

Verificación de la estabilidad estadística de la serie de caudales del río Paraná en la sección Corrientes

Verification of the statistical stability of the Paraná river flow series in the Corrientes section

Marcelo Gómez^{1*}, Jorge Pilar¹, Alejandro Ruberto¹, Carlos Depettris¹
Guillermo Méndez¹

Recibido: 23/08/2019

Aceptado: 05/09/2019

*Autor de correspondencia

Resumen

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento estadístico de la variable hidrológica caudal medio diario en la sección Corrientes del río Paraná. Si bien la variable hidrológica que se mide es la altura hidrométrica, la serie de caudales (oficial) se obtiene a partir de la relación altura-caudal en esa sección. Concretamente, se analizó el efecto de la longitud de la serie temporal en las estadísticas que la describen. Como datos de base se utilizó la serie temporal 1904-2016 (serie total), poniendo énfasis en los últimos 46 años (1970-2016, denominada serie moderna), que a los efectos del presente trabajo se fraccionó en los períodos 1970-2000, 1970-2010 y 1970-2016. Para esas series se calcularon las siguientes estadísticas: media, desvío estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría, coeficiente de kurtosis, valor máximo y mínimo.

La estadística descriptiva es la base de la inferencia estadística, que se utiliza para definir eventos críticos de diseño en obras hidráulicas de importancia, como por ejemplo los sistemas de defensa contra inundaciones fluviales de varias ciudades capitales de provincia del nordeste argentino que se localizan sobre las márgenes de río Paraná. Este trabajo busca aportar insumos para la discusión sobre los estándares de seguridad de las obras ya construidas.

Palabras clave: río Paraná, caudales, estadísticas, obras hidráulicas.

Abstract

The present work evaluates the statistical behavior of the hydrological variable of the daily media flow at Corrientes section of Paraná River. Even when the hydrological variable which is measured is the hydrometric height, flow series (official) are obtained from the relation height-flow at that section. The effects of the temporal series length on the statistics that describe it were specifically analyzed. As base data the temporal series starting from 1904 was used and within it the work was carried out over the last fifty years data, which is called "modern series", and in order to organize the work it was split into the following periods: 1970-2000, 1970-2010, and 1970-2016. For these series the following characteristics were calculated: media, standard deviation, variation coefficient, asymmetry coefficient, kurtosis coefficient, maximum and minimum value.

The descriptive statistics is the base for the statistic inference which is used to define critical design events in important waterworks like defense systems against river floods at many cities of the province in the Argentinean northeast that are located on the Paraná river banks. This works try to contribute to the discussion about the security standards of the already built constructions.

Keywords: Paraná river, flows, statistics, hydraulic works.

1 Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica. Facultad Ingeniería, Universidad Nacional de Nordeste, Argentina. mgichaco@yahoo.com.ar

1. INTRODUCCIÓN

La sección Corrientes está ubicada frente a la ciudad homónima, en el inicio del tramo medio del río Paraná, aguas abajo de la confluencia del río Paraná Superior con el río Paraguay (figura 1). Constituye una sección de control, ya que prácticamente pasa por la misma todo el volumen escurrido sin desbordes significativo (Paoli y Schreider, 2000). Durante los años 1982 y 1983 ocurrió una importante crecida del río Paraná, la más importante del siglo veinte en esa sección, que tuvo una duración de once meses (Pilar, 2003), con caudales medios del orden de los 60,000 m³/s, superándose la marca histórica de 50,000 m³/s registrada en 1905. Según describe Paoli (1987 y Paoli y Schreider 2000), para el sistema del Paraná, las crecidas máximas registradas son el producto de un régimen complejo y en muchos casos (los más importantes) como combinación de crecidas producidas en diferentes sectores de la cuenca de aporte (cuenca Paraná Superior, aportes de la cuenca del Iguazú, aportes del río Paraguay), difícilmente separables para su análisis. También tienen influencia el estado de almacenamiento del valle al producirse la crecida, el estado de rugosidad de los cauces y del valle de inundación, lluvias locales y aportes de cursos intermedios. Las crecidas pueden ser caracterizadas a través de diferentes variables hidrológicas: (i) Caudal máximo alcanzado, (ii) Altura máxima alcanzada, (iii) Volumen escurrido para un determinado período y (iv) Duración o permanencia de determinados valores de caudales y niveles. Si bien existen relaciones entre estas variables, debido a las causas indicadas anteriormente, cada una mide características distintas del mismo fenómeno. Concretamente, en ríos de llanura, una vez desbordado el cauce principal, grandes incrementos de caudal generan variaciones de alturas no tan significativas. Por ello, desde una óptica estadística, un evento extraordinario sería “menos común” si es caracterizado por su caudal que por su altura. La variable hidrológica natural en una sección determinada de un curso de agua es su caudal, considerando a éste como resultado de todos los aportes provenientes de aguas arriba. Los niveles que alcanza el agua en la misma sección depende de la configuración

