

**PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE PROTECCIÓN, GESTIÓN,
EFICIENCIA, RECICLADO Y REÚSO DEL AGUA**

**PRIMER SEMINARIO DE UNIVERSALIZACIÓN DEL ACCESO AL AGUA
APTA PARA EL CONSUMO HUMANO**

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUIAS
HIDROLÓGICAS EN CUENCAS DE CÓRDOBA**

Díaz E.¹; Rodríguez A.¹; Dölling O.²; Moya G.¹; Bertoni JC.³ Hillman G.¹

¹Laboratorio de Hidráulica, FCEFYN, UNC.

²Depto. de Ing. Civil, UNSJ

³Departamento de Hidráulica, FCEFYN, UNC.

Av Filloy S/N, 0351-4334446, erica.b.diaz@gmail.com

RESUMEN:

El objetivo del presente trabajo es identificar y caracterizar temporal y espacialmente sequías hidrológicas con el fin de avanzar en el conocimiento de la variación espacial y temporal de los recursos hídricos para así evaluar la disponibilidad hídrica de las cuencas de Córdoba, que es una componente esencial en la planificación del agua. Las cuencas que se analizan son: la del Río Suquía, Río Xanaes (ambas cuencas abastecen actualmente al GC.), Río Ctalamochita y Río Dulce (analizadas a través de los aportes a los Embalses: San Roque, Los Molinos, Río Tercero y Río Hondo respectivamente). Y la cuenca del Río Anisacate (analizados con caudales medios anuales). La metodología empleada responde a la propuesta planteada por Fernandez Larrañaga (1997), quien recurre a la definición propuesta por Yevjevich (1967), según la cual, dada una serie cronológica que representa la oferta de agua y otra la demanda, una sucesión de períodos en que la oferta no satisface la demanda puede considerarse como una sequía. La oferta se representa con las series de aportes anuales disponibles en las distintas cuencas, mientras que la demanda se define como caudales anuales para diferentes probabilidades de excedencia. Las sequías detectadas en cada zona se caracterizan en cuanto a sus propiedades de duración, magnitud, intensidad media y máxima. El análisis espacial y temporal de las sequías se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográficas (de norte a sur) de las cuencas, y columnas ordenadas cronológicamente; y se identifica con una escala de colores los distintos umbrales de sequía. Se observó un agrupamiento espacial y temporal de los periodos de excesos y déficit hídricos en la región. Y un alto grado de simultaneidad en los eventos de sequía, para las cuencas que abastecen al Gran Córdoba.

ABSTRACT:

The aim of this study is to identify and characterize hydrological droughts temporally and spatially so as to contribute to a better understanding of the spatial and temporal variability of water resources, in order to assess water availability in the basins of Cordoba; an essential component of water management. The basins that have been analyzed are: the Río Suquía, Río Xanaes, Río Dulce and Río Calamuchita (analyzed through contributions to the Dams: San Roque, Los Molinos, Río Tercero and Río Hondo respectively) and Río Anisacate (analyzed through the annual average level). The methodology chosen is based on the proposal made by Fernández (1997), who uses the definition proposed by Yevjevich (1967), according to which, given a time series representing water supply and another representing demand, a succession of periods where supply does not meet demand can be considered a drought. The offer is represented by the series of annual contributions available on the different basins, while the demand is defined as annual flows for different probabilities of exceedance. Droughts detected in each basin are characterized in terms of their properties of duration, magnitude and average and maximum intensity. The spatial and temporal analysis of drought is supported by a matrix whose rows correspond to the basin geographical location (north-south), and the columns are arranged chronologically; drought thresholds are identified with different color scales. A spatial and temporal clustering of the periods of excess and water deficit has been observed in the region together with a high degree of simultaneous drought events in the watersheds that supply the Grand Córdoba.

PALABRAS CLAVES: Sequías - Aportes Anuales – Planificación

INTRODUCCIÓN

Una adecuada planificación del uso y manejo del recurso hídrico requiere principalmente, la toma de conciencia de que “el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente” (Tratado de Dublin, 1992).

En las etapas de planificación y gestión se debe tener en cuenta la incertidumbre asociada a la demanda y oferta de los recursos hídricos disponibles. En este aspecto es clave conocer el comportamiento de estos en el tiempo y espacio para la toma de decisiones e identificación de la fragilidad de los sistemas de una misma región.

Las situaciones de extremos hidrológicos, periodos de excesos como escasez de agua, son las que ponen en vulnerabilidad al sistema, y para las cuales las obras de ingeniería deben dar soluciones.

Las sequías son fenómenos de relativa complejidad que afectan de manera importante el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en una región (Fernandez Larrañaga, 1997), y sobre los cuales se conoce poco por varios motivos, uno de ellos es la insuficiencia de datos hidrológicos y meteorológicos. Es por tal, que en este trabajo se abordará la identificación y caracterización de sequías desde una concepción hidrológica, con el fin de obtener la mayor ventana de tiempo y espacio usando datos de aportes anuales de 5 cuencas de la Provincia de Córdoba.

Las cuencas seleccionadas son: la del Río Suquía y Río Xanaes, que abastecen actualmente al Gran Córdoba (GC), y las cuencas de los Ríos Ctalamochita, Anisacate y Dulce que son posibles fuentes de abastecimiento de la región.

