



**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 2011 – 2012**

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2011



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 2011 a Septiembre 2012, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2011 a Marzo 2012.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de septiembre 2010 y septiembre 2011, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2010 y las b, al año 2011; 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

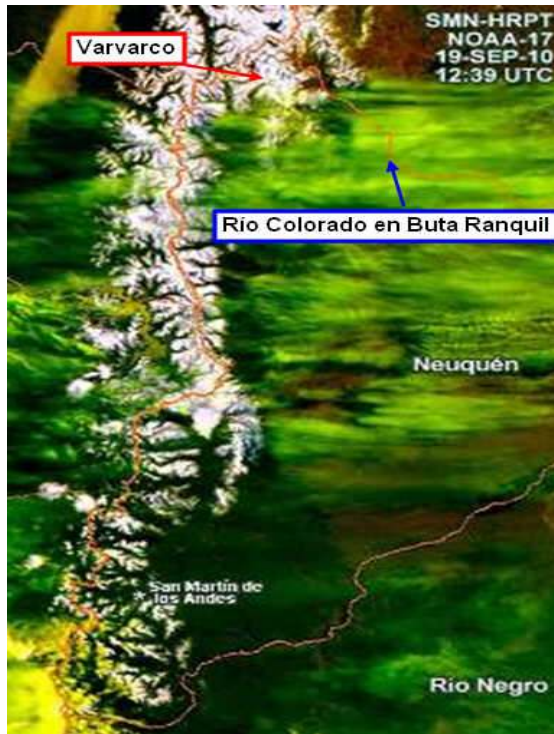


Figura N° 2.a



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.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2011	2010	2009
Teatinos	San Juan	530	376	145	345
Toscas	Mendoza – Tunuyán	304	118	0	312
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	467	159	207	536
Laguna Atuel	Atuel	1167	624	588	1381
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	798	437	363	683
Pehuenche	Colorado	1256	724	728	1049
Varvarco	Neuquén	1146	402	475	1030

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 2010.

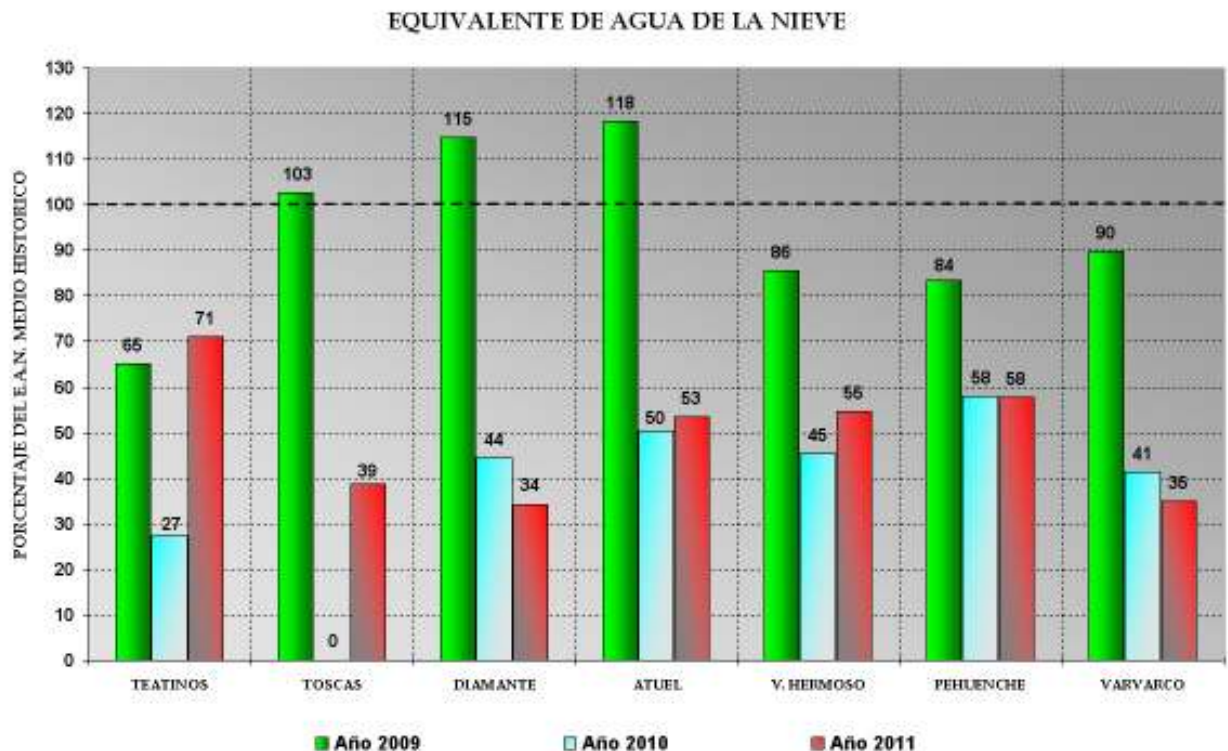


Figura N° 4

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 el presente año son superiores a las registradas en el año 2010, excepto en Laguna Diamante y Varvarco; e inferiores a los registros del año 2009 en todas las cuencas excepto en la del río San Juan.

El dato de la estación nivométrica Teatinos ha sido suministrado por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de San Juan y los registros niveos 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 ha trazado sobre la cordillera central los porcentajes del equivalente de agua en nieve respecto al medio histórico, indicados en la figura N° 4.

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). 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 2011, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2010 (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 22 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 nívoo actual.

