	66	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - marzo :	88	m <sup>3</sup> /s.
Porcentaje año medio :	75	%

**Régimen : Moderadamente Seco**

Vol. Oct. - Mzo. (Hm <sup>3</sup> )	706	<b>1042</b>	1377
Vol. Oct. - Sept. (Hm <sup>3</sup> )	1201	<b>1616</b>	2032



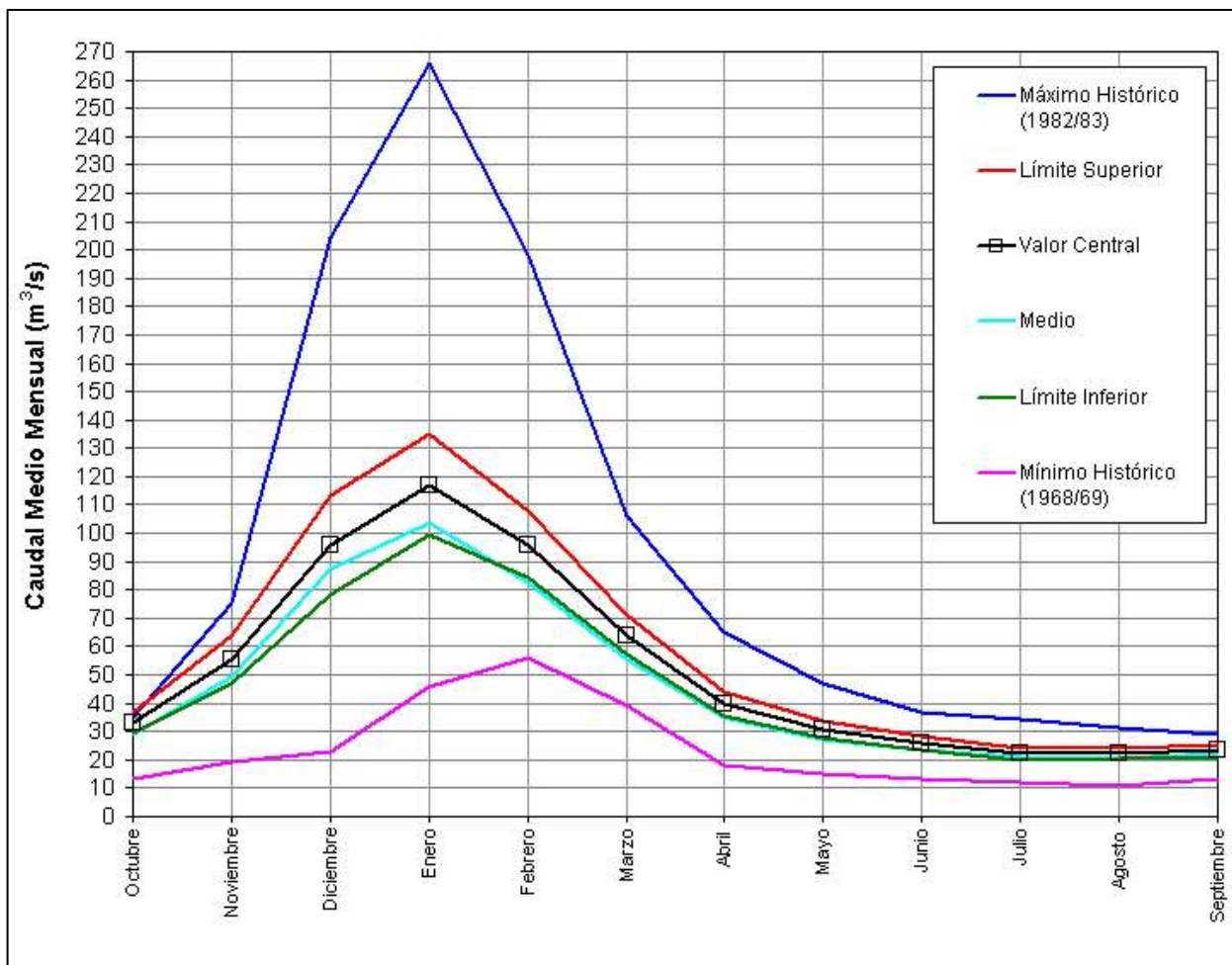
### RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	29	33	37
Noviembre	47	55	64
Diciembre	78	96	114
Enero	99	117	135
Febrero	84	96	108
Marzo	57	64	71
Abril	36	40	44
Mayo	28	31	34
Junio	23	26	29
Julio	20	22	24
Agosto	20	22	24
Septiembre	21	23	25

