



**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 2014 – 2015**

Ríos

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

SEPTIEMBRE 2014



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 2014 a Septiembre 2015, de los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Colorado; sobre el río Chubut se pronostica el período estacional Octubre 2014 a Marzo 2015.

2. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Acumulación Nívea

En las figuras siguientes se presentan imágenes satelitales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de fechas similares de 2013 y 2014, a los efectos de comparar la acumulación nívea de ambos períodos.

Las figuras a, corresponden al año 2013 y las b, al año 2014; 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

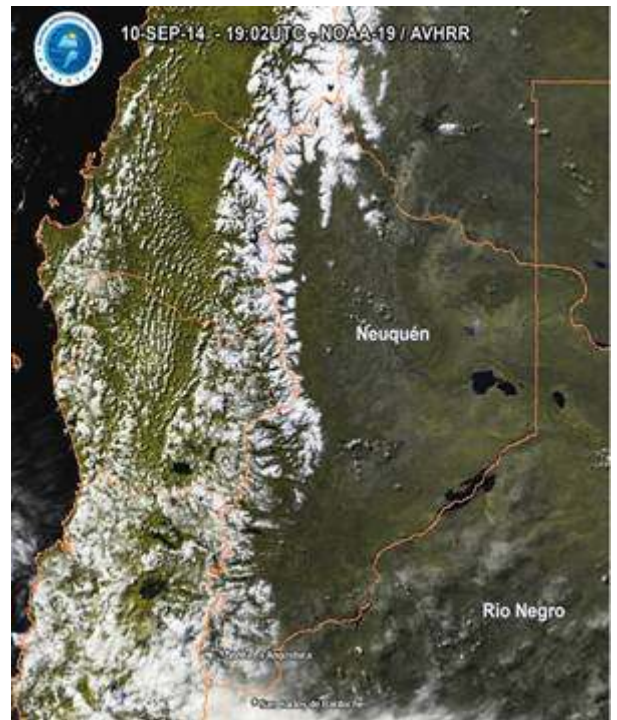


Figura N° 2.b



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 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	2014	2013	2012
Teatinos	San Juan	503	185	209	213
Toscas	Mendoza – Tunuyán	294	64	122	192
Laguna Diamante	Tunuyán – Diamante	458	170	222	487
Laguna Atuel	Atuel	1151	807	947	1121
Valle Hermoso	Atuel – Colorado	781	496	436	499
Pehuenche	Colorado	1203	846	594	383
Varvarco	Neuquén	1148	1072	967	173

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 2013.

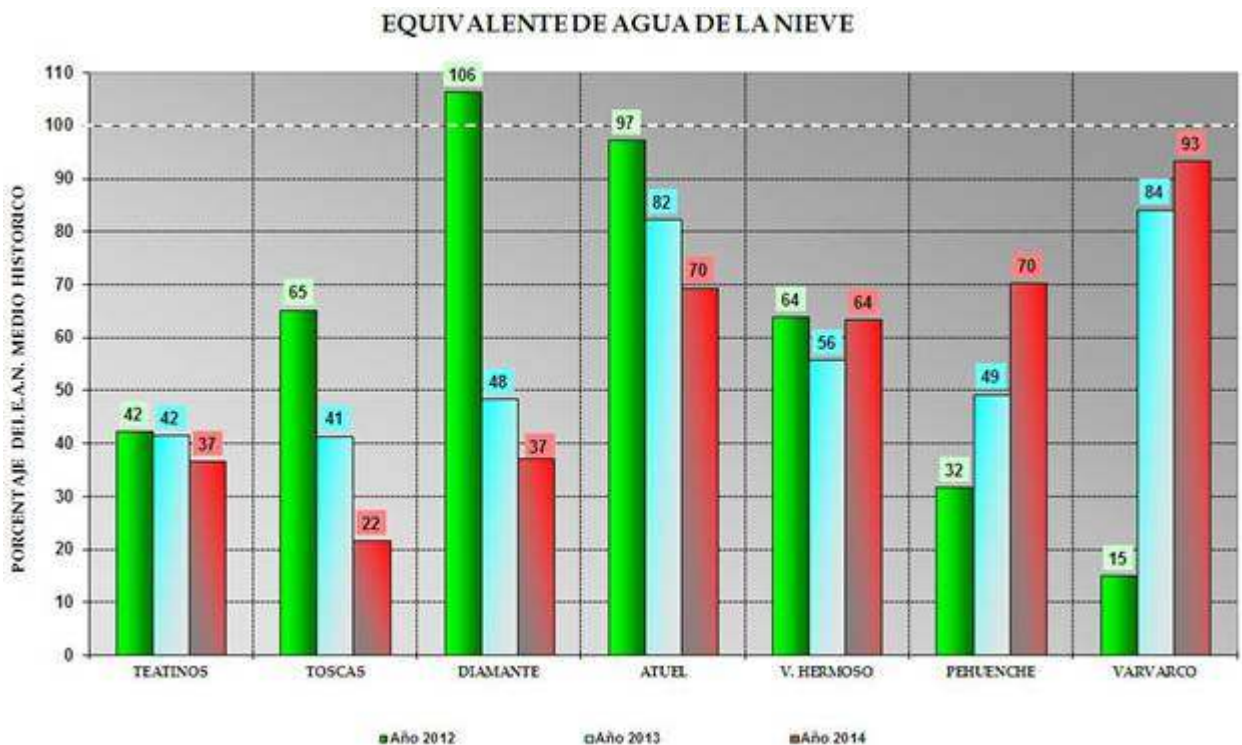


Figura N° 4

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.



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, podemos concluir que las precipitaciones níveas registradas este año, son:

- Inferiores a la media histórica.
- Respecto a las registradas en los años 2012 y 2013, inferiores en el norte y superiores en el sur de los andes centrales.

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

En dichas figuras se ha graficado:

- ❖ Los registros diarios del equivalente de agua de la nieve para la presente temporada 2014, indicando su porcentaje respecto de la media histórica (línea celeste)
- ❖ La curva de los valores medios diarios de acumulación – fusión para el período 2013 (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.