Las sequías identificadas en cada cuenca se caracterizan en cuanto a sus propiedades de duración, magnitud, intensidad máxima y media, usando parte de la metodología propuesta por Fernández Larrañaga (1997), y Yevjevich (1967). En cuanto al análisis espacial y temporal se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográficas (de norte a sur) de las cuencas, y columnas ordenadas cronológicamente; y se identifica con una escala de colores los distintos umbrales de sequía.

ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Córdoba y su zona de influencia, denominada el Gran Córdoba (GC), se encuentran comprendidas dentro de la región centro de la provincia homónima, perteneciente a la República Argentina, con una población de aproximadamente 1.300.000 habitantes en la capital y llegando a un total de 1.600.000 con su zona de influencia.

El abastecimiento de agua en la región se realiza principalmente de la cuenca del río Suquía, y en menor medida de la cuenca del río Xanaes. Estas almacenan los aportes hídricos superficiales en el embalse San Roque y Los Molinos respectivamente.

Las cuencas de los ríos Ctalamochita y Dulce son dos cuencas potenciales de abastecimiento de agua al GC. que presentan el mayor módulo en la provincia de Córdoba por ello se suman al conjunto de las cuencas analizadas. Mientras que la cuenca del Río Anisacate es uno de los ríos sin regular con un módulo considerable que merece ser analizado. (Ver Tabla 1).

Tabla 1.- Resumen de las Características hidrológicas y geográficas de las Cuencas analizadas

Cuenca del Río	Estación			Altitud [msnm]	A de Aporte [KM2]	Módulo [m3/seg]	Vol Ap Med Anual [HM3]	Período
	Denominación	Lat.	Long.					
Dulce	La Escuela	27° 30' 00,0"	64° 51' 00,0"	265	19.700	82,2	3.484,8	1926-2009
Suquía	San Roque	31° 22' 00,0"	64° 27' 00,0"	650	1.350	10	3.53,6	1926-2009
Xanaes	Los Molinos	31° 05' 00,0"	64° 30' 00,0"	770	980	9,5	321,2	1937-1998
Anisacate	Santa Ana	31° 40' 00,0"	64° 34' 00,0"	900	465	4,83	152	1954-1980
Ctalamochita	Embalse	32° 09' 60,0"	64° 23' 00,0"	650	3.300	27	858,5	1926-1982

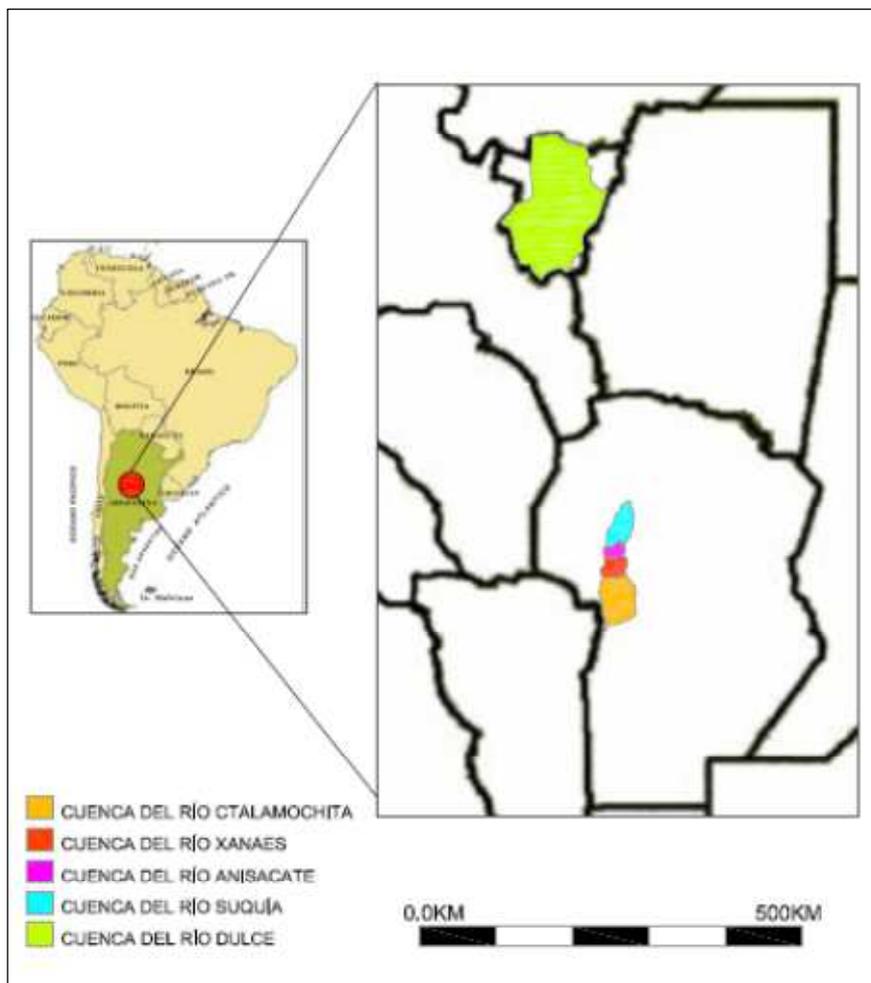


Figura 1.- Ubicación de las cuencas analizadas

La cuenca del Río Suquía a la altura del Embalse San Roque colecta las aguas de los ríos San Antonio, Cosquín, arroyos Los Chorrillos, Las Mojarras y los aportes no encauzados del perillago. Los datos registrados en el punto de medición Dique San Roque, perteneciente a la Red Hidrológica Nacional, revelan un caudal medio anual promedio de $9,66 \text{ m}^3/\text{s}$ en el período 1925-1986 (Subsecretaría de Recursos Hídricos 2010) en un área de aporte de 1350 Km^2 .

La cuenca del Río Xanaes tiene por tributarios los ríos San Pedro, Los Espinillos, Del Medio y Los Reartes junto con los aportes no encauzados del perillago, El módulo es de $9,46 \text{ m}^3/\text{seg}$ medido en la estación Emb. Los Molinos período 1952-1980 (Subsecretaría de Recursos Hídricos 2010) y el área de aporte es de 980 Km^2 . Ambos ríos desembocan en la Laguna Mar Chiquita. Es una zona serrana, y dada la dispersión geográfica de los cordones, el clima es muy variado, con mayores precipitaciones orográficas en las laderas orientales. Esto sumado a la variedad de temperaturas por la altura, origina el clima serrano, caracterizado por zonas húmedas en un entorno semiárido.

La cuenca del Río Ctalamochita, pertenece a la cuenca Carcaraña y es de carácter exorreico, terminando en la cuenca del Plata. Nace en las vertientes orientales de la Sierra Grande y tiene una superficie aproximada de $3,300 \text{ Km}^2$. Su módulo es de $27 \text{ m}^3/\text{seg}$., es decir que representa casi 3 veces el del Suquía ó Xanaes.

La cuenca del río Dulce involucra parte de las provincias de Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba. Por las especiales características geomorfológicas, a partir del embalse de Río Hondo, es posible distinguir dos sectores bien diferenciadas e inclusive con nombres diferentes: El río Salí, que es la subcuenca superior, se caracteriza por tener una precipitación media anual de aproximadamente 800 mm con una subregión con valores medios mayores a 1000 mm , por lo que se la puede considerar climáticamente húmeda. Estas lluvias están distribuidas irregularmente en el espacio y en el tiempo, presentando un semestre seco y otro húmedo donde llueve casi el 90% del

total anual. Respecto a su distribución son mayores en la zona montañosa del oeste. El río Dulce que corresponde a la llanura inferior, casi no recibe afluentes y se caracteriza por tener cauces inestables, algunos efímeros y numerosos bañados. Descarga en la Laguna Mar Chiquita.

El Río Anisacate es tributario del Río Segundo y tiene su nacimiento en la unión de los ríos la Suela y San José que son formados en la ladera oriental de las Sierras Grandes de la provincia de Córdoba, Argentina. La cuenca en conjunto a las subcuencas de estos últimos abarca una superficie de 465 Km². El río Anisacate es uno de los pocos ríos de caudal de significancia que esta sin regular en la provincia de Córdoba.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS

Este estudio se enfoca en la identificación y caracterización de sequías hidrológicas en términos de déficit de aportes anuales, siguiendo una metodología de análisis de series de tiempo denominado análisis de sucesiones. Esta ha sido utilizada por muchos investigadores como Yevjevich (1972), Fernández Larrañaga (1997), Tallaksen y otros (1997). Surge del concepto de sequía que plantea Yevjevich (1967), según el cual dada una serie cronológica que representa la oferta de agua “Yi” y otra la demanda “Yo”, una sucesión de periodos en que la oferta no satisface la demanda puede considerarse sequía.

Este análisis permite obtener parámetros útiles en la cuantificación de las sequías como son la duración, severidad, ubicación en tiempo absoluto (inicio y fin), la intensidad máxima y media. Estos parámetros se observan en Figura 2.

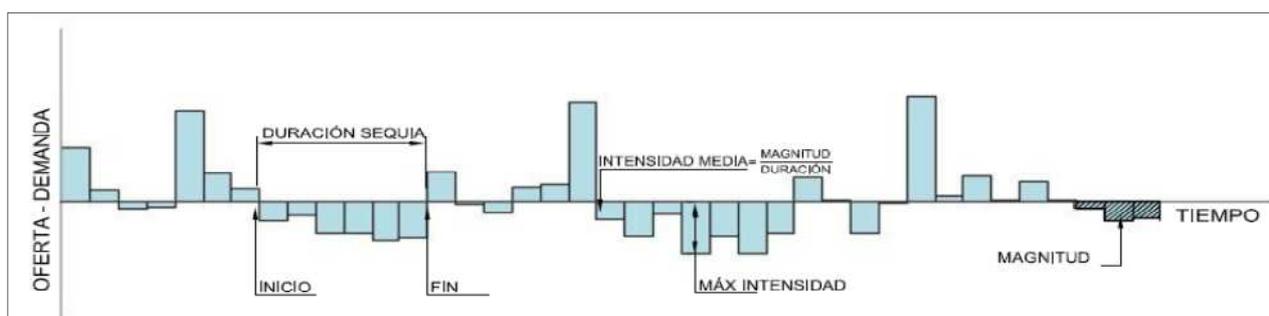


Figura 2.-Serie cronológica de oferta menos demanda en un lugar para la identificación y caracterización de sequías según el método de sucesiones.

El principal elemento que define los parámetros anteriores es el valor umbral o de truncamiento “Yo” que puede ser una constante o una función del tiempo (Panu y Sharma, 2002).

En este trabajo se considera oferta de agua a los aportes anuales registrados en las distintas cuencas de estudio “Yi”. Y demanda “Yo” se la define como un valor de los aportes anuales (oferta de cada cuenca analizada) que representa una determinada probabilidad excedencia.

Es decir que tendríamos un año seco cuando:

$$Y_o \geq Y_i$$

Y la demanda será tal que:

$$Probabilidad(Y_i \geq Y_o) = \alpha$$

La selección de un valor de demanda, o truncamiento, ligado a la probabilidad de excedencia de la serie de oferta permite uniformar las condiciones de sequía en una región climatológicamente no homogénea. Ya que se incorpora el nivel de los recursos disponibles en cada zona y la variabilidad de la oferta. De esta manera, dado un nivel α existe la misma probabilidad de que se observe una sequía en cualquier punto de la región. Si se considera como nivel de truncamiento, para la definición de sequías, un porcentaje del recurso promedio habrá lugares en los cuales ocurren sequías frecuentes mientras en otros son inexistentes, dependiendo de la varianza estadística de la serie de oferta en cada lugar. Lo cual hace más complejo el análisis regional en zonas extensas no homogéneas (Fernández Larrañaga, 1997).

A continuación se expone el análisis de series de sucesiones de los aportes anuales de las cuencas de los Ríos Dulce, Suquía, Anisacate, Xanaes y Ctlamochita.

En cada gráfica se representan los periodos de sequías y excesos como Yi-Yo. Donde Yo es un umbral que representa un nivel de demanda equivalente a los aportes medios anuales con probabilidad de excedencia de 0,5.

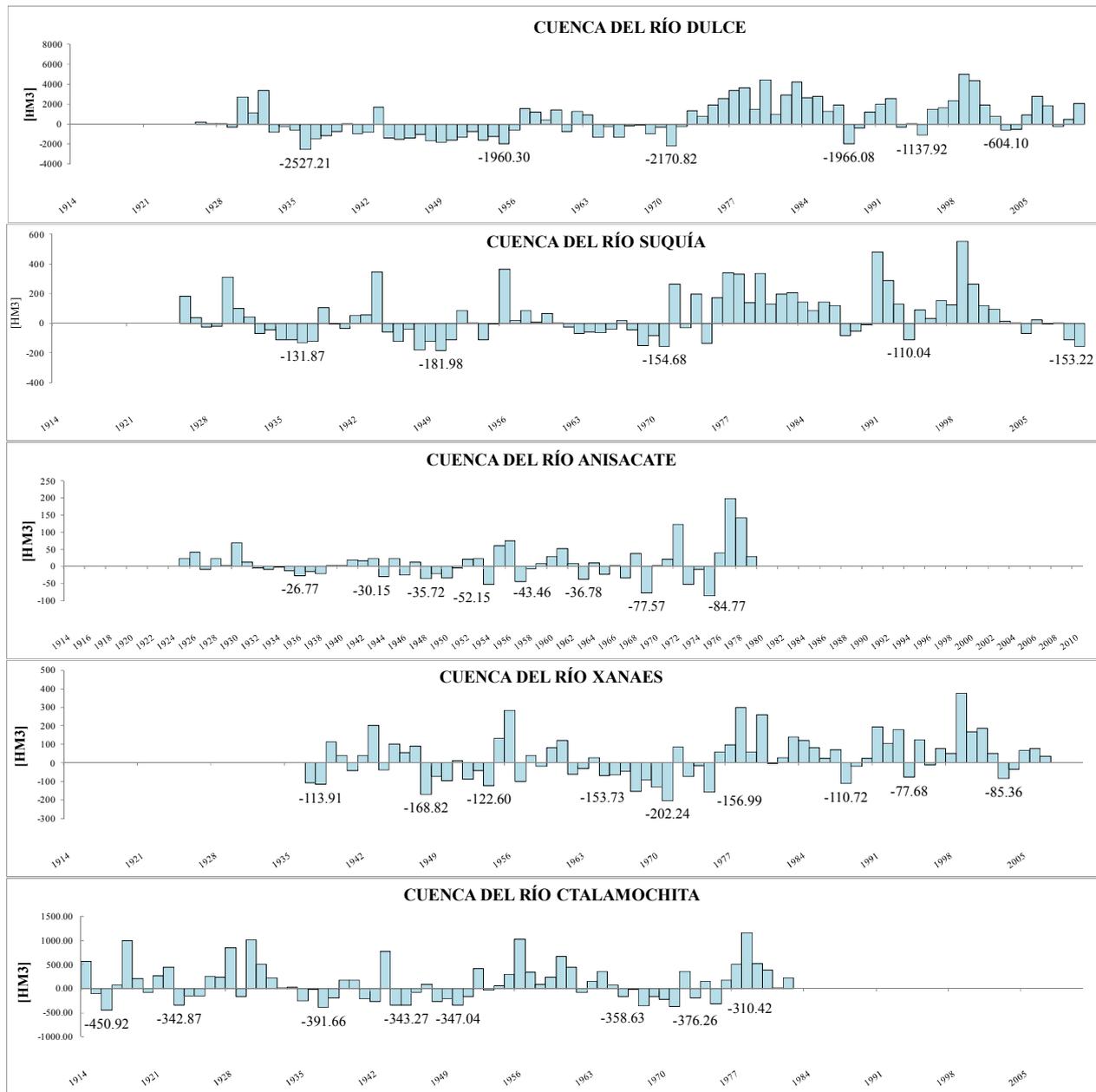


Figura 3.-Series cronológicas de oferta menos demanda. Demanda Probabilidad($Y_i \geq Y_o$) = 0,5