Volúmen octubre - setiembre:	1638	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - setiembre:	52	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m <sup>3</sup> /s.
Volúmen octubre - marzo :	1206	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - marzo :	77	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - marzo :	68	m <sup>3</sup> /s.
Porcentaje año medio :	113	%

**Régimen : Moderadamente Húmedo**

<b>Vol. Oct. - Mzo. (Hm<sup>3</sup>)</b>	1033	<b>1206</b>	1380
<b>Vol. Oct. - Sept. (Hm<sup>3</sup>)</b>	1422	<b>1638</b>	1855





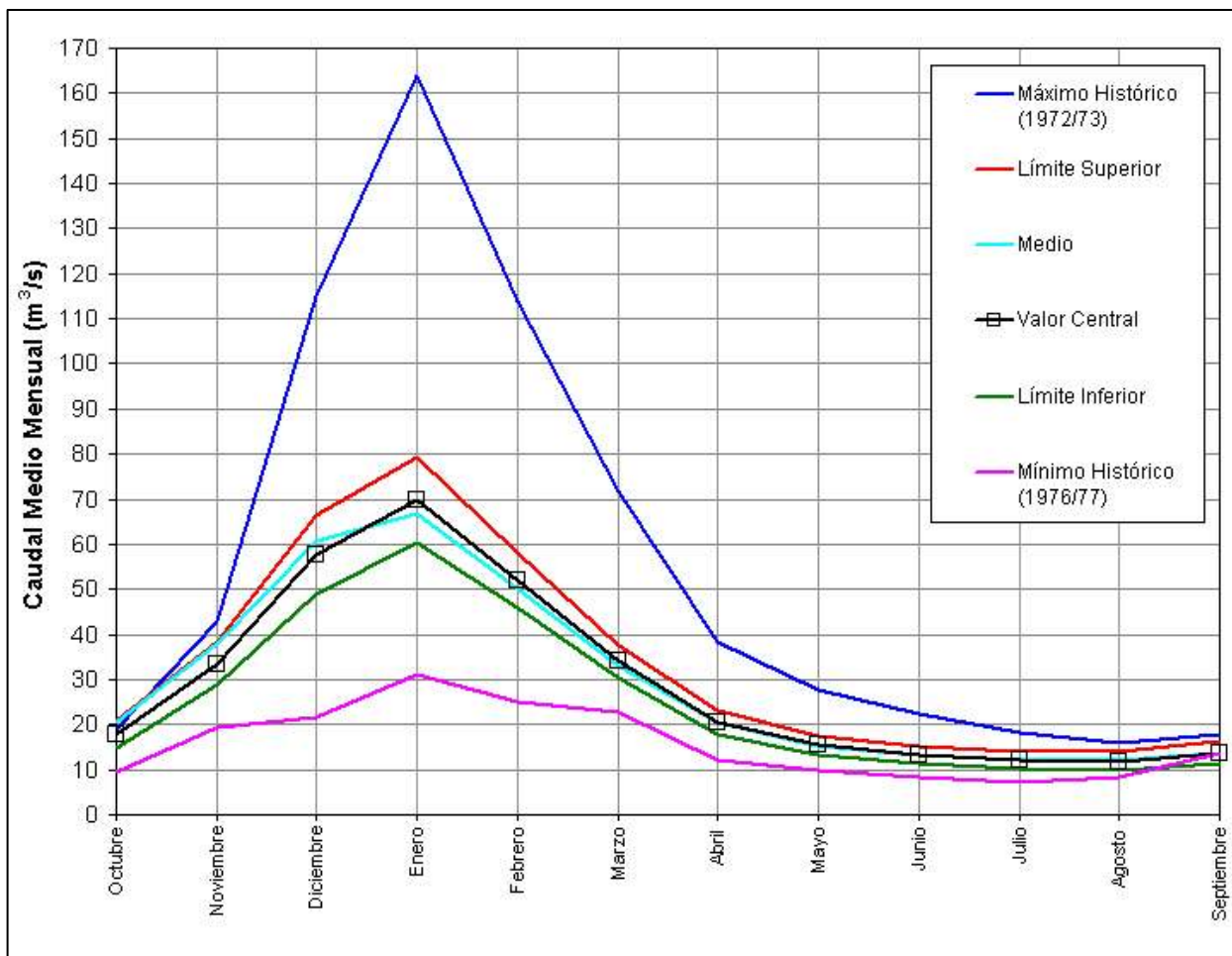
### RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	15	18	21
Noviembre	29	34	38
Diciembre	49	58	67
Enero	60	70	79
Febrero	46	52	58
Marzo	30	34	38
Abril	18	21	23
Mayo	13	16	18
Junio	11	13	15
Julio	10	12	14
Agosto	10	12	14
Septiembre	11	14	16