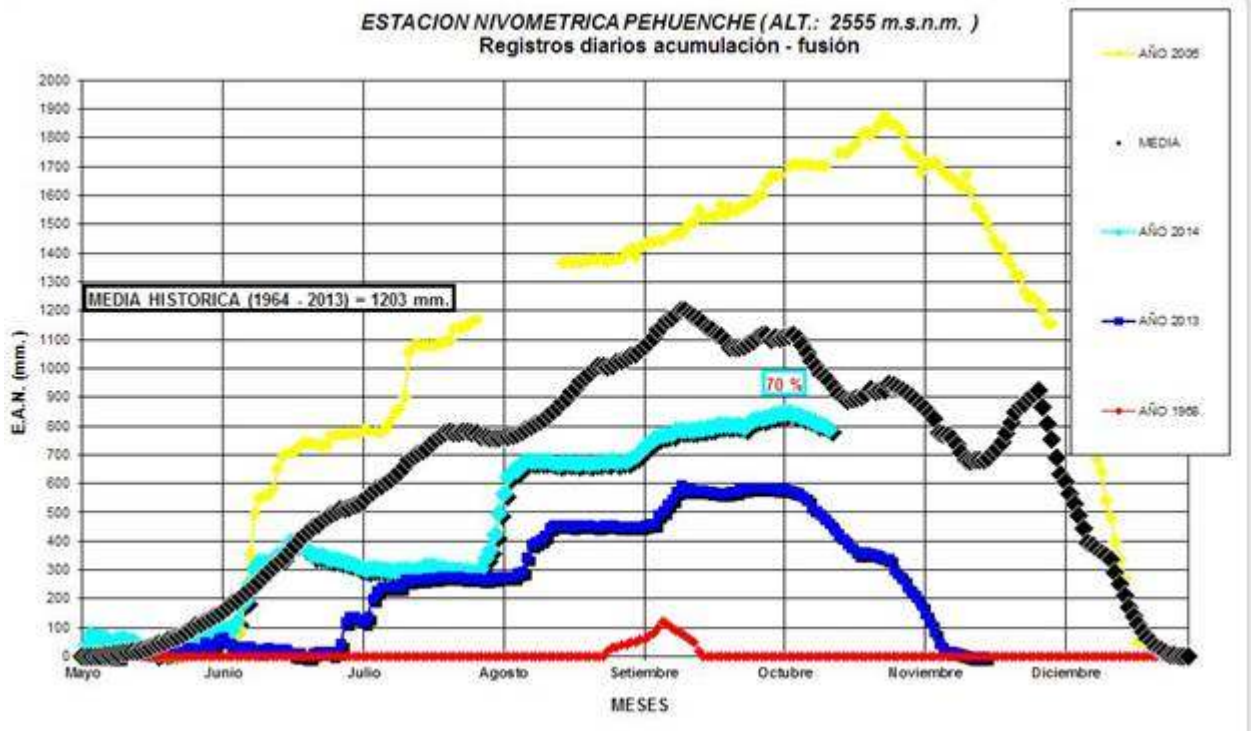


Figura N° 6



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Pehuénche

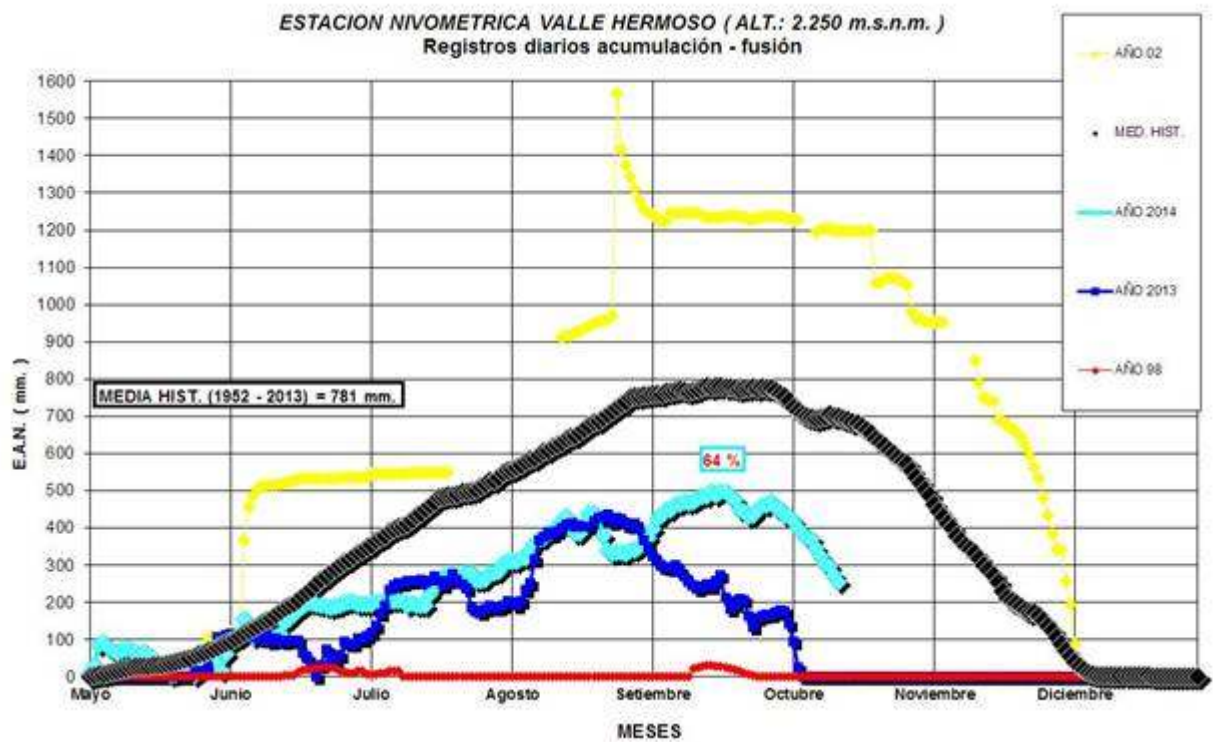


Figura N° 7



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Valle Hermoso

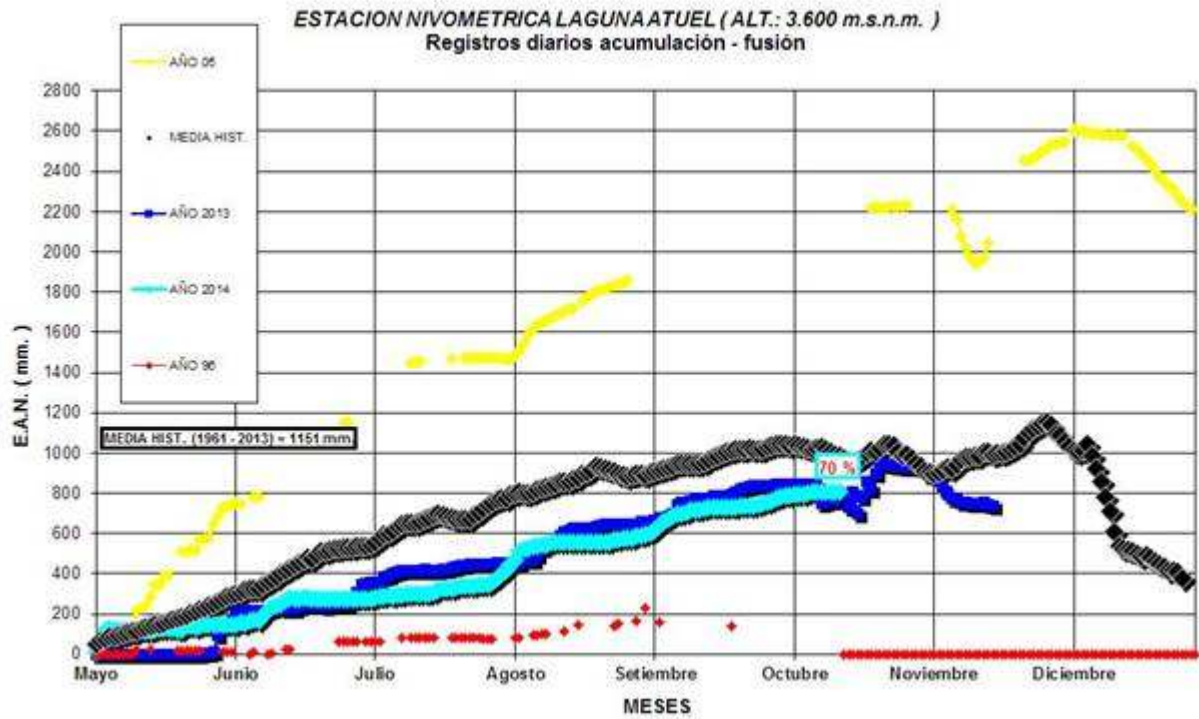