geométrica de la misma y de las características de pendiente y rugosidad del tramo aguas arriba y aguas abajo. Por otra parte, los registros hidrométricos dependerán de la localización del “cero” de la escala de medición utilizada, lo que también afectará cualquier inferencia estadística hecha sobre esa variable. Por lo expuesto, la caracterización probabilística de caudales y de niveles máximos (o críticos) en una misma sección de un río de llanura como el río Paraná, con valles de inundación amplios, no serán necesariamente correspondientes. Dicho en otras palabras, la recurrencia de un determinado evento extraordinario, será mayor si se lo analiza por su caudal que por su altura alcanzada. En numerosos trabajos de actualización de frecuencias se analiza la crecida extraordinaria de 1982/83 como un *outlier*, pues presenta una recurrencia muy superior a la extensión del registro disponible. Paoli, (1987) con base en la actualización de estudios de frecuencias de niveles máximos, muestra las limitaciones de esta variable al ser extrapolada, por lo que sugiere la utilización de series de caudales máximos para cualquier análisis probabilístico. El presente trabajo se enfoca en evaluar el comportamiento estadístico de la serie de caudales medios diarios ($Q_{meddiario}$) y caudales máximos anuales (Q_{max1}) del río Paraná en la sección Corrientes, considerando diferentes extensiones temporales. La estadística descriptiva es la base de la inferencia estadística, que se utiliza para definir eventos críticos de diseño en obras hidráulicas de importancia, como por ejemplo los sistemas de defensa contra inundaciones fluviales de varias ciudades capitales de provincia del nordeste argentino, que se localizan sobre las márgenes de río Paraná. Dicho análisis será importante para verificar los estándares de seguridad de las obras ya construidas y para ayudar a las decisiones políticas y técnicas que deberían tomarse al respecto. Se analiza la denominada “serie total” 1904-2016 y también se consideraron los últimos cuarenta y seis años de datos, serie que se fraccionó en los períodos 1970-2000, 1970-2010 y 1970-2016, buscando evaluar si las estadísticas descriptiva se mantuvieron constantes o si presentaron variaciones significativas.



Figura1. Ubicación de la estación Corrientes (Fuente: Google Earth).

2. METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

Existen numerosos trabajos referidos al estudio de las crecidas del río Paraná y al análisis de frecuencia de las mismas. Una de los primeros data de 1906 (Walquist, 1906) y se refiere a la crecida de 1905. En el mismo se comparan las oscilaciones de nivel en Asunción (río Paraguay), Posadas, Corrientes, La Paz, Paraná y Baradero, indicando además el área de afectación a lo largo de todo el valle del río Paraná hasta la ciudad de Santa Fe. Paoli y Schreider (2000) menciona que hasta el año 1977 se publicaron numerosos informes sobre el régimen de crecidas de los ríos Paraná y Paraguay, principalmente por parte de organismos estatales, como la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (DNCPVN), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de Agua y Energía Eléctrica (AyEE), la Comisión Nacional de la Cuenca del Plata (CONCAP) y el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH). Existen también otros informes elaborados por consultoras internacionales, que estuvieron orientados al aprovechamiento hidroeléctrico y de navegación del río Paraná, como los de Harza y Asociados, IECO/ELC, Lahmeyer Harza y Asociados, entre otros. En 1979 culminó un trabajo encargado por la Entidad Binacional Yacyretá a la firma Motor Columbus y Asociados, denominado “Estudio de

