

Señales de las sequías y LA NIÑA en los niveles freáticos de la Provincia de Santa Fe

María del Valle VENENCIO^{(*) (**) (a)} y Norberto O. GARCÍA^(**)

^{*} Instituto Nacional del Agua – Universidad Nacional del Litoral

^{**} Universidad Nacional del Litoral

^(a) P. Cullen 6161 (3000) Santa Fe, Tel. (54 342) 460 5910. E-mail: mvenencio@arnet.com.ar

RESUMEN

Se analizó la respuesta del acuífero libre durante las sequías y la ocurrencia del fenómeno LA NIÑA en la Provincia de Santa Fe, asociada a la variabilidad climática estacional e interanual. Las sequías se analizaron con criterio decílico de la precipitación y los años LA NIÑA se definieron según el criterio de Bradley et al. (1987), que se encuentran comprendidos en los años compuestos propuestos por Ropelewski y Halpert (1987, 1989). El comportamiento del nivel freático se estableció mediante un análisis espectral convencional y el uso de diales armónicos. La precipitación como el nivel freático manifestaron comportamientos diferentes tanto en períodos de sequía como en los años LA NIÑA, por cuanto los años LA NIÑA no presentan la misma uniformidad que los años de sequía. También se verificó que durante los años LA NIÑA se produjo una disminución generalizada de la recarga por precipitación pero que es menor que la operada durante los períodos secos. Esto corrobora que no todos los años LA NIÑA se corresponden con los años de sequía y se debe a que no en todas las localidades los años LA NIÑA fueron secos. Con respecto a la variabilidad temporal del acuífero se observó que la variación de amplitud del primer y segundo armónico del nivel freático entre los años de sequía y los años LA NIÑA es muy pequeña.

Palabra clave: *Señales, interacción atmósfera-acuífero, sequías, LA NIÑA.*

INTRODUCCIÓN

Venencio y García (2003), en su trabajo “Impacto de la Disminución de la Recarga Natural en el Acuífero Libre en la Provincia de Santa Fe”, se refirieron a la región en estudio en los siguientes términos:

“La región de estudio está centrada en la Provincia de Santa Fe y se propende a contribuir al conocimiento del comportamiento de la relación “clima-acuífero libre”, utilizando la información disponible de precipitación y nivel freático de las localidades indicadas en la Figura 1, particularmente en los períodos de sequía, ya que durante ellos la explotación del agua subterránea se intensifica. El nivel freático medio regional se supuso afectado únicamente por la variabilidad climática. En este contexto se determinaron relaciones entre las variabilidades internas de la precipitación y el nivel freático para situaciones de sequía del sistema durante los últimos treinta años del siglo XX.

En los últimos años extensas regiones de las provincias de Buenos Aires, Chaco, Córdoba y Santa Fe, han sido afectadas por fluctuaciones climáticas que le produjeron graves perjuicios, tanto por inundaciones (producto de lluvias locales) como por sequías. El régimen de precipitaciones de los últimos 30 años se ha caracterizado por un cambio intra-anual y un aumento generalizado de los montos anuales de lluvias. Esto se manifestó con un corrimiento hacia el oeste en las isohietas, indicativo de aumentos relativos de la precipitación de un 25% en la provincia de Santa Fe (García, 1994). Los montos de agua caída son del orden de los 1100 mm en el este de la provincia de Santa

Fe, disminuyendo gradualmente a 850 mm en el oeste, con una orientaciones general de las isohietas norte-sur. En lo que a temperatura se refiere, se tienen veranos cálidos y húmedos, con inviernos templados y secos. Esta región tiene un régimen de precipitación anual con valores mínimos en invierno (Junio-Julio-Agosto), pero sin una estación seca bien definida, mientras que los máximos se producen en verano (Enero-Febrero-Marzo) (García, 1990).

Respecto al subsuelo, entre las formaciones geológicas superficiales -en el contexto hidrogeológico considerado-, están compuestas por sedimentos de diferentes edades y ambientes de sedimentación. El horizonte más antiguo de edad Mioceno y origen marino (Manavella y Venencio, 1995), que corresponde a la Formación Paraná, denominadas como arcillas verdes está constituida por mantos de arcilla y arenas arcillosas intercaladas de típico color verde o verde azulado. Hacia arriba y en discordancia erosiva, estos sedimentos están cubiertos por las arenas de la Formación Puelche, depositadas por el río Paraná en épocas geológicas pasadas (Plio-Pleistoceno). Conformada por arenas cuarzosas, maduras, de colores amarillentos, comúnmente de grano fino a mediano con intercalaciones de gravilla en sus niveles inferiores. Presenta horizontes discontinuos de arcilla y arena arcillosa intercalada”.