Figura N° 8



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Atuel

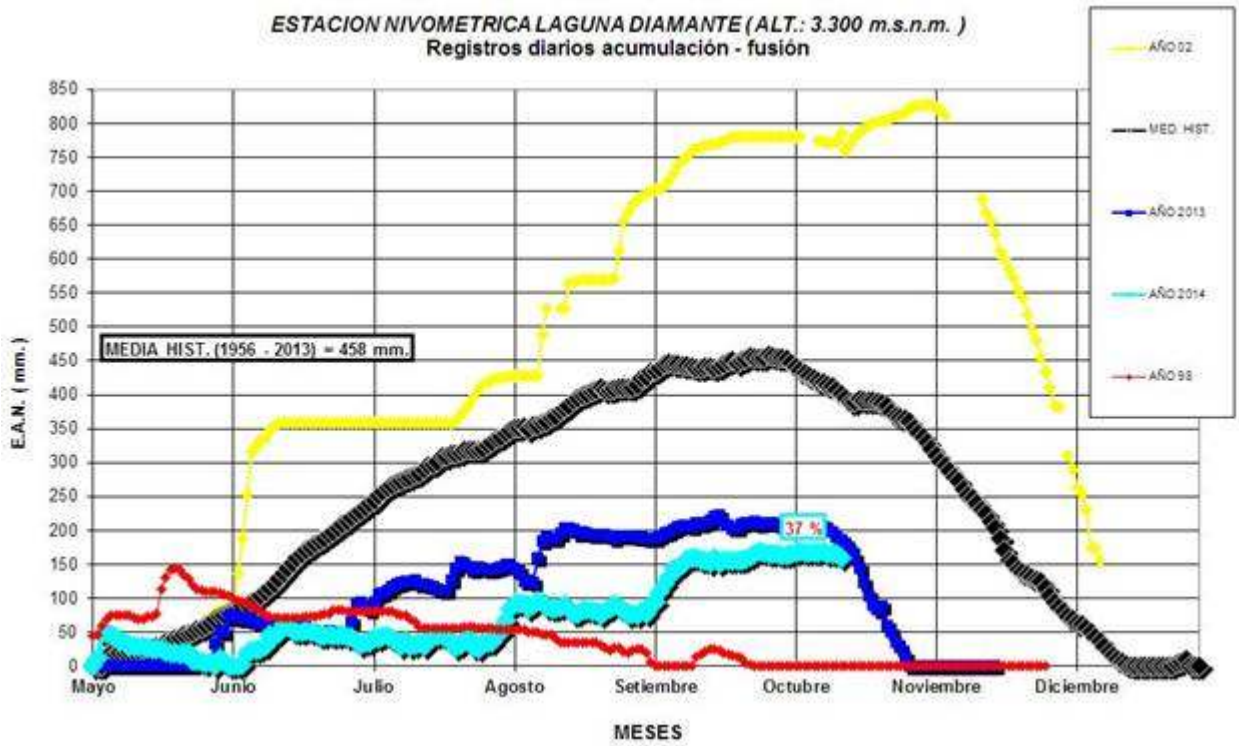


Figura N° 9



Ubicación Geográfica de la Estación Nivométrica Laguna Diamante

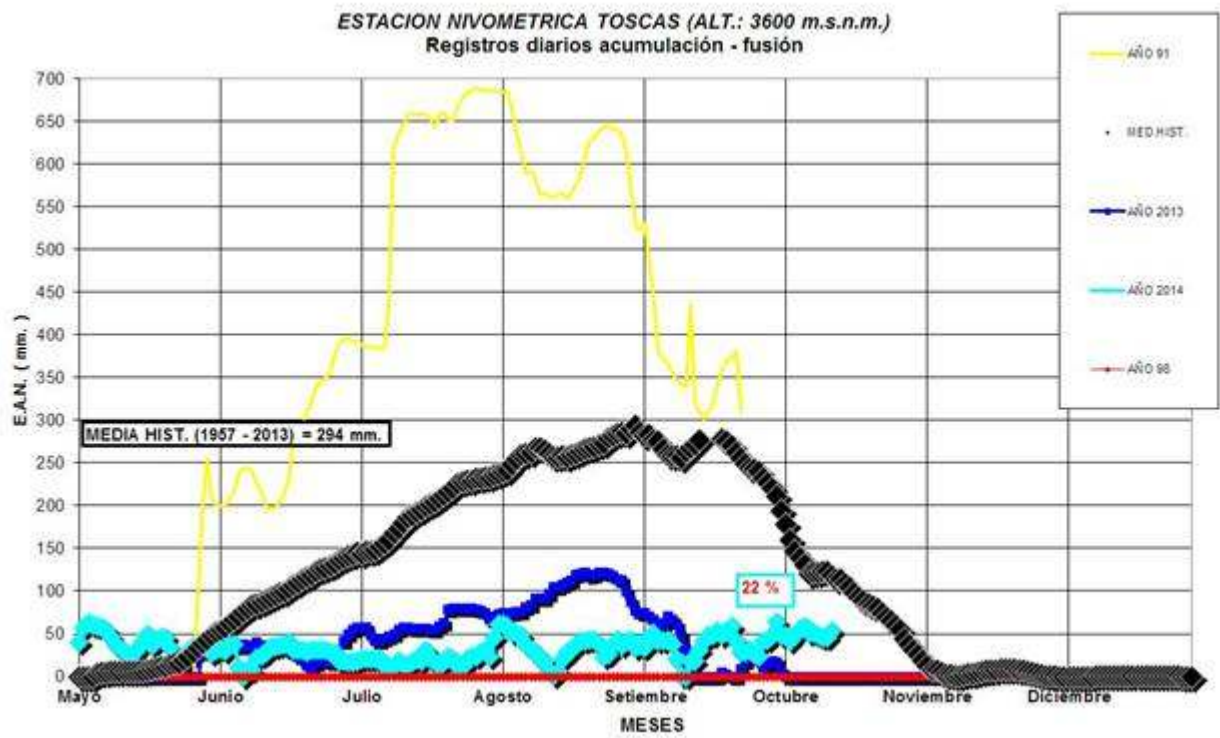
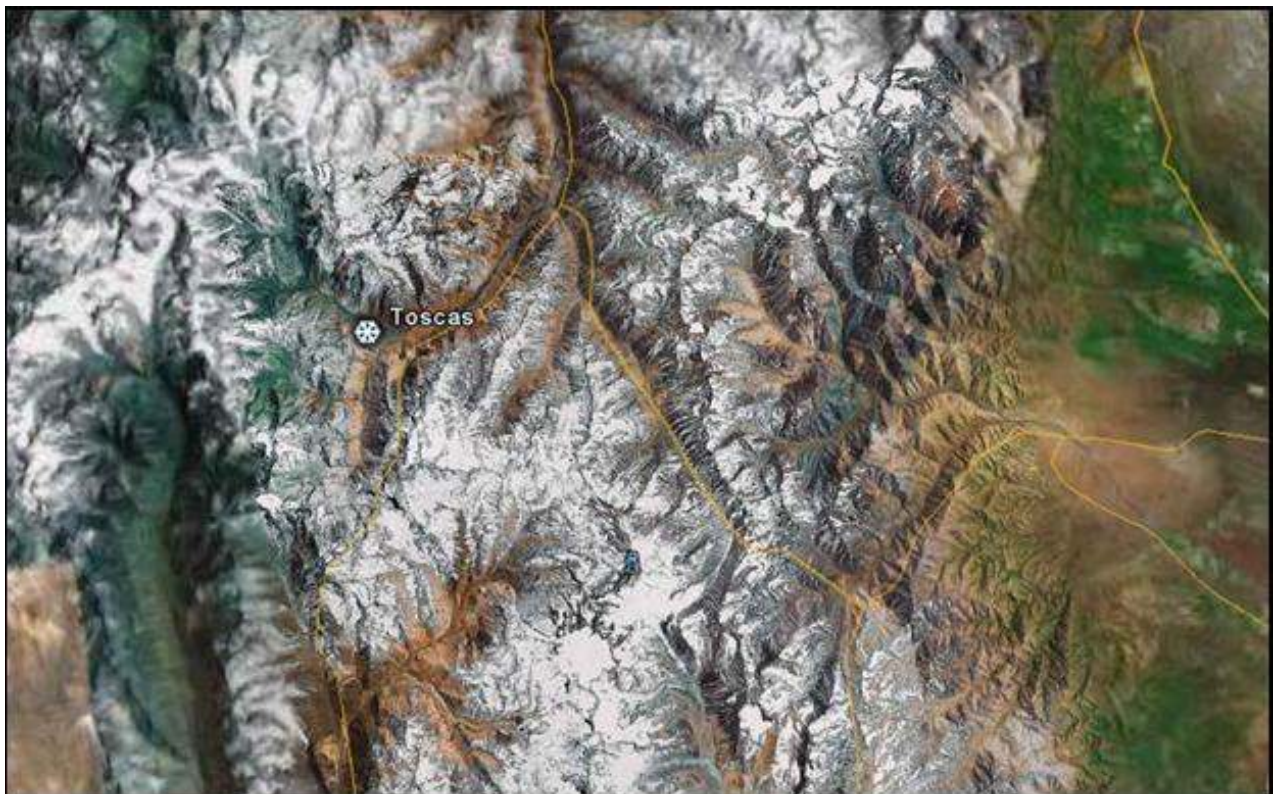