Crecidas Ríos Paraná y Paraguay”, que constituye uno de los más completos análisis realizados hasta ese momento, que incluye e integra gran parte de los informes y estudios anteriores a esa fecha. Constituye además un hito fundamental en la recopilación y manejo de información que hasta entonces se encontraba dispersa y de difícil acceso. Luego de producirse la mayor crecida del siglo XX en 1982/83, se efectuaron numerosos estudios y análisis por parte de organismos públicos y privados, destacándose, por ser de los primeros, el de Aisiks (1984) que concluye en su trabajo que si bien la crecida de 1983 tuvo un volumen y una duración excepcional, los niveles y caudales registrados no pueden ser considerados realmente excepcionales ya que su recurrencia apenas supera los cien años, a pesar de ser la mayor crecida de ese siglo. Posteriormente, Ceirano (1985) demuestra en su trabajo que esa crecida de 1982/83, con caudales estimados del orden de $60,000 \text{ m}^3/\text{s}$ en Corrientes y Santa Fe Paraná (Entre Ríos), produjo una serie de modificaciones en los valores de los parámetros estadísticos y, como consecuencia, también en las recurrencias. Estas modificaciones se produjeron no sólo por la aparición de un valor de esta magnitud, sino también por los cambios que las mediciones producen sobre la extrapolación de las curvas de descarga que ha sido modificada. Como dato interesante presenta que entre el comienzo y el fin de la crecida, la sección de escurrimiento en Corrientes se

erosionó en 4,000 m², lo que representa aproximadamente un 25% del área anterior a la creciente; además, los caudales medios diarios entre 1/7/82 y el 31/12/83 se estimaron por interpolación y no de las curvas H-Q (Paoli, y Schreider 2000). Entre los recientes se puede citar el estudio hidrológico e hidráulico para el proyecto “Estudios de Prefactibilidad y Anteproyecto Definitivo de la Interconexión Vial entre las Provincias de Corrientes y Santa

Fe”, encargado por el Consejo Federal de Inversiones C.F.I. (Huerta & Asoc., 1999), que se basó en la serie muestral completa, desde 1904 hasta 1998, y en otra más moderna correspondiente al período 1970 a 1998. El trabajo concluye con la determinación de los hidrogramas de diseño para recurrencias de 100 y 1,000 años, que presentan los siguientes valores: Q_{max} (TR 100 años; 63,415m³/s y Q_{max} (TR 1,000 años; 82,730m³/s).

Tabla 1. Serie de caudales diarios máximos anuales por año hidrológico

Período	Q _{max} (m ³ /s)						
1904/1905	50,043	1932/1933	25,789	1960/1961	34,724	1988/1989	28,194
1905/1906	27,849	1933/1934	14,455	1961/1962	24,545	1989/1990	23,174
1906/1907	24,855	1934/1935	24,670	1962/1963	24,438	1990/1991	43,829
1907/1908	29,360	1935/1936	33,512	1963/1964	23,538	1991/1992	54,000
1908/1909	24,624	1936/1937	26,167	1964/1965	33,833	1992/1993	30,254
1909/1910	22,853	1937/1938	27,026	1965/1966	43,829	1993/1994	31,549
1910/1911	19,864	1938/1939	21,488	1966/1967	27,233	1994/1995	35,011
1911/1912	39,036	1939/1940	31,012	1967/1968	21,322	1995/1996	26,701
1912/1913	24,809	1940/1941	25,931	1968/1969	23,538	1996/1997	41,884
1913/1914	21,098	1941/1942	26,073	1969/1970	20,180	1997/1998	48,162
1914/1915	24,670	1942/1943	23,754	1970/1971	27,175	1998/1999	38,149
1915/1916	23,890	1943/1944	20,969	1971/1972	23,747	1999/2000	17,018
1916/1917	22,898	1944/1945	21,141	1972/1973	29,880	2000/2001	27,854
1917/1918	25,227	1945/1946	33,672	1973/1974	30,405	2001/2002	25,571
1918/1919	27,752	1946/1947	29,582	1974/1975	23,433	2002/2003	24,532
1919/1920	31,088	1947/1948	22,409	1975/1976	26,599	2003/2004	24,769
1920/1921	36,045	1948/1949	21,357	1976/1977	36,717	2004/2005	26,253
1921/1922	30,480	1949/1950	26,930	1977/1978	24,924	2005/2006	25,601
1922/1923	38,081	1950/1951	33,193	1978/1979	29,805	2006/2007	29,728
1923/1924	26,452	1951/1952	26,073	1979/1980	34,075	2007/2008	20,912
1924/1925	19,363	1952/1953	20,117	1980/1981	31,012	2008/2009	22,038
1925/1926	33,353	1953/1954	30,632	1981/1982	38,805	2009/2010	31,167
1926/1927	25,367	1954/1955	26,930	1982/1983	60,215	2010/2011	29,688
1927/1928	28,919	1955/1956	29,139	1983/1984	37,291	2011/2012	25,421
1928/1929	39,123	1956/1957	28,194	1984/1985	28,338	2012/2013	33,624
1929/1930	30,104	1957/1958	32,404	1985/1986	26,943	2013/2014	33,219
1930/1931	35,962	1958/1959	33,833	1986/1987	38,861	2014/2015	30,139
1931/1932	32,091	1959/1960	23,538	1987/1988	26,943	2015/2016	36,927