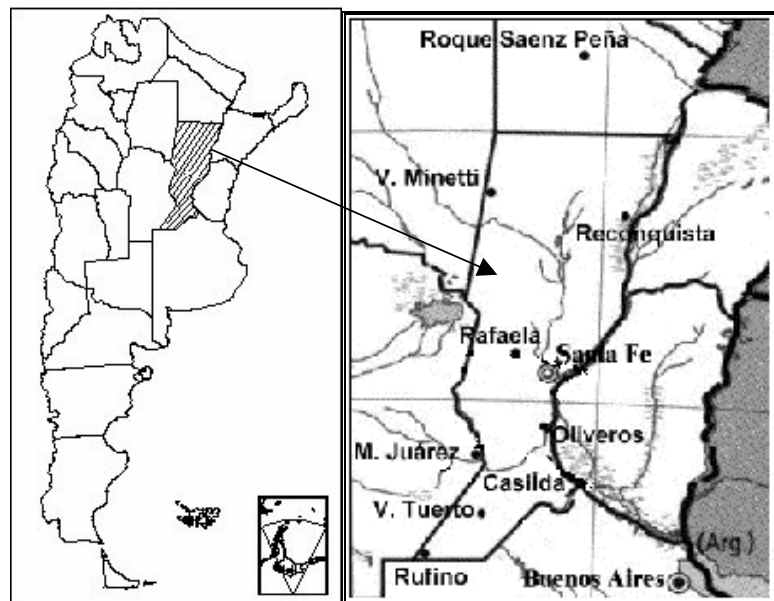


Figura 1. Mapa de ubicación de la región en estudio.

Como la región de estudio es la misma, siguen teniendo vigencia los conceptos vertidos precedentemente.

El enfriamiento anormal de las aguas del océano Pacífico ecuatorial, al que se denomina LA NIÑA, está acompañado por una cadena de fenómenos oceánicos y atmosféricos notables, como son, entre otros, disminución de los montos de precipitación en una vasta región del Sudeste de Sudamérica, donde está inserta la Provincia de Santa Fe.

Por su parte, los períodos secos se caracterizan en base a los déficit de agua precipitada. Cabe aquí hacer una aclaración conceptual, por cuanto el uso de la palabra sequía solo tendrá connotaciones meteorológicas y se referirá únicamente a períodos con déficit de precipitación desde el punto de vista estadístico.

Este trabajo propende a diferenciar los conceptos asociados al déficit en la disponibilidad de agua, tales como los vinculados a las sequías y a los eventos LA NIÑA, que como se verá no siempre son coincidentes.

METODOLOGÍA Y DATOS

De los Datos

Para la realización del trabajo se utilizó la información pluviométrica y freaticométrica de las estaciones indicadas en la Tabla 1. En ella se puede observar que no existe un registro de longitud uniforme, tanto de lluvias como de nivel freático, aunque todas ellas se caracterizan por la buena calidad de los datos.

Tabla 1. Estaciones seleccionadas y períodos de información simultánea de precipitación y nivel freático

(*) varios periodos interrumpidos (de Venencio y García, 2003).

Estación	Lat.	Long.	Altitud	Precipitación	Período Nivel Freático	Período Simultáneo Utilizado
Roque S. Peña	26° 52' S	60° 27' W	90 m	1924/2001	1956/2000	1956/2000
Reconquista	29° 07' S	59° 24' W	53 m	1911/2001	1977/2001	1977/2001
Villa Minetti	28° 37' S	61° 37' W	72 m	1937/2001	(*)	1981 y 1988 (*)
Rafaela	31° 11' S	61° 33' W	100 m	1904/2001	1969/2001	1970/2001
Oliveros	32° 33' S	60° 51' W	27 m	1951/2001	1970/2001	1970/2001
Zavalla	33° 06' S	60° 53' W	50 m	1973/2001	1973/2001	1973/2001
Marcos Juárez	32° 92' S	62° 15' W	110 m	1910/2001	1970/2001	1970/2001
Casilda	33° 05' S	61° 10' W	90 m	1901/1999	=	=
Venado Tuerto	33° 45' S	62° 07' W	105 m	1911/1997	=	=
Rufino	34° 15' S	62° 45' W	115 m	1902/1981	=	=

De los Criterios para la Definición de Sequías

La detección de años con déficit de agua, o de aquellos años en que pudieron haberse producido sequías estacionales se realizó mediante la aplicación del criterio decílico, ordenando las series de precipitación por año hidrológico e intervalos de clases o deciles sobre el registro completo de las lluvias que cayeron en cada puesto pluviométrico durante el Siglo XX. Si la precipitación se encuadra dentro de los tres primeros deciles se considera que el año o la estación corresponde a un período seco, considerando los períodos secos que se encuadren dentro del primer decil como “fuertes”, en el segundo decil como “moderados” y los que correspondan al tercer decil como “débiles”.

Del análisis espectral

El análisis espectral se basa en la suposición de que la suma de la contribución de dos frecuencias al valor de la variable es una función lineal de la contribución de cada frecuencia. Sin embargo, la suposición de superposición lineal puede esperarse que tenga validez aproximada, o que sea no válida, cuando la amplitud de una de las componentes interactuantes es considerablemente mayor que la otra. En los procesos hidrometeorológicos es más razonable aceptar que los fenómenos de gran escala, que generalmente tienen frecuencias bajas, modulen la intensidad de los fenómenos de menor escala, que generalmente tienen frecuencias altas.

El objetivo del análisis armónico en este trabajo es la representación de los fenómenos mediante la amplitud y el ángulo de fase de los armónicos significativos. Usando el espectro de potencia es posible determinar la amplitud de cada armónico significativo, mientras que la función arcotangente es usada para determinar su fase. Para representar espacial y temporalmente estos resultados se utilizaron diales armónicos siguiendo el criterio adoptado por Ropelewski y Halpert (1987,1989) que establecieron el origen temporal contando a partir del norte de un gráfico polar, en el cuál al norte se le asigna Enero (0) y mediante una rotación horaria se fija un mes cada 15°; esto hace que al sur del diagrama le corresponda Enero (1). La característica del fenómeno en estudio está dada por la magnitud del vector.

