

II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras

Santa Fe, Argentina, 22 al 26 de septiembre de 2014

Diseño de una red hidrometeorológica en clima árido. Caso de estudio: Distrito Cerro Solo, Paso de Indios, Chubut, Argentina

Pablo G. Romanazzi¹

¹ Unidad de Investigación y Desarrollo en Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del La Plata (UNLP), calle 47 N° 200, 1er. Piso, Of. 6, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

Mail de contacto: promanazzi@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

A partir del año 2011 se implementó una red hidrometeorológica para la cuenca del arroyo Perdido, Distrito Cerro Solo, Departamento Paso de Indios en la Provincia de Chubut. El objetivo principal fue monitorear con paso diario las principales variables atmosféricas en un clima francamente árido (régimen pluvial pacífico) y poder así estimar la recarga natural del sistema subterráneo. Las tres estaciones de la red fueron fundadas a diferente altitud sobre el nivel del mar, captando de esta forma las diferencias que impone esta variable en los registros de la humedad relativa y la intensidad del viento, principalmente. Otro análisis efectuado se debió al intervalo de captura del dato y la comparación de los promedios diarios con las series históricas disponibles a 60 km de distancia en la Estación Los Altares de la Sub-Secretaría de Recursos Hídricos de La Nación (SSRH). La estadística descriptiva de los primeros años de vida de esta red permite obtener conclusiones importantes acerca del diseño adoptado y las recomendaciones a futuro para la implementación de este tipo de redes.

Palabras clave: redes telemétricas, balance hídrico, recarga natural.

ABSTRACT

Since 2011, hydro-meteorological network was implemented in arroyo Perdido watershed, close to Cerro Solo location and Paso de Indios village, Province of Chubut, Argentina. Main objective was to characterize the principal atmospheric variables in this arid climate region. Each station was installed at different ground levels in order to capture the influence of that variable over humidity and wind records. Time interval was one of the sensible studies to stand up the comparison with historical records at Los Altares station, 60 km far away from the actual network. Statistical description of the recent records leads to principal conclusions and recommendations about the network design in this kind of climate.

Keywords: telemetric network, hydrologic balance, natural recharge.

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del Convenio firmado entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) para llevar adelante el Estudio Hidrogeológico del Distrito Cerro Solo, Departamento de Paso de Indios, Provincia del Chubut, se determinó la necesidad de contar con información generada específicamente para alimentar la línea de base ambiental de la zona y para ello se incluyó, entre otras acciones, la instalación de instrumental meteorológico (Fig.1) en tres sitios que responden a las características propias de la zona bajo análisis y a la densidad recomendada para estudios especiales por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2008).



Figura 1 - Estaciones EM1, EM2 y EM3 del Convenio CNEA - UNLP

Las estaciones de fabricación nacional fueron instaladas en la zona bajo estudio (Fig. 2) por el equipo de técnicos y profesionales pertenecientes a la Unidad de Investigación y Desarrollo en Hidrología (ex Laboratorio de Hidrología) perteneciente al Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

Adicionalmente, se propuso la posibilidad de realizar aforos en algunas de las vías de escurrimiento superficial de interés (cañadones de “La Volanta” y “La Oriental”, ver Fig. 3), aunque esto no pudo ser concretado dado el carácter transitorio y de caudal casi nulo de su módulo anual. Sólo en algunas ocasiones, se pudieron realizar estimaciones indirectas pero que no justificaron la instalación de estructuras de aforo permanentes.

La propuesta inicial de monitoreo fue entonces compensada con el refuerzo de la capacidad de telecomunicación vía satélite de las estaciones meteorológicas a una base central y contar de esta manera alternativa con un seguimiento hidrológico superficial empleando modelos de simulación. Las primeras experiencias con los registros obtenidos alientan a una práctica de este tipo.

En este trabajo, se presenta primero una memoria descriptiva de los sitios donde se fundaron las estaciones meteorológicas. Prosigue con las especificaciones técnicas del instrumental y del sistema de comunicaciones implementado, cuya configuración permite actualmente que todas las variables meteorológicas puedan ser monitoreadas desde una Estación Central instalada en la sede de la Delegación Regional Patagonia de la CNEA en la ciudad de Trelew. Luego, se presenta en forma sintética la información estadística recolectada en los primeros quince meses de funcionamiento de la red, su comparación con otras fuentes locales de datos meteorológicos y se concluye con la lista de requerimientos para la óptima operación y mantenimiento del sistema.