Figura Nº 10



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 Neuroforecaster/GA para el río Diamante en La Jaula. La arquitectura de una RNA de Pronósticos de Derrames tiene las siguientes características

- ❖ **Múltiples Capas:** lo que permite resolver sistemas no lineales.
- ❖ **MISO:** múltiples entradas (predictores) y única salida (volumen estacional).
- ❖ **Totalmente Conectadas:** todos los elementos de una capa se conectan con todos los elementos de la capa siguiente.
- ❖ **Feed Forward:** en cuanto a la transmisión de la información; estas redes son las más veloces y están construidas en forma jerárquica, de tal manera que las entradas dentro de cualquier unidad, vienen solo desde unidades de capas antecesoras, siendo el flujo de la información unidireccional. Esta topología de red es ideal para resolver problemas de predicción.
- ❖ **Método de Aprendizaje Supervisado de Retro Propagación:** el valor de salida generado por la red se compara con el valor patrón objetivo; se calcula el error cuadrático medio y luego se transmite hacia atrás (Retro Propagación) hacia las capas intermedias, donde las neuronas ocultas absorben una fracción del error de manera similar a la contribución que apporto esa neurona para generar ese valor de salida; produciéndose de esta manera la actualización de los pesos sinápticos de las conexiones entre las neuronas.

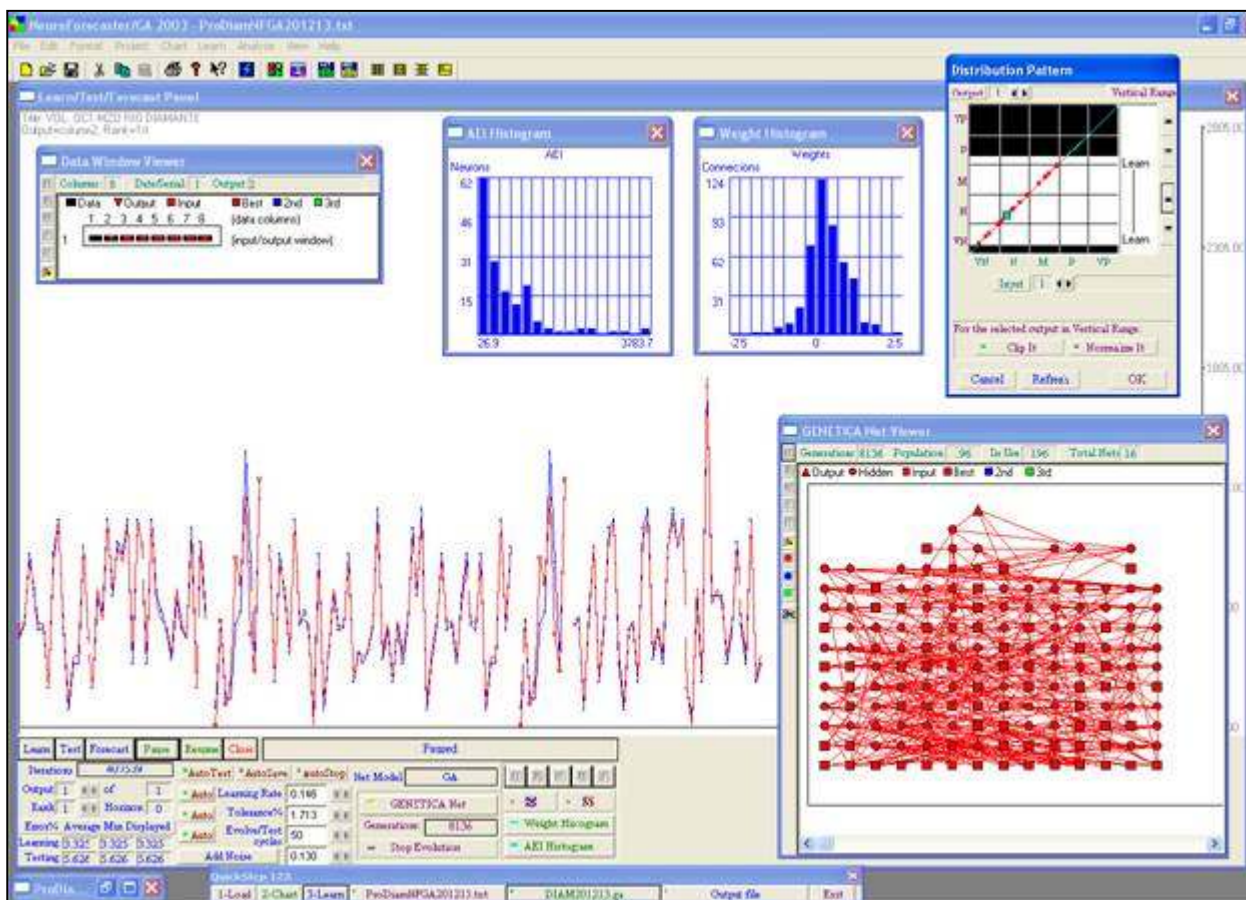


Figura N° 11

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. De tal manera que los miembros más aptos tendrán una mayor probabilidad de apareamiento que los miembros menos adecuados para producir descendientes, los cuales retendrán las características deseadas de sus patrones y heredarán el conocimiento ya adquirido por los mismos. De este modo se conseguirá que cada generación de individuos sea mejor que la anterior y si el algoritmo converge adecuadamente el último individuo será el más apto.

Los algoritmos genéticos permiten optimizar la topología de las RNAs, el número de capas ocultas, de nodos ocultos y de patrones de interconexión.

4. PRONÓSTICO TEMPORADA 2014 - 2015

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 – 2013
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 – 2013
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1957 – 2013
Diamante	La Jaula	34° 40'	69° 19'	1971 – 2013
Atuel	La Angostura	35° 02'	68° 52'	1948 – 2013
Colorado	Buta Ranquil	37° 06'	69° 44'	1940 – 2013
Chubut	Los Altares	43° 51'	68° 30'	1943 – 2013

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 2014/15.

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.