RESULTADOS

Precipitación por Año Hidrológico y Estacional

En el presente trabajo se observa que los períodos secos más generalizados que cubrieron espacialmente con diferentes grados de intensidad, toda la provincia correspondieron a 1969, 1971, 1981, 1988, y 1996. Considerando los años secos más críticos 1988 y 1996, el déficit de agua se manifestó en el centro-sur de la provincia hasta Venado Tuerto, (excluido el extremo sur). Los años con déficit de agua coinciden, en general, con el fenómeno LA NIÑA únicamente en 1988 y parcialmente en 1970, 1973, 1975, 1995, 1998 y 1999. Cabe aclarar que en 1969, 1971, 1974, 1976 a 1979, 1981 a 1984, 1987, 1993-1994 y 1996 se registraron déficit de agua en distintas localidades no coincidentes con el fenómeno LA NIÑA.

Desde el punto de vista estacional (Tablas 2a y 2b) los períodos con déficit de agua fueron mucho mas frecuentes que a nivel anual, también se observan diferencias entre los años secos y las estaciones secas, que no son siempre coincidentes. En este sentido se observa una mayor frecuencia de períodos secos invernales y estaciones de transición.

Tabla 2a. Sequías estacionales 1969/2000 [Fuertes (rojo), Moderadas (verde), Débiles (azúl)]

Año	R.S.Peña				Reconquista				V.Minetti				Rafaela				Oliveros			
	S O N	D E F	M A M	J J A	S O N	D E F	M A M	J J A	S O N	D E F	M A M	J J A	S O N	D E F	M A M	J J A	S O N	D E F	M A M	J J A
1969			*	X				#	#								#	#		
1970		#	*				#	#		#				*	#	#				
1971	*	X			*	#			X			#	*	*	*					
1972																				
1973	X			X			#				#		#		X	#				
1974	*			X				X		*			X							
1975		X		*		*			X	#	#	#								
1976			X	#			*									*	*			
1977									#		*									
1978			X	X					#		*									
1979			#		#	#				#		#			#					
1980		*								*		#								
1981					#	X			#	#						X	X			
1982									*					*						
1983	*			#		#				#		#	*							*

1999	X			#		*													
2000																			

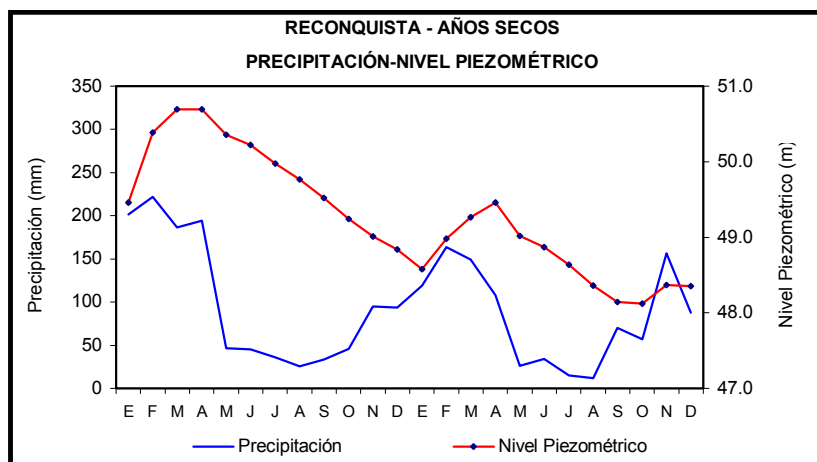
Estas tablas son prácticas para el manejo con precisión de las fechas de los períodos con sequías.

Desde el punto de vista de los montos relativos de agua caída, se observa que se producen períodos secos más intensos en otoño, invierno y primavera que durante el verano o a nivel anual. Esto es debido a las características convectivas de las lluvias de verano, donde una sola tormenta puede disimular en los promedios, todo un período seco.

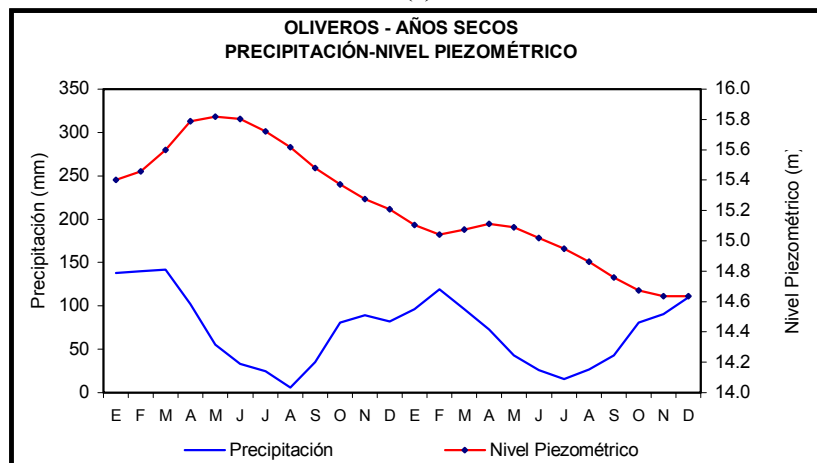
Precipitación y Nivel Freático por Año Compuesto Seco

De acuerdo al criterio de Ropelewski y Halpert (1987, 1989), se entiende por año seco compuesto a aquel período de veinticuatro meses consecutivos que comienzan en enero del año en que da inicio un año hidrológico seco (año [0]), y finaliza en diciembre del año siguiente (año [1]).