2.2 Selección de la muestra

El análisis se hizo primeramente sobre la serie total (1904-2016), con una extensión de 112 años de registro, considerando como año hidrológico al período comprendido entre septiembre y agosto del año calendario siguiente, trabajando sobre los valores de caudales medios diarios (Q_{meddiario}) y caudales diarios máximos

anuales (Q_{max}). También se trabajó con la serie moderna, que abarca el período 1970-2016, la que a su vez se analizó por separado distintas extensiones de registros (1970-2000, 1970-2010 y 1970-2016). Actualmente, para los diseños de obras de ingeniería afectadas por el río Paraná, se utiliza la serie moderna pues refleja el fuerte proceso de antropización de esta región de la Cuenca del Plata durante los últimos 50 años, en

los que se construyeron numerosas presas de embalse, desaparecieron bosques nativos, entre otras intervenciones humanas. La serie de datos de Qmax estudiados se muestra en la tabla 1, en

la cual están ordenados por año hidrológico. En la figura 2 se representan en orden cronológico esos valores.

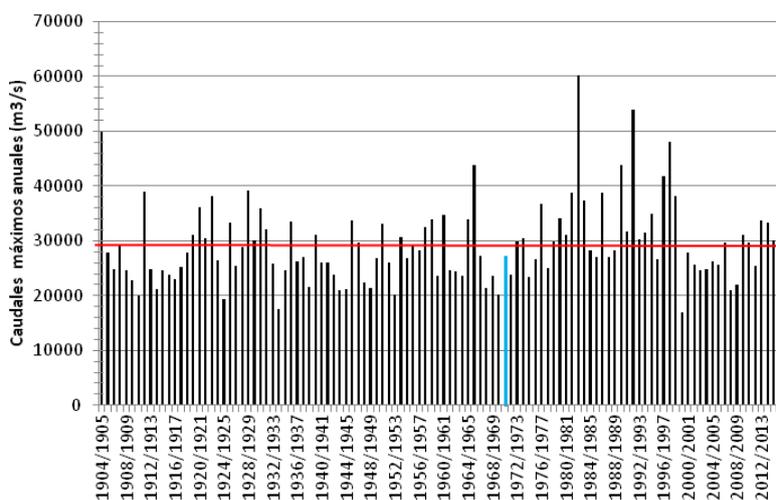


Figura 2. Río Paraná en Corrientes caudales máximos anuales. (Fuente: elaboración propia).

2.3 Datos atípicos

Chow *et al.*, (1994) explican que los datos dudosos (outliers) son aquellos que se alejan significativamente de la tendencia que posee la serie. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de las estadísticas de la serie, especialmente en muestras pequeñas. Para detectar la eventual presencia de outliers se usó la metodología propuesta por Naghettini y Andrade (2007), que emplea diferentes cuartiles de un conjunto de datos. Para ello se calcularon el primer cuartil (Q1), el tercer cuartil (Q3) y el rango

intercuartílico (Q3-Q1), para definir el umbral a partir del cual, si es superado, se considera al dato como outlier. Los resultados obtenidos fueron $Q1=12,961.3 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q3=20,583.4 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q2=16,398.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (que es la mediana de la serie) y los extremos inferior y superior, $3,945.54 \text{ m}^3/\text{s}$ y $32,014.34 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Un total de 1,039 veces fue superado el extremo superior (sobre un total 40,880 datos diarios). En figura 3 se muestra un diagrama de caja en que se representan los cuartiles 1 y 3, la mediana y los valores atípicos como puntos por afuera de dicha caja.

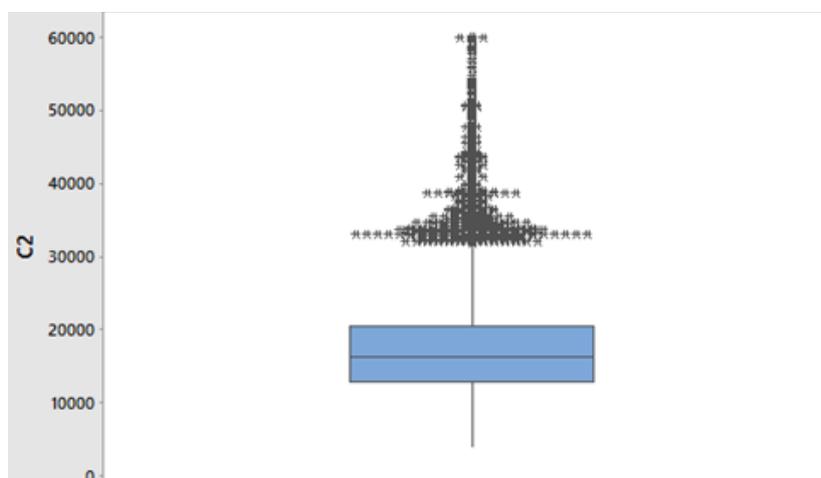


Figura3. Gráfico de caja y outliers

Si bien esos valores podrían ser considerados outliers, en su análisis se tuvo en cuenta lo indicado por Paoli *et al.*, (1991), que dice “la crecida extraordinaria del año 1982-83, indudablemente tiene características de evento raro, que se conoce como outliers, que cambia significativamente las propiedades estadísticas de datos originales (coeficiente de asimetría y cuantiles)”. En este caso, los valores atípicos presente en la serie provienen de la variabilidad natural propia de las variables hidrológicas que caracterizan los eventos de cierta magnitud que se producen en este tipo de ríos. Por lo tanto sí

fueron considerado en el análisis (no fueron descartados).

3. RESULTADOS

Las estadísticas calculadas para las series de caudales medios diarios (Qmeddiario) y máximos diarios anuales (Qmax) son presentados en las tablas 2 y 3.

La tabla 4 muestra las series móviles para 50 años.

Tabla 2. Estadística descriptiva de la serie de caudales medio diarios

Período	1904-2016	1970-2000	1970-2010	1970-2016
Media	17 282.00	19 475.81	18 989.74	19 097.38
Mediana	16 398.70	17 946.90	17 523.30	17 691.80
Moda	15 072.60	17 861.60	17 861.60	17 861.60
Desviación estándar	6 409.55	7 115.70	6 519.89	6 338.49
Varianza de la muestra	41 082 363.67	50 633 205.66	42 508 949.38	40 176 490.27
Curtosis (CK)	2.93	4.42	5.53	5.46
Coef. de asimetría (CS)	1.14	1.70	1.86	1.83
Rango	56 269.40	53 785.10	53 785.10	53 785.10
Mínimo	3 945.60	6 429.90	6 429.90	6 429.90
Máximo	60 215.00	60 215.00	60 215.00	60 215.00
Suma	710 912 544.45	213 084 849.38	277 136 244.80	320 568 566.75
Cuenta (N)	41 136	10 941	14 594	16 786
Mayor (1)	60 215.00	60 215.00	60 215.00	60 215.00
Menor(1)	3 945.60	6 429.90	6 429.90	6 429.90
Nivel de confianza (95%)	61.94	133.35	105.79	95.89
Coef. de Variación (CV)	0.37	0.37	0.34	0.33

