



Fuente: <http://www.sangilturismo.com/index.php/sitios-turisticos-de-san-gil-santander/rio-fonce-de-san-gil-santander>

Pronostico Hidrológico de Caudales Diarios en el Rio Fonce (San Gil) Mediante Correlación de Pearson Lluvia-Escorrentía en Épocas de Aguas Bajas.

Martínez Figueroa Luis Fernando
Rivera Hebert Gonzalo

Pronostico Hidrológico de Caudales Diarios en el Rio Fonce (San Gil) Mediante Correlación de Pearson Lluvia-Escorrentía en Épocas de Aguas Bajas.

MARTÍNEZ FIGUEROA Luis Fernando

Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,
u1101483@unimilitar.edu.co
Estudiante Ingeniería Civil

RIVERA Hebert Gonzalo

Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,
hebert.rivera@unimilitar.edu.co
Ph. D. Hidrología

Resumen: Este trabajo presenta el pronóstico hidrológico de los caudales diarios del río Fonce en San Gil (Santander) bajo las condiciones siguientes: a) caudales en épocas de aguas bajas, b) correlaciones entre las precipitaciones diarias en la cuenca del río con los valores de caudales diarios del río en San Gil, c) relaciones lineales entre el caudal y la precipitación. Este esfuerzo es el resultado del proyecto de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada No. INV IMP 2134 de 2016, el cual fue financiado con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada y desarrollado junto con la Universidad de Pamplona. Copyright © L'sprit Ingenieux.

Palabras clave: Pronóstico hidrológico, caudales, precipitaciones, aguas bajas, cuenca.

Abstract: This paper presents the hydrological forecast daily flows of Fonce River in San Gil (Santander) under the following conditions: a) flows in times of low water, b) correlations between daily rainfall in the river basin with the values of flow daily river in San Gil; c) linear relationships between flow and precipitation. This effort is the result of the research project of the Militar Nueva Granada University INV IMP No. 2134 of 2016, which was financed with resources from the office of Research of the Militar Nueva Granada University and developed with the University of Pamplona. Copyright © L'sprit Ingenieux.

Keywords: hydrological forecast, streamflow, rainfall, shallows, watershed.

1. Introducción:

En la actualidad se discute sobre la imposibilidad de emitir pronósticos hidrológicos en tiempo real, sea porque la red de medición de las variables conlleva errores que pueden superar el 30% (Domínguez Calle E., et al.), o porque los modelos requieren gran cantidad y diversidad de datos que en Colombia no es común medirlos (como las propiedades del suelo o de la zona freática) o por la ausencia de profesionales debidamente formados en los pronósticos (en los cursos de hidrología de las diversas carreras de ingeniería no se enseña en pregrado el tema). Modelos diversos se han explorado para dominar intelectualmente la dinámica del agua en los ríos del territorio colombiano (IDEAM, 2008) y en la actualidad se tienen grandes esperanzas con los desarrollos que adelanta el Centro Nacional de Modelación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Este trabajo pretende explorar la primera etapa de todo ejercicio de modelado hidrológico con fines de emisión de pronósticos hidrológicos: correlacionar la escorrentía superficial (expresada en metros cúbicos segundo) con la precipitación para el caso del río Fonce en San Gil (Santander); ello quizá sea el primer intento de escudriñar la dinámica del agua del río Fonce y descubrir la estructura funcional de su comportamiento diario en años de aguas bajas. En la consulta de una gama amplia de bibliografía no se encontraron esfuerzos intelectuales en este tema, de allí que se considere una novedad. Este esfuerzo es el resultado del proyecto de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada No. INV IMP 2134 de 2016, el cual fue financiado con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada y desarrollado junto con la Universidad de Pamplona.

2. Material

Para el caso de las precipitaciones fueron seleccionadas en total 10 estaciones con mediciones de las lluvias en los años de aguas bajas (1992, 1993, 1997, 1998 y 2009); mientras que para el caso de los caudales se seleccionó la estación hidrológica ubicada en San Gil sobre el río Fonce. Cabe aclarar que en total en la cuenca hay 10 estaciones con datos de precipitación y la estación que cierra la cuenca

está ubicada en San Gil. Los datos de precipitaciones corresponden a los valores totales diarios; mientras que los datos de caudales corresponden a sus valores medios mínimos diarios. La ubicación de las estaciones se muestra en la figura 1. En la tabla 1 se ilustra la relación de las estaciones seleccionadas.



Figura 1. Ubicación de las estaciones referentes en la cuenca del río Fonce en el departamento de Santander. Elaboró: Luis Martínez y Diego Merlo Arias.

Tabla 1. Relación de las estaciones referentes en la cuenca del río Fonce			
No.	Nombre	Código	Municipio
1	Curiti 2	24020130	Curiti
2	Hda El Mamonal	24020150	San Gil
3	San Gil	24027010	San Gil
4	El Cucharó	24025020	Pinchote
5	Mogotes	24025040	Mogotes
6	Valle de San José	24020080	Valle de San José
7	Coromoro	24020120	Coromoro
8	Charalá	24025050	Charalá
9	Pueblo Viejo	24020230	Coromoro
10	Las Pavas	24020220	Coromoro
11	Encino	24020040	Encino

3. Metodología

El procedimiento aplicado fue el siguiente: a) inicialmente se seleccionó el río Fonce, dado que es el objeto físico que se estudió en el proyecto INV IMP 2134 de 2016. b) Se compiló la información meteorológica e hidrológica que está disponible en las entidades, principalmente en el IDEAM. De ello se determinó que en total en la actualidad se tienen disponibles datos diarios de precipitación en 10 estaciones y caudales en la estación San Gil; c) Se procedió a identificar los años de aguas bajas, entendidos como aquellos durante los cuales se

sintió una alta disminución de los valores de los caudales en comparación con el valor promedio histórico, referenciado al periodo 1955-2014. Los años identificados son 1992, 1993, 1997, 1998 y 2009, durante los cuales se presentó el fenómeno.

El Niño en el país. d) Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para relacionar el comportamiento de los caudales diarios con los valores de las precipitaciones. e) Con las relaciones identificadas se procedió a emitir los pronósticos diarios de caudales a los días siguientes. e) Se establecieron las diferencias entre los valores de caudales pronosticados y los presentados realmente.

Además de lo anterior, en esta investigación se tomaron como referencia los conceptos siguientes:

Pronóstico: Es la aplicación de tecnología y ciencia para predecir las condiciones hidrológicas de las corrientes hídricas. (IDEAM, 2016)

Caudal: Área de agua que fluye con una velocidad a través de una sección transversal de un río o un canal en una sección de tiempo.

Nivel de agua: Cota de la superficie libre de una masa de agua respecto de un plano de referencia. (OMM, 2012)

Precipitación: 1) Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo; 2) Cantidad de precipitación caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. (OMM, 2012).

La relación entre la lluvia diaria y el caudal diario se estableció mediante la solución numérica de una ecuación lineal ordinaria en la forma:

$$Q_{(t+\Delta t)} = k \left(X_{t+\Delta t} + \frac{\tau}{\Delta t} (Q_t - X_t) \right) \quad [1]$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

K: coeficiente de escorrentía

τ : tiempo de concentración (día)

X: lluvias (mm)

Este modelo de ecuación diferencial fue propuesto por Kovalenko V. (1992) y Domínguez Calle E. et al (2010).

La ecuación del coeficiente de correlación de Pearson es de la forma:

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y} \quad [2]$$

Donde:

rx: Coeficiente de correlación de Pearson.

oxy: Covarianza de xy.

ox: desviación estándar de x.

oy: desviación estándar de y.

4. Resultados

La estimación de la correlación entre los valores diarios de caudales (en la estación hidrológica San Gil) y los valores diarios de precipitación (en las diez estaciones meteorológicas) arrojan valores menores a 0,5 lo cual demuestra que existe una baja correlación entre los caudales y las precipitaciones (ver la tabla 2). Ello podría indicar que la formación de los caudales diarios también se debe a lluvias en la cuenca que no son medidas en las diez estaciones existentes en toda la cuenca.

En esta estimación se conformaron once (11) series temporales de datos (una serie para los caudales y 10 para las precipitaciones), luego se aplicó la fórmula del coeficiente de correlación para cada par de estaciones, siempre tomando como pivote la serie de caudales, para cada uno de los años de aguas (1992, 1993, 1997, 1998, 2009).

La información de la tabla se interpreta así: el coeficiente de correlación entre la serie de datos del año 1992 de caudales diarios con la serie de datos diarios de precipitación de la estación Curití (No. 1 en la tabla) es igual a -0,02; el coeficiente de correlación para las mismas estaciones pero en el año 1993 es igual a 0; el coeficiente de correlación para las mismas estaciones pero en el año 1997 es igual a 0,22 y así sucesivamente.

Tabla 2. Valores de los coeficientes de correlación entre los caudales diarios y las precipitaciones diarias

No. Estación	Estación No. 3 (San Gil)				
	1992	1993	1997	1998	2009
1	-0,02	0	0,22	0,14	0
2	0,11	0,06	0,2	0,13	0,01
4	0,07	0,05	0,21	0,19	0,04
5	0,12	0,15	0,23	0,21	0,09
6	0,04	0,08	0,19	0,16	0,05
7	0,2	0,36	0,28	0,26	0,16
8	0,18	0,22	0,22	0,24	0,16
9	0,2	0,32	0,16	0,09	0,26
10	0,25	0,34	0,33	0,3	0,38
11	0,25	0,31	0,24	0,16	0,21

Como se puede apreciar en la tabla 2, los valores del coeficiente de correlación son menores a 0,50 en todos los casos. El año con mayor valor del coeficiente de correlación (0,38) es el 2009 entre las series de datos de caudales de San Gil con los datos en la estación Las Pavas. Ello significa que a futuro se requiere montar y operar una mayor cantidad de estaciones que midan las precipitaciones de tal forma que se logre correlacionar la escorrentía superficial con la lluvia en la cuenca del río Fonce.

Luego de obtener los coeficientes de correlación en cada uno de los cinco años de aguas bajas establecidos, se procedió a emitir los pronósticos hidrológicos de caudales diarios para cada año de acuerdo con la ecuación (1). Luego de emitir el valor futuro del caudal (pronosticado) se procedió a compararlo con el valor medido y así se obtuvo un porcentaje de error (mínimo, medio y máximo), lo cual se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Valores en % de los errores obtenidos por mes en los pronósticos diarios

Mes	% de error del pronóstico por mes		
	Mín	Max	Medio
Enero	0,2	100,6	30,2
Febrero	0	96,7	26,8
Marzo	0,1	98,7	20,6
Abril	0	100,7	20,3
Mayo	0	100,4	27,8
Junio	0,1	100,6	26,7
Julio	0	96,8	22,7
Agosto	0,1	100,4	28,4
Septiembre	0	100,3	15,9
Octubre	0	140,3	19,8
Noviembre	0	100,6	23,5
Diciembre	0,2	92,1	10,8

El análisis de resultados nos permite inferir lo siguiente: a) la red de pluviómetros es insuficiente en la cuenca del río Fonce para correlacionar los caudales diarios con las precipitaciones diarias; b) a pesar de los valores bajos en el coeficiente de correlación, se logró en algunos casos emitir pronósticos con altos porcentajes de acierto, ello tal

vez se deba a que en los años de aguas bajas los ríos se alimentan del agua subterránea y no sólo de las precipitaciones; c) es importante aclarar que en este trabajo no se identificó el aporte de las aguas subterráneas, lo cual le resta la capacidad de emitir pronósticos con mejores aciertos; d) es necesario correlacionar los caudales diarios con otras variables, por ejemplo con la humedad relativa y la evaporación, que son factores que inciden en el aumento o disminución de los caudales.

5. Conclusiones

Este trabajo demuestra que es posible emitir pronósticos hidrológicos de los caudales diarios del río Fonce con márgenes de error aceptables en algunos casos según el criterio del porcentaje de acierto (%).

Para emitir los pronósticos diarios inicialmente se puede aplicar la ecuación diferencial ordinaria [1], esperando errores porcentuales medias de aproximadamente un 30%.

Se identificó la necesidad de determinar el aporte del agua subterránea al río Fonce, lo cual podría mejorar la metodología de pronóstico.

6. Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Militar Nueva Granada, a la Universidad de Pamplona, al IDEAM, al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a La Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), a la alcaldía de San Gil, a la empresa de acueducto de San Gil (Santander) ACUASAN por el apoyo brindado para la presente investigación.

7. Referencias

- CORPOAIRE. (2011). “Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca del río Fonce”.
- Costa Posada, C.; Rivera, H. G (2005); et al. Modelación hidrológica-estocástica en tiempo real de los niveles del agua para soportar las decisiones en el sector de prevención de desastres por inundaciones. Resúmenes X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 259 p.

- Domínguez, E. (2004). Pronóstico de percentiles de excedencia de afluencias a embalses hidroeléctricos. Avances en recursos hidráulicos, No 11. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, pags. 103-114.
- Dominguez, E and Rivera, H. (2009). "A Fokker-Planck-Kolmogorov equation approach for the monthly affluence forecast of Betania hydropower reservoir. Journal of hidroinformatics", pp 486-501.
- Gardiner C.W. (1985), Handbook of stochastic methods, Berlin: Springer-Verlag, 442 p.
- IDEAM. (2007). "Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua". Imprenta Nacional. Bogotá.
- IDEAM. (2008). "Protocolo para la emisión de pronósticos hidrológicos". Imprenta Nacional. Bogotá.
- Kovalenko, V. (1988). Modelos dinámicos y estocásticos del ciclo hidrológico. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 48 p.
- Kovalenko, V. (1993). Modelación de los procesos hidrológicos. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 320 p.
- Martínez A.; Fossi H. (1998). Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Pamplonita: Caracterización de los Períodos de Estiaje. Tesis de Grado. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, inédito.
- OMM and ONU. (2012). "Glosario hidrológico internacional". Ginebra.
- Ríos Insua D.; Ríos Insua S. (2000). Jiménez M. Simulación, métodos y aplicaciones. Bogotá: Alfaomega, 372 p.
- Rivera, H. (1996). Análisis del caudal medio de los ríos de Colombia. Estudio de caso: Cuenca del río Magdalena. Tesis de Grado en Maestría. San Petersburgo: inédito.
- Rivera H. (2004). Modelación con fines de pronósticos hidrológicos de los niveles diarios en período de estiaje en los sitios Calamar, El Banco y Puerto Berrío del río Magdalena. Avance en Recursos Hidráulicos, No. 11. Medellín: Universidad Nacional de Colombia,
- Rivera, H. (2010). "Viabilidad para pronósticos hidrológicos de niveles diarios, semanales y decadales en Colombia". Revista Ingeniería e Investigación, pp 178-187.

8. Autores

LUIS FERNANDO MARTÍNEZ FIGUEROA, Estudiante en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como semillero en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016.

HEBERT GONZALO RIVERA, Docente Asistente en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como líder en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016. Es ingeniero hidrólogo, Master of Sciences en Ecología Hidrometeorológica, