

ECUACIONES DE LLUVIAS INTENSAS I-D-R PARA LA CIUDAD DE AZUL A PARTIR DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA DEL SMN

Mg. Ing. José Luis Carner¹
FI-UNLP – UIDET Hidromecánica
jlcarner@gmail.com

RESUMEN

A partir de la información de precipitaciones diarias aportada por el Servicio Meteorológica Nacional (SMN), se buscó realizar un cálculo de las leyes de Intensidad, Duración, Recurrencia aplicando las ecuaciones de Frederick Bell, a partir de estimar la precipitación diaria de probabilidad de ocurrencia del 10% anual. Se consideraron otras ecuaciones como la de Grobe.

La Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) de la Provincia de Buenos Aires, por su parte, dispone de ecuaciones derivadas del Trabajo de Ing. Gustavo Devoto sobre Regionalización de Lluvias Intensas, curvas IDR, en la República Argentina, adoptadas en el Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y de la Gestión del Drenaje Urbano, al cual ha adherido la Provincia de Buenos Aires. Y adicionalmente existe un trabajo realizado por el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA).

En este trabajo se realizaron diversos análisis para determinar leyes estadísticas y de distribución temporal en base a trabajos como los de F. Bell y los correspondientes a Dick y Preschke en base a los máximos registros diarios anuales, considerando años calendarios y años hidrológicos.

El objetivo se basó en contrastar diversas leyes existentes y actualizarlas de considerarse útil.

Palabras clave: Curvas IDR – Azul Aero -

¹ Profesor Adjunto, Cátedra de Obras Hidráulicas, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP.

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos hidráulicos requieren basarse en registros de lluvias que permitan determinar caudales de diseño, según los riesgos a adoptar, para diversas obras hidráulicas como alcantarillas, puentes, desagües pluviales, etc. La forma de aplicación de esta información pluvial es en base a leyes de Intensidad – Duración – Recurrencias (IDR) muy utilizadas en ecuaciones básicas como la del Método Racional, o para confeccionar Hietogramas Sintéticos para aplicar en modelos matemáticos.

En general esta información debe ser recabada de registros pluviográficos que permitan considerar la lluvia precipitada cada intervalos regulares y cortos de tiempo (del orden de minutos) para elaborar estas curvas.

A falta de información pluviográfica, o de registros de corta longitud, se ha decidido trabajar a partir de datos diarios obtenidos de registros pluviométricos de la estación Azul Aero (87641), con 64 años de registro completos desde 1961 a 2024. Esta información, suficiente para poder realizar cálculos probabilísticos, ha permitido por un lado calcular los valores máximos anuales según distintas probabilidades de ocurrencia; por otro lado, comparar las leyes de uso con los valores actualizados y propios de la región. Y finalmente observar la tendencia no solo de los máximos diarios anuales sino de la tendencia anual de acumulación de las precipitaciones.

2. OBJETIVOS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

El objetivo central del trabajo ha sido determinar las leyes de lluvias por Intensidad, Duración y Recurrencia, con datos no solo actuales sino también locales para la región de la ciudad de Azul a partir de los registros diarios de precipitaciones realizados por el SMN.

Como objetivos secundarios se han perseguido básicamente:

- a. Interpretar los fenómenos de los últimos 64 años respecto a la precipitación anual acumulada.
- b. Observar las leyes IDR obtenidas y existentes respecto a los volúmenes de agua precipitada, por cantidad e intensidad y su distribución temporal durante una tormenta.
- c. Proponer leyes de aplicación que adopten cambios en las tendencias de las precipitaciones de acuerdo a la bibliografía más actualizada.

Para abordar estos objetivos se analiza la ecuación existente del IHLLA para Azul, las ecuaciones propuestas por el Ing. Gustavo Devoto de aplicación para la ciudad de Azul y las propuestas derivadas de este estudio.

3. METODOLOGÍAS

Las metodologías de trabajo se basaron en analizar los datos, básicamente de dos tipos:

- a. Los registros de datos de las precipitaciones anuales acumuladas de la Estación Azul Aero del SMN (Código de estación 87641), tomados como años calendarios (enero / diciembre) o años hidrológicos (abril / marzo).
- b. De esta última clasificar los valores máximos diarios de cada año del registro de precipitaciones.