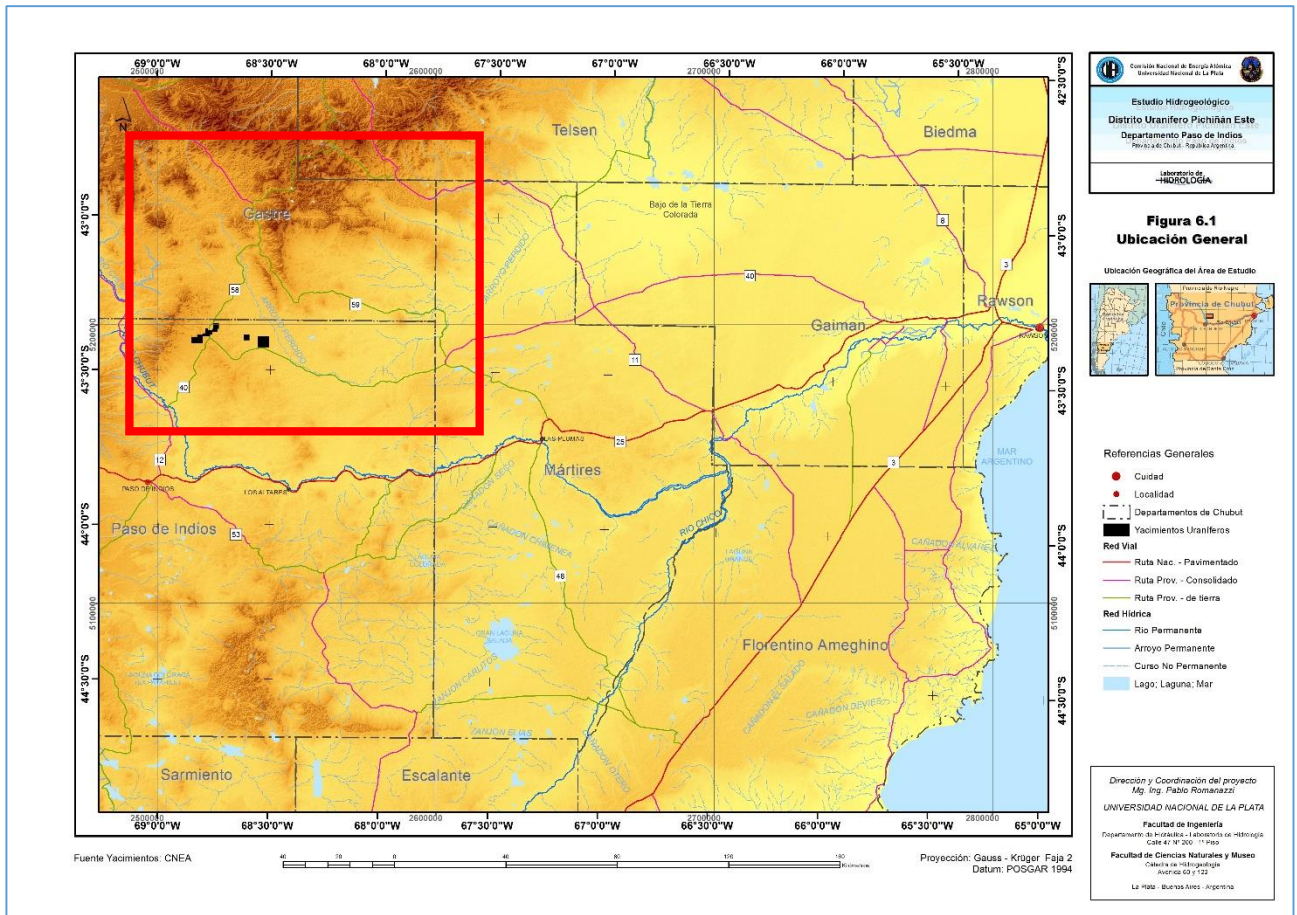


Figura 2 – Ubicación de la región bajo estudio

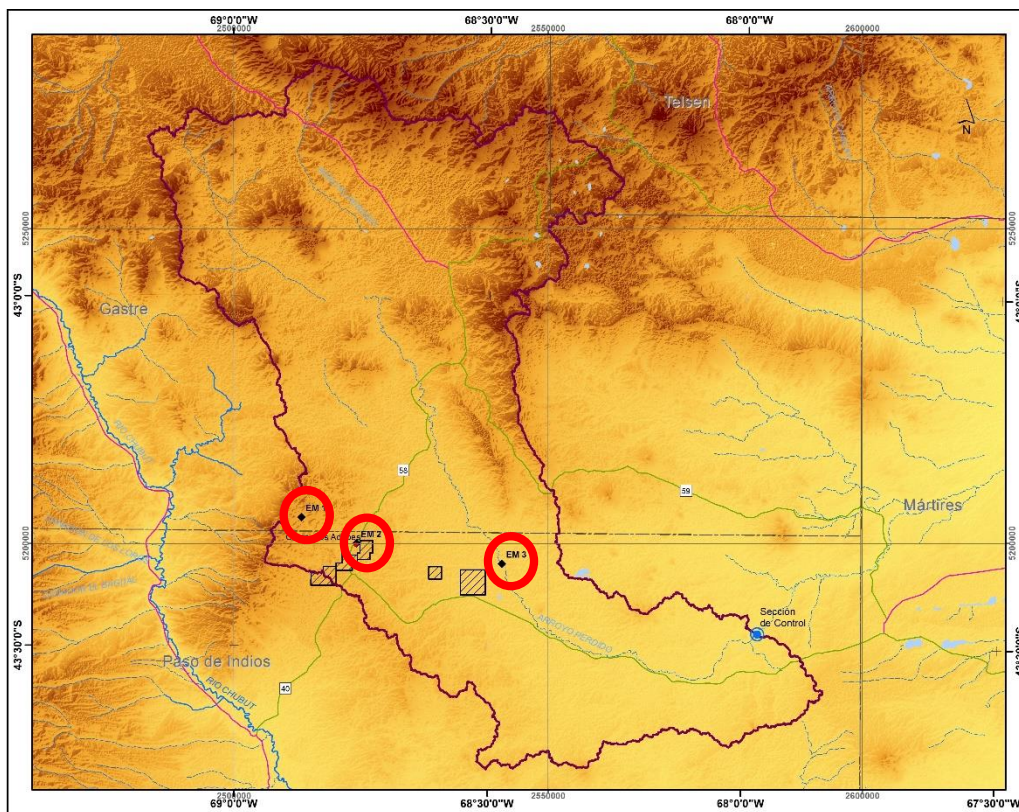


Figura 3 – Ubicación de las estaciones EM1, EM2 y EM3 en la cuenca del A° Perdido

Durante los meses de febrero y marzo de 2011 se realizaron todas las tareas de instalación y puesta en marcha de las tres estaciones meteorológicas en el ámbito de desarrollo del presente trabajo. Las ubicaciones y características operativas de cada una de ellas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estación	Predio	Latitud	Longitud	Altitud	Inauguración
EM1	Ea. Don Sergio (cuena superior)	- 43° 19' 05,1"	- 68° 52' 02,6"	903,8 m	18/03/2011
EM2	Campamento Los Adobes (cuena media)	- 43° 21' 18,1"	- 68° 45' 34,0"	678,8 m	13/02/2011
EM3	Ea. Valle Gral. Racedo (cuena baja)	- 43° 23' 0,85"	- 68° 28' 25,6"	417,2 m	17/03/2011

Los sitios de instalación (Fig. 3) responden a la necesidad de caracterizar el sector occidental (EM1) de las sierras del Pichián (nacientes del A° Perdido), correlacionar los registros con información preexistente en Campamento Los Adobes (EM2) y comparar las variables atmosféricas en el valle oriental e inferior del A° Perdido, principal emisario de la región (EM3).

Las estaciones meteorológicas poseen la capacidad de medir la temperatura, la presión y la humedad ambiente bajo abrigo, la velocidad y la dirección del viento a 2 m de altura, la radiación global en un plano horizontal y la precipitación pluvial mediante un pluviógrafo con cangilones de 0,25 mm. Estas variables se incorporan cada media hora en una memoria local luego de realizar un promedio de lo registrado en los dos intervalos previos de 15'.

Hacia fines de 2011 se pudo contar además con la tele-transmisión de los datos vía satélite a una base central, en un primer momento en la Ciudad de Buenos Aires y accesible mediante una página web. En el mes de marzo de 2012 se instaló una base similar en la Delegación Regional Patagonia de la CNEA en la ciudad de Trelew. Los datos se acumulan (registros de precipitación) o se promedian (resto de las