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

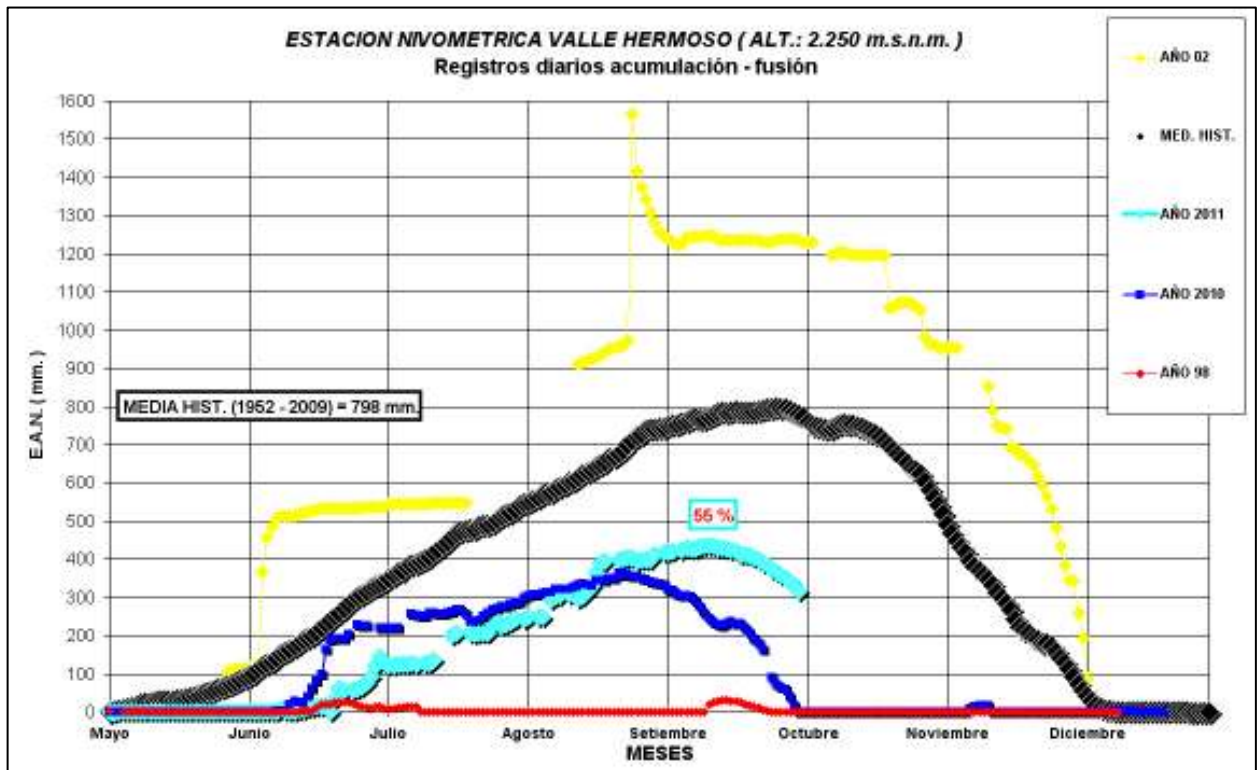


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

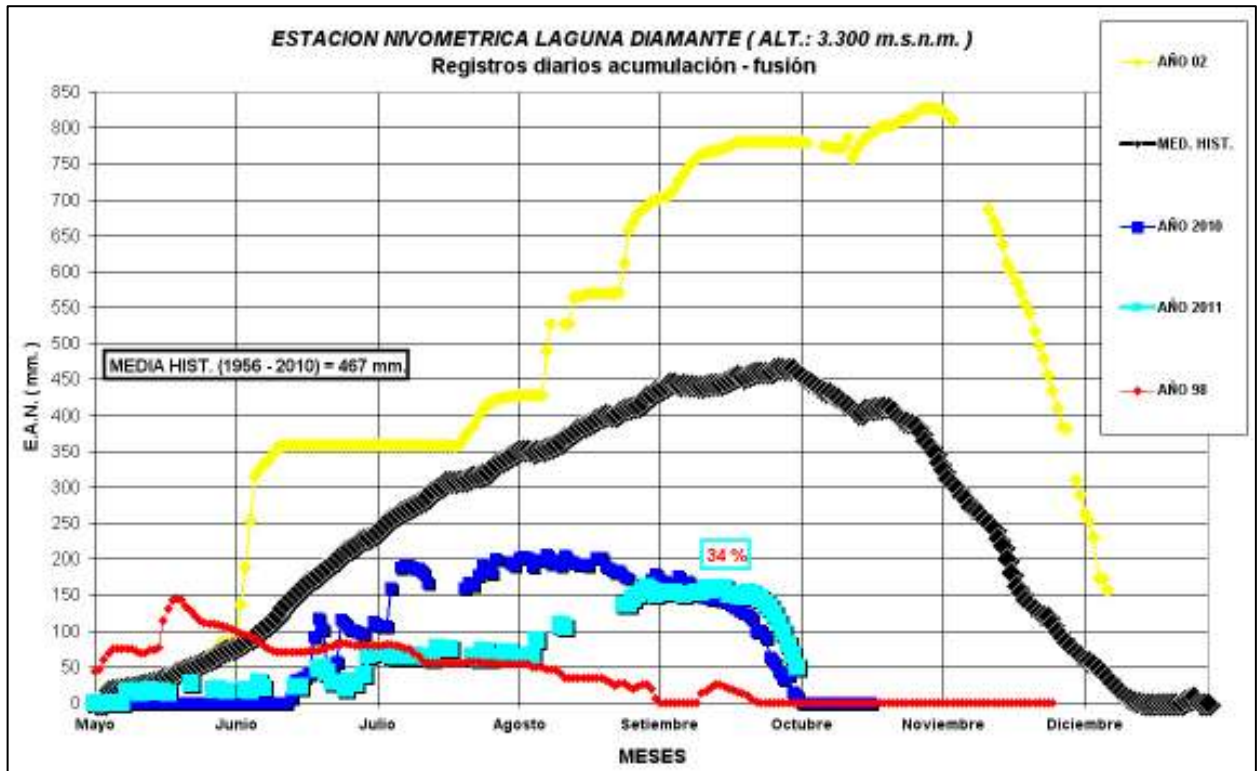


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