Así, por un lado, se han realizado ajustes a la serie de datos generada con los máximos anuales según distintas funciones de distribución de probabilidad: log-normal de 2 y 3 parámetros, Gumbel, log-Pearson III, y Fréchet, todos con niveles de significación del 5%, de las cuales se ha adoptado el máximo valor estimado, para recurrencia de 10 años y duración de 24 horas. El valor adoptado fue de 115,86 mm. Con este máximo valor en 1440 minutos (diario) de precipitación se utilizó la metodología desarrollada por Frederick Bell para realizar distribuciones de intensidad, duración y recurrencia según la siguiente expresión [1], aplicable para otras recurrencias y duraciones:

$$P_D^T = (0.21 \ln(T) + 0.52) \cdot (0.54 D^{0.25} - 0.50) P_{60}^{10} \quad [1]$$

Por otro lado, se utilizó la serie de valores máximos para aplicar el criterio de Grobe, conocido como Dyck y Preschke, que, en base a la serie de registros máximos, determina para diversas duraciones la precipitación en base a la precipitación diaria, según la expresión [2]:

$$P_D = P_{24h} \cdot \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25} \quad [2]$$

P_D como precipitación máxima de duración D , en mm

P_{24h} como precipitación máxima de 24 horas, en mm

D duración de la precipitación, en horas

$$I = \frac{P_D}{D} \quad [3]$$

I como Intensidad, en mm/h

P_D como precipitación máxima de duración 24 horas

D como duración de cálculo en horas

Finalmente se pueden determinar las fórmulas de Intensidad en función del Período de retorno y la duración considerada, según la ecuación [4]:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{K \cdot T^m}{D^n} \quad [4]$$

T es la recurrencia, en años

D es la duración considerada, en minutos

K , m y n coeficientes

Finalmente se analizaron las ecuaciones de lluvias precipitadas según las relaciones de tiempo, como se presentan en la Tabla N° 1, y a partir de estas relaciones se ajustaron las precipitaciones y las intensidades, desde las lluvias de 5 a 60 minutos según la recurrencia obtenida por el método de F. Bell, para las ecuaciones que se proponen en este trabajo.

Tabla N°1: relación de duraciones

RELACIÓN	BRASIL	EE.UU.		CABA
		USW Bureau	Denver	
5 min / 30 min	0.34	0.37	0.42	
10 min / 30 min	0.54	0.57	0.63	
15 min / 30 min	0.70	0.72	0.75	0.59
20 min / 30 min	0.81		0.84	0.80
25 min / 30 min	0.91		0.92	0.91
30 min / 1 h	0.74	0.79		0.81
1 h / 24 h	0.42			
6 h / 24 h	0.72			
8 h / 24 h	0.78			
10 h / 24 h	0.82			
12 h / 24 h	0.85			
24 h / 1 día	1.14	1.13		

Los valores adoptados para relacionar las duraciones, referidos a la tormenta de 1 horas, buscaron maximizar cada intervalo de tiempo buscando que las duraciones menores a 20 minutos concentraran mayor volumen de agua.

En todos los casos se utilizaron curvas de ajuste de tendencias para proponer la ecuación de cada ley finalmente considerada como representante de la recurrencia analizada para la ciudad de Azul.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla N°2: Registros de la Estación Azul Aero. SMN