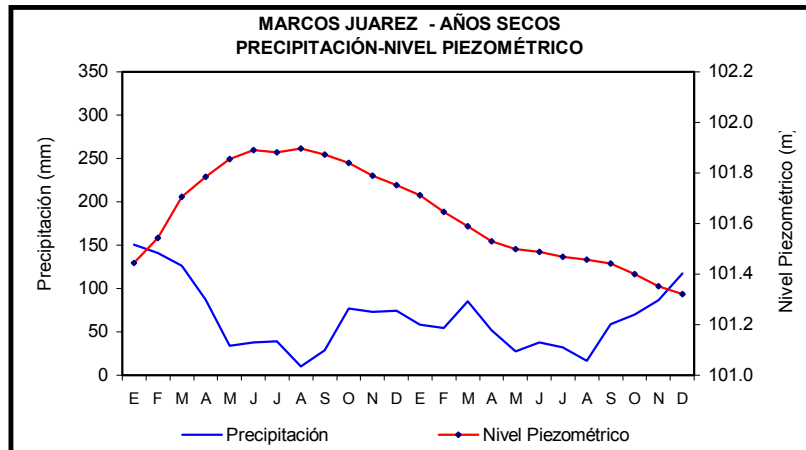
Si se analiza el nivel freático durante los años secos (Figuras 2 [a-b-c]) se observa, sin excepción, una depresión gradual en el tiempo del nivel de agua alcanzando su máxima profundidad al final del año (1).



(a)



(b)



(c)

Figuras 2 [(a) a (c)]. Precipitación y nivel freático medio mensual durante los años secos

En cuanto a la precipitación debido a su alta variabilidad, como ya se mencionó, no se observa idéntico comportamiento al del nivel freático. No obstante los montos medios de agua caída están asociados a la respuesta del acuífero durante los períodos secos analizados.

Análisis Espectral de los Años Secos de la Precipitación

El comportamiento espacial y temporal de los períodos secos se refleja en los resultados de la Tabla 3. En ésta se vuelcan los valores de amplitud y fase de los tres armónicos más significativos de las series correspondientes a los años secos compuestos.

Tabla 3. Amplitud y fase de los tres primeros armónicos de la precipitación de los años secos.

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO		SEGUNDO ARMÓNICO		TERCER ARMÓNICO	
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase
Roque S. Peña	10.3517	10.1607 rad.	51.7401	3.6985 rad.	11.4444	6.8467 rad.
Reconquista	22.3210	2.9400 rad.	58.5660	2.4802 rad.	5.2439	5.5671 rad.
Villa Minetti	36.3924	5.1712 rad.	57.1150	2.5056 rad.	3.9827	9.8317 rad.
Rafaela	9.5186	6.9639 rad.	49.0752	3.2645 rad.	4.0871	6.8461 rad.
Oliveros	15.3516	4.5604 rad.	50.7808	3.3298 rad.	5.9442	2.2437 rad.
Zavalla	14.8273	4.8295 rad.	48.1928	3.3653 rad.	6.7037	0.2350 rad.
Marcos Juárez	22.3300	4.6511 rad.	43.0858	3.8486 rad.	9.2675	0.4089 rad.
Casilda	27.5338	4.3920 rad.	47.6800	3.8159 rad.	15.8954	1.4503 rad.
Venado Tuerto	5.7989	3.4913 rad.	48.0504	3.6089 rad.	5.2742	2.6416 rad.
Rufino	15.3974	5.7705 rad.	36.8276	4.3358 rad.	5.8935	5.9382 rad.

Tanto las lluvias de verano como las sequías invernales acentúan la amplitud del segundo armónico, que contiene información de los montos de lluvia además de representar al ciclo anual de la precipitación, mientras que las sequías de verano lo atenúan. La varianza explicada se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Varianza explicada de los tres primeros armónicos de la precipitación

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO (Varianza Explicada)	SEGUNDO ARMÓNICO (Varianza Explicada)	TERCER ARMÓNICO (Varianza Explicada)
Roque S. Peña	3.43 %	85.69 %	4.19 %
Reconquista	10.48 %	72.13 %	0.58 %
Villa Minetti	16.12 %	56.49 %	0.19 %
Rafaela	2.25 %	59.88 %	0.42 %
Oliveros	7.67 %	83.93 %	1.15 %
Zavalla	7.47 %	78.95 %	1.53 %
Marcos Juárez	18.05 %	67.20 %	3.11 %
Casilda	17.14 %	51.4 %	5.71 %
Venado Tuerto	1.14 %	78.6 %	0.95 %
Rufino	9.20 %	52.61 %	1.35 %

Para representar espacial y temporalmente estos resultados se utilizaron diales armónicos siguiendo el criterio adoptado por Ropelewski y Halpert (1987,1989) que establecieron el origen temporal contando a partir del norte de un gráfico polar, en el cual al norte se le asigna Enero (0) y mediante una rotación horaria se fija un mes cada 15°; esto hace que al sur del diagrama le corresponda Enero (1). La característica del fenómeno en estudio está dada por la magnitud del vector.

De esta manera, se muestra el comportamiento espacio-temporal de los años secos promedio y se representa sobre un mapa de la región los diales armónicos (amplitud y fase) de las dos primeras componentes espectrales (Figura 3), donde la segunda (rojo) es la más significativa; mientras que la primera (azul) indica su relación con la región EL NIÑO.