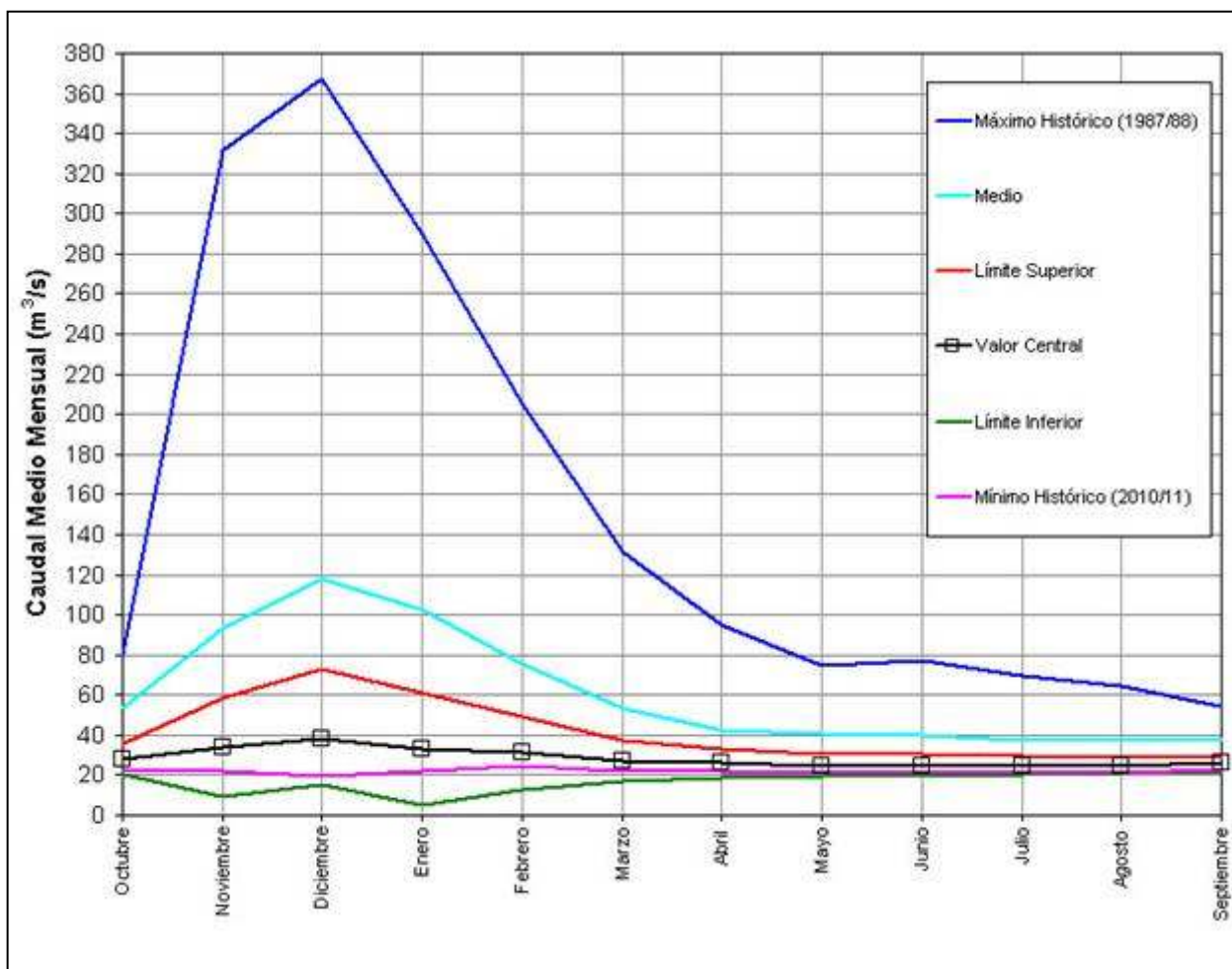
RÍO SAN JUAN EN KM. 101

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	21	29	37
Noviembre	9	34	58
Diciembre	15	37	72
Enero	5	33	61
Febrero	13	31	49
Marzo	17	27	37
Abril	19	26	33
Mayo	19	25	31
Junio	20	25	30
Julio	21	25	29
Agosto	21	25	29
Septiembre	22	26	30

Volúmen octubre - setiembre:	900	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	29	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	61	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	500	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	32	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	83	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	38	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	208	500	826
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	529	900	1307



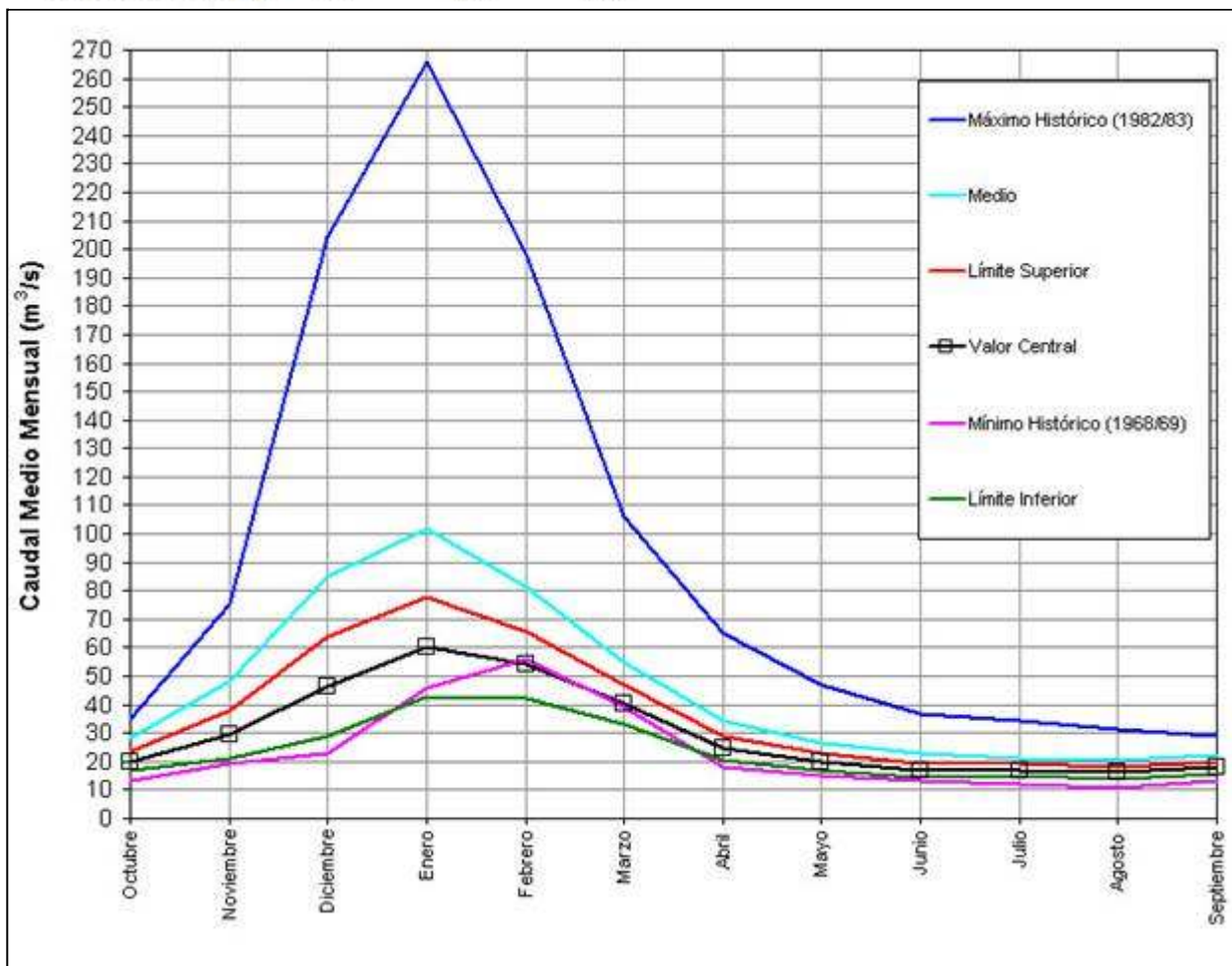
RÍO MENDOZA EN GUIDO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Limite Inferior	Valor Central	Limite Superior
Octubre	16	20	24
Noviembre	21	29	37
Diciembre	29	46	63
Enero	42	60	78
Febrero	42	54	66
Marzo	33	40	47
Abril	22	26	30
Mayo	18	21	24
Junio	15	17	20
Julio	14	16	18
Agosto	14	16	18
Septiembre	16	18	20