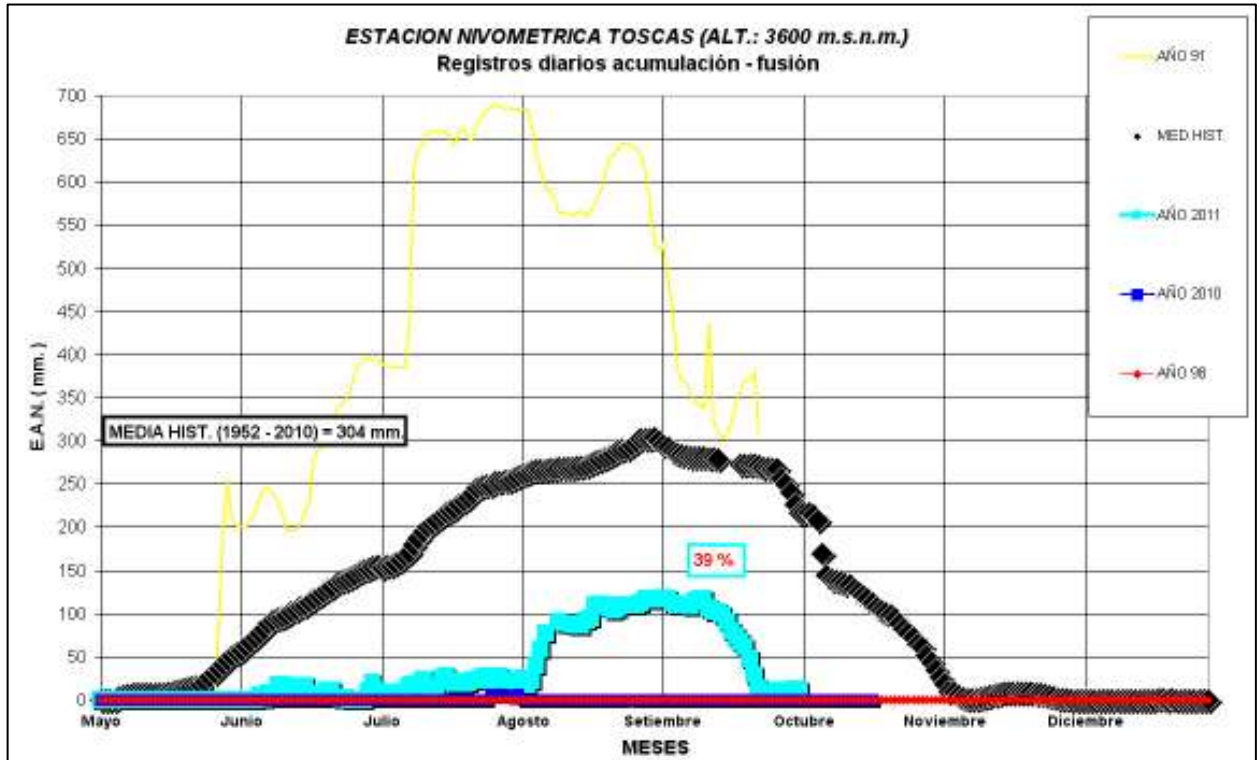
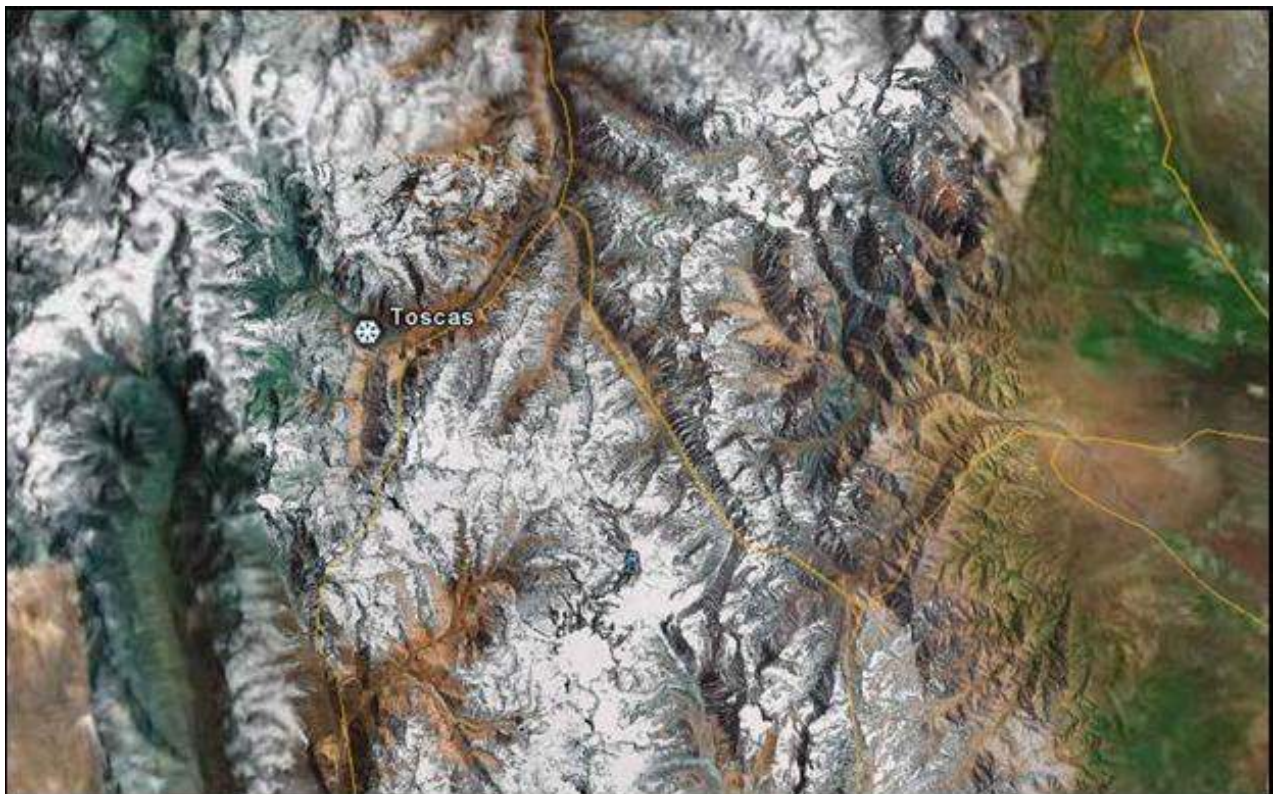


Figura N° 8



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 Atuel en La Angostura (octubre – marzo). 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.
- ❖ Supervisadas.

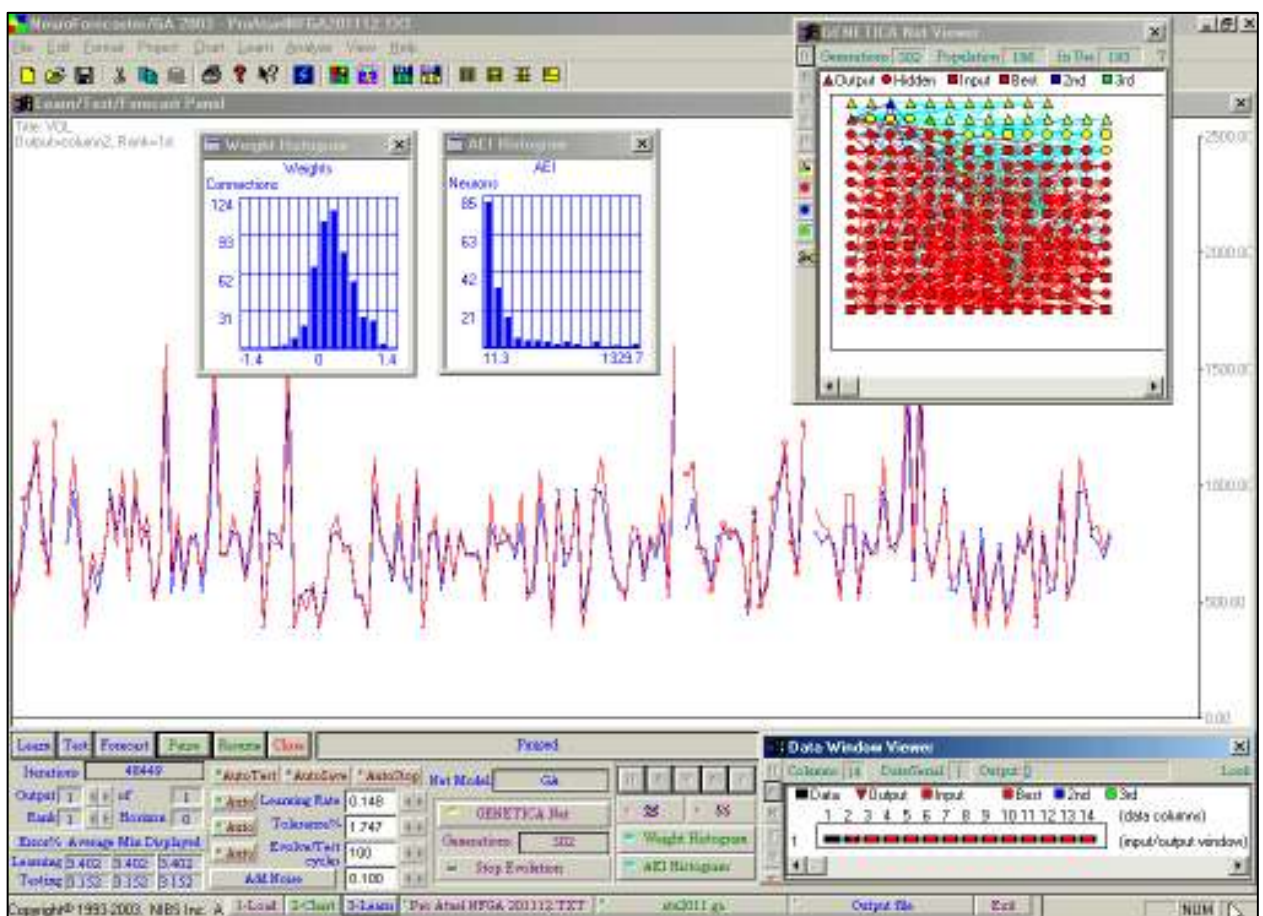


Figura N° 9

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 2011 - 2012

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 – 2010
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2010
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2010
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2010
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2010
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2010
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2010

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 2011/12.

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.

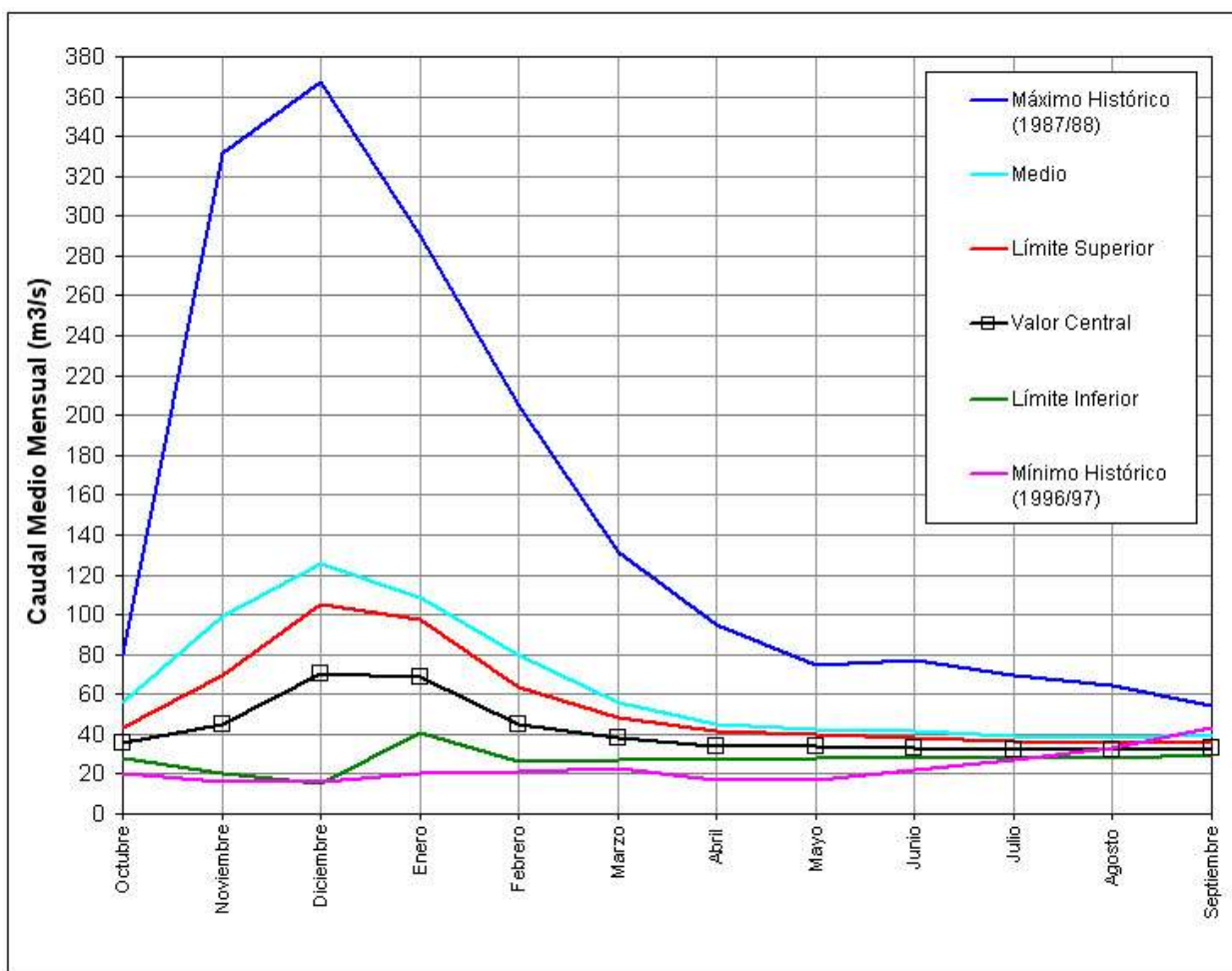
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	28	36	44
Noviembre	20	45	70
Diciembre	15	70	106
Enero	40	69	98
Febrero	27	45	63
Marzo	28	38	48
Abril	27	34	41
Mayo	28	34	40
Junio	28	33	38
Julio	28	32	36
Agosto	28	32	36
Septiembre	29	33	37