Tabla 3. Estadística descriptiva de los caudales máximo diario anual

Período	1904-2016	1970-2000	1970-2010	1970-2016
Media	29 222.88	33 103.12	31 287.97	31 316.02
Mediana	27 492.50	30 329.45	29 033.04	29 766.74
Moda	23 538.00	26 943.20	26 943.20	26 943.20
Desviación estándar	7 383.64	9 481.01	8 903.50	8 394.27
Varianza de la muestra	54 518 087.67	89 889 613.33	79 272 261.12	70 463 812.50
Curtosis (CK)	3.17	1.45	2.36	2.80
Coef. de asimetría (CS)	1.40	1.13	1.43	1.46
Rango	45 760.00	43 196.65	43 196.65	43 196.65
Mínimo	14 455.00	17 018.35	17 018.35	17 018.35
Máximo	60 215.00	60 215.00	60 215.00	60 215.00
Suma	3 272 962.70	993 093.61	1 251 518.61	1 440 536.70
Cuenta (N)	112	30	40	46
Mayor (1)	60 215.00	60 215.00	60 215.00	60 215.00
Menor(1)	14 455.00	17 018.35	17 018.35	17 018.35
Nivel de confianza (95%)	1 382.52	3 540.27	2 847.48	2 492.79
Coef. de Variación (CV)	0.25	0.29	0.28	0.27

Tabla 4. Series móviles de 50 años

Período	Media	Desvío	Coef. Asimetría	Coef. Variación	Coef. Kurtosis
1904/1905 - 1953/1954	27624.16	6322.726	1.004	0.229	3.170
1905/1906 - 1954/1955	27161.90	5432.442	0.355	0.200	3.576
1906/1907 - 1955/1956	27187.70	5438.831	0.340	0.200	3.512
1907/1908 - 1956/1957	27254.48	5430.097	0.305	0.199	3.464
1908/1909 - 1957/1958	27315.36	5471.094	0.280	0.200	3.408
1909/1910 - 1958/1959	27499.54	5533.296	0.203	0.201	3.362
1910/1911 - 1959/1960	27513.24	5522.394	0.202	0.201	3.344
1911/1912 - 1960/1961	27810.44	5502.157	0.140	0.198	3.394
1912/1913 - 1961/1962	27520.62	5275.787	0.121	0.192	3.608
1913/1914 - 1962/1963	27513.20	5279.938	0.124	0.192	3.558
1914/1915 - 1963/1964	27562.00	5230.480	0.128	0.190	3.582
1915/1916 - 1964/1965	27745.26	5287.298	0.054	0.191	3.535
1916/1917 - 1965/1966	28144.04	5724.443	0.303	0.203	3.501
1917/1918 - 1966/1967	28230.74	5675.990	0.280	0.201	3.488
1918/1919 - 1967/1968	28152.64	5744.615	0.278	0.204	3.435
1919/1920 - 1968/1969	28068.36	5781.407	0.308	0.206	3.365
1920/1921 - 1969/1970	27850.20	5870.259	0.356	0.211	3.319
1921/1922 - 1970/1971	27672.79	5750.359	0.413	0.208	3.408
1922/1923 - 1971/1972	27538.14	5762.102	0.475	0.209	3.353
1923/1924 - 1972/1973	27374.11	5569.368	0.475	0.203	3.532
1924/1925 - 1973/1974	27453.17	5584.048	0.430	0.203	3.460
1925/1926 - 1974/1975	27534.58	5492.621	0.466	0.199	3.533
1926/1927 - 1975/1976	27399.49	5429.294	0.534	0.198	3.537
1927/1928 - 1976/1977	27626.48	5577.806	0.465	0.202	3.474
1928/1929 - 1977/1978	27546.59	5587.515	0.505	0.203	3.399
1929/1930 - 1978/1979	27360.23	5343.598	0.471	0.195	3.637
1930/1931 - 1979/1980	27439.64	5414.242	0.445	0.197	3.571
1931/1932 - 1980/1981	27340.64	5299.263	0.451	0.194	3.675
1932/1933 - 1981/1982	27474.92	5503.230	0.505	0.200	3.648
1933/1934 - 1982/1983	28163.44	7184.676	1.938	0.255	3.571
1934/1935 - 1983/1984	28620.16	7019.390	2.080	0.245	3.790
1935/1936 - 1984/1985	28693.52	6996.394	2.072	0.244	3.726
1936/1937 - 1985/1986	28562.14	6965.673	2.151	0.244	3.737
1937/1938 - 1986/1987	28816.03	7106.511	1.979	0.247	3.652
1938/1939 - 1987/1988	28814.37	7106.947	1.980	0.247	3.561
1939/1940 - 1988/1989	28948.49	7028.711	2.011	0.243	3.570
1940/1941 - 1989/1990	28791.73	7069.037	2.034	0.246	3.508
1941/1942 - 1990/1991	29149.70	7368.069	1.826	0.253	3.424
1942/1943 - 1991/1992	29708.24	8147.376	1.740	0.274	3.340
1943/1944 - 1992/1993	29838.24	8102.162	1.728	0.272	3.292
1944/1945 - 1993/1994	30049.84	8003.356	1.739	0.266	3.320
1945/1946 - 1994/1995	30327.23	7928.284	1.715	0.261	3.347
1946/1947 - 1995/1996	30187.82	7929.555	1.766	0.263	3.343
1947/1948 - 1996/1997	30433.86	8099.421	1.626	0.266	3.250
1948/1949 - 1997/1998	30948.92	8392.233	1.489	0.271	3.239
1949/1950 - 1998/1999	31284.77	8336.359	1.439	0.266	3.262
1950/1951 - 1999/2000	31086.53	8556.954	1.307	0.275	3.166
1951/1952 - 2000/2001	30979.75	8563.441	1.342	0.276	3.137
1952/1953 - 2001/2002	30969.71	8569.602	1.341	0.277	3.048
1953/1954 - 2002/2003	31058.01	8477.748	1.388	0.273	3.115
1954/1955 - 2003/2004	30940.74	8524.188	1.400	0.276	3.022
1955/1956 - 2004/2005	30927.21	8531.218	1.400	0.276	2.923
1956/1957 - 2005/2006	30856.45	8560.973	1.406	0.277	2.817