variables) cada 3 horas y se transmiten a la base, pudiendo visualizarse los datos actuales o los históricos desde el inicio del sistema. Las placas de comunicación de los teléfonos satelitales en todas las estaciones meteorológicas de la red se programaron para utilizar los protocolos del servicio internacional ORBBCOM. El proceso consiste entonces en enviar cada 3 horas un correo electrónico vía satélite con las diferencias computadas respecto del último dato transmitido. Luego, el dato es procesado y almacenado por el sitio web que administra la base central. De esta forma, se logra una economía muy significativa en la cantidad de bytes transmitidos por el sistema ORBBCOM.

En todas las instancias de instalación y puesta a punto de las estaciones se realizaron jornadas de trabajo en conjunto con personal de CNEA donde se compartieron los procedimientos para la conexión de los sensores al módulo central, repaso de los manuales y especificaciones técnicas, control del inventario con los números de serie de cada componente y el aprendizaje de los módulos del software que permite operar la estación, seleccionar los rangos y frecuencia de muestreo de sus sensores y bajar a archivo de texto los datos almacenados.

Finalmente, cabe el reconocimiento del esfuerzo compartido para lograr implementar esta red en una zona donde no fue sencillo practicar el montaje de las estaciones, fundar los mástiles de anclaje del instrumental, concretar la puesta a tierra de los circuitos eléctricos y montar el cerco perimetral en un ambiente patagónico típico donde el clima resulta en algunas épocas del año bastante adverso para este tipo de actividades (intensidad del viento, por ejemplo).

2 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS REGISTROS METEOROLÓGICOS

El período de análisis se extiende desde el 1° de abril de 2011 al 30 de junio de 2012, totalizando así 15 meses de registros. Si bien el sistema sigue operando en la actualidad, interesa este período cercano a la instalación porque fue el utilizado para llevar adelante los primeros estudios de base.