Volúmen octubre - setiembre:	922	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - setiembre:	29	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - setiembre:	30	m <sup>3</sup> /s.
Volúmen octubre - marzo :	693	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - marzo :	44	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - marzo :	45	m <sup>3</sup> /s.
Porcentaje año medio :	98	%

**Régimen : Medio**

<b>Vol. Oct. - Mzo. (Hm<sup>3</sup>)</b>	598	<b>693</b>	788
<b>Vol. Oct. - Sept. (Hm<sup>3</sup>)</b>	792	<b>922</b>	1052



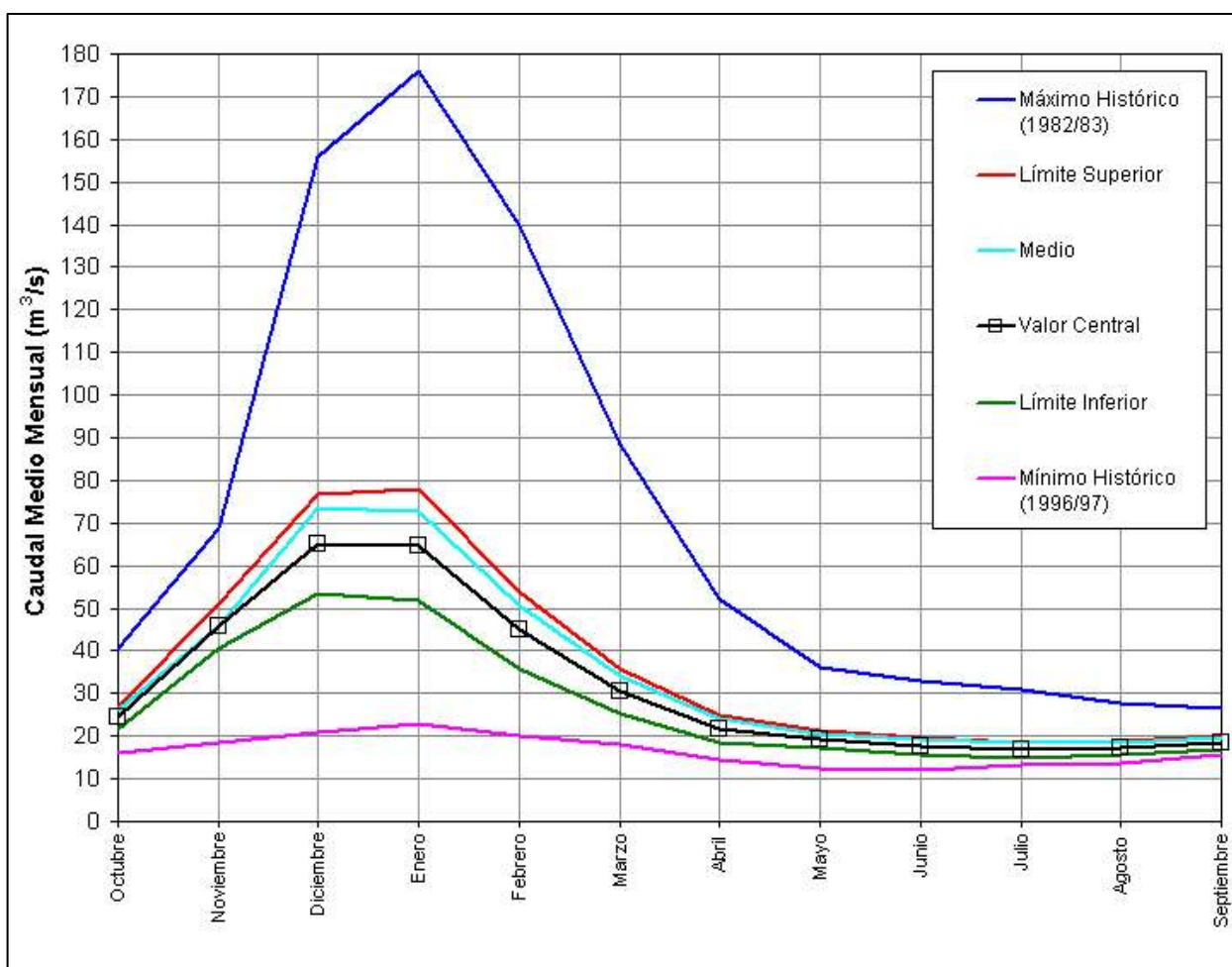
### RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	22	24	27
Noviembre	41	46	51
Diciembre	53	65	77
Enero	52	65	78
Febrero	36	45	54
Marzo	25	31	36
Abril	18	22	25
Mayo	17	19	21
Junio	16	18	20
Julio	15	17	19
Agosto	16	17	19
Septiembre	17	19	20