Volúmen octubre - setiembre:	950	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	30	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	46	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	650	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	42	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	66	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	62	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	479	650	822
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	737	950	1163



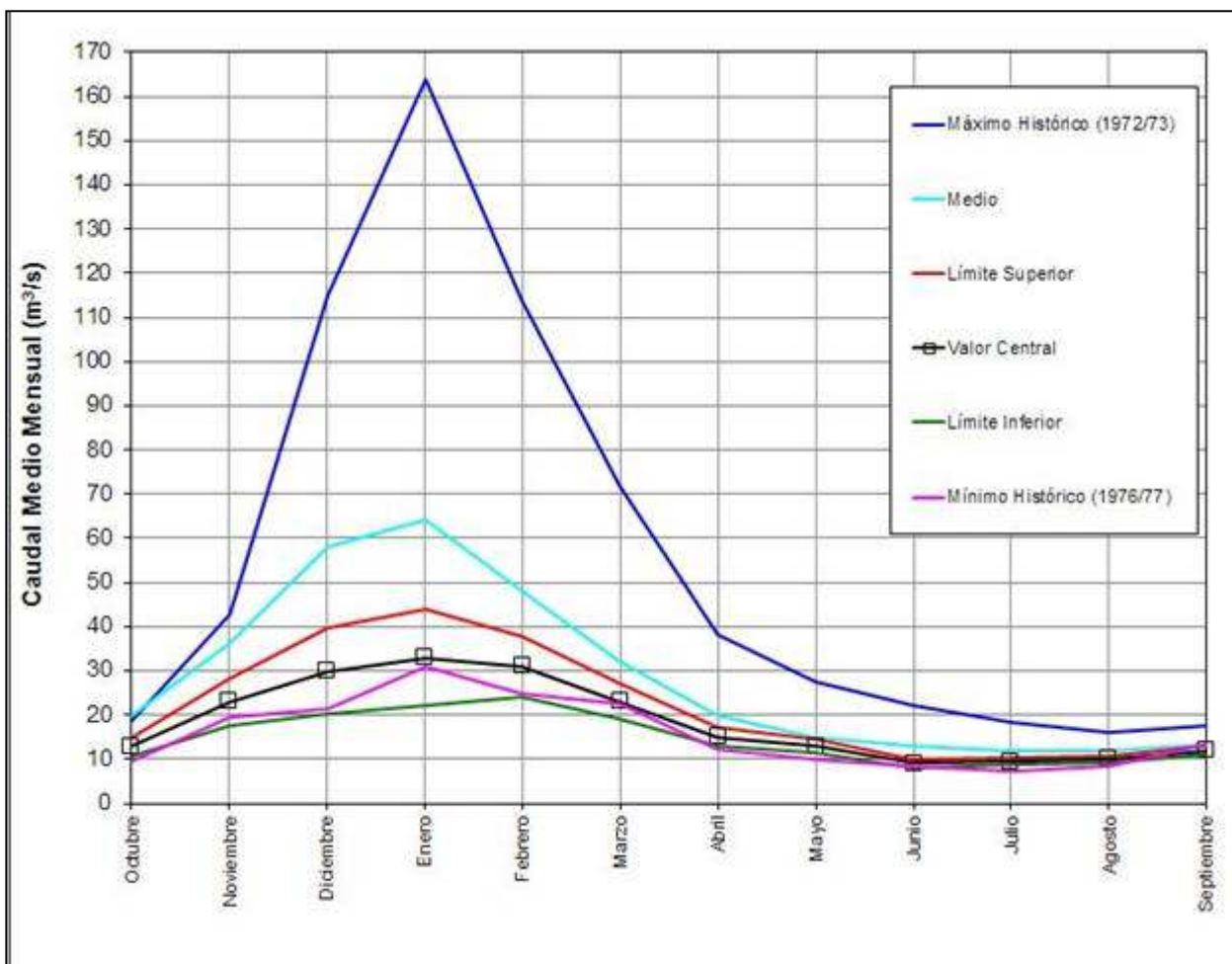
RÍO TUNUYÁN EN VALLE DE UCO

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	11	13	15
Noviembre	18	23	28
Diciembre	20	30	40
Enero	22	33	44
Febrero	24	31	38
Marzo	19	23	27
Abril	13	15	17
Mayo	12	13	14
Junio	8	9	10
Julio	9	10	10
Agosto	9	10	11
Septiembre	11	12	13

Volúmen octubre - setiembre:	580	Hm ³
Caudal medio octubre - setiembre:	18	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	29	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	400	Hm ³
Caudal medio octubre - marzo :	26	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	43	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	59	%

Régimen : Muy Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	297	400	503
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	459	580	701



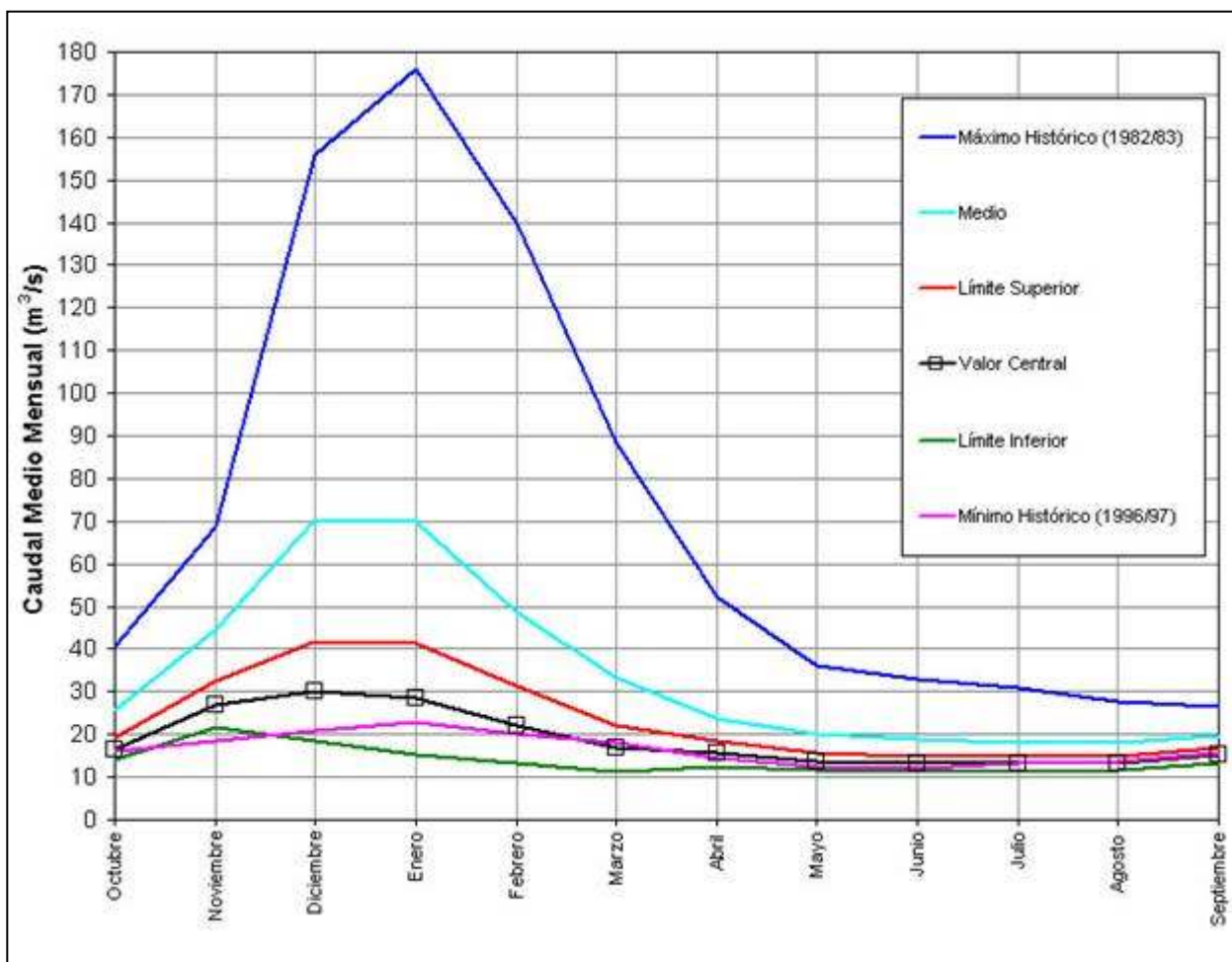
RÍO DIAMANTE EN LA JAULA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Limite Inferior	Valor Central	Limite Superior
Octubre	14	17	19
Noviembre	22	27	32
Diciembre	18	30	42
Enero	15	28	42
Febrero	13	22	31
Marzo	11	17	22
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 :	590	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre :	19	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre :	34	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	370	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	24	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	49	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	48	%