En una primera aproximación, se pudieron confirmar las características globales del clima de la región que estaban disponibles en informes antecedentes (Hernández et al., 2010, Álvarez et al., 2011) y de lo que se desprende del estudio de los registros de estaciones vecinas, cuyas características se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2 – Características de las estaciones meteorológicas existentes

Estación Paso de Indios				Operador : Servicio Meteorológico Nacional		
Lat.	Long.	Altura	Var.	Información	Récord	Condición
			P, To	Serie diaria	2001-2010	Incompleta
43° 49'	68° 53'	460 m	Varias	Modular	1971-1990	Completa
			P, To	Modular	1991-2000	Preliminar
Estación Los Altares				Operador : Subsecretaría de Recursos Hídricos		
			P	Serie diaria	1943-2011	Completa
43° 53'	68° 24'	243 m	To	Serie diaria	1943/71–1980/2011	Suplementada
Estación Los Adobes				Operador : CNEA		
43° 21'	68° 45'	600 m	Varias	Serie diaria	2006-2009	Incompleta c/defectos

A continuación se resumen las observaciones en el período señalado, presentando los resultados bajo la forma de datos medios diarios. En forma comparativa a su posición en el terreno y en cuanto a la longitud del récord (total de los registrado vs. lo acontecido durante el año hidrológico) se pudieron obtener conclusiones significativas que luego se aprovecharon en el desarrollo de la estimación de la recarga del sistema subterráneo.

2.1 Intensidad y dirección del viento

Sin duda la variable viento determina una de las características climáticas principales de la región e influye radicalmente en las actividades que se desarrollan en ella. En los tres sitios donde esta variable fue monitoreada se verificó que el cuadrante dominante es el NO – SO y que la intensidad promedio a lo largo de todo el período de observación varió entre 10 y 20 km/h (Fig. 4, izquierda).

Lo distintivo del período abril 2011 – junio 2012 se da, por un lado, en las mayores velocidades observadas en la estación EM2 (Campamento Los Adobes) y, por otro, en la mayor diversidad de orientaciones censadas en la estación EM3 (Ea. Valle Gral. Racedo), donde las direcciones E y ENE compiten en la media con los valores correspondientes al cuadrante Oeste.

En la representación gráfica de la serie temporal de las velocidades del viento (Fig.4, derecha) se aprecian los valores medios distribuidos a largo del año (consignados mediante una media móvil de 90 días), verificándose así las características ya señaladas en los estudios antecedentes, es decir, menores intensidades en el período otoño-invierno y media global en torno a los 20 km/h en los meses más “calientes”. La excepción a este comportamiento se da - otra vez - en la Estación EM3 donde el promedio global es más cercano a los 15 km/h.

En la distribución temporal de las direcciones del viento ocurre algo similar al comprobarse que en la temporada otoño-invierno la dirección media dominante de los vientos es del Oeste (270°), mientras que en la temporada estival (concretamente en los meses de enero, febrero y marzo) existe una rotación de los vientos más frecuentes hacia el Sudoeste (225°).

En la Tabla 3 se presenta un resumen de la estadística descriptiva de estas variables. Los datos se presentan para todo el período de observación y para el año hidrológico comprendido entre el 1/7/2011 y el 30/6/2012. Los valores medios máximos de la velocidad se dan en la EM2 con 54 km/h (39 km/h para el resto de las estaciones) pero se han observado ráfagas en ese mismo sitio de 75 km/h (22/7/2011). Con esto sólo se quiere ilustrar que los valores extremos posiblemente sigan una distribución distinta a lo largo del año calendario; esta hipótesis se podrá comprobar cuando se cuente con una longitud mayor del registro de esta variable.