Volúmen octubre - setiembre:	1015	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - setiembre:	32	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m <sup>3</sup> /s.
Volúmen octubre - marzo :	722	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - marzo :	46	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - marzo :	50	m <sup>3</sup> /s.
Porcentaje año medio :	91	%

**Régimen : Medio**

<b>Vol. Oct. - Mzo. (Hm<sup>3</sup>)</b>	598	<b>722</b>	846
<b>Vol. Oct. - Sept. (Hm<sup>3</sup>)</b>	859	<b>1015</b>	1171



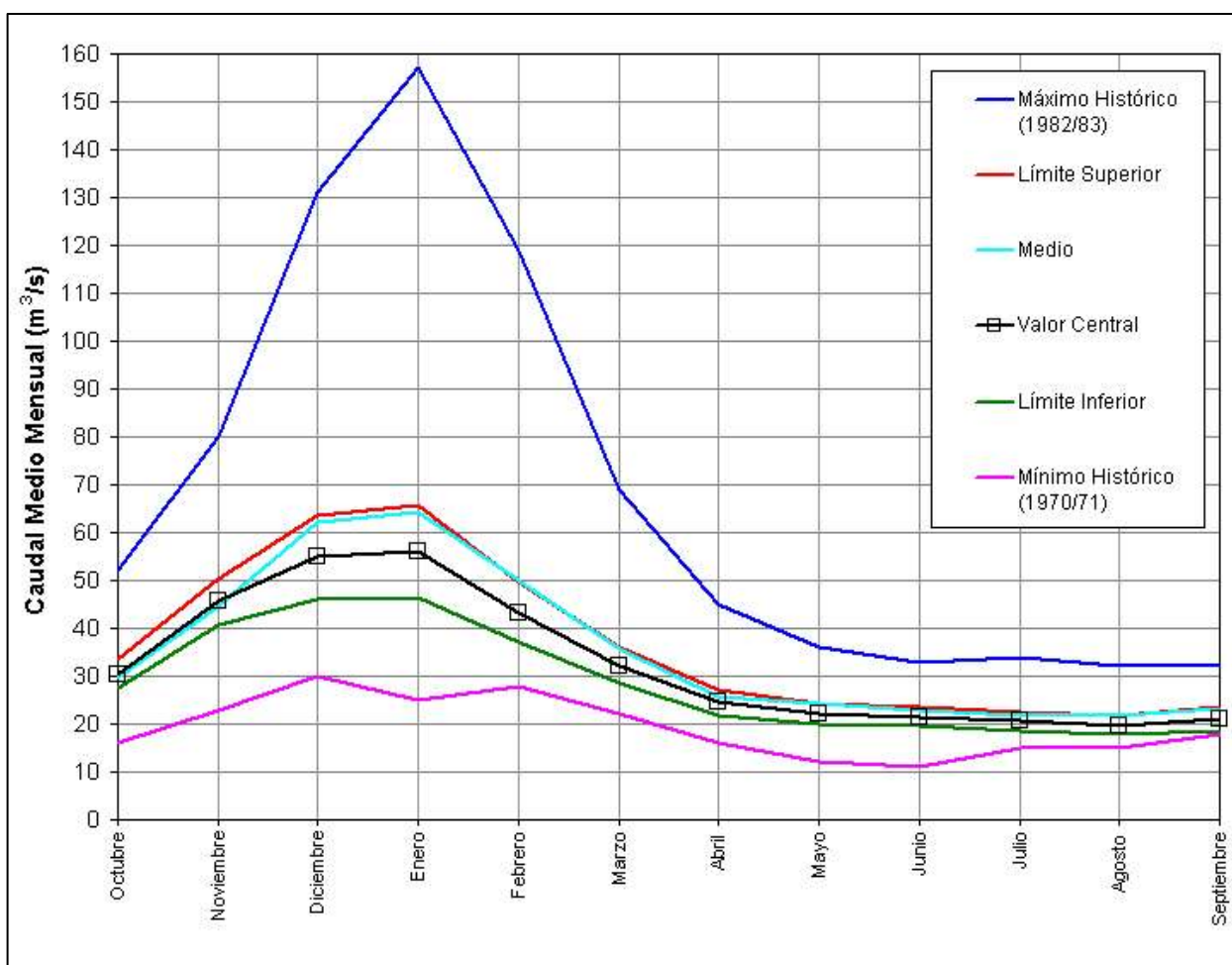
### RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	27	30	34
Noviembre	41	46	50
Diciembre	46	55	64
Enero	47	56	66
Febrero	37	43	49
Marzo	29	32	36
Abril	22	24	27
Mayo	20	22	24
Junio	20	22	24
Julio	19	21	23
Agosto	18	20	22
Septiembre	19	21	24