Régimen : Muy Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	246	370	493
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	435	590	745



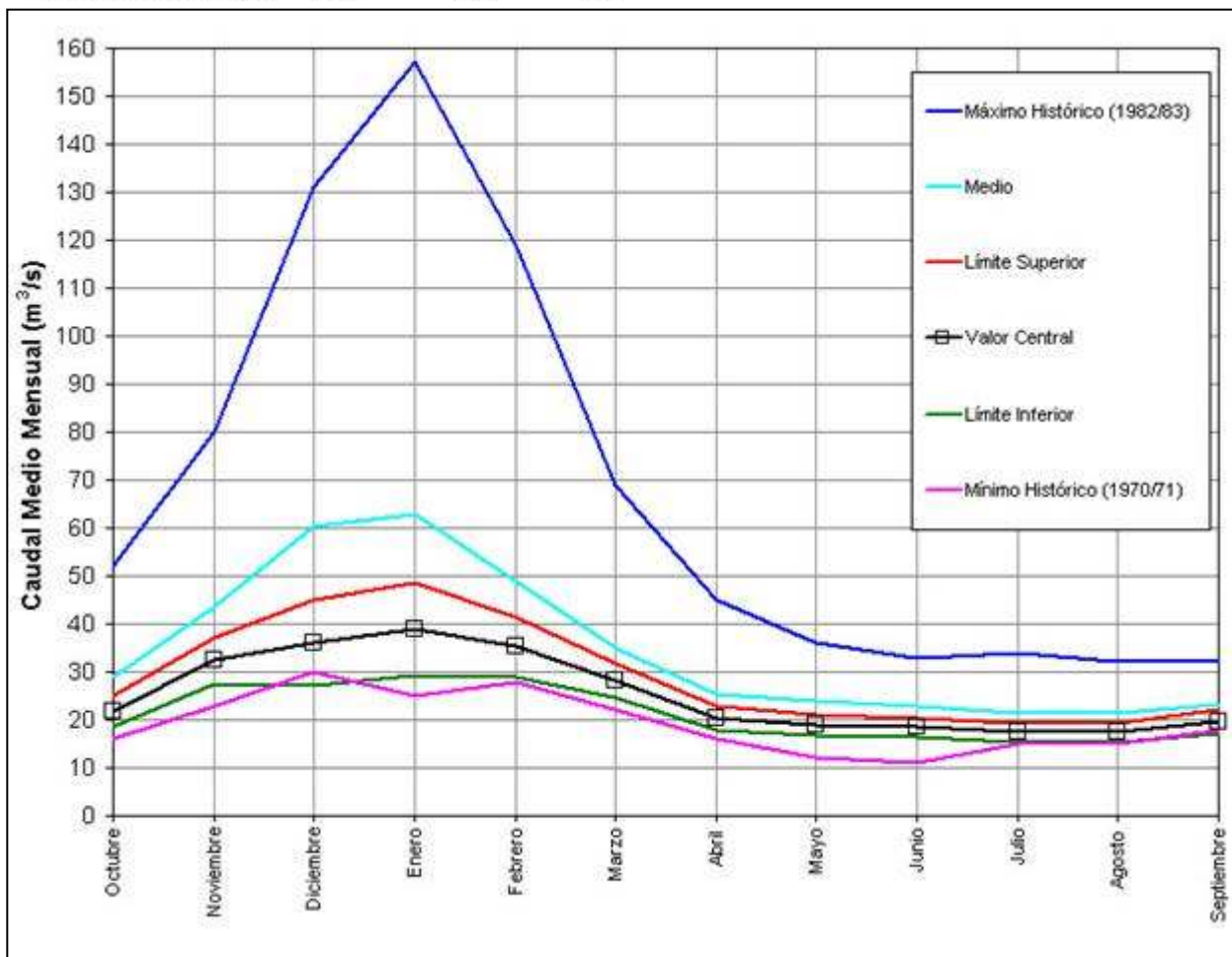
RÍO ATUEL EN LA ANGOSTURA

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
Octubre	19	22	25
Noviembre	28	32	37
Diciembre	27	36	45
Enero	29	39	49
Febrero	29	35	41
Marzo	25	28	32
Abril	18	20	23
Mayo	17	19	21
Junio	16	18	20
Julio	15	17	19
Agosto	15	17	19
Septiembre	17	20	22

Volúmen octubre - setiembre:	800	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	25	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	35	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo:	505	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo:	32	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo:	47	m ³ /s.
Porcentaje año medio:	69	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	410	505	600
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	670	800	929