Volúmen octubre - setiembre:	1322	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	42	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	64	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	800	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	51	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	88	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	58	%

Régimen : Medianamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	417	800	1130
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	861	1322	1730



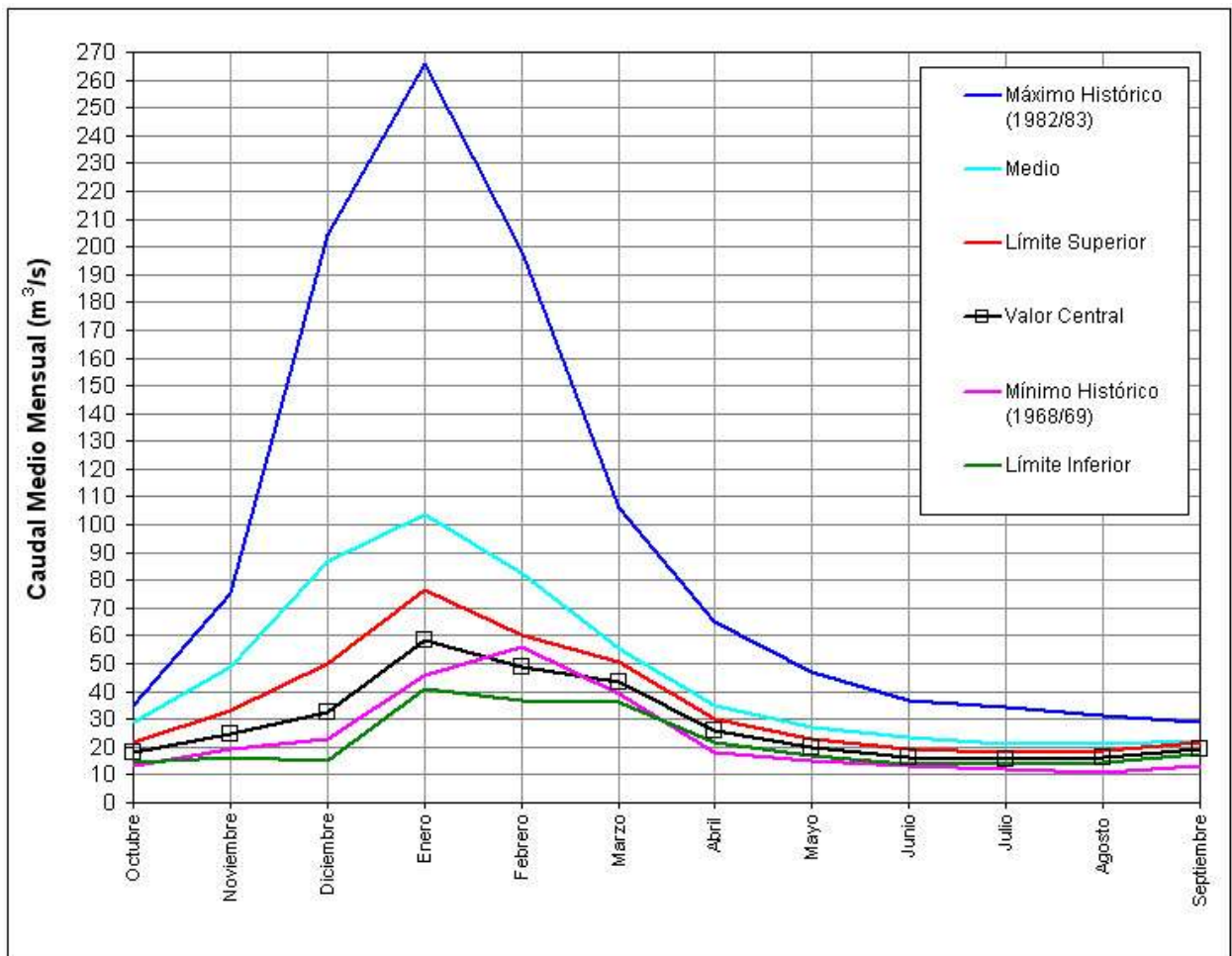
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	15	18	22
Noviembre	16	25	33
Diciembre	15	33	50
Enero	41	59	76
Febrero	37	49	60
Marzo	36	43	50
Abril	21	26	30
Mayo	17	20	23
Junio	14	17	19
Julio	14	16	18
Agosto	15	17	19
Septiembre	17	19	21

Volúmen octubre - setiembre:	894	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	28	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	595	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	38	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	68	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	56	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	422	595	768
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	679	894	1110



