



**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 2010 – 2011**

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2010



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 2010 a Septiembre 2011, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2010 a Marzo 2011.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de septiembre 2009 y septiembre 2010, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2009 y las b, al año 2010; 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

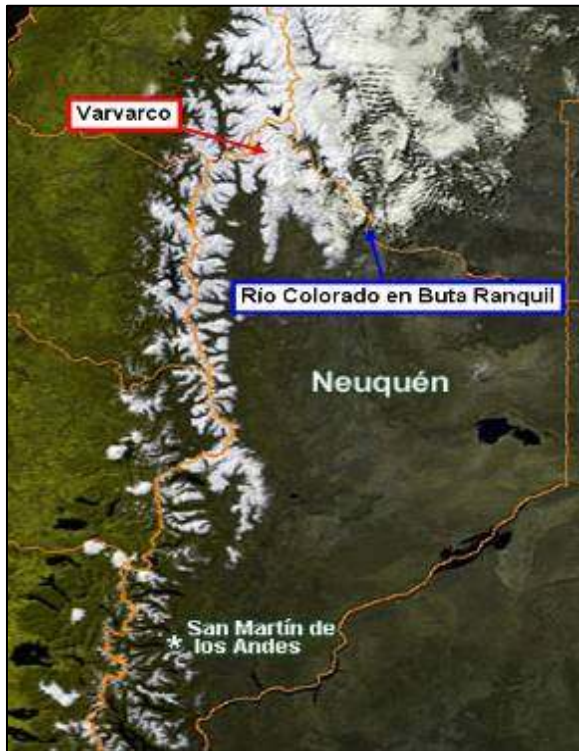


Figura Nº 2.a



Figura Nº 2.b



Figura Nº 3.a

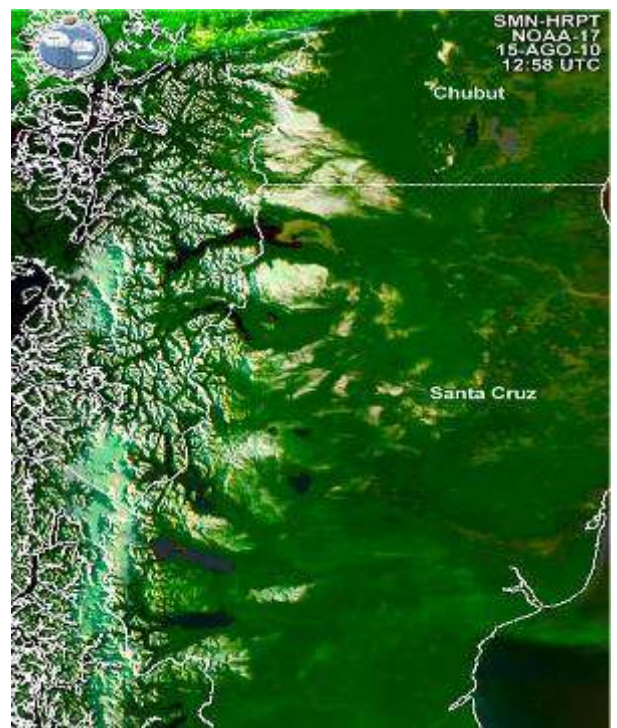


Figura Nº 3.b

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 bajo la normal, respecto de la media histórica, en todas las estaciones Nivométricas.

ESTACIÓN	CUENCA	Equivalente de Agua de la Nieve [mm.]			
		Media	2010	2009	2008
Teatinos	San Juan	530	145	345	600
Toscas	Mendoza – Tunuyán	310	0	312	500
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	471	207	536	497
Laguna Atuel	Atuel	1181	588	1381	1500
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	805	363	683	675
Pehuenche	Colorado	1271	728	1049	1027
Varvarco	Neuquén	1146	475	1030	1341

Cuadro Nº 1

El Cuadro Nº 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 2009.

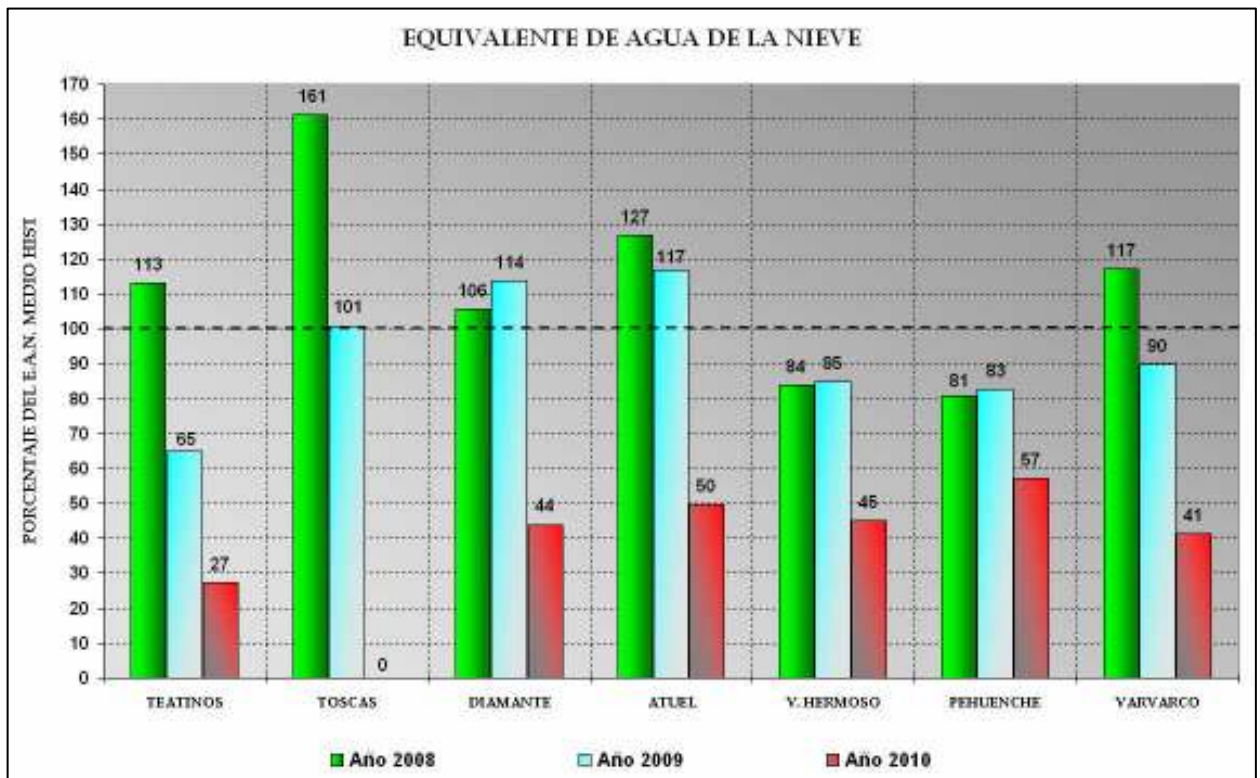


Figura Nº 4

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 notablemente inferiores a las registradas en los años anteriores 2009 y 2008, en todas las cuencas.