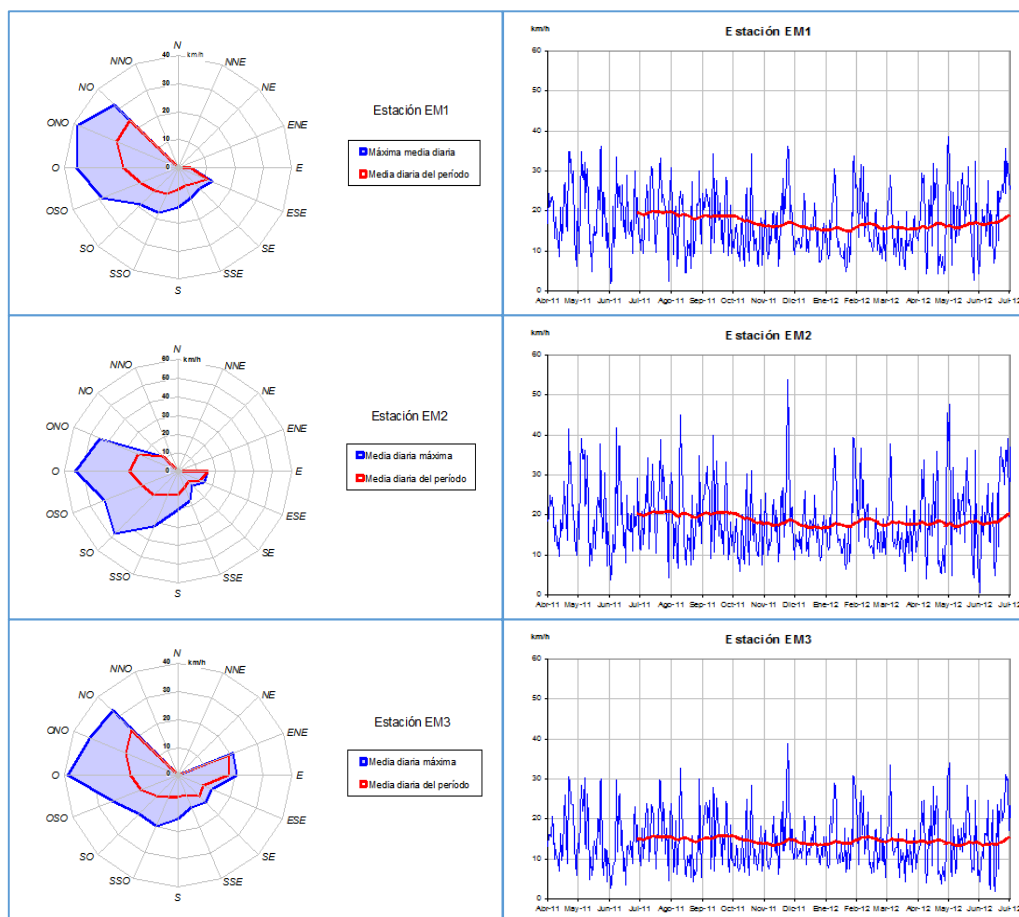


Figura 4 – Intensidad y dirección del viento en las estaciones EM1, EM2 y EM3

Tabla 3 – Estadísticas de la velocidad del viento [Km/h]

Período	01/04/2011 al 30/06/2012			01/07/2011 al 30/06/2012		
Estación	EM1	EM2	EM3	EM1	EM2	EM3
Media =	17,5	19,0	14,7	17,0	18,7	14,7
Mediana =	16,6	17,5	13,2	16,3	17,2	13,2
Moda =	13,5	12,0	17,1	13,5	12,0	7,5
Desvío =	7,7	8,8	7,0	7,5	8,8	6,9
Rango =	36,9	53,4	37,0	36,2	53,4	37,0
Mínimo =	1,8	0,6	1,8	2,5	0,6	1,8
Máximo =	38,6	53,9	38,8	38,6	53,9	38,8
N =	457 días			366 días		

2.2 Temperatura ambiente

La temperatura es otras de las variables que a lo largo del año presentan características esenciales para definir rangos físicos concretos del clima. Fue usada además para estimar la evapotranspiración por el método de Thornthwaite con lo cual su valoración local a paso mensual pasa a tener especial interés. En la Fig. 5 se muestran las series temporales de esta variable acompañadas por la media móvil de 30 días para cada una de las estaciones. En la Tabla 4 se presenta la estadística descriptiva de cada muestra, para luego comparar en un mismo gráfico (Fig. 6) el resumen mensual de dicha información.

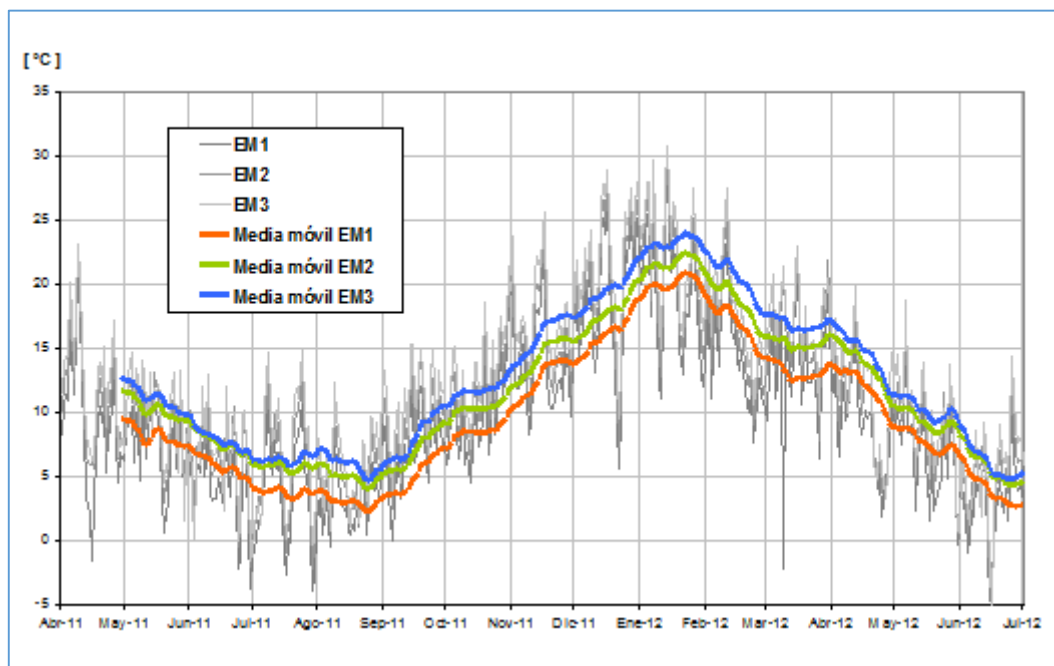


Figura 5 – Series temporales de temperatura [°C] en las estaciones EM1, EM2 y EM3