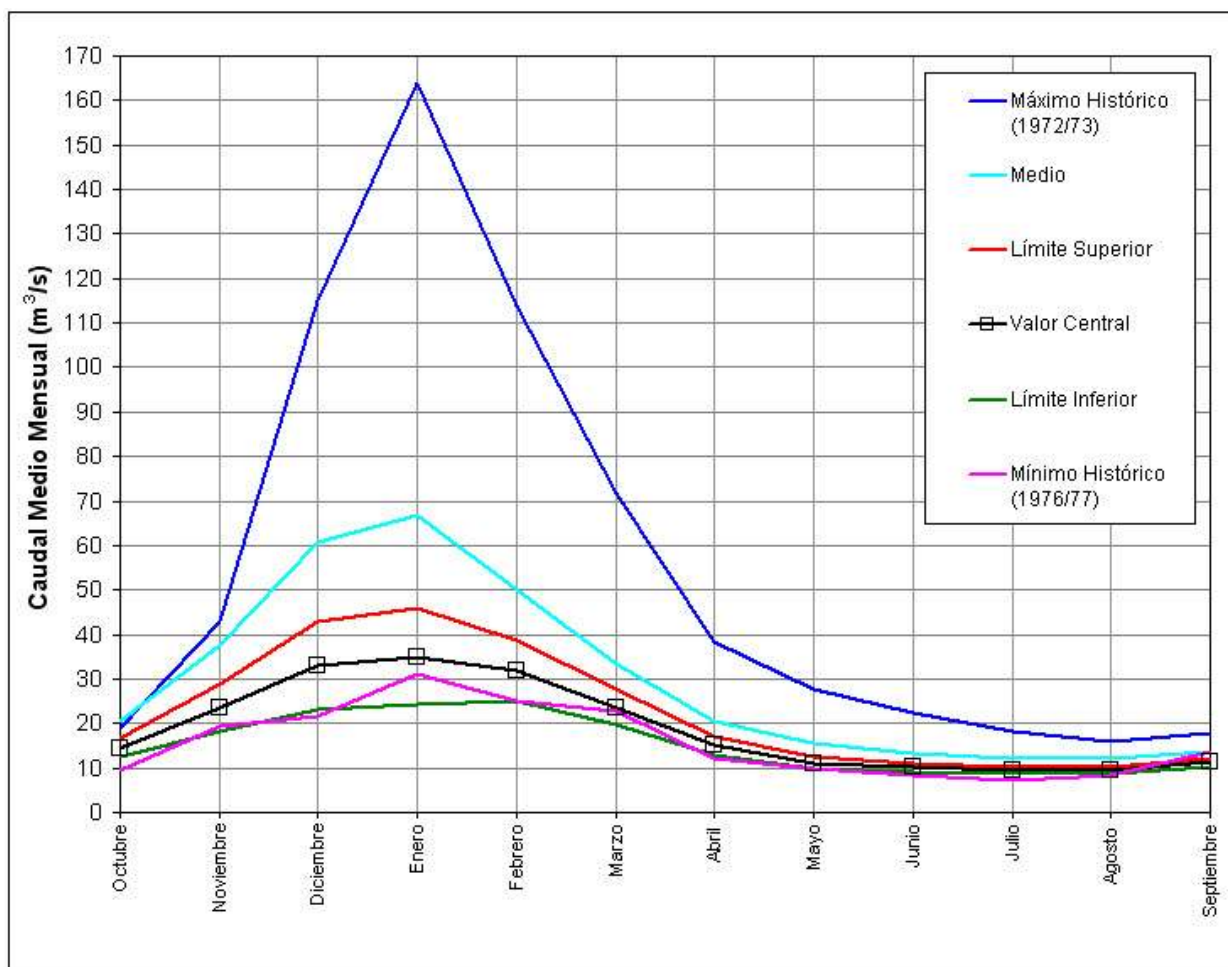
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	12	15	17
Noviembre	18	24	29
Diciembre	23	33	43
Enero	24	35	46
Febrero	25	32	39
Marzo	20	24	28
Abril	13	15	17
Mayo	10	11	12
Junio	9	10	11
Julio	9	9	10
Agosto	9	9	10
Septiembre	10	11	12

Volúmen octubre - setiembre:	600	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	19	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	30	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	426	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	27	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	45	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	60	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	323	426	528
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	479	600	720



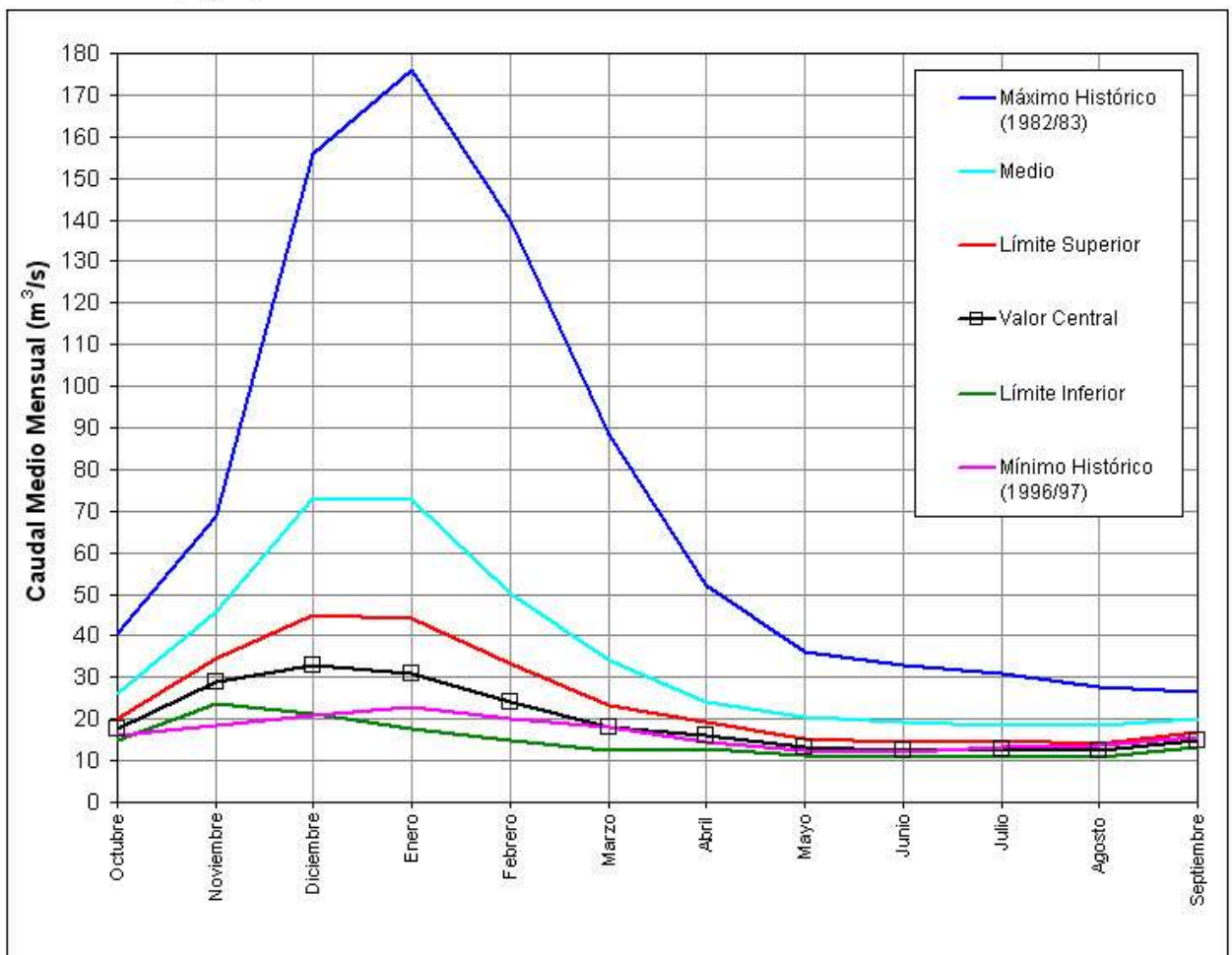
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	15	18	20
Noviembre	24	29	34
Diciembre	21	33	45
Enero	18	31	44
Febrero	15	24	33
Marzo	13	18	23
Abril	13	16	19
Mayo	11	13	15
Junio	11	13	14
Julio	11	13	15
Agosto	11	13	14
Septiembre	13	15	17