El dato de la estación nivométrica Teatinos ha sido suministrado por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de San Juan y los registros níveos 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, las isoyetas (curva de igual precipitación nívea) expresadas en porcentaje de la media; 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 Meteorológica 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 2010, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2009 (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 21 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 se manifestó al sur de los 34° de latitud y comenzó a partir de la segunda quincena de junio, luego durante julio y agosto ocurrieron eventos de poca importancia.

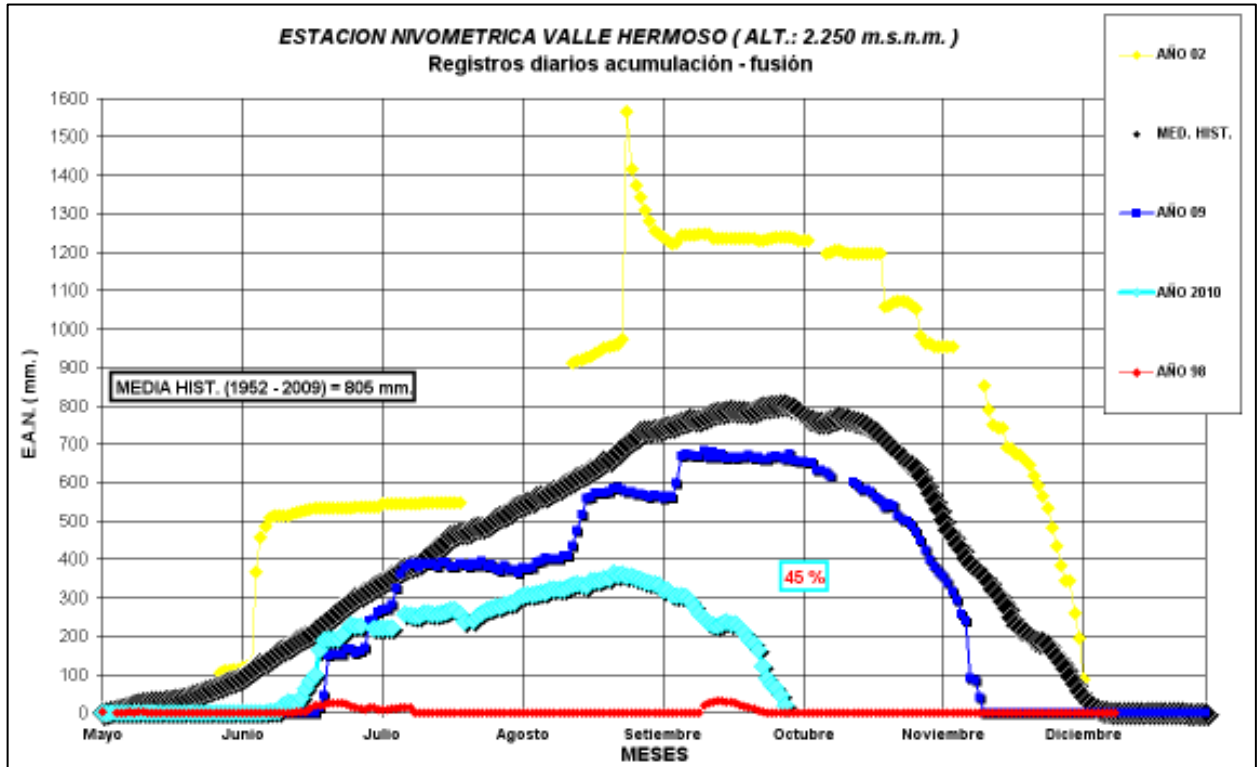


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

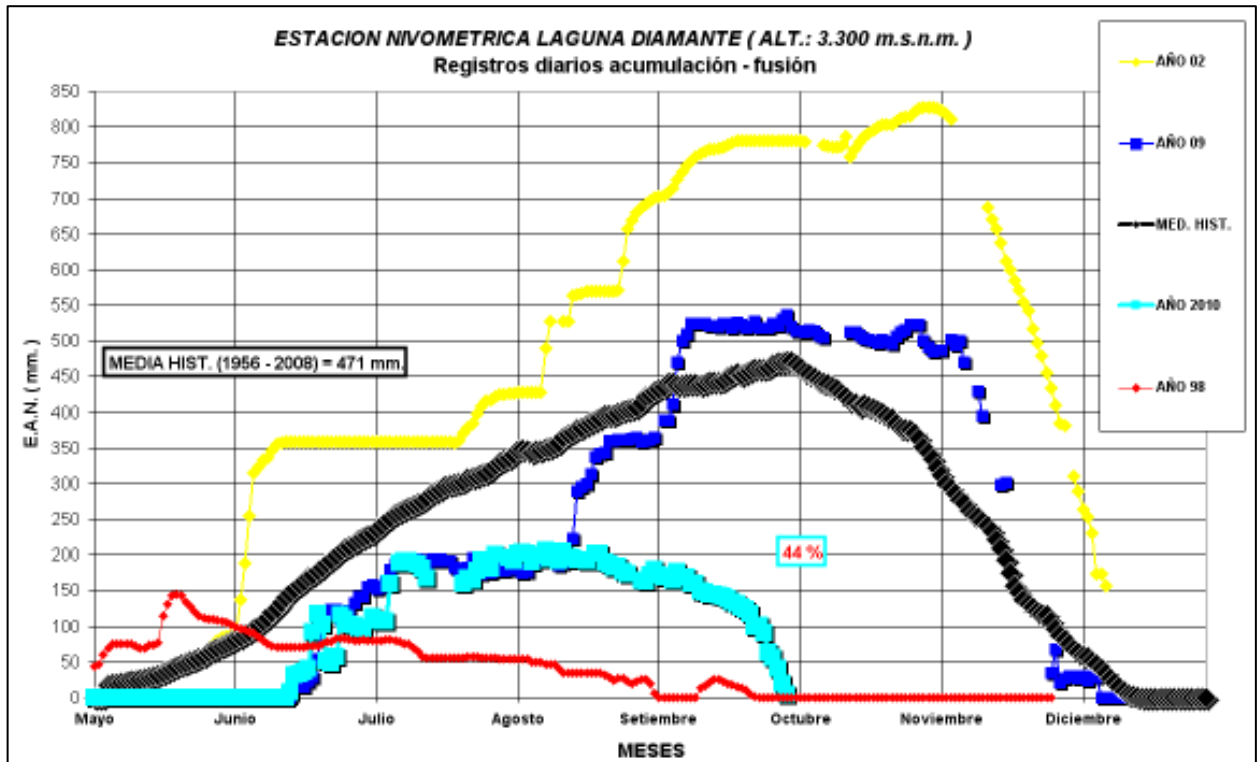


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

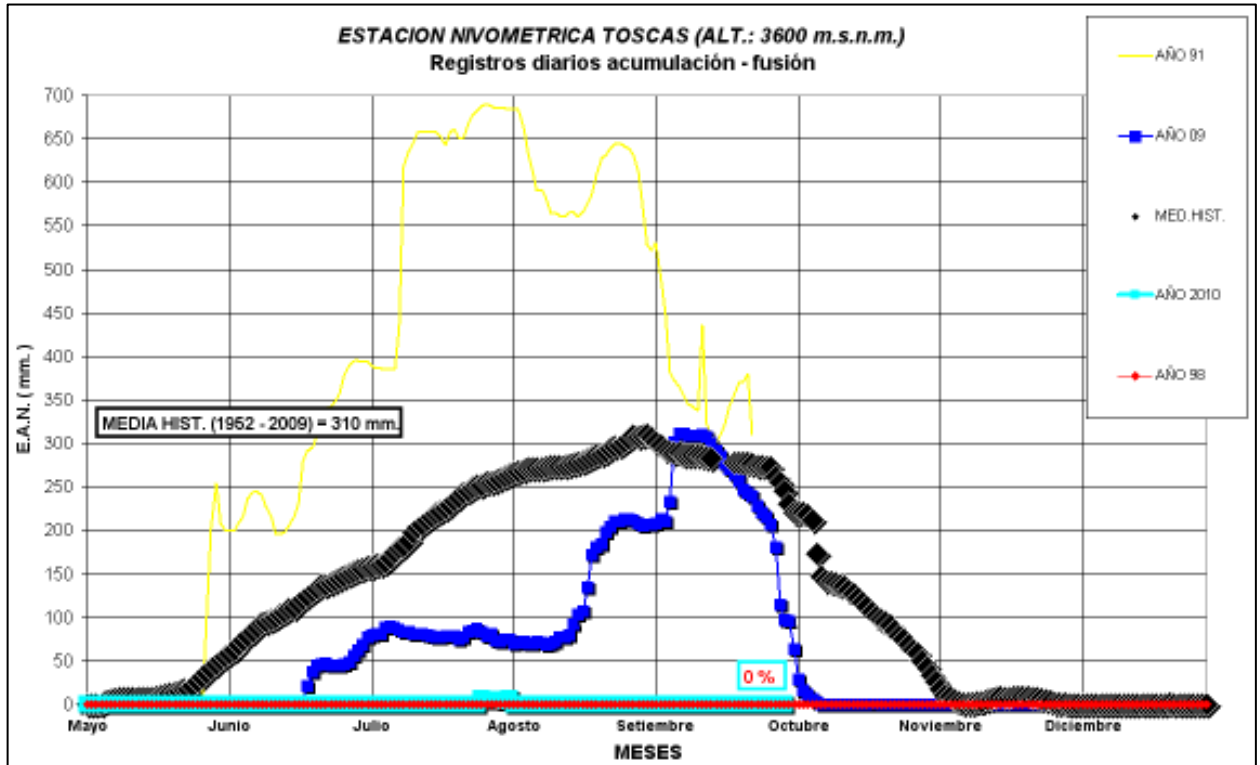
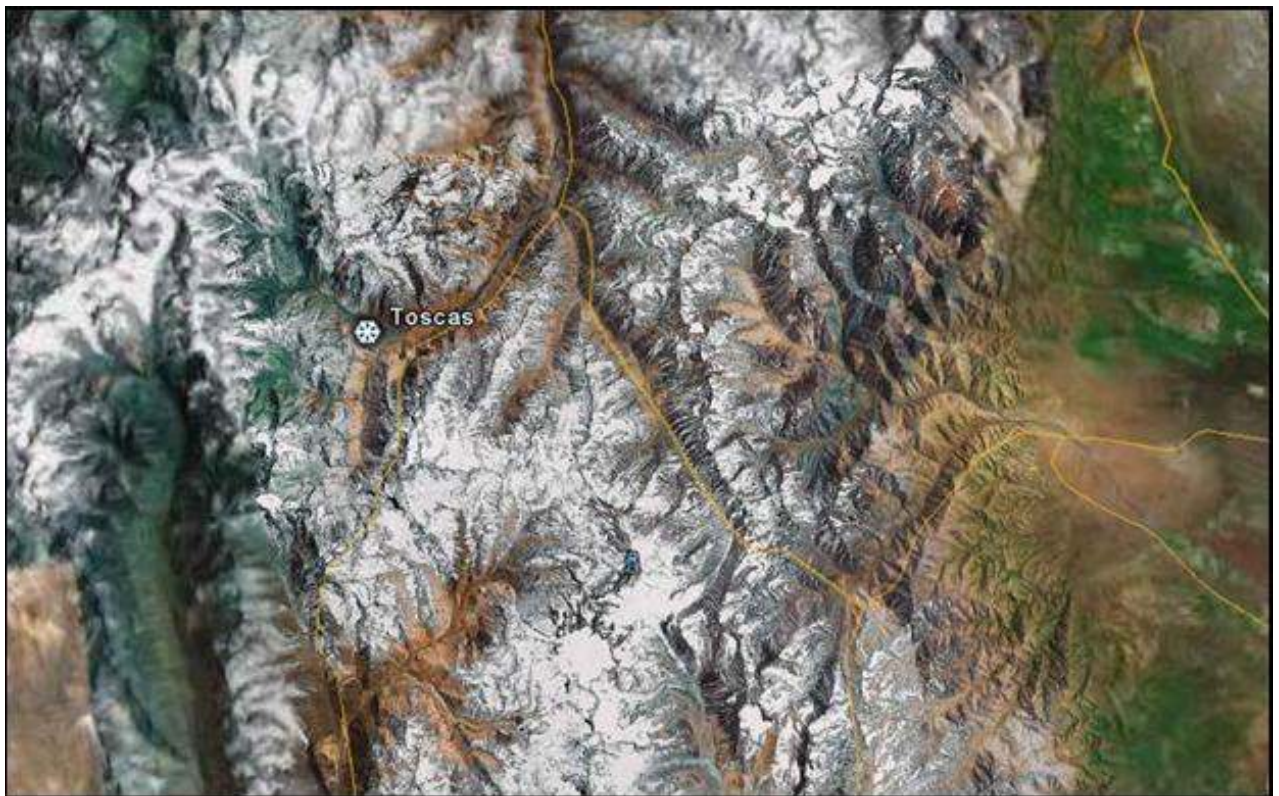


Figura N° 8



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.

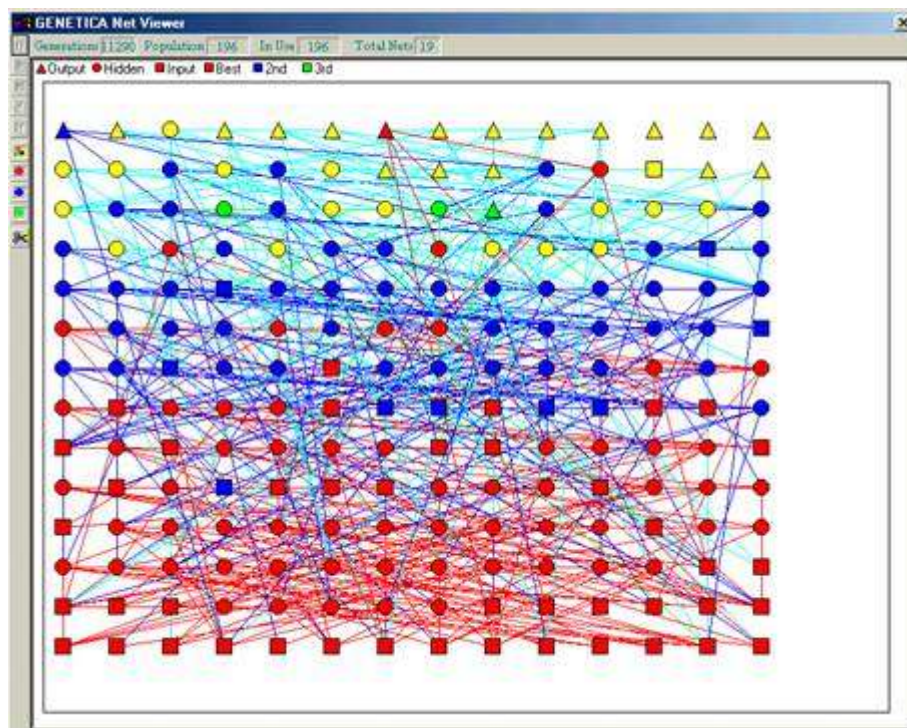


Figura N° 9

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 2010 - 2011

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 – 2009
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2009
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2009
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2009
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2009
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2009
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2009

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 2010/11.

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.

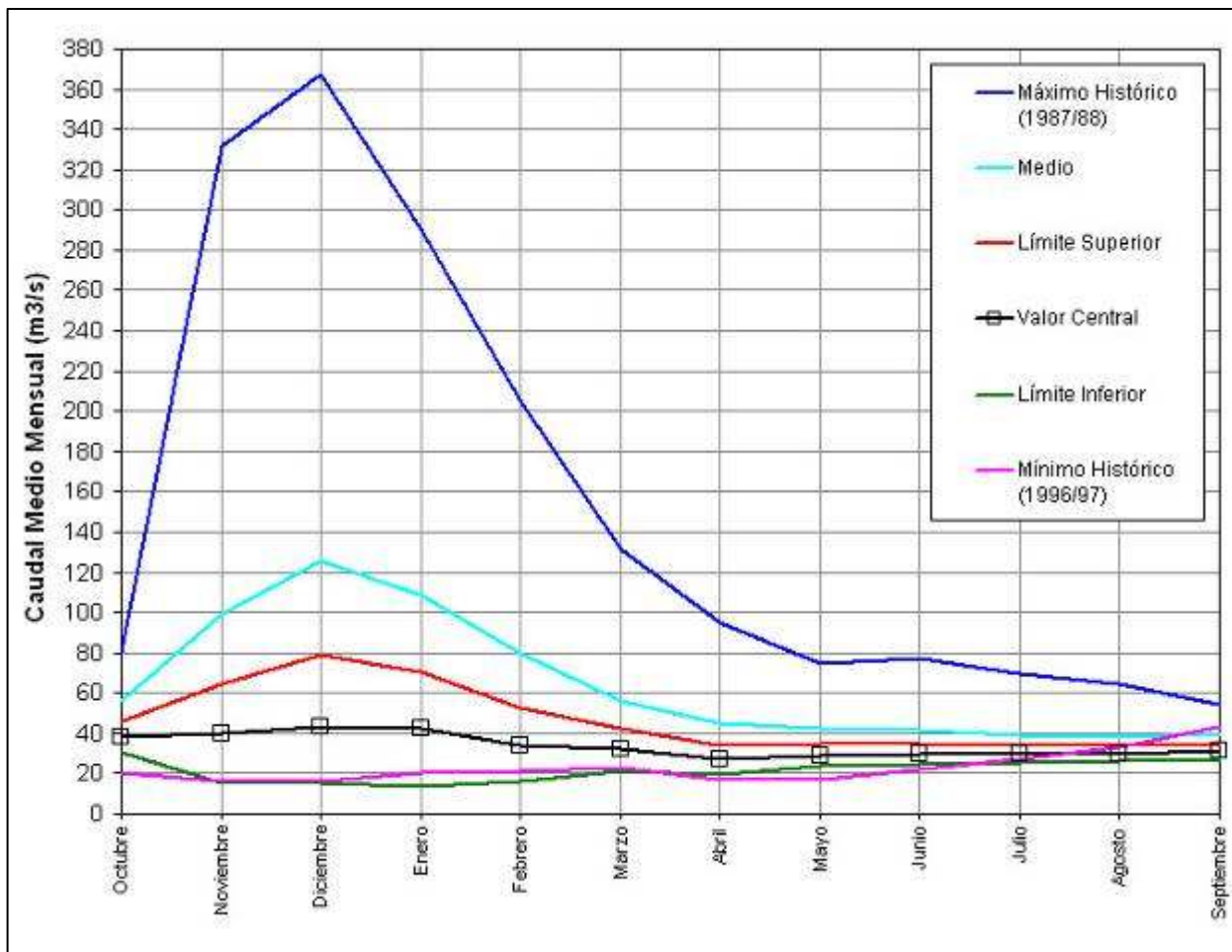
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	30	38	46
Noviembre	15	40	65
Diciembre	15	43	79
Enero	13	42	71
Febrero	16	34	52
Marzo	22	32	42
Abril	20	27	34
Mayo	23	29	35
Junio	25	30	35
Julio	26	30	34
Agosto	26	30	34
Septiembre	27	31	35