1957/1958 - 2006/2007	30887.14	8553.982	1.399	0.277	2.711
1958/1959 - 2007/2008	30657.30	8666.045	1.396	0.283	2.649
1959/1960 - 2008/2009	30421.40	8738.075	1.425	0.287	2.628
1960/1961 - 2009/2010	30573.97	8681.853	1.408	0.284	2.581
1961/1962 - 2010/2011	30473.26	8661.913	1.452	0.284	2.588
1962/1963 - 2011/2012	30490.77	8650.560	1.454	0.284	2.516
1963/1964 - 2012/2013	30674.49	8616.866	1.413	0.281	2.448
1964/1965 - 2013/2014	30868.10	8561.825	1.382	0.277	2.403
1965/1966 - 2014/2015	30794.23	8551.651	1.413	0.278	2.367
1966/1967 - 2015/2016	30656.19	8391.156	1.476	0.274	2.878

4. DISCUSIÓN

Estadísticas de tendencia central: se nota un crecimiento de estas estadísticas al comparar la serie total (1904-2016) con la moderna total (1970-2016) y sus fracciones. En la tabla 5 se presentan dichas variaciones tomando las estadísticas de la serie total como base “1”. Estadísticas de variabilidad: el desvío estándar y los valores mínimos mostraron un crecimiento al comparar las series modernas con la serie total, mientras que el rango disminuyó y el valor máximo se mantuvo igual (que corresponde a la mayor creciente registrada en el año 1982/83); el

coeficiente de variación tampoco mostró variaciones significativas. En la tabla 6 se presentan dichas variaciones tomando como base de comparación “1” las estadísticas de la serie total. El crecimiento de los valores de estadísticas de tendencia central y del desvío estándar estarían indicando que los eventos críticos de diseño deberían ser recalculados, teniendo en cuenta la ecuación generalizada de frecuencia de Chow (Chow *et al.*, 1994; Tucci, 1997), utilizada en diseños hidrológicos e hidráulicos, y que indica lo siguiente:

$$\hat{X} = \bar{X} + \sigma k \quad (1)$$

Donde: \hat{X} es el valor crítico de la variable hidrológica; \bar{X} es el valor medio

σ es la desviación estándar de la muestra y k es el factor de frecuencia del evento crítico

Tabla 5. Variaciones de estadísticas de tendencia central

		1904-2016	1970-2000	1970-2010	1970-2016
Qmeddiario	Media	1	1.127	1.099	1.105
	Mediana	1	1.094	1.069	1.079
	Moda	1	1.185	1.185	1.185
Qmax	Media	1	1.133	1.071	1.072
	Mediana	1	1.103	1.056	1.083
	Moda	1	1.145	1.145	1.145