Volúmen octubre - setiembre:	619	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	20	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	402	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	25	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	50	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	50	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	277	402	527
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	461	619	776



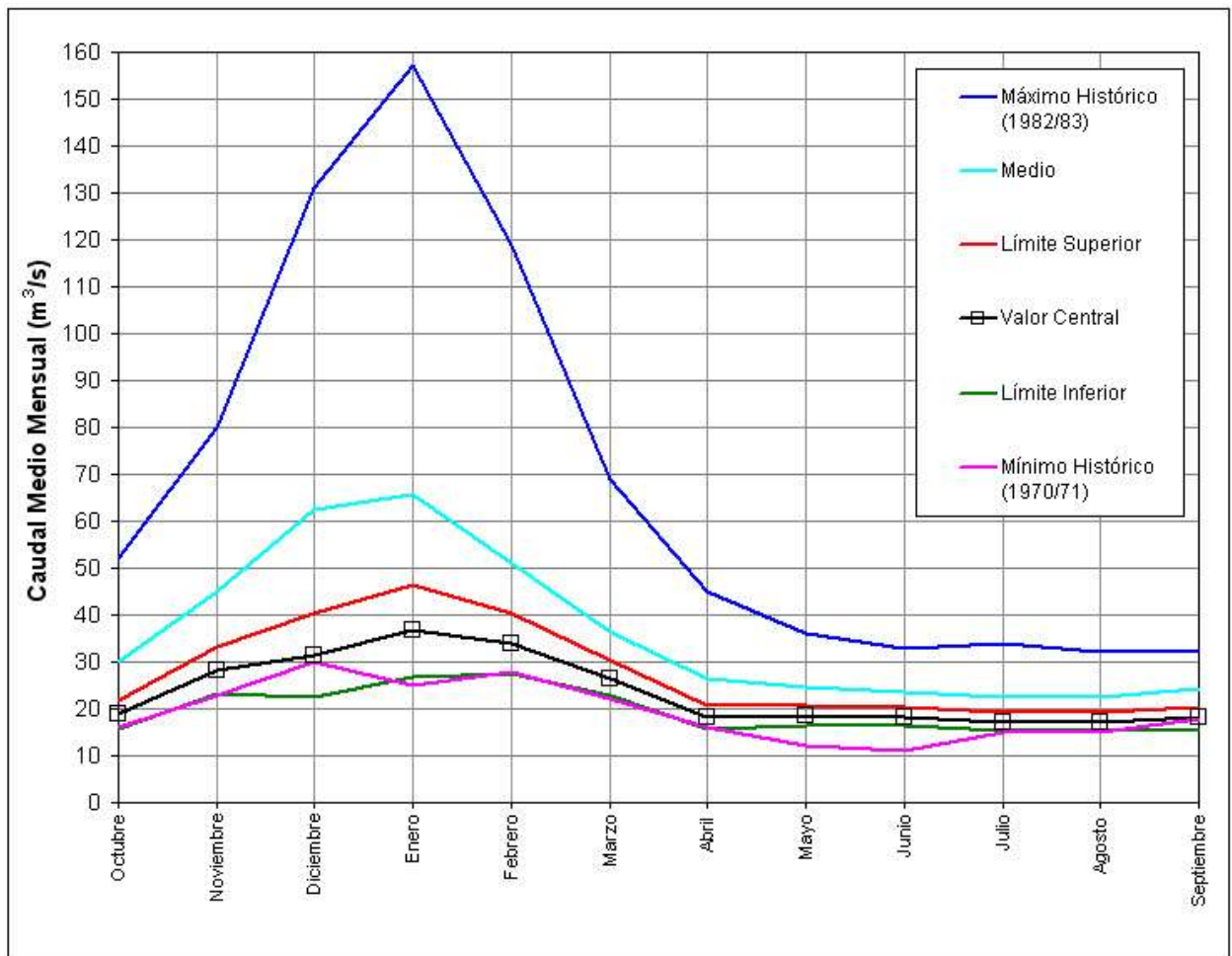
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	16	19	22
Noviembre	23	28	33
Diciembre	23	32	41
Enero	27	37	47
Febrero	28	34	40
Marzo	23	27	30
Abril	16	18	21
Mayo	16	19	21
Junio	16	18	20
Julio	15	17	19
Agosto	15	17	19
Septiembre	16	18	20

Volúmen octubre - setiembre:	746	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	24	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	36	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	463	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	29	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	48	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	60	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	365	463	560
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	614	746	878



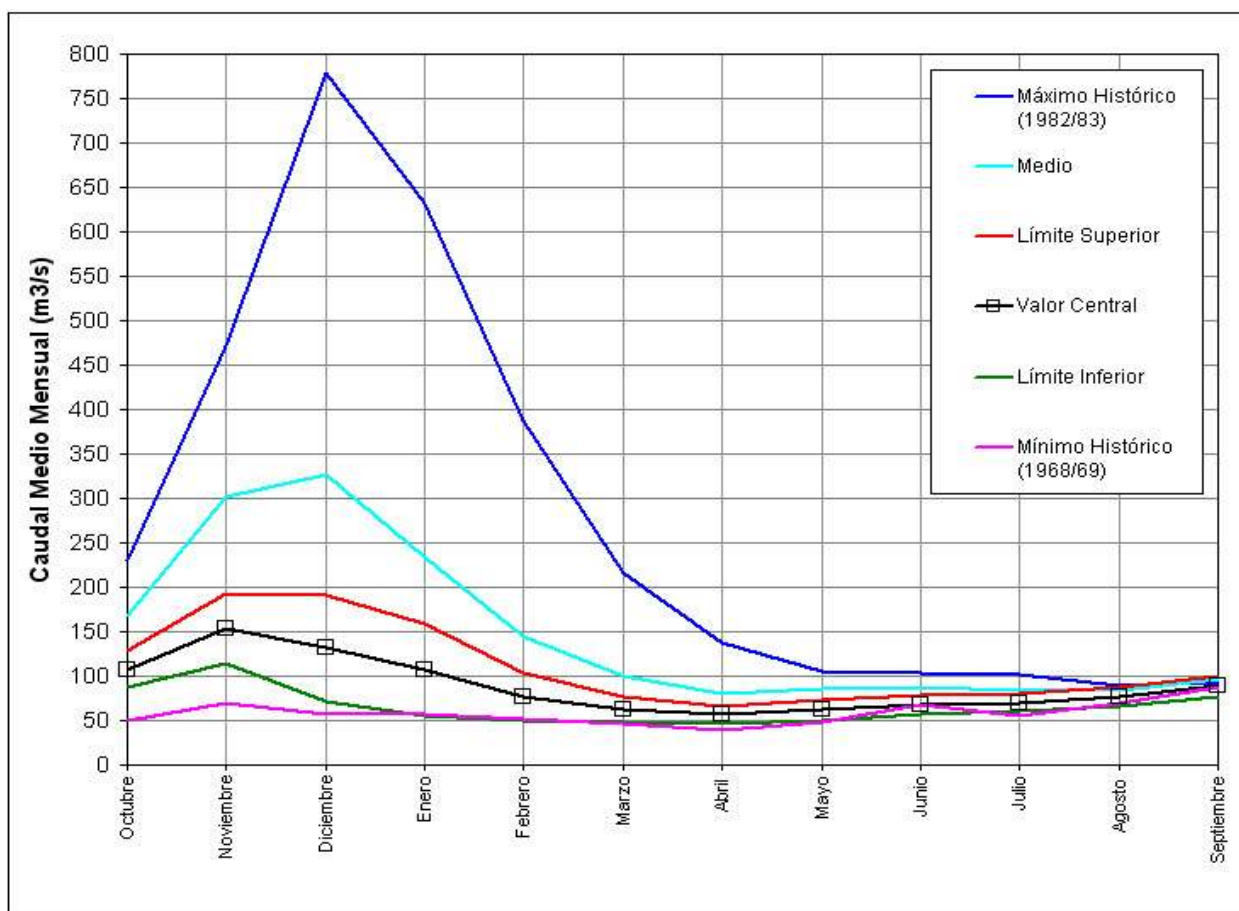
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	88	108	128
Noviembre	115	154	193
Diciembre	72	132	192
Enero	55	107	159
Febrero	50	77	104
Marzo	49	63	77
Abril	47	57	67
Mayo	51	62	73
Junio	57	68	79
Julio	60	70	80
Agosto	65	76	87
Septiembre	77	89	100