Volúmen octubre - setiembre:	1068	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	34	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	64	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	601	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	38	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	88	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	44	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	292	601	930
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	681	1068	1475



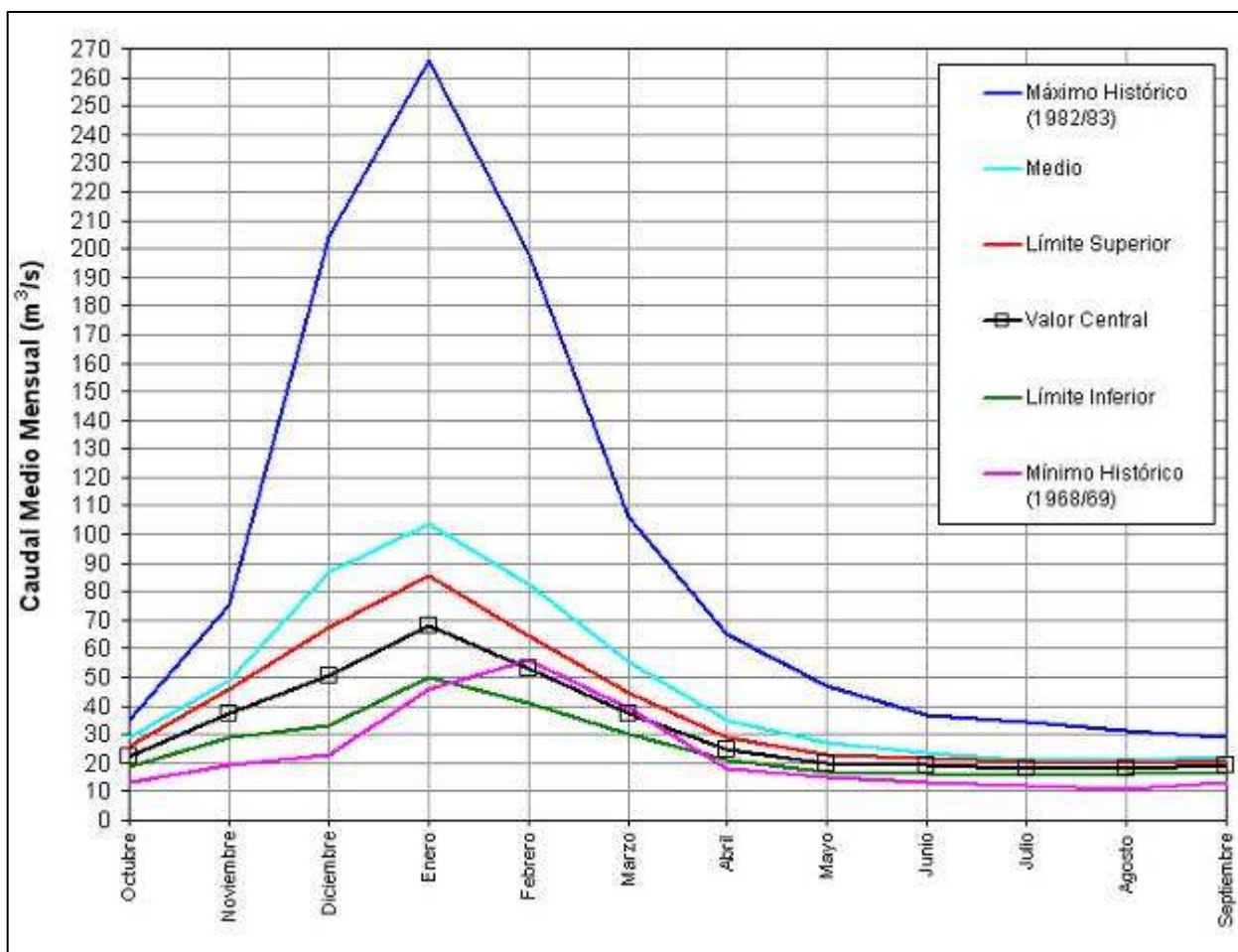
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	19	22	26
Noviembre	29	37	46
Diciembre	33	50	68
Enero	50	68	85
Febrero	41	53	64
Marzo	30	37	44
Abril	21	25	29
Mayo	17	20	23
Junio	16	19	22
Julio	16	18	20
Agosto	16	18	20
Septiembre	17	19	21

Volúmen octubre - setiembre:	1013	Hm ³
Caudal medio octubre - setiembre:	32	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	700	Hm ³
Caudal medio octubre - marzo:	45	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	68	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	66	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	528	700	872
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	799	1013	1228



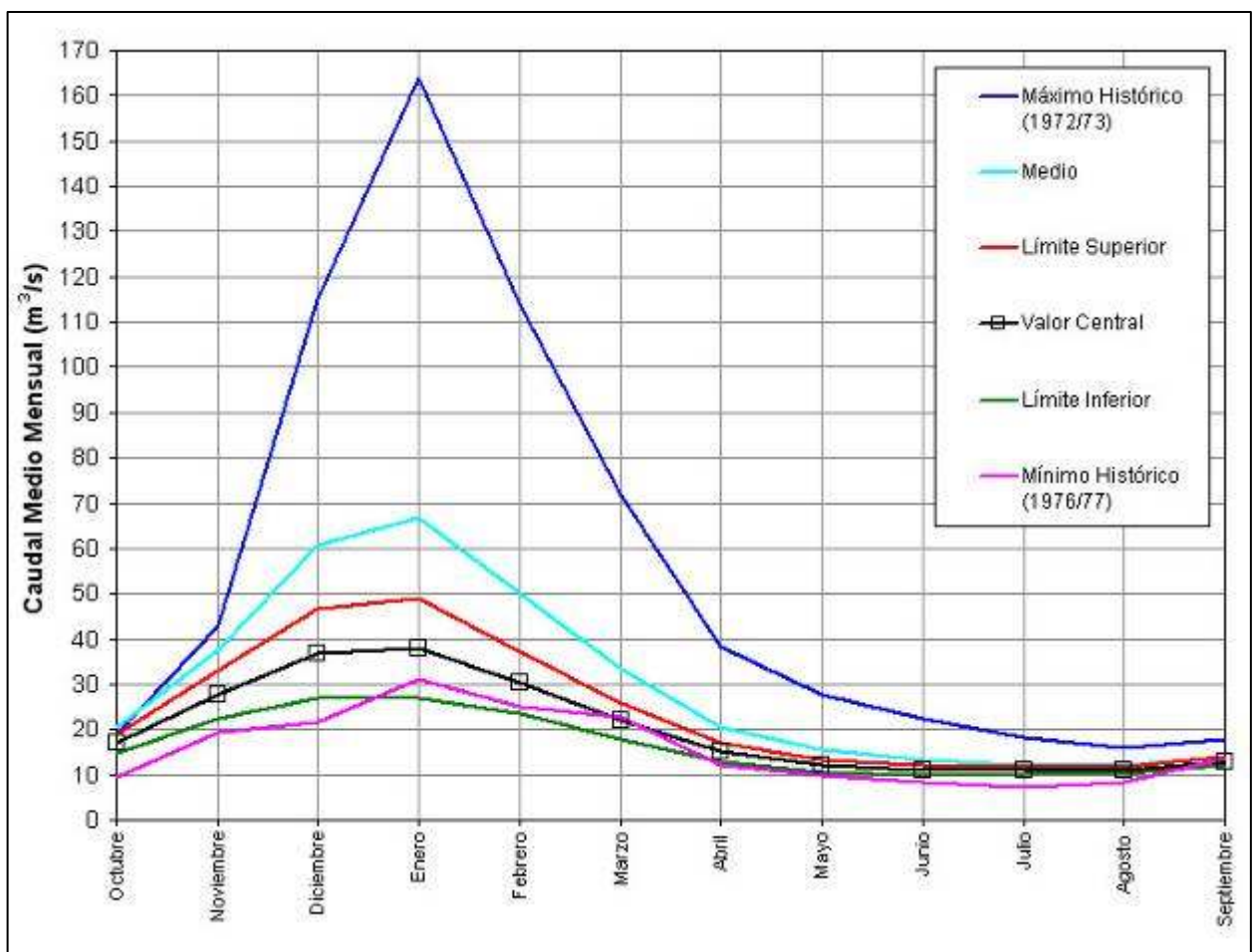
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	15	17	19
Noviembre	23	28	33
Diciembre	27	37	47
Enero	27	38	49
Febrero	23	30	37
Marzo	18	22	26
Abril	13	15	17
Mayo	11	12	13
Junio	10	11	12
Julio	10	11	12
Agosto	10	11	12
Septiembre	12	13	14