Tabla 4 – Estadísticas de la temperatura [°C]

Período	01/04/2011 al 30/06/2012			01/07/2011 al 30/06/2012		
Estación	EM1	EM2	EM3	EM1	EM2	EM3
Media =	9,7	11,5	12,6	10,3	12,1	13,3
Mediana =	9,1	11,0	12,1	10,0	11,9	13,3
Moda =	3,3	8,7	14,5	8,1	2,3	11,2
Desvío =	6,4	6,3	6,7	6,7	6,6	7,0
Rango =	33,1	33,5	36,1	33,1	33,5	36,1
Mínimo =	-4,7	-3,6	-5,2	-4,7	-3,6	-5,2
Máximo =	28,4	29,9	30,9	28,4	29,9	30,9
N =	457 días			366 días		

De la Tabla 4 también se puede comprobar la dependencia de los registros de temperatura con la altura, resultando aproximadamente 2°C menor (10,3°C) la media anual en la EM1 y un grado mayor (13,3°C) en la EM3.

Finalmente, como puede apreciarse en la Fig. 6, los valores medios mensuales en la EM2 son muy similares a los obtenidos en el análisis de la serie histórica de la Est. Los Altares (SSRH, serie 1991-2011) ubicada a 60 Km del área bajo estudio, con 21°C para el mes más cálido (Enero) y menor a 5 °C para los meses más fríos. La temperatura media anual (julio 2011 a junio 2012) en la EM2 es de 12,1°C contra 12,3°C en Los Altares.

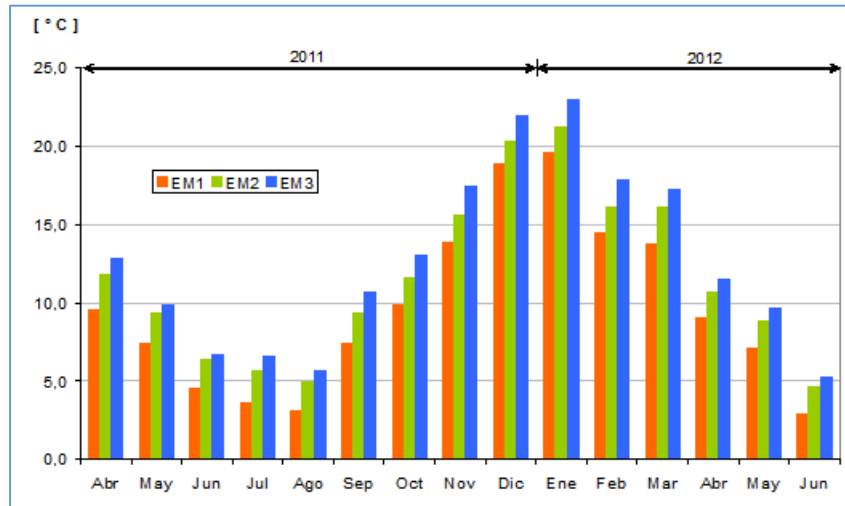


Figura 6 – Valores medios mensuales de la temperatura [°C] en EM1,EM2 y EM3

La serie de Temperaturas de la EM2 es todavía muy corta, pero por el momento puede aceptarse que no es una mala hipótesis haber trabajado con los valores históricos de la Est. Los Altares para caracterizar el clima de la región y haber estimado con ellos la evapotranspiración de paso mensual.

2.3 Humedad relativa

En una región árida como la que se estudia aquí y con la permanencia comprobada de los vientos a lo largo de todo el año, esta variable generalmente presenta valores alejados de la saturación. No obstante, interesa conocer su evolución anual y diferenciar sus características para las diferentes altitudes de medición. Además, es importante analizar la Humedad en conjunto con la Precipitación y constatar la ocurrencia contemporánea de sus valores máximos en el invierno. Este hecho permite una vez más confirmar las características del Régimen pluvial Pacífico e influye directamente en la promoción de ingresos (recarga) al sistema subterráneo (Hernández et al., 2010).

En la Fig. 7 se presentan las series medias diarias en conjunto con las medias móviles de 30 días. Es evidente que también en este caso hay una dependencia directa de la Humedad con la altitud de la estación.