Volúmen octubre - setiembre:	2800	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	89	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	149	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1690	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	107	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	213	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	50	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	1131	1690	2250
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	2070	2800	3530



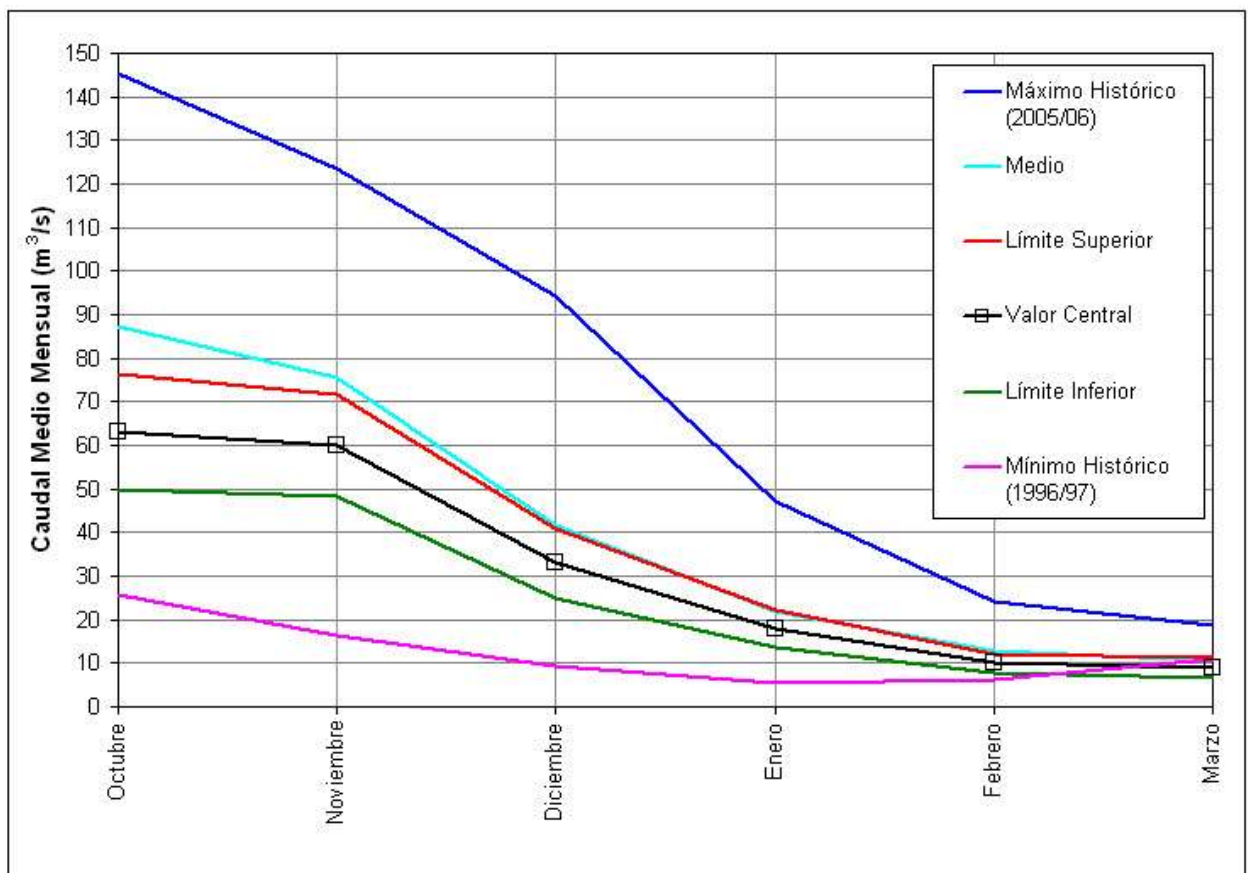
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	50	63	76
Noviembre	48	60	72
Diciembre	25	33	41
Enero	14	18	22
Febrero	8	10	12
Marzo	7	9	11

Volúmen octubre - marzo : 510 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 32 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 42 m³/s.
 Porcentaje año medio : 77 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 399 510 621



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2011/12 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 *Seco* para todas las cuencas, excepto para la de río San Juan donde sería *Medianamente Seco*.

El río Colorado al igual que el río Chubut, en el ingreso al embalse F. Ameghino estaría también bajo un régimen *Seco*.

RÍO	PRONOSTICO 2011-2012 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	1322	Medianamente Seco	2024 1739	727	4837
Mendoza	894	Seco	1463 1406	731	2967
Tunuyán	600	Seco	934 918	496	1752
Diamante	619	Seco	1112 1052	521	2302
Atuel	746	Seco	1143 1065	607	2155
Colorado	2800	Seco	4713 4631	1837	8796
Chubut (1)	510	Seco	658 663	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)