Volúmen octubre - setiembre:	642	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	20	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	30	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	450	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	29	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	45	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	64	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	348	450	552
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	522	642	762



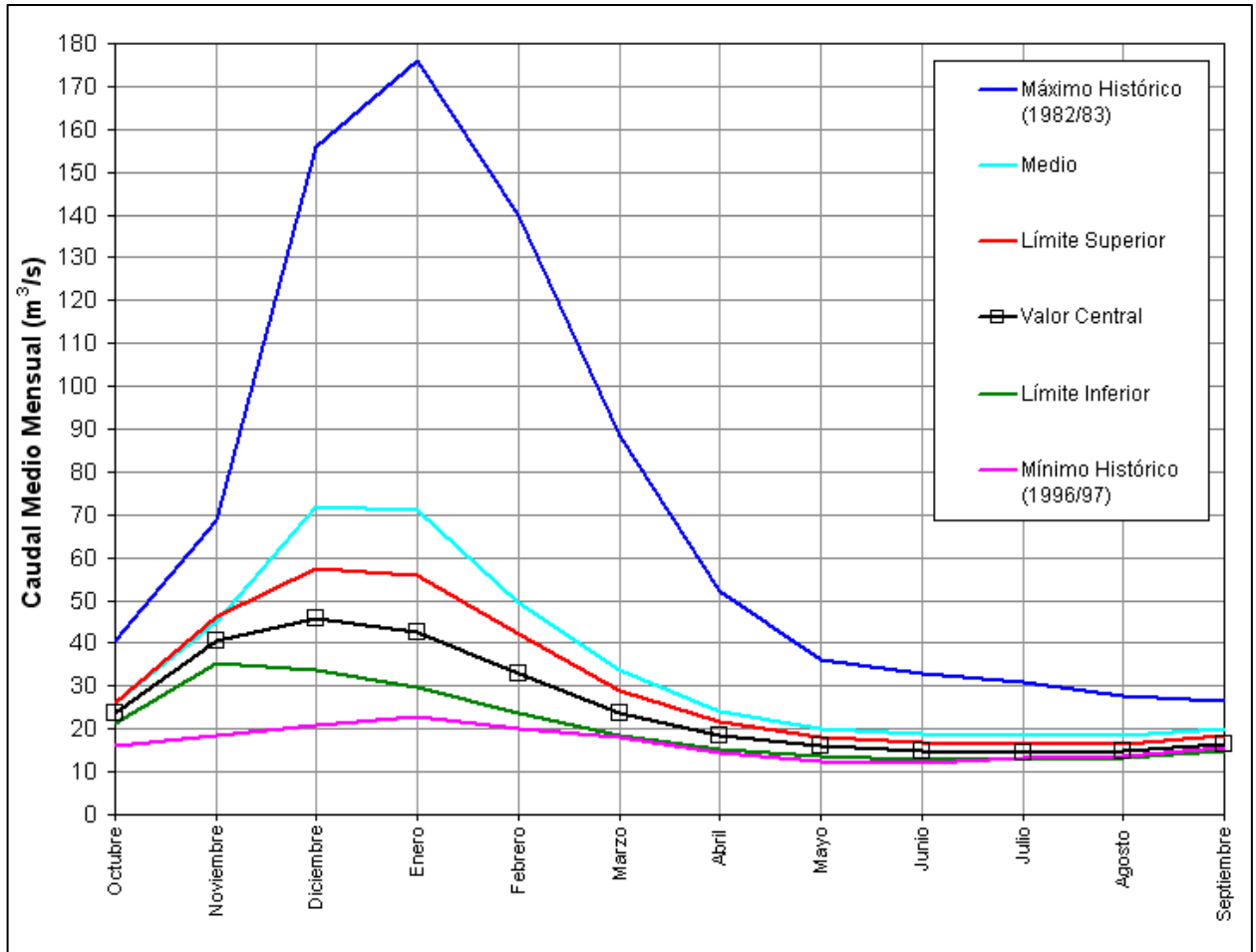
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	21	24	26
Noviembre	35	41	46
Diciembre	34	46	58
Enero	30	43	56
Febrero	24	33	42
Marzo	19	24	30
Abril	15	18	21
Mayo	14	16	18
Junio	13	15	17
Julio	13	15	16
Agosto	13	15	16
Septiembre	15	17	18

Volúmen octubre - setiembre: 800 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 25 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 35 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 550 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 35 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 50 m³/s.
 Porcentaje año medio : 70 %

Régimen : Moderadamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	426	550	675
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	644	800	957



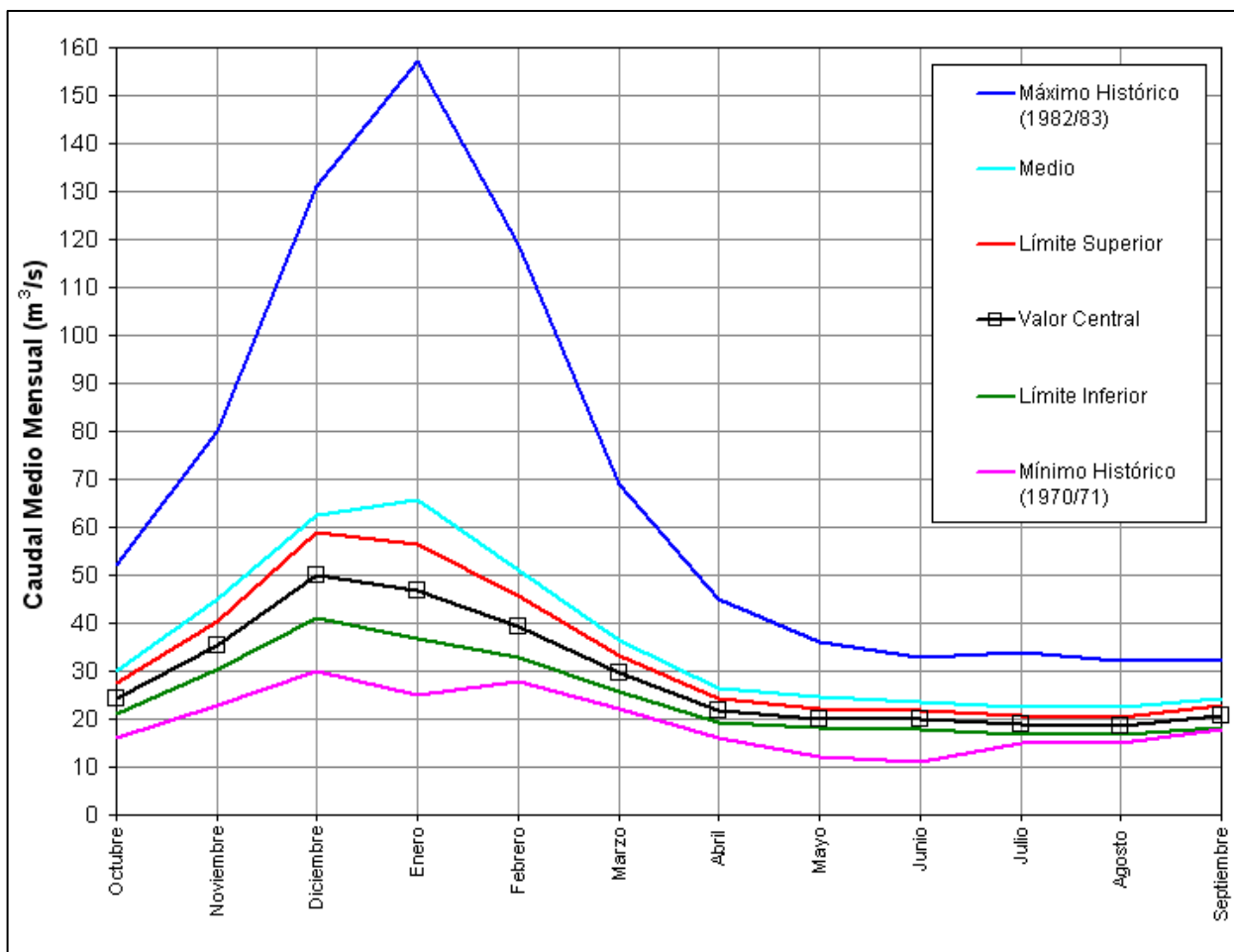
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	21	24	27
Noviembre	30	35	40
Diciembre	41	50	59
Enero	37	47	57
Febrero	33	39	46
Marzo	26	29	33
Abril	19	22	24
Mayo	18	20	22
Junio	18	20	22
Julio	17	19	21
Agosto	17	19	20
Septiembre	18	21	23

Volúmen octubre - setiembre: 906 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 29 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 36 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 590 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 38 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 48 m³/s.
 Porcentaje año medio : 78 %

Régimen : Moderadamente Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	493	590	688
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	775	906	1037



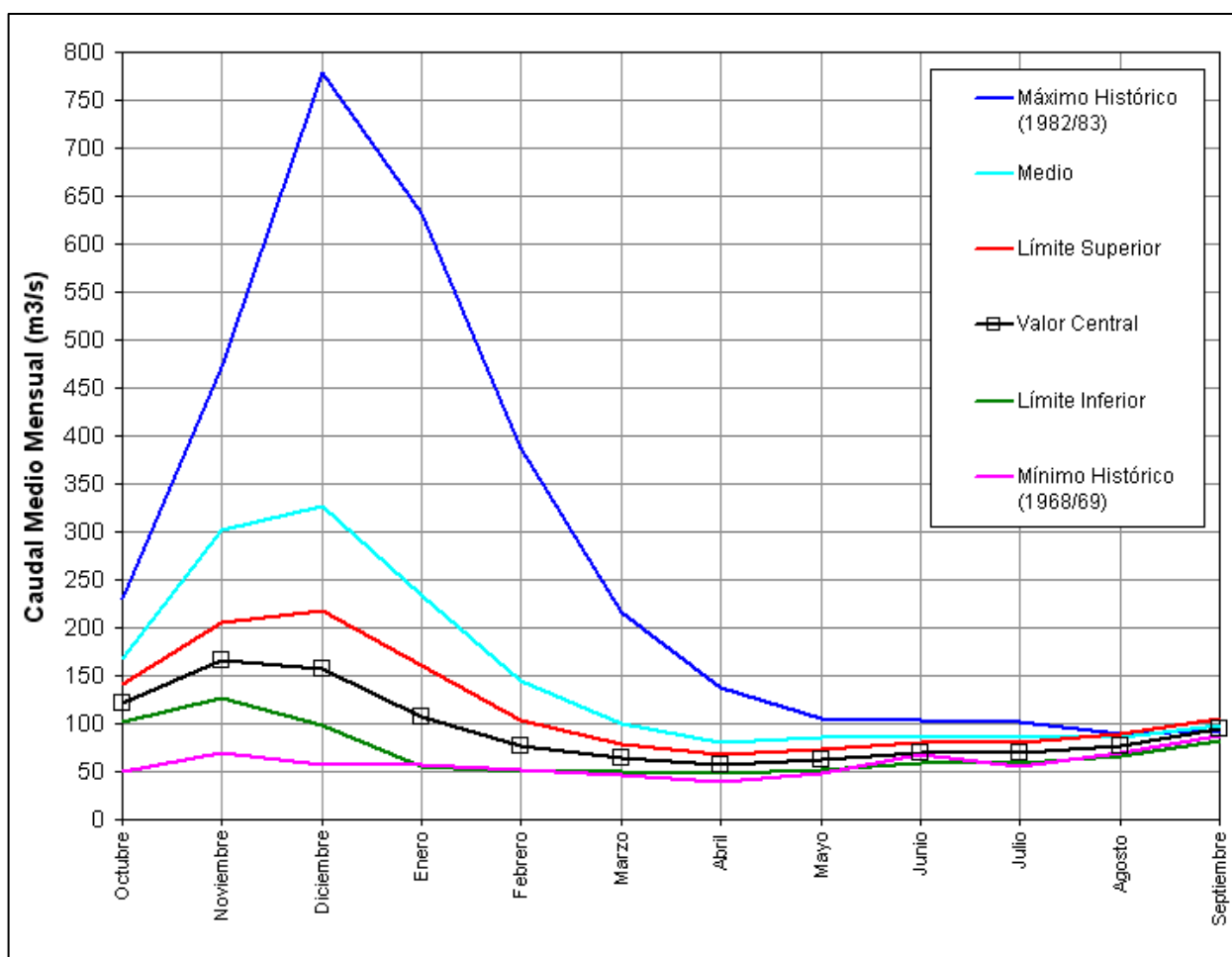
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m3/s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	102	122	142
Noviembre	127	166	205
Diciembre	98	158	218
Enero	56	108	160
Febrero	50	77	104
Marzo	50	64	78
Abril	47	57	67
Mayo	51	62	74
Junio	58	69	80
Julio	59	70	81
Agosto	66	77	89
Septiembre	82	94	106

Volúmen octubre - setiembre: 2960 Hm³.
 Caudal medio octubre - setiembre: 94 m³/s.
 Módulo octubre - setiembre: 150 m³/s.
 Volúmen octubre - marzo : 1827 Hm³.
 Caudal medio octubre - marzo : 116 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 213 m³/s.
 Porcentaje año medio : 55 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³)	1270	1827	2384
Vol. Oct. - Sept. (Hm³)	2228	2960	3692



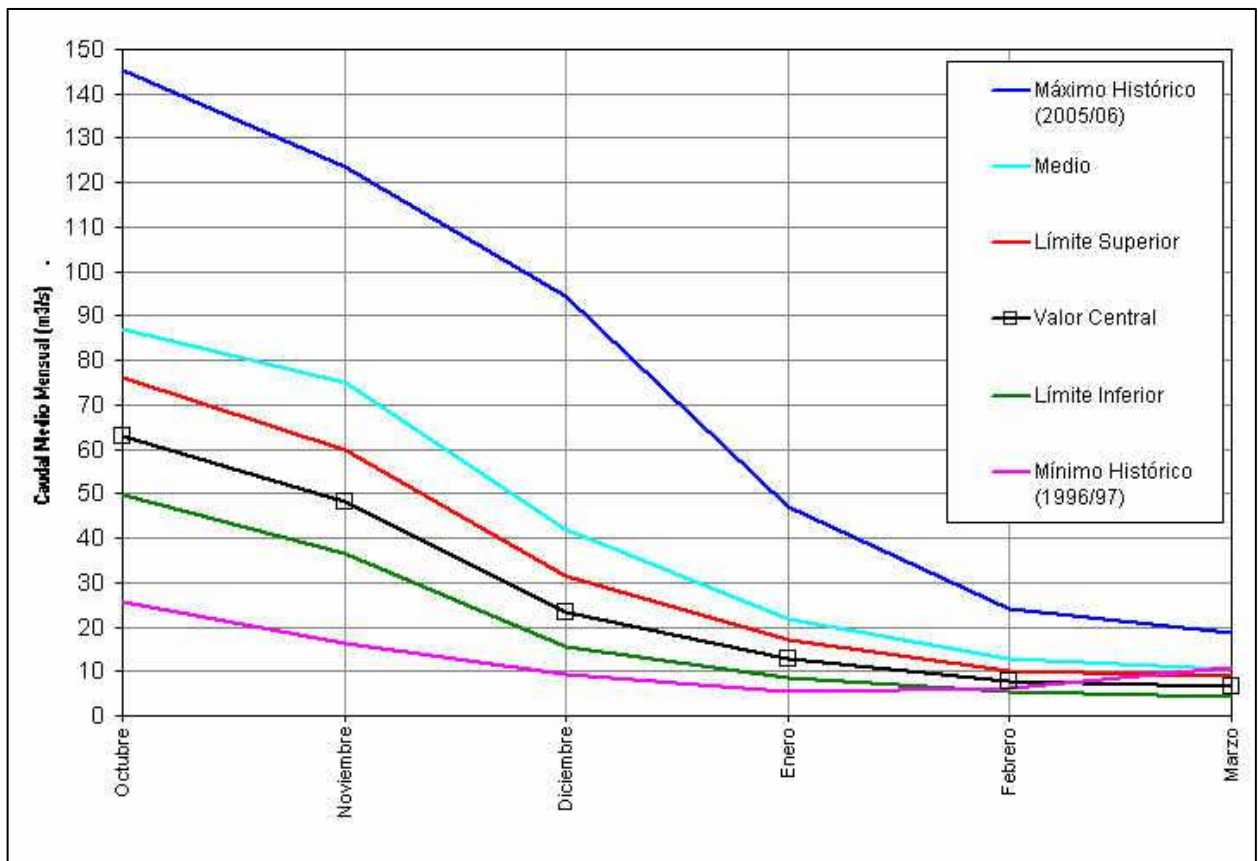
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m3/s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	50	63	76
Noviembre	36	48	60
Diciembre	15	23	31
Enero	8	13	17
Febrero	6	8	10
Marzo	4	7	9

Volúmen octubre - marzo : 427 Hm³
 Caudal medio octubre - marzo : 27 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 42 m³/s.
 Porcentaje año medio : 65 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 316 427 537



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2010/11 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 el río San Juan, Mendoza y Tunuyán, y Moderadamente Seco para los ríos Diamante y Atuel.

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

RÍO	PRONOSTICO 2010-2011 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	1068	Seco	2054 1813	727	4837
Mendoza	1013	Seco	1463 1400	731	2967
Tunuyán	642	Seco	935 914	496	1752
Diamante	800	Moderadamente Seco	1114 1051	521	2302
Atuel	906	Moderadamente Seco	1122 1070	607	2155
Colorado	2960	Seco	4715 4644	1837	8796
Chubut (1)	427	Seco	658 664	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)