Para cada una de las cuencas se identifican los distintos parámetros que caracterizan a las sequías como duración, magnitud y la intensidad máxima y media. Estos parámetros se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 2.- Parámetros de las sequías de la cuenca del Río Dulce

Cuenca del Río Dulce					
Año Inicio	Duración	Magnitud	Intensidad	Intens media	
1929	1.00	-336.55	-336.55	-336.55	
1933	10.00	-9358.75	-2527.21	-935.87	
1944	13.00	-18030.19	-1960.30	-1386.94	
1961	1.00	-711.49	-711.49	-711.49	
1964	9.00	-6837.61	-2170.82	-759.73	
1988	2.00	-2333.35	-1966.08	-1166.68	
1993	3.00	-1463.55	-1137.92	-487.85	
2003	2.00	-1143.39	-604.10	-571.70	
2008	1.00	-230.68	-230.68	-230.68	

Tabla 3.- Parámetros de las sequías de las cuencas de los Ríos Suquía y Xanaes.

Cuenca del Río Suquía						Cuenca del Río Xanaes					
Año Inicio	Duración	Magnitud	Intensidad	Intens media		Año Inicio	Duración	Magnitud	Intensidad	Intens media	
1928	2	-43.39	-25.01	-21.69		1937	2	-220.04	-113.91	-110.02	
1933	6	-591.40	-131.87	-98.57		1941	1	-41.95	-41.95	-41.95	
1940	2	-43.77	-36.10	-21.88		1944	1	-36.74	-36.74	-36.74	
1945	7	-816.56	-181.98	-116.65		1948	6	-591.13	-168.82	-98.52	
1954	2	-112.17	-110.12	-56.09		1957	1	-97.35	-97.35	-97.35	
1962	10	-686.29	-154.68	-68.63		1959	1	-17.66	-17.66	-17.66	
1973	1	-29.46	-29.46	-29.46		1962	10	-848.81	-202.24	-84.88	
1975	1	-135.17	-135.17	-135.17		1973	3	-246.18	-156.99	-82.06	
1988	3	-148.32	-84.80	-49.44		1988	2	-130.47	-110.72	-65.23	
1994	1	-110.04	-110.04	-110.04		1994	1	-77.68	-77.68	-77.68	
2003	6	-341.16	-153.22	-56.86		1996	1	-11.65	-11.65	-11.65	
						2003	2	-118.48	-85.36	-59.24	

Tabla 4.- Parámetros de las sequías de las cuencas de los Ríos Anisacate y Ctalamochita

Cuenca del Río Anisacate						Cuenca del Río Ctalamochita					
Año Inicio	Duración	Magnitud	Intensidad	Intens media		Año Inicio	Duración	Magnitud	Intensidad	Intens media	
1927	1	-7.57	-7.57	-7.57		1915	2	-562.18	-450.92	-281.09	
1932	7	-93.26	-26.77	-13.32		1920	1	-78.97	-78.97	-78.97	
1944	1	-30.15	-30.15	-30.15		1923	3	-642.39	-342.87	-214.13	
1946	1	-24.31	-24.31	-24.31		1929	1	-165.67	-165.67	-165.67	
1948	4	-95.58	-35.72	-23.89		1935	4	-850.64	-391.66	-212.66	
1954	1	-52.15	-52.15	-52.15		1941	2	-465.81	-264.08	-232.90	
1957	2	-50.38	-43.46	-25.19		1944	8	-1752.69	-347.04	-219.09	
1963	1	-36.78	-36.78	-36.78		1953	1	-32.10	-32.10	-32.10	
1965	3	-56.98	-33.39	-18.99		1962	1	-68.39	-68.39	-68.39	
1969	1	-77.57	-77.57	-77.57		1966	6	-1276.33	-376.26	-212.72	
1973	3	-146.95	-84.77	-48.98		1973	1	-197.02	-197.02	-197.02	
						1975	1	-310.42	-310.42	-310.42	

Tabla 5.- Resumen de los parámetros estadísticos de las series analizadas.

	Suquía	Xanaes	Anisacate	Ctalamochita	Dulce
	HM ³				
Media	347,22	321,29	142,02	856,08	3503,02
Umbral	300,00	294,74	133,00	736,85	3000,00
Min	118,02	92,50	48,57	285,92	472,79
Máx	851,56	669,83	332,21	1901,03	7983,48
s	155,25	116,95	48,83	381,43	1751,12
Coef. Var	0,45	0,36	0,34	0,45	0,50
Coef. asim	0,97	0,53	1,48	0,83	0,52
N	85,00	72,00	55,00	69,00	85,00
Coef. Autoc. lag 1	0,40	0,19	0,21	0,23	0,61

En las tablas 2, 3 y 4 se resaltan los valores críticos para cada uno de los parámetros, correspondiente a una sequía de $\alpha=0,5$. Y en la Tabla 5 se resumen los parámetros estadísticos de las series analizadas y se indica el valor umbral de demanda utilizado.