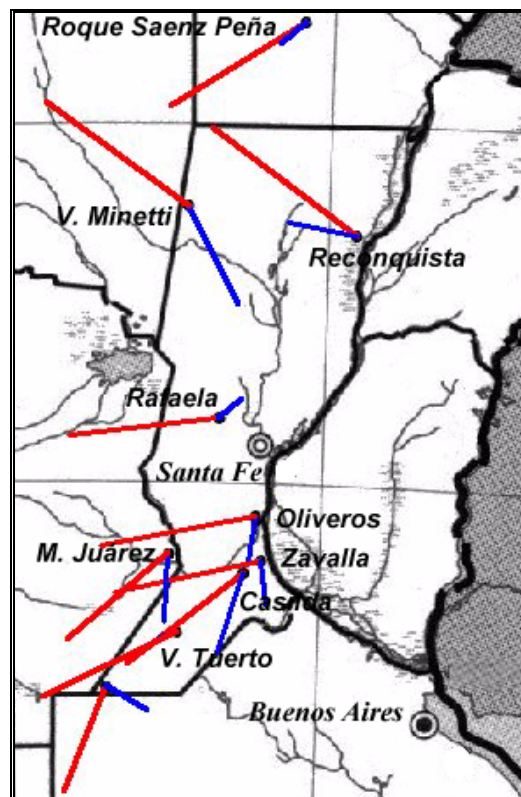


Figura 3. Diales armónicos correspondientes a los años secos promedio de la precipitación

Análisis Espectral de los Años Secos del Nivel Freático

A los años compuestos del nivel freático que corresponden a los años secos también se le realizó idéntico análisis espectral con fines comparativos.

El comportamiento espacial y temporal del nivel freático durante los períodos secos se refleja en los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5. Amplitud y fase de los tres primeros armónicos del nivel freático de años compuestos secos

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO		SEGUNDO ARMÓNICO		TERCER ARMÓNICO	
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase
Roque S. Peña	0.2532	0.0288 rad.	0.1305	0.6936 rad.	0.0466	0.9958 rad.
Reconquista	0.7765	0.6799 rad.	0.6858	2.2710 rad.	0.1603	1.9244 rad.
Villa Minetti	1.8927	0.4739 rad.	0.2770	0.4612 rad.	0.4494	0.2414 rad.
Rafaela	0.6530	0.1119 rad.	0.1168	4.4265 rad.	0.0858	1.8409 rad.
Oliveros	0.4482	0.9134 rad.	0.2120	3.7458 rad.	0.0725	2.7943 rad.
Zavalla	0.6048	1.6275 rad.	0.1869	2.2528rad.	0.0983	2.3755 rad.
Marcos Juárez	0.2517	2.6350 rad.	0.0659	6.4436 rad.	0.0409	6.7709 rad.

Para visualizar el comportamiento espacial y temporal del nivel freático durante los períodos secos también se utilizó la técnica de representación sobre un mapa de la región de los diales armónicos (amplitud y fase) de las dos primeras componentes espectrales, pero aquí el armónico significativo es el primero (azul). Estos resultados se representan resumidos en la Figura 4, donde se observa una caracterización regional similar a la de las lluvias, con el norte homogéneo respecto del primer armónico y el centro-sur también. Rafaela en una zona que parece ser de transición entre el norte y el sur mientras que Marcos Juárez presenta un comportamiento bien diferenciado.

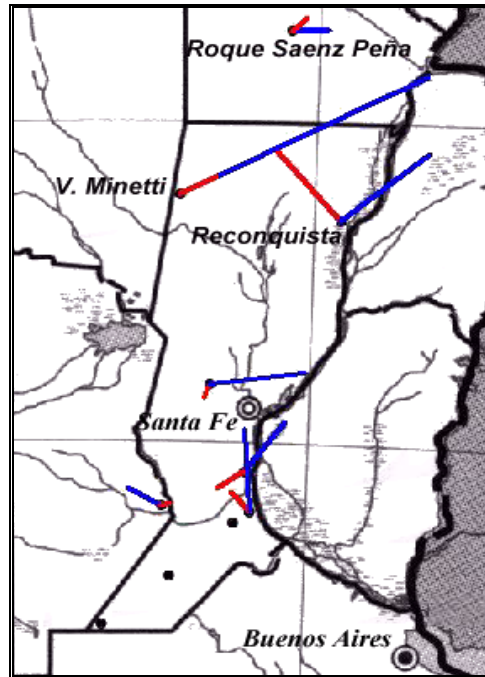


Figura 4. Diales armónicos del nivel freático correspondientes a los años secos compuestos promedio (primer armónico en azul y segundo armónico en rojo)

En la Tabla 6 se indica la varianza explicada de los tres primeros armónicos del nivel freático.

Tabla 6. Varianza explicada de los tres primeros armónicos de los niveles freáticos

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO		SEGUNDO ARMÓNICO		TERCER ARMÓNICO	
	(Varianza Explicada)		(Varianza Explicada)		(Varianza Explicada)	
Roque S. Peña	66.83 %		17.75 %		2.26 %	
Reconquista	51.01 %		39.80 %		2.18 %	
Villa Minetti	89.33 %		1.91 %		5.03 %	
Rafaela	90.08 %		2.88 %		1.56 %	
Oliveros	77.99 %		17.45 %		2.04 %	
Zavalla	80.48 %		7.69 %		2.13 %	
Marcos Juárez	90.58 %		6.21 %		2.39 %	

Análisis de los Años “LA NIÑA” durante 1970-2001

Se verificó si los años secos corresponden al mismo comportamiento que los años LA NIÑA; para ello se analizaron los años LA NIÑA según el criterio de Ropelewski y Halpert (1987,1989) que establece que el mes en el cuál la relación es más significativa del año LA NIÑA es el indicado por el ángulo de fase del primer armónico, mientras que la amplitud es indicadora de la intensidad de la relación entre las TSMs en el océano Pacífico ecuatorial central (regiones EL NIÑO) y la precipitación o nivel freático, en consecuencia el análisis se realizó sobre esta base.

Análisis de la precipitación de los Años “LA NIÑA”

En la Tabla 7 se muestra que la amplitud del segundo armónico de la precipitación, en promedio, es mayor que la amplitud media del segundo armónico de la precipitación de los años secos. Esto ratifica que durante los años LA NIÑA los montos de precipitación fueron mayores a los de los años secos.

Tabla 7. Amplitud y fase de los tres primeros armónicos de la precipitación de los años LA NIÑA

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO		SEGUNDO ARMÓNICO		TERCER ARMÓNICO	
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase
Roque S. Peña	9.5576	5.4692 rad.	64.4123	3.09 rad.	6.1778	7.7738 rad.
Reconquista	17.1328	4.7683 rad.	73.0025	2.2712 rad.	8.8206	11.564 rad.
Villa Minetti	4.6372	6.8960 rad.	74.9655	3.1578 rad.	12.0604	9.9007 rad.
Rafaela	12.4605	3.7833 rad.	63.7499	2.6155 rad.	3.4658	2.1454 rad.
Oliveros	8.7250	4.5577 rad.	55.2833	3.1581 rad.	3.5646	0.0418 rad.
Zavalla	13.1339	6.4294 rad.	50.6747	3.2403 rad.	3.352	2.8868 rad.
Marcos Juárez	5.7064	4.9425 rad.	50.1806	3.7908 rad.	2.6259	2.751 rad.
Casilda	9.1910	10.850 rad.	57.1931	2.8282 rad.	9.7546	9.1921 rad.
Venado Tuerto	16.4234	4.1976 rad.	51.6087	2.8072 rad.	14.4301	4.7402 rad.
Rufino	16.4069	7.1624 rad.	40.274	3.7385 rad.	14.5167	0.0382 rad.

La información contenida en la Tabla 7, está representada en la Figura 5, donde los diales expresan gráficamente la variabilidad espacio-temporal de la precipitación.

Los diales armónicos indican para los años LA NIÑA, al segundo armónico como el más significativo al igual que en el caso de los años secos. Aquí también se observa una regionalización

similar a la de los años secos. La región al norte de Rafaela no tiene la misma caracterización que el sur de la Provincia, aunque en este caso Marcos Juárez acompaña el comportamiento de Rufino. Esta comparación puede ser cuantificada en términos de la variación de la amplitud, referida a los años LA NIÑA (Tabla 8).

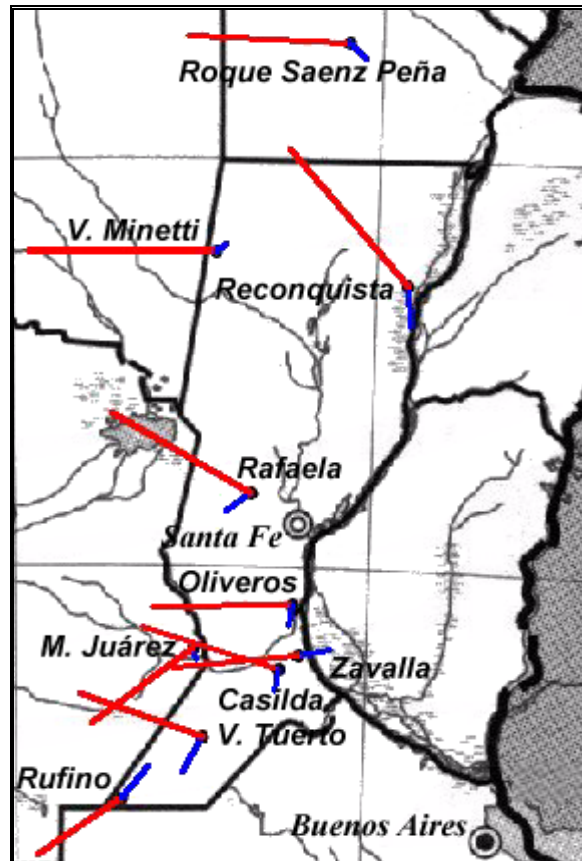


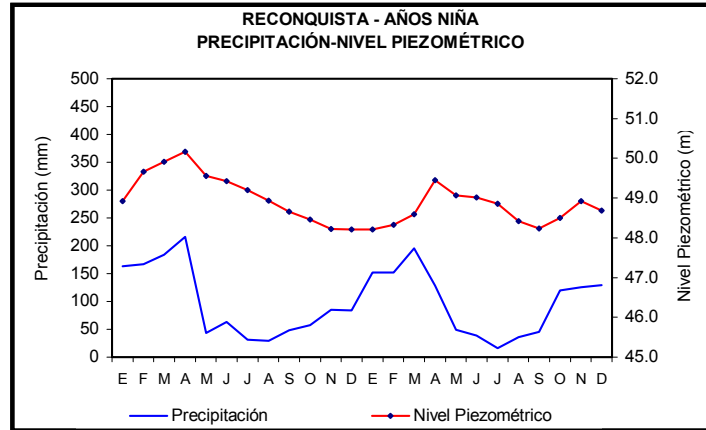
Figura 5. Diales del 1er. armónico (azul) y 2do. armónico (rojo) de la precipitación correspondientes a los años LA NIÑA.

Tabla 8. Variación de la amplitud del segundo armónico de los años secos respecto del correspondiente a los años LA NIÑA.

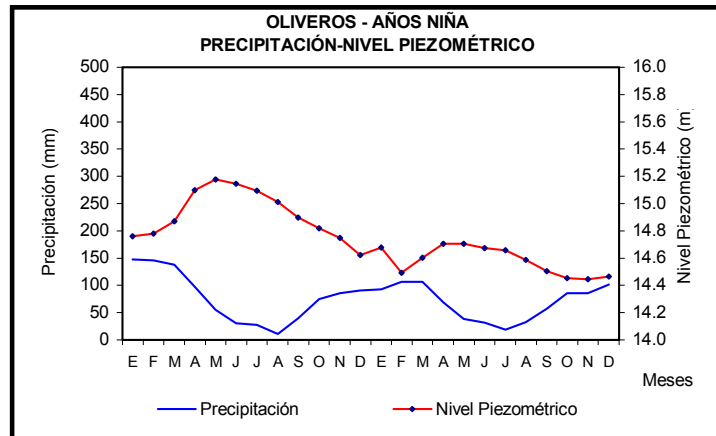
LOCALIDAD	Δ Amplitud Segundo Armónico
Roque Saenz Peña	12.67
Reconquista	14.43
Villa Minetti	17.85
Rafaela	14.67
Oliveros	4.50
Zavalla	2.48
Marcos Juárez	7.09
Casilda	9.51
Venado Tuerto	3.55
Rufino	3.44

Análisis del Nivel Freático de los Años “LA NIÑA”

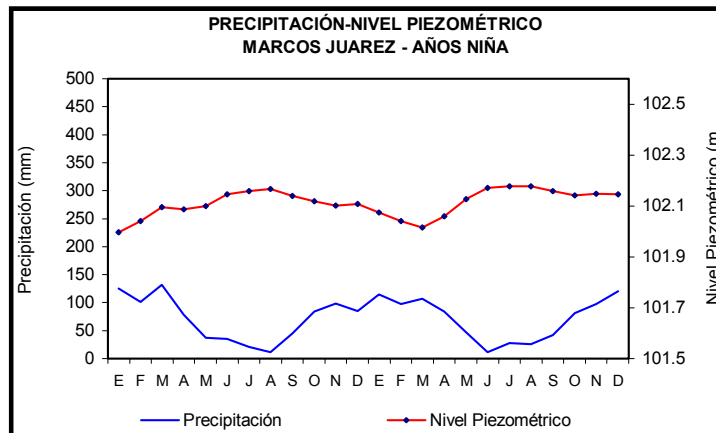
El comportamiento del nivel freático en los años LA NIÑA (Figuras 6 [(a) a (c)]) no presenta la misma uniformidad que se pudo apreciar en los años secos. Esto se debe a que no en todas las localidades, los años LA NIÑA fueron secos.



(a)



(b)



(c)

Figuras 6 [a-c]. Comportamiento del nivel freático durante los años LA NIÑA

Con la Tabla 9 se sintetiza lo expresado precedentemente, dado que se observan magnitudes mayores en la variación de los niveles en los años secos que los años LA NIÑA. Esto se debe a que los montos de agua caída durante los años LA NIÑA fueron mayores a los de los años secos como se puntualizó.

Tabla 9. Comparación entre años secos y años LA NIÑA

Localidad	Años Secos		Años LA NIÑA	
	P (mm)	ΔNF (m)	P (mm)	ΔNF (m)
Roque Saenz Peña	718	0.74	867	0.69
Reconquista	837	2.54	1043	1.96
Villa Minetti	625	3.49	-	-
Rafaela	783	1.51	813	0.51
Oliveros	782	1.20	784	0.72
Zavalla	786	1.26	910	0.42
Marcos Juárez	618	0.58	1225	0.18
Casilda	697	-	970	-
Venado Tuerto	772	-	914	-
Rufino	535	-	859	-

El comportamiento espacial y temporal del nivel freático durante los años LA NIÑA también se analizó mediante un análisis espectral (Tabla 10).

Tabla 10. Amplitud y fase de los tres primeros armónicos del nivel freático de los años LA NIÑA

ESTACIÓN	PRIMER ARMÓNICO		SEGUNDO ARMÓNICO		TERCER ARMÓNICO	
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase
Roque S. Peña	0.2266	2.2531 rad.	0.1139	7.4844 rad.	0.0278	9.6990 rad.
Reconquista	0.4696	2.8419 rad.	0.5511	2.9442 rad.	0.1358	1.3151 rad.
Rafaela	0.2407	6.0803 rad.	0.2439	9.8602 rad.	0.0451	11.773 rad.
Oliveros	0.2511	0.6921 rad.	0.1743	5.1936 rad.	0.0315	2.6128 rad.
Zavalla	0.1721	1.6486 rad.	0.0823	10.725 rad.	0.0308	4.7256 rad.
Marcos Juárez	0.0113	7.4350 rad.	0.0621	10.093 rad.	0.0065	6.3486 rad.

De lo expresado en esta tabla se concluye, que el comportamiento del nivel freático en los años compuestos LA NIÑA no presenta las mismas características que los años secos. Los diales de la Figura 7 muestran los dos primeros armónicos del nivel freático, observándose que las relaciones con las TSMs no son uniformes ni en tiempo ni en el espacio.