Volúmen octubre - setiembre: 1029 Hm<sup>3</sup>.  
 Caudal medio octubre - setiembre: 33 m<sup>3</sup>/s.  
 Módulo octubre - setiembre: 36 m<sup>3</sup>/s.  
 Volúmen octubre - marzo : 688 Hm<sup>3</sup>.  
 Caudal medio octubre - marzo : 44 m<sup>3</sup>/s.  
 Módulo octubre - marzo : 48 m<sup>3</sup>/s.  
 Porcentaje año medio : 92 %

**Régimen : Medio**

Vol. Oct. - Mzo. (Hm <sup>3</sup> )	593	<b>688</b>	783
Vol. Oct. - Sept. (Hm <sup>3</sup> )	899	<b>1029</b>	1159





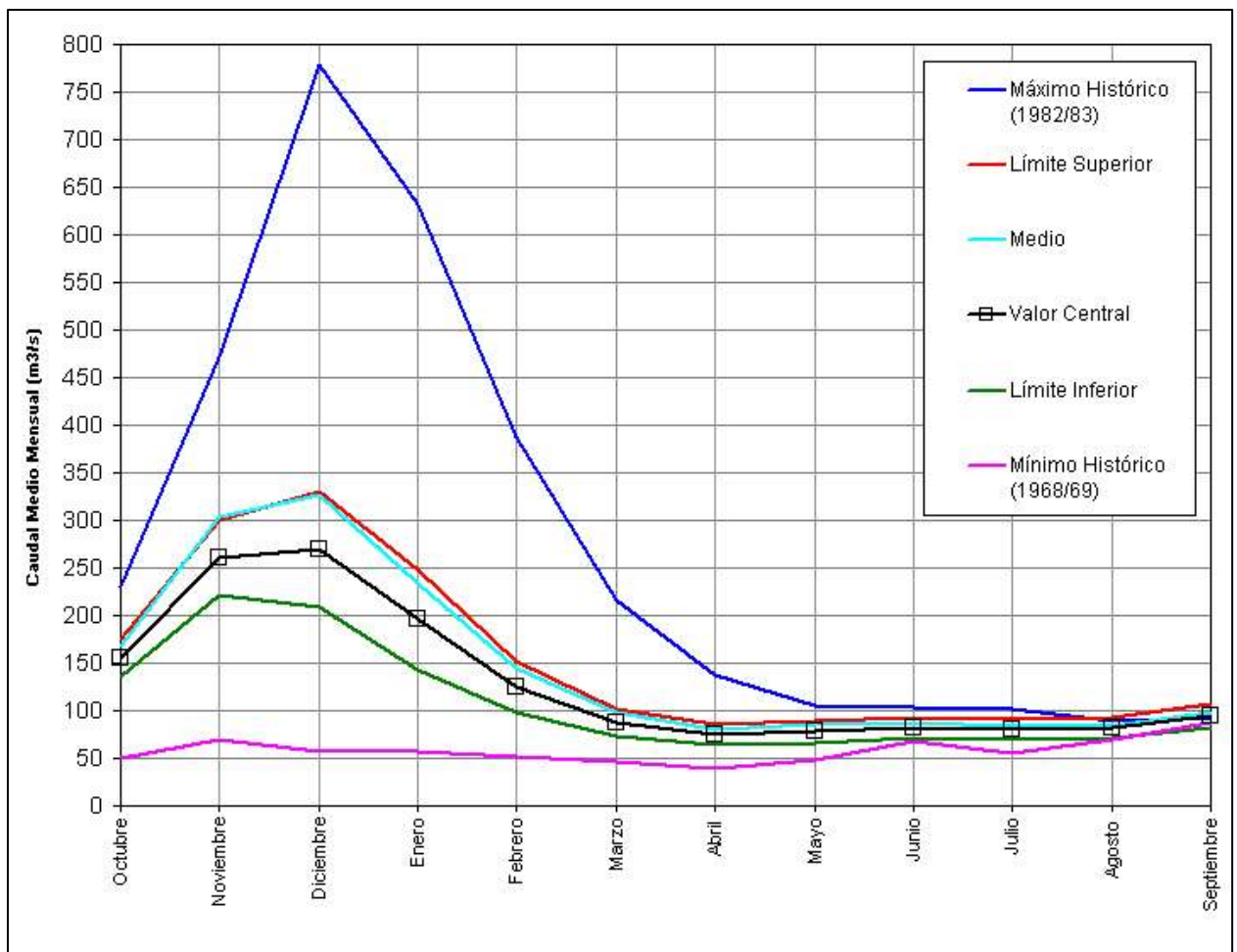
### RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	135	155	175
Noviembre	221	261	301
Diciembre	209	270	331
Enero	144	196	248
Febrero	97	125	153
Marzo	74	88	102
Abril	65	75	85
Mayo	67	78	89
Junio	71	82	93
Julio	70	80	90
Agosto	71	82	93
Septiembre	83	95	107

Volúmen octubre - setiembre:	4174	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - setiembre:	132	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - setiembre:	150	m <sup>3</sup> /s.
Volúmen octubre - marzo :	2878	Hm <sup>3</sup> .
Caudal medio octubre - marzo :	183	m <sup>3</sup> /s.
Módulo octubre - marzo :	213	m <sup>3</sup> /s.
Porcentaje año medio :	86	%

**Régimen : Moderadamente Seco**

<b>Vol. Oct. - Mzo. (Hm<sup>3</sup>)</b>	2314	<b>2878</b>	3442
<b>Vol. Oct. - Sept. (Hm<sup>3</sup>)</b>	3437	<b>4174</b>	4911