En base a la identificación de sequías con un nivel de demanda 0,5, se calculó la duración media de las sequías entre 1937 y 1979, que es el periodo común de registro de aportes. Ver Tabla 6.

Se observa que la duración media de las sequías para las cuencas Suquía, Xanaes, Anisacate y Ctalamochita es 3 años, mientras que para la cuenca del Río Dulce es 8,25 años.

Tabla 6.- Duración media en años de las sequías registradas entre 1937-1979

Cuencas	Duración Media (37-79)
Suquía	3,83
Xanaes	3,12
Anisacate	2,40
Ctalamochita	3,00
Dulce	8,25

Se puede identificar 3 periodos comunes de sequías a inicio de la década del 30' a mediados de la del 40' y en la del 60'. Las sequías más severas en duración se iniciaron en 1962 para las cuencas de los Ríos Suquía y Xanaes, y en 1944 para las cuencas de los Ríos Ctalamochita y Dulce.

La sequía de 1944, fue la más severa en magnitud para las cuencas de los ríos Suquía, Ctalamochita y Dulce. De aquí se resalta la no linealidad entre duración y magnitud en la cuenca del río Suquía y se destaca que esta sequía estuvo precedida por un periodo húmedo corto. Lo cual indica que años ricos de aportes hídricos luego de sequías persistentes, no es indicio de recuperación del sistema.

En todos los casos analizados los valores de mayor intensidad media se registraron para las sequías de corta duración, excepto para la cuenca del Río Dulce. Es importante aclarar que estas sequías han sido precedidas por periodos de escasez de duraciones importantes.

En la Tabla 5 se pueden observar los coeficientes de autocorrelación de lag 1 para las series de aportes de cada cuenca. Las cuencas de los ríos Xanaes, Anisacate y Ctalamochita tienen coeficientes bajos, lo cual indica una menor dependencia entre los aportes de un año al otro, mientras que el Dulce y Suquía con sus coeficientes de 0,40 y 0,61 reflejan una alta dependencia. Esto explica, en parte, que estas cuencas tengan sequías más largas. Una fuerte dependencia genera largas y frecuentes sequías (Cancelliere y Salas 2010).

Si se considera el periodo de retorno (TR) como el espacio de tiempo promedio entre dos sequías de igual duración y con el mismo umbral de demanda, podemos afirmar que las series con mayor coeficiente de autocorrelación las sequías son más frecuentes y persistentes que las que poseen una autocorrelación débil. Esto se refleja en la Tabla 7, donde se resume para todas las cuencas entre 1937 y 1979 la frecuencia de sequías, duración media y TR medio.

Tabla 7.- Duración media en años y TR de las sequías entre 1937 y 1979

Cuenca	Cant. Sequías	Duración media [años]	TR medio [años]
Suquía	3	7	9,5
Dulce	3	10,5	15,5
Xanaes	2	8	14
Anisacate	3	3,5	12,5
Ctalamochita	2	7	22

La variable intensidad, relacionada con las necesidades de trasvase, puede entenderse como el máximo caudal extra que sería necesario aportar a la cuenca durante el mes de mayor déficit para satisfacer la demanda en un análisis a nivel mensual.

La variable magnitud, compara el volumen total necesario para superar una condición de sequía. Se puede expresar como una proporción de los aportes anuales en cada cuenca, y refleja el volumen de agua que sería necesario tener almacenado para sobrepasar las peores condiciones de sequía observadas. Estos valores son 1,1; 2; 2,4; 2,7; y 5,2 veces el aporte anual medio para las cuencas de los Ríos Anisacate, Ctalamochita, Suquía, Xanaes, y Dulce respectivamente.

Estos valores (relación entre la peor magnitud y media de la serie de aportes) también indican el grado de severidad de la sequía, y es así que podemos notar que las cuencas menos

comprometidas (para las sequías históricas con el mismo nivel de probabilidad) son las cuencas de los Ríos Anisacate y Ctlamochita.

Se destaca que los eventos de sequías más críticos se registraron antes de 1975 para todas las cuencas. Y después de esa fecha todas han experimentado una reducción en la intensidad media, máxima y duración de las sequías, salvo la cuenca del Río Suquía. Se analizaron las cuencas de los Ríos Suquía, Xanes y Dulce, que son las series que se encuentran completas hasta el 2008.

ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS

El análisis espacial y temporal de las sequias se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográficas (de norte a sur) de las cuencas, y columnas ordenadas cronológicamente; y se identifica con una escala de colores los distintos umbrales de sequía.

Los valores de cada unidad de la matriz se obtienen calculando en cada año de la serie cronológica de la oferta disponible, la probabilidad de excedencia del aporte medio anual registrado.

$$Probabilidad(Q_{jt} > q_{jt}) = \alpha$$

Siendo:

q_{jt} : valor del aporte anual observado en el año t en la cuenca j.

α : distintos umbrales de probabilidad.

De esta forma se da una visión general de las características espacio temporales de los recursos superficiales relacionadas con su disponibilidad, y por lo tanto con las sequías en cuanto a su aleatoriedad (Fernández Larrañaga, 1997).