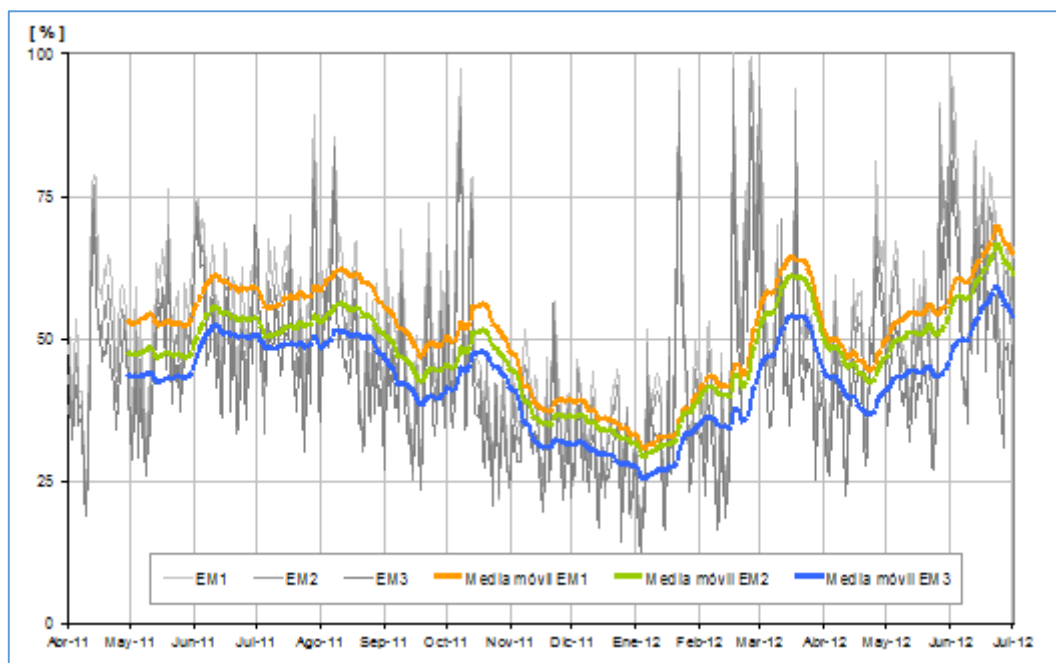


Figura 6 – Series de la Humedad relativa [%] en EM1,EM2 y EM3

La marcha de la humedad relativa a lo largo del año es inversa a lo ya comentado con la temperatura: alta humedad relativa en invierno y baja en los meses estivales. Este comportamiento no sólo se refleja en los valores medios sino que afecta también a los valores mínimos y máximos registrados (Tabla 5).

Tabla 5 – Estadísticas de la Humedad relativa [%]

Período	01/04/2011 al 30/06/2012			01/07/2011 al 30/06/2012		
Estación	EM1	EM2	EM3	EM1	EM2	EM3
Media =	51,4	47,7	42,8	50,4	47,2	42,0
Mediana =	50,7	46,3	40,9	48,5	45,1	39,5
Moda =	51,9	42,9	39,4	51,9	42,9	39,4
Desvío =	16,2	15,0	14,2	17,1	15,8	14,7
Rango =	83,4	81,2	76,6	83,4	81,2	76,6
Mínimo =	16,6	16,1	12,6	16,6	16,1	12,6
Máximo =	100,0	97,3	89,1	100,0	97,3	89,1
N =	457 días			366 días		

Por último es interesante mencionar que para la estación de referencia (EM2) el promedio de humedad del año hidrológico es de 47% con valores mínimos por debajo del 20% en los meses del verano, lo cual da una magnitud de la capacidad potencial de recepción de vapor de agua en la atmósfera para ese período.

2.4 Precipitación

Es la principal entrada de agua al sistema hidrológico y como tal se ha puesto mucha atención sobre esta variable. En la Figura 7 se destacan las lluvias de Abril y Octubre de 2011 y de los meses de Febrero, Marzo y junio de 2012. Los acumulados del período abril 2011 – junio 2012 son de 228,3 mm, 137,8 mm y 142,8 mm para las estaciones EM1, EM2 y EM3, respectivamente. Los valores del año hidrológico (julio 2011 - junio 2012) fueron de 190,5 mm, 116,0 mm y 121,3 mm.