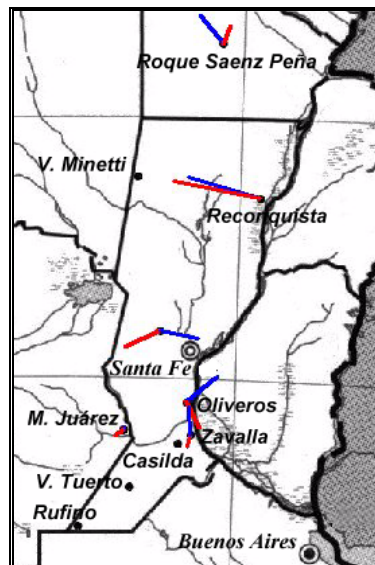


Figura 7. Diales del primer armónico (azul) y segundo armónico (rojo) del nivel freático correspondientes a los años LA NIÑA

CONCLUSIONES

Los resultados indican, en promedio, que el extremo sur de la Provincia de Santa Fe tiene un comportamiento con características particulares durante los eventos secos. La región desde el centro hacia el sur tiene un comportamiento homogéneo, en cuanto a intensidad y época de ocurrencia, y lo mismo ocurre en la región norte de la Provincia.

- En la provincia de Santa Fe se registraron sequías anuales generalizadas -de diferente grado de intensidad- en 1969, 1971, 1981, 1988 y 1994. Localmente, y a nivel estacional se registraron mucho más sequías.
- Otra característica encontrada en las sequías es que éstas -en términos relativos- fueron más severas en invierno y estaciones intermedias, y menos frecuentes y severas en verano. Esto es debido a las características convectivas de las precipitaciones estivales.
- Se observó sin excepción que en el transcurso de las sequías el acuífero manifestó una sostenida profundización. En este caso en la marcha de la precipitación no se observa el mismo comportamiento debido a su variabilidad.
- Del análisis de los años LA NIÑA, en promedio, se observa una mayor cantidad de agua caída que en los años secos, por cuanto no todos los años LA NIÑA han sido de sequías. Para el mismo período el acuífero libre mostró el mismo comportamiento que la precipitación.
- El comportamiento del acuífero en los años LA NIÑA no presenta la misma uniformidad que en los años de sequía ya que en Roque Saenz Peña, Zavalla y Marcos Juárez no mostraron un marcado descenso. Esto se debe a que no en todas las localidades los años LA NIÑA fueron secos.
- La variación de amplitud del segundo armónico de la precipitación fue indicativa del grado de intensidad de la sequía por orden de varianza explicada. El análisis espectral mostró al norte de la Provincia como la región más afectada por el fenómeno, resultando la localidad de Villa Minetti la más perjudicada. La región central desde Rafaela hasta Venado Tuerto manifiesta un comportamiento menos severo y más homogéneo. Lo mismo ocurre en el extremo sur de la provincia pero con algunas diferencias, probablemente debidas a la longitud de la serie estudiadas.
- La variación de amplitud del primer y segundo armónico del nivel freático entre los años de sequía y los años LA NIÑA es muy pequeña debido a la baja variabilidad temporal del acuífero.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado es parte de un Proyecto de Investigación Conjunto INA-FICH, que fue financiado por el Instituto Nacional del Agua (INA).

BIBLIOGRAFÍA

- Bradley, R. S.; Diaz, H. F.; Kiladis, G. N. y Eischeid, J. K.** (1987): “*ENSO signal in continental temperature and precipitation records*”. *Nature*, 327, 497-501.
- García, N. O.** (1990): “*Climatografía de la República Argentina*” - *Publicación UNL-FICH No. 36/90*, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, 31 pp., Santa Fe.
- García, N. O.** (1994): “*Elementos de climatología*” – *Colección Ciencia y Técnica*, N° 6, Universidad Nacional del Litoral, pp. 280, Santa Fe, Argentina.
- Manavella, C. y Venencio, M.** (1995). “*Influencia de los Sedimentos Pampeanos en la Obra de recarga Artificial de Acuífero en la Ciudad de sunchales. Provincia de Santa Fe. Rep. Argentina*”. *Anales 2° Simposio sobre Aguas subterráneas y perforación de Pozos en el Paraguay. San Lorenzo. Paraguay. Menorias: 137-147*
- Ropelewski, C. & Halpert, M.S.** (1987): “*Global and regional scale precipitation pattern associated with the El Niño/Southern Oscillation*”, *Mon. Weather Rev.*, **115**, 1606-1626.
- Ropelewski, C. & Halpert, M.S.** (1989). “*Precipitation pattern associated with the high index phase of the southern oscillation*”, *J. Climate*, **2**, 268-284.
- Venencio, M.V. y García, N.O.** (2002): “*Análisis de la variabilidad del clima y su impacto en el acuífero libre con fines de riego en la Provincia de Santa Fe*”. Proyecto de Investigación conjunto INA-FICH. Santa Fe, pp 70.
- Venencio, M.V. y García, N.O.** (2003): “*Impacto De La Disminución De La Recarga Natural En El Acuífero Libre En La Provincia De Santa Fe*”. (TC7). “*III CONGRESO ARGENTINO DE HIDROGEOLOGÍA y I SEMINARIO HISPANO-LATINOAMERICANO sobre TEMAS ACTUALES de la HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA*”. Rosario, 23 al 26 de Setiembre 2003, pp. 143-152.