0,00 < α < 0,15	muy húmedo;
0,15 < α < 0,30	húmedo;
0,30 < α < 0,50	normal;
0,50 < α < 0,80	seco;
0,80 < α < 1,00	muy seco;

Lo expuesto se resume en la figura 4. Es importante observar cómo se agrupan temporal y espacialmente los años de déficit hídricos, de manera de conocer el fenómeno de las sequías y sus características. Ya que esto permitirá adoptar medidas concretas en la planificación de los recursos hídricos superficiales.

En la **Tabla 8** se indican los coeficientes de correlación cruzada para los aportes de las distintas cuencas.

Tabla 8.- Coeficientes de correlación Cruzada

Cuenca	Ctlamochita	Xanaes	Anisacate	Suquía	Dulce
Ctlamochita	1				
Xanaes	1936-1982 - 0.76	1			
Anisacate	1926-1979 - 0.59	1936-1979 - 0.64	1		
Suquía	1926-1982 - 0.65	1936-1998 - 0.70	1926-1979 - 0.68	1	
Dulce	1926-1982 - 0.53	1936-1998 - 0.44	1926-1979 - 0.36	1926-2009 - 0.67	1

En la figura 4 puede verse que las sequías más persistentes que experimentan las 5 cuencas se inician en los años 1933, 1944 y 1962. Mientras que los periodos húmedos comunes se observan a mediados de la década de 50', 70' y a fines de la del 90'. Luego solo se observan periodos alternados, secos y húmedos, de menor duración.

Se puede apreciar que existe una agrupación regional importante de los periodos de secos y húmedos, que es reflejo de la alta correlación espacial de las series cronológicas de las oferta como

se ve en la **Tabla 8**. Con respecto a la agrupación temporal, se ve que los periodos más extensos corresponden a las cuencas que tienen una fuerte dependencia interanual de los aporte.

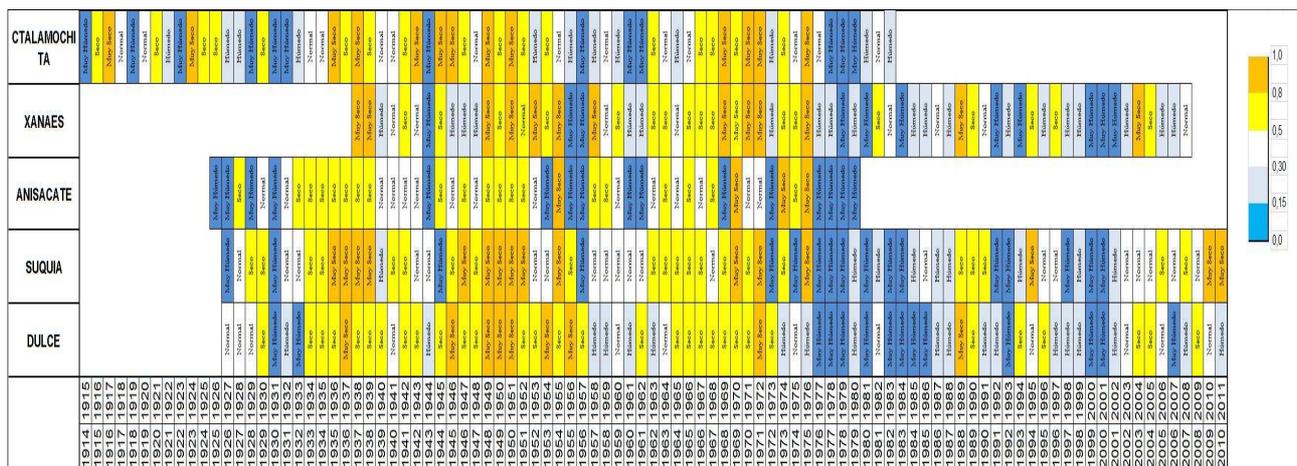


Figura 4.- Identificación de sequías en base a la distribución espacio temporal de la probabilidad de excedencia de la oferta anual de recursos hídricos en todas las cuencas de análisis.

Se contabilizaron los periodos comunes de déficit, excesos y normales de las distintas cuencas a los fines de observar que porcentaje de tiempo atraviesan la misma condición. Esto se resume en la **Tabla 9**. Dicha tabla indica el grado de fragilidad de los sistemas para complementarse ante eventos de sequías. Un porcentaje alto refleja mayor simultaneidad de eventos comunes y menor capacidad de complemento. Esto permite afirmar que frente a una sequía de la cuenca del Suquia, las cuencas que podrían complementarlo serían Anisacate o Ctlamochita que tiene los menores porcentajes.

Tabla 9.- Porcentaje de tiempo en que las cuencas tienen comportamiento similar.

Cuenca	Dulce	Suquia	Anisacate	Xanaes	Ctlamochita
Dulce	100%				
Suquia	1926-2010 – 55%	100%			
Anisacate	1926-1979 – 46%	1926-1979 – 52%	100%		
Xanaes	1937-2008 – 59%	1937-2008 – 70%	1937-1979 – 72%	100%	
Ctlamochita	1926-1982 – 63%	1926-1982 – 54%	1926-1979 – 54%	1937-1982 – 67%	100%

ANALISIS DE LAS CUENCAS QUE ABASTECEN AL GRAN CÓRDOBA

Las cuencas que abastecen actualmente al GC. son la de los Ríos Suquia y Xanaes.