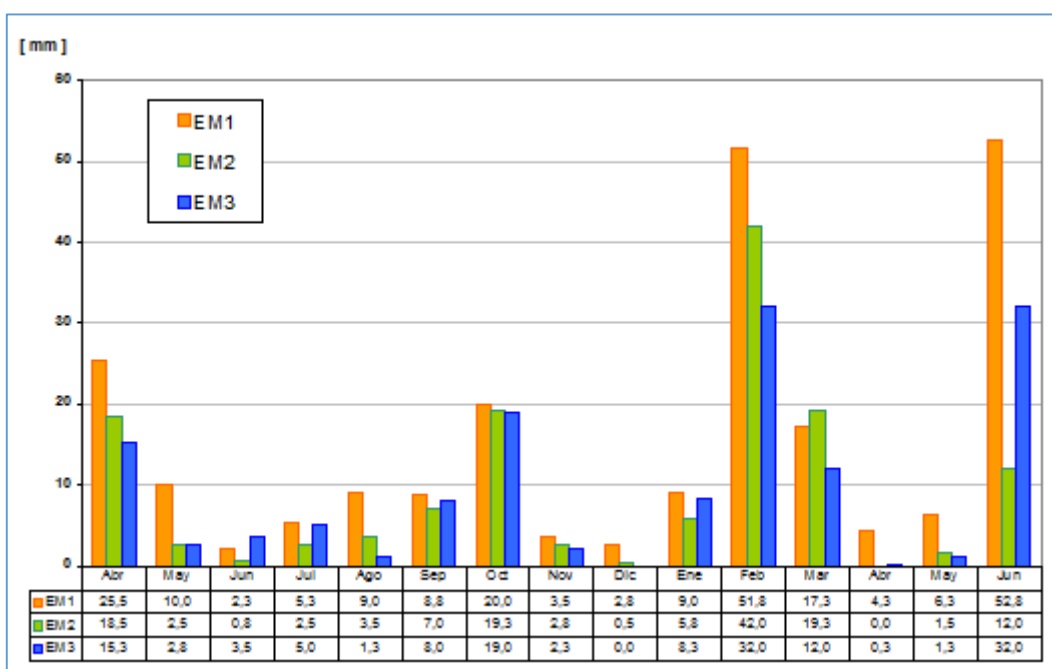


Figura 7 – Precipitación mensual [mm] en EM1,EM2 y EM3

Hay tendencia a la recuperación en el año hidrológico 2011-2012, con valores anuales más cercanos al promedio histórico de 145 mm en Los Altares. En los 9 meses de 2011 sólo llovieron 87 mm en la EM1, 62 mm en la EM2 y 57 mm en la EM3; en todos los casos, la mitad de lo esperado a pesar de no contar con los registros del primer trimestre pero conociendo que ese período es el más bajo en precipitaciones.

Las lluvias sí parecen responder al comportamiento ya descrito de concentrar en el ciclo otoñal-invernal el mayor volumen del año.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las series analizadas son todavía de registro muy corto pero, en función de los análisis efectuados, se concluye que fue un acierto instalar esta red de estaciones a diferentes cotas de manera de poder caracterizar en forma más detallada las variables atmosféricas.

Las estaciones instaladas son de funcionamiento automático y dependen únicamente del suministro local de energía (en este caso una batería sellada de 12 V y el respaldo de un panel solar que restablece la carga durante el día). De acuerdo con la configuración inicial del tiempo de muestreo, las estaciones tienen memoria suficiente como para almacenar 10.000 registros por cada canal o línea de comunicación con los sensores (termómetro, pluviómetro, anemómetro, veleta, etc.). Para intervalos de registro de media hora, como en el funcionamiento actual, la autonomía de cada estación es de aproximadamente 6 meses hasta que los datos comiencen a solaparse en memoria. La transmisión del dato vía satélite cada 3 horas permite un resguardo seguro de la información capturada por los sensores, permitiendo de esta forma que el uso de la memoria sea a capacidad completa en forma permanente sin tener que reconfigurarse.

No obstante lo anterior, es recomendable que las estaciones sean visitadas cada 2 meses como máximo para realizar tareas de limpieza, comprobar el funcionamiento del panel solar, su regulador de voltaje y la carga de la batería. Tampoco es recomendable exceder ese lapso para poder garantizar que la bajada de datos se pueda hacer en un tiempo razonable (aproximadamente 10' por cada canal de medición) y el posterior análisis de la información que, a su vez, es la mejor forma de comprobar si los sensores están funcionando correctamente. No menor es el hecho de verificar además el estado general de las instalaciones, la verificación en campo de algún evento extremo (tormenta, vientos intensos, depósitos de cenizas volcánicas, etc.). A propósito de esto, en junio y julio de 2011 se experimentaron los efectos de la erupción del volcán Puyehue de Chile, que inició su actividad el 4 de junio de ese año. Si bien el gabinete principal de la estación estaba sellado con burletes de goma, en los días de viento extremo se comprobó la entrada del material volcánico más fino que pudo ser eliminado con una simple limpieza con pincel de cerda suave. Pero sin duda los elementos más sensibles son los sensores expuestos (el pluviógrafo, la veleta, el anemógrafo y el sensor de radiación) y el panel solar. Los más difíciles de limpiar son este último y el pluviógrafo porque ofrecen grandes superficies para retener material y humedad (en especial en invierno), lo cual forma una "pasta" que sólo puede ser removida con cepillos y paños absorbentes.

Por último, cada 2 años también es recomendable realizar el re-calibrado de todos los sensores, para lo cual deberá contarse con al menos un par de juegos completos de los mismos para que se pueden desmontar los que están en uso y poder enviarlos por turnos al laboratorio de ensayo.

REFERENCIAS

- Álvarez, M., Trovatto, M.M., Hernández, M.A. y González, N., 2012. Groundwater flow model, recharge estimation and sustainability in an arid region of Patagonia, Argentina". *Environmental Earth Sciences*, Vol.66(7), pp.2097-2108.
- Hernández, M.A., González, N. y Hernández, L., 2010. Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas de Argentina. *Rev. Latino-Americana de Hidrogeología*, 7:71-77
- World Meteorological Organization, 2008. *Guide to meteorological instruments and methods of Meteorological observation*. WMO-N°8, 7a. Edición, Ginebra, Suiza