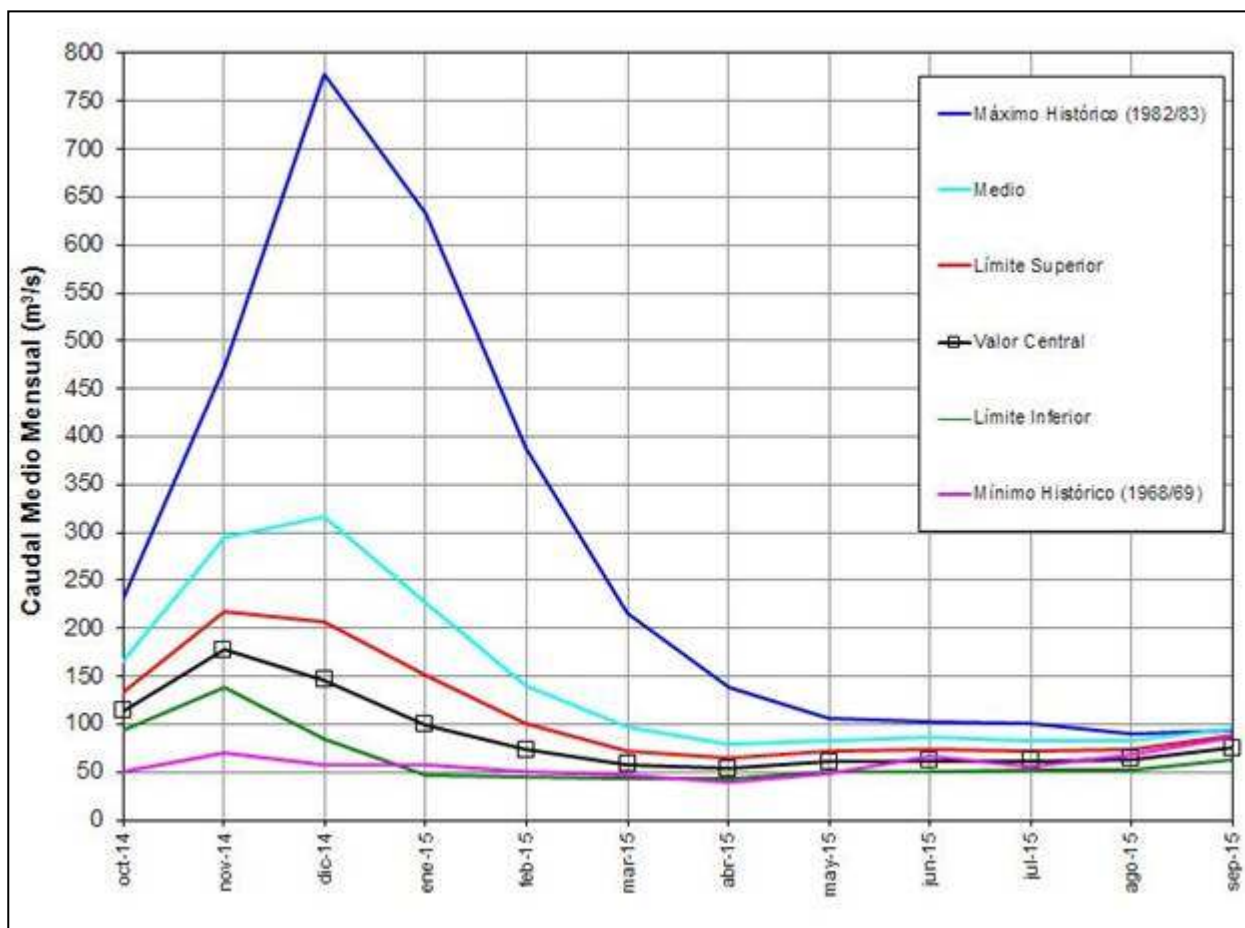
RÍO COLORADO EN BUTA RANQUIL

MES	CAUDAL (m ³ /s.)		
	Límite Inferior	Valor Central	Límite Superior
oct-14	94	114	134
nov-14	138	178	218
dic-14	85	146	207
ene-15	47	99	151
feb-15	46	73	100
mar-15	44	58	72
abr-15	44	54	64
may-15	50	61	72
jun-15	51	62	73
jul-15	52	62	72
ago-15	53	63	74
sep-15	64	76	88

Volúmen octubre - setiembre:	2750	Hm ³ .
Caudal medio octubre - setiembre:	87	m ³ /s.
Módulo octubre - setiembre:	146	m ³ /s.
Volúmen octubre - marzo :	1755	Hm ³ .
Caudal medio octubre - marzo :	111	m ³ /s.
Módulo octubre - marzo :	207	m ³ /s.
Porcentaje año medio :	54	%

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm ³)	1193	1755	2317
Vol. Oct. - Sept. (Hm ³)	2017	2750	3483



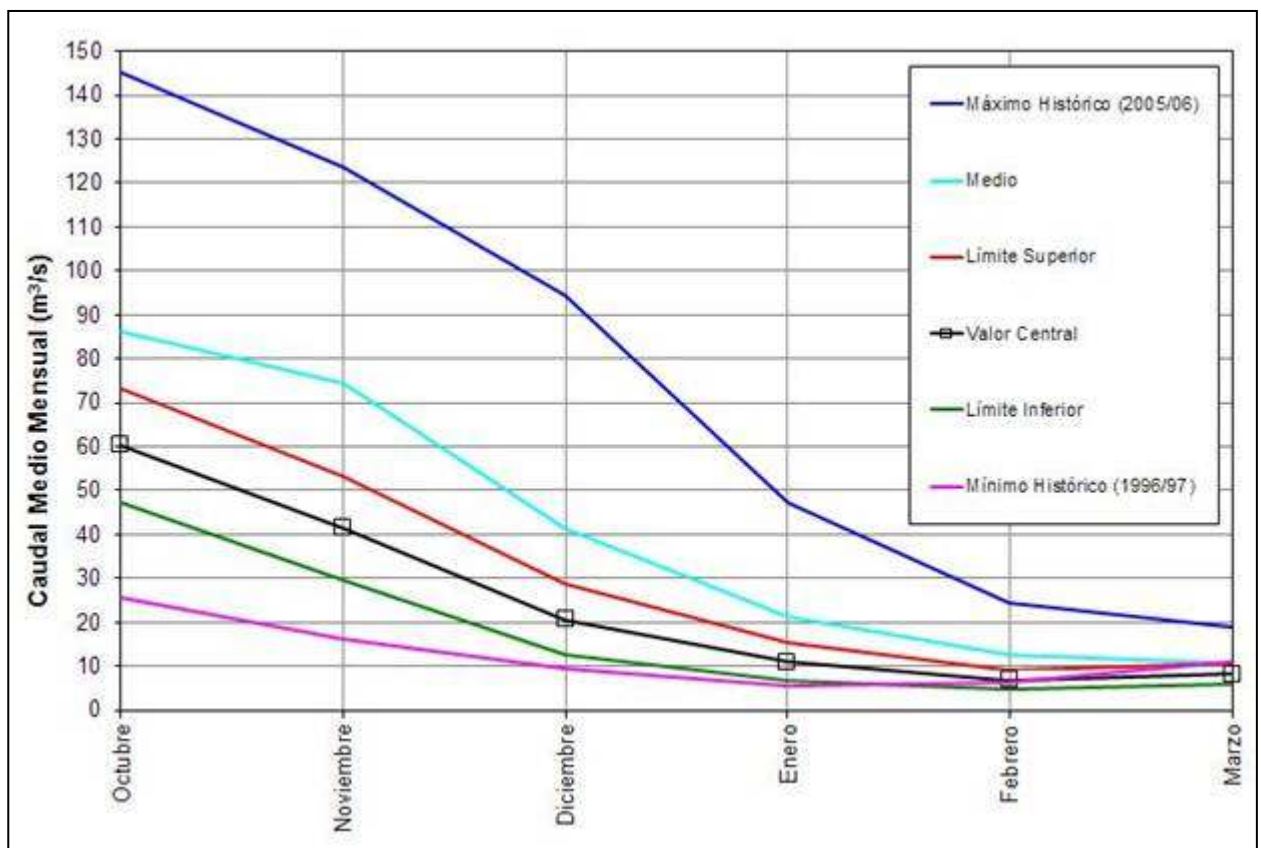
RÍO CHUBUT EN LOS ALTARES

MES	CAUDAL (m3/s.)		
	Limite Inferior	Valor Central	Limite Superior
Octubre	47	60	73
Noviembre	30	41	53
Diciembre	13	21	29
Enero	7	11	15
Febrero	5	7	9
Marzo	6	8	11

Volúmen octubre - marzo : 392 Hm³
 Caudal medio octubre - marzo : 25 m³/s.
 Módulo octubre - marzo : 41 m³/s.
 Porcentaje año medio : 60 %

Régimen : Seco

Vol. Oct. - Mzo. (Hm³) 282 392 502



5. CONCLUSIONES

El Cuadro N° 3 muestra un resumen del aporte anual (Octubre – Setiembre) a esperar en la temporada 2014/15 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 pronóstico es Seco, excepto para los ríos Tunuyán y Diamante que se presentan bajo un régimen *Muy Seco*.

RÍO	PRONOSTICO 2014-2015 [Hm ³]	RÉGIMEN HIDROLÓGICO	MEDIA MEDIANA HISTÓRICA [Hm ³]	MÍNIMO HISTÓRICO [Hm ³]	MÁXIMO HISTÓRICO [Hm ³]
San Juan	900	Seco	1946 1635	691	4851
Mendoza	950	Seco	1438 1387	731	2967
Tunuyán	580	Muy Seco	915 908	496	1752
Diamante	590	Muy Seco	1080 1045	521	2302
Atuel	800	Seco	1105 1060	607	2155
Colorado	2750	Seco	4630 4595	1837	8796
Chubut (1)	392	Seco	643 658	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)