Precipitación			Precipitación			Precipitación		
Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]	Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]	Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]
1961	39,60	594,60	1983	97,70	1035,20	2005	61,00	982,90
1962	103,30	836,10	1984	49,50	863,80	2006	95,00	895,00
1963	91,00	1149,50	1985	71,00	1015,30	2007	88,00	806,40
1964	56,00	854,70	1986	60,60	1100,60	2008	63,00	585,40
1965	56,20	805,40	1987	69,50	1138,80	2009	86,00	893,60
1966	92,80	882,70	1988	108,00	740,40	2010	54,00	854,60
1967	107,80	1044,55	1989	129,00	1057,40	2011	75,00	950,20
1968	66,00	787,40	1990	72,00	956,60	2012	70,00	1150,60
1969	79,10	1034,20	1991	86,00	1153,80	2013	70,50	778,10
1970	70,20	757,00	1992	59,00	753,80	2014	61,00	1095,80
1971	65,70	841,20	1993	68,00	1035,30	2015	109,00	920,10
1972	75,60	1092,50	1994	49,50	851,50	2016	47,00	746,40
1973	68,50	858,90	1995	66,70	961,60	2017	89,00	925,20
1974	72,50	934,20	1996	65,00	966,80	2018	81,00	1117,60
1975	53,90	857,20	1997	105,50	1065,10	2019	59,00	709,70
1976	105,50	1218,30	1998	80,00	972,20	2020	79,00	907,70
1977	104,50	1143,80	1999	58,00	1039,00	2021	173,50	1181,50
1978	45,00	749,70	2000	71,00	1035,30	2022	51,50	792,80
1979	73,00	915,60	2001	97,00	1446,40	2023	84,70	1236,10
1980	175,00	1309,50	2002	81,00	1157,00	2024	112,00	942,60
1981	58,80	544,40	2003	55,00	896,00			
1982	90,20	750,50	2004	49,50	923,30			

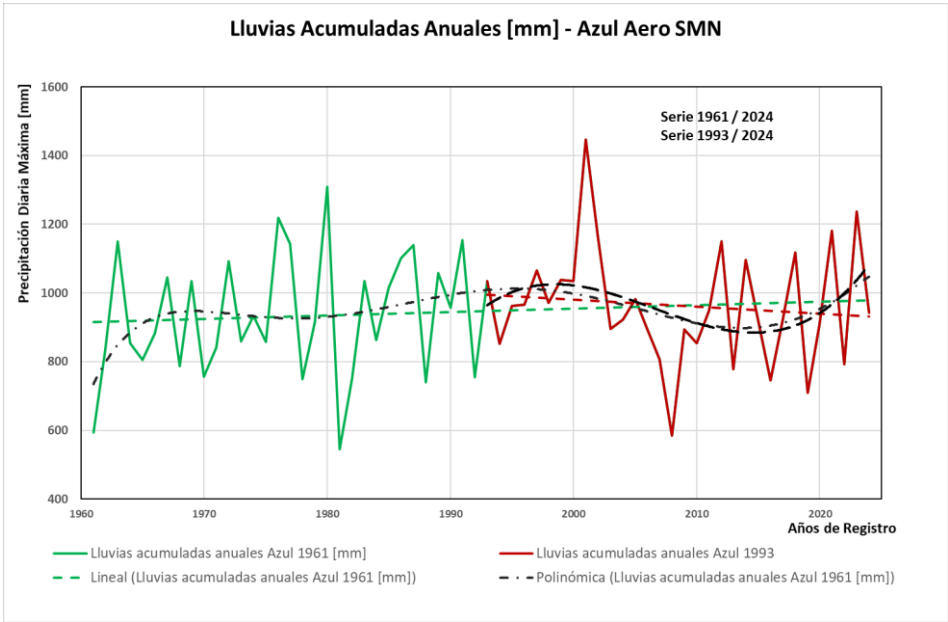


Gráfico N°1: Lluvias acumuladas anuales en la estación Azul Aero. Tendencias lineales, para serie completa de 64 años y serie de 31 años.

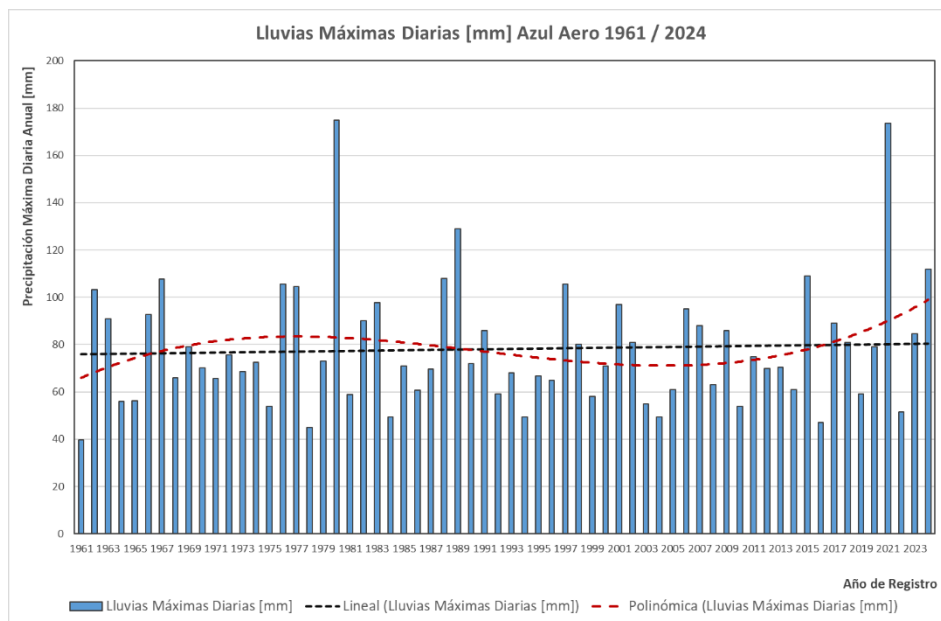


Gráfico N°2: Estación Azul Aero valores máximos anuales con tendencias lineales y sinusoidales.

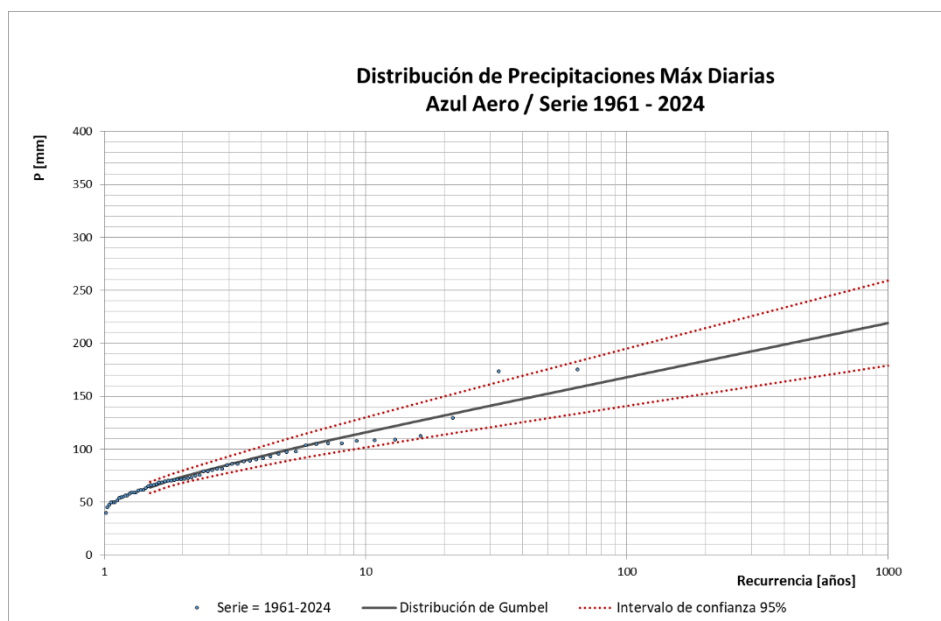


Gráfico N°3: Distribución de Gumbel para los registros de tormentas máximas. $P_{24}^{10} = 115,86$ mm

La ecuación de F. Bell resultante con el estimado del Gráfico N°3 arrojó un valor de $P_{1h}^{10} = 52,35$ mm (45,2% de P_{24h}) y la correspondiente ecuación:

$$I \text{ [mm/h]} = 302,154 \times R^{(0.204)} \times D^{(-0.5535)}$$

De la misma forma, la ecuación de Grobe, conocida como de Dick y Preschke, propone la ecuación siguiente (con la recurrencia en años y la duración de la precipitación en minutos):