Tabla 6. Variaciones de estadísticas de variabilidad

		1904-2016	1970-2000	1970-2010	1970-2016
Qmeddiario	Desvío estándar	1	1.110	1.017	0.989
	Rango	1	0.956	0.956	0.956
	Mínimo	1	1.630	1.630	1.630
	Máximo	1	1.000	1.000	1.000
Qmax	Desvío estándar	1	1.284	1.206	1.137
	Rango	1	0.944	0.944	0.944
	Mínimo	1	1.177	1.177	1.177
	Máximo	1	1.000	1.000	1.000

5. CONCLUSIONES

Los análisis de frecuencia de crecidas deben ser permanentemente actualizados cuando se dispone de nuevos registros. Del análisis de series móviles (tabla 4), el coeficiente de asimetría muestra variaciones muy marcadas: por ejemplo, el del período 1904-1905 1953-1954 (50 años) es 1.004, pues incluye en su extremo (1904-1905) el tercer máximo caudal registrado. Después de la crecida de 1982/1983 se registraron otras crecidas importantes (años 1988, 1992 y 1998), que elevan el valor de la media, pero no modifican la variabilidad de la serie. Se observa en los últimos años una mayor frecuencia de valores cercanos y superiores a 40,000 m³/s y además llama la atención la sucesión de eventos extraordinarios que

alcanzaron o estuvieron en el orden de 50,000 m³/s (1983, 1992 y 1998). Esas variaciones estadísticas serían producto del cambio de uso del suelo en la cuenca y del efecto hidrológico de las presas construidas en los últimos cincuenta años, pudiendo influir también las manifestaciones del cambio climático. Para el proyecto de futuras obras hidráulicas sería deseable definir cuál sería la serie moderna a emplear para los eventos críticos de diseño. Se aclara que el presente trabajo se enfocó en el análisis de estadísticas descriptivas y no estuvo orientado a asignar recurrencias a los máximos caudales observados, según la secuencia temporal de las series consideradas.

REFERENCIAS

- Aisikis, E. (1984). *La gran crecida del río Paraná de 1983*. TECHINT Boletín informativo no. 232. Buenos Aires, Argentina.
- Ceirano, E. (1985). *Evaluación de la crecida de 1982-83 del río Paraná y su influencia sobre la estimación estadística de caudales máximos*. AyEE
- Chow, V., Maidment, D. Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Mc Graw-Hill. Santa Fe de Bogotá. Colombia.
- Huerta & Asoc. (1999). *Estudios de Prefactibilidad y Anteproyecto Definitivo de la Interconexión Vial entre las Provincias de Corrientes y Santa Fe*. Consejo Federal de Inversiones (C.F.I.) 09/08/2019 <http://biblioteca.cfi.org.ar/biblioteca>. Argentina
- Naghetini, M.; Andrade E. (2007). *Hidrología estadística*. Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte.
- Paoli, C. (1987). *Control y protección de crecidas. Análisis probabilístico y perfiles de niveles máximos*. INCYTH. MOSP. Buenos Aires
- Paoli, C., Cacik, P., Bolzicco, J. (1991). *Análisis de frecuencia de crecidas del río Paraná*. Convenio Agua y Energía. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Publicación FICH-UNL. Santa Fe.
- Paoli, C., Schreider, M. (2000). *El río Paraná en su tramo medio*. Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.
- Pilar, J. (2003). *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a otimização de traçados de obras de engenharia civil: O caso do sistema de defesa contra inundações da cidade de Resistência, Argentina*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto Alegre.
- Tucci, C. (1997). *Hidrología ciência e aplicação*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Walqhist, O. (1906). *La Gran Creciente de 1905 del río Paraná y sus afluentes*. Oficina Meteorológica Argentina. Buenos Aires.

Como citar este artículo:

Gómez, M., Pilar, J., Ruberto, A., Depettris, C., Méndez, G. (2019). Verificación de la estabilidad estadística de la serie de caudales del río Paraná en la sección Corrientes. *Aqua-LAC* Volumen 11(2), 50-58. doi: 10.29104/phi-aqualac/2019-v11-2-05



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license