De la Figura 4 se observa que entre 1937 y 2008 (71 años), ambas cuencas tienen sequías plurianuales a fines de la década del 40' (duración de 7 años) y otra en 1962 (duración 10 años). Y comparten sequías aisladas durante los años 37, 38, 41, 73, 75, 88, 89 y 94. Mientras que los periodos húmedos comunes se inician en 1976 (duración 12 años), 1991 (duración 3 años), y 1997 (duración 5 años). Y tienen eventos aislados en los años 1939, 1956 y 1972. Es decir que como indica la **Tabla 9** el 70 % del tiempo analizado las cuencas tienen comportamientos similares. Este resultado coincide con los presentados por Vicario (2008) donde se detectan sequías meteorológicas con el índice de Palmer (PDI).

Desde el año 2002 a la fecha el comportamiento de la cuenca del Río Suquia demuestra tener una tendencia de normal a seco, no así la del Xanaes. Comparando los coeficientes de autocorrelación de ambas cuencas (ver Tabla 5), y observando los resultados de la Figura 4, la cuenca Xanaes al tener una débil dependencia temporal indica que puede recuperarse de manera más rápida a los periodos de sequías.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, en la identificación y caracterización de sequías, indican que en la región de estudio existe un agrupamiento temporal y espacial de los periodos de excesos y déficit muy marcado. En el tiempo se detectó que las sequías más persistentes que experimentan las 5 cuencas se inician en los años 1933, 1944 y 1962. Mientras que los periodos húmedos comunes se observan a mediados de la década de 50', 70' y a fines de la del 90'. Se evidencia un quiebre a mediados de la década del 70' entre una época seca y húmeda. Lo cual coincide con estudios anteriores que analizan cuencas del centro y norte de Argentina (Díaz y otros 2013).

Con respecto al espacio, se observa (en la duración promedio de las sequías, y correlación cruzada) una fuerte correlación entre las cuencas Suquía, Xanaes, Anisacate y Ctlamochita. Esto se debe a la proximidad geográfica. No obstante se destaca que no siempre sucede así, un ejemplo de ello es la cuenca de La Quebrada (demostrado por Vicario (2008)).

Si se considera el periodo de retorno (TR) como el espacio de tiempo promedio entre dos sequías de igual duración y con el mismo umbral de demanda, se puede considerar que las series con mayor coeficiente de autocorrelación tienen sequías más frecuentes y persistentes que las que poseen una autocorrelación débil. Con este criterio, se observa que las cuencas más vulnerables a los eventos de sequías son las de los Ríos Suquía y Dulce.

A través del análisis de las cuencas que abastecen al Gran Córdoba (GC) se demuestra que el 70% del tiempo las cuencas de los Ríos Suquía y Xanaes tienen comportamientos similares, lo cual hace frágil al sistema frente a eventos de sequías persistentes (y simultáneas). La cuenca del Río Suquía resultó ser la más sensible a los periodos de sequías ya que al tener una fuerte dependencia temporal, le cuesta recuperarse de los periodos de sequía. Además es la única que refleja tener sequías de duración considerable en la última década. La historia de los recursos hídricos disponible demuestra que los periodos de sequías son de duraciones significativas, y que un año de excesos hídricos no es señal de que el sistema se recomponga ni indique la finalización de la sequía.

Para la gestión del recurso hídrico del GC resulta de suma importancia conocer que las cuencas provinciales que abastecen a una misma región pueden ser afectadas simultáneamente por sequías severas.

REFERENCIAS

Cancelliere, A. y Salas, J. (2010).«Drought probabilities and return period for annual streamflows series.» *Journal of Hydrology*, 391, n° 77-89

Díaz, E.; Rodríguez, A. Dölling, O.; Moya, G. Bertoni, J. y Hillman, G (2013) «Análisis de Simultaneidad de Extremos Hídricos en el centro y norte de la RA.» Córdoba, -en prensa Revista CETA, N.2, FCEFYN, UNC.

Fernandez Larrañaga, B. (1997)«Identificación y Caracterización de Sequías Hidrológicas en Chile Central.» *Ingeniería del Agua*, 4- 37-46.

Panu, U, y. Sharma, T. (2002)«Challenges in drought research: some perspectives and future directions.» *Hydrological Sciences Journal* 47:S1, S19-S30.

Subsecretaría de Recursos Hídricos (2010). *Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la RA.* [CD]-Buenos Aires-SSRH,2010.-ISBN978-987-1797-05-9

Tallaksen, L.,Madsen, H. y Clausen, B. (1997) «On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume.» *Hydrological Sciences Journal*,: Vol 42 (1):15-33.

«Tratado de Dublin (1992).» *Conferencia Internacional Sobre Agua y Medio Ambiente.* Dublin, Irlanda.

Vicario, L. (2008) *Evaluación de las sequías Hidro-Meteorológicas en la cuenca del Dique San Roque- CORDOBA.* Tesis de Maestría en Recursos Hídricos, FCEFyN-UNC.

Yevjevich, V. (1972) *Stochastic Processes in Hydrology*, Littleton, Colorado, WRP.