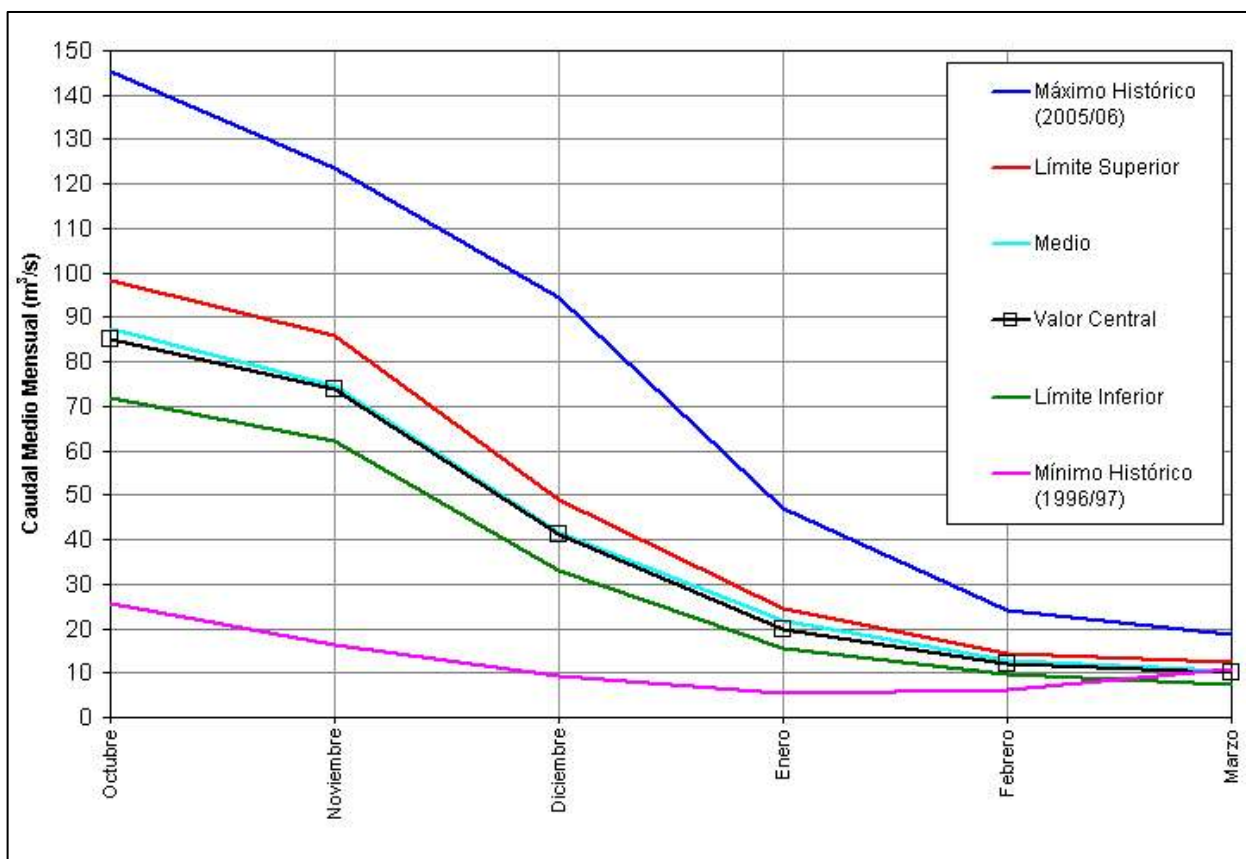
### RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	72	85	98
Noviembre	62	74	86
Diciembre	33	41	49
Enero	16	20	24
Febrero	10	12	14
Marzo	8	10	12

Volúmen octubre - marzo : 639 Hm<sup>3</sup>.  
 Caudal medio octubre - marzo : 40 m<sup>3</sup>/s.  
 Módulo octubre - marzo : 41 m<sup>3</sup>/s.  
 Porcentaje año medio : 97 %

**Régimen : Medio**

**Vol. Oct. - Mzo. (Hm<sup>3</sup>)**      528                  639                  749



## 5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2009/10 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 el río San Juan; Moderadamente Húmedo para el río Mendoza y Medio para los ríos Tunuyán, Diamante y Atuel

El río Colorado estaría bajo un régimen Moderadamente Seco, mientras que el río Chubut, en el ingreso al embalse F. Ameghino transitará un régimen Medio..

RÍO	PRONOSTICO 2009-2010 [Hm <sup>3</sup> ]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm <sup>3</sup> ]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm <sup>3</sup> ]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm <sup>3</sup> ]
San Juan	1616	Moderadamente Seco	2054 1813	727	4837
Mendoza	1638	Moderadamente Húmedo	1453 1393	731	2967
Tunuyán	922	Medio	931 908	496	1752
Diamante	1015	Medio	1115 1050	521	2302
Atuel	1029	Medio	1122 1065	607	2155
Colorado	4174	Moderadamente Seco	4718 4650	1837	8796
Chubut (1)	639	Medio	656 663	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)