$$I[\text{mm/h}] = 531,964 \times R^{(0.319)} \times D^{(-0.75)}$$

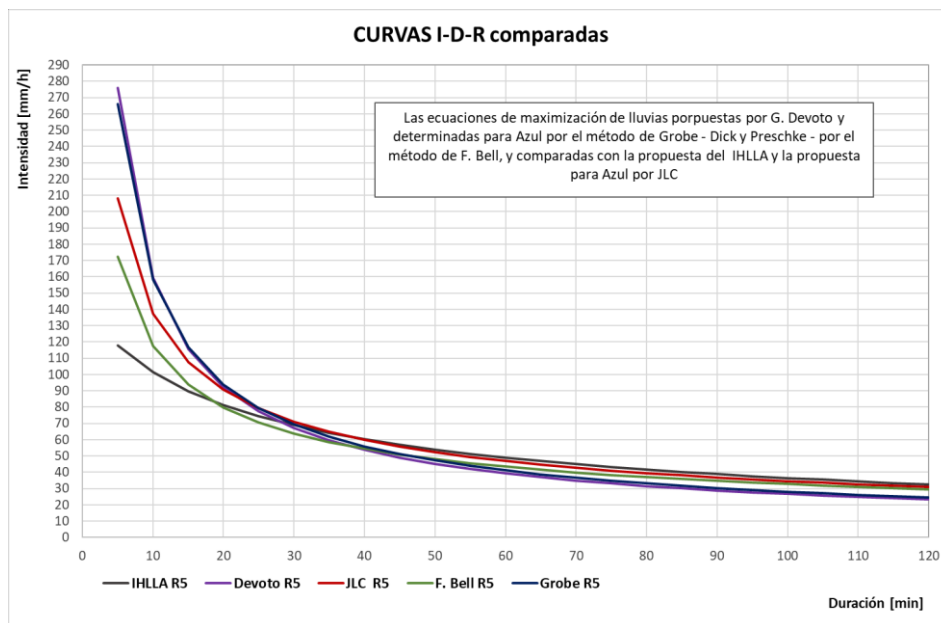


Gráfico N°4: Leyes de lluvias IDR de uso actual y propuesta, para R= 5 años

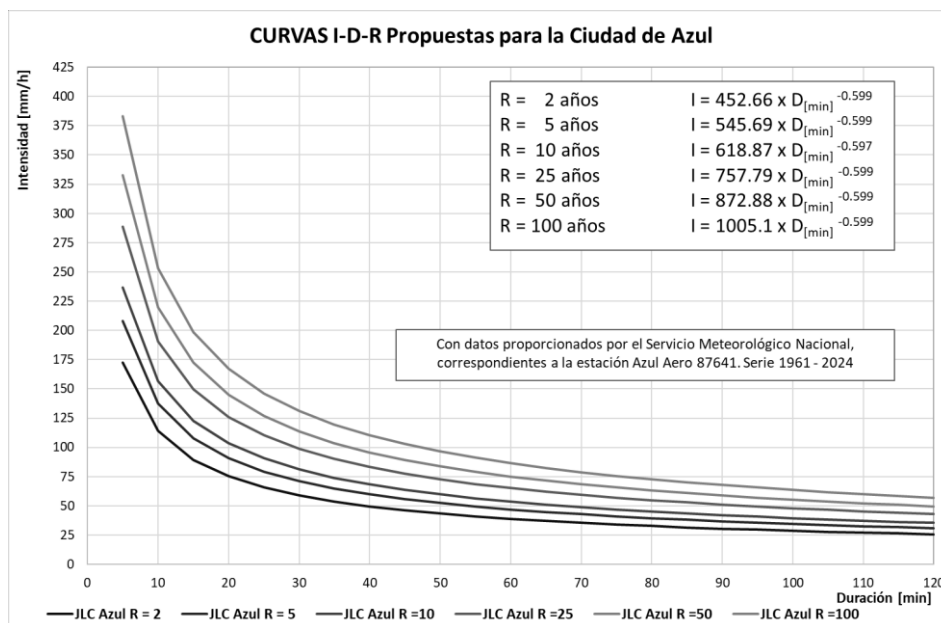


Gráfico N°5: Leyes de lluvias IDR propuestas, maximizadas, para Azul.

Tabla N° 3: Volúmenes, en mm, para R= 5 años
durante 5 y 120 minutos

Autor	Volumen R = 5 años	
	5'	120'
IHLLA	9,83	65,21
F. Bell	14,35	59,30
JLC	17,34	62,02
Grobe	22,16	49,05
Devoto	23,01	46,65

5. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Un primer punto a comentar está relacionado con la longitud de los registros de las variables a estudiar. En el caso de las lluvias acumuladas anuales podemos observar que la tendencia “lineal” es a la baja, para un registro de 31 años y se mantiene en un valor medio constante para el registro de 65 años de datos, como se observa del Gráfico N°1. La misma tendencia “lineal” se puede observar sean considerados los datos como años calendarios o años hidrológicos. En caso que la variable sea la precipitación máxima diaria anual, Gráfico N°2, la tendencia “lineal” también es a un incremento en los últimos años acentuado. Los eventos de los años 2015, 2021 y 2024 han dado la tendencia en el registro.

En cambio, si se consideran a las tendencias en forma “polinómica”, sean de grado 2 para la serie corta o de grado 6 para la serie larga, se pueden observar ciclos del orden de algo más de 30 años.

La naturaleza tiene tendencias siempre del tipo sinusoidal aún para registros de corta longitud por lo que todos los registros vinculados a parámetros naturales deben ser considerados bajo esta óptica, lo que nos aleja de sacar conclusiones erróneas.

2. Con respecto a la ley de lluvia propuesta comparadas con las ecuaciones de leyes realizadas con las metodologías de F. Bell y de Grobe, se observan valores semejantes, en particular; las leyes propuestas por el IHLLA también confirman lo observado, aunque estas son más “suaves” que las anteriores, para los primeros 30 minutos.

Tanto las expresiones alcanzadas a partir de la maximización de lluvias extremas (G. Devoto) como la expresión de Grobe, dan resultados de elevadas intensidades para períodos cortos de duración de la tormenta, aunque el volumen total de agua precipitada es menor a otras expresiones. Esto se puede apreciar en la Tabla N° 3, donde las expresiones que maximizan la intensidad en duraciones bajas arrojan los menores volúmenes de agua caída.

3. Las precipitaciones deducidas del trabajo propuesto por el Ing. G. Devoto, también de uso en la provincia de Buenos Aires, arrojan valores de intensidad elevados respecto al resto de las ecuaciones analizadas, pero resultan muy semejantes con la metodología de Grobe o

conocida como de Dick y Preschke, con datos locales de la ciudad, como se puede observar en el Gráfico N° 4. La misma semejanza se puede obtener comparando las recurrencias de 5 y 10 años. Esta conclusión valida los trabajos antecedentes realizados por el Ing. G. Devoto y publicados en el Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano, adoptado por la provincia de Buenos Aires en el año 2011.

Si bien los modelos de circulación global, por efectos del Cambio Climático, CC, no demuestren cambios sustantivos en los patrones de precipitación en esta región de país, que son del orden de los errores de cálculo de los modelos, serían si de aplicación para contemplar efectos en la tropicalización de las tormentas, ya que los valores de agua precipitada total son semejantes o levemente inferiores a los arrojados por otras leyes.

4. Finalmente, si bien los registros locales demuestran ser consistentes con las leyes de lluvias de uso frecuente, y las validan para ser aplicadas a la región de la ciudad de Azul, se proponen nuevas leyes de lluvias que contemplan una mejor distribución de la precipitación por su duración, y han sido elaboradas con datos de precipitaciones locales, actualizadas al año 2024, para ser aplicadas al diseño de obras de drenaje. Se presentan en el Gráfico N° 5.

Es de destacar que las obras estructurales, como desagües pluviales, alcantarillas y puentes requieren conocer el caudal máximo para el dimensionado de las estructuras; sin embargo, en los estudios de riesgo hídrico también importa determinar el volumen total de agua que pueda precipitar, asociado a su probabilidad de ocurrencia, a fin de generar los mapas de peligrosidad y riesgo hídrico.

6. REFERENCIAS

Servicio Meteorológico Nacional SMN, (2024). Centro de Información Meteorológica CIM. Datos estación Azul Aero.

Dirección Provincial de Hidráulica DPH. Provincia de Buenos Aires.

Ven Te Chow, David Maidman, Larry Mays, (1994), McGraw-Hill.

Tucci, Carlos (1993). Hidrologia. Ciência e Aplicação. 2da Edición.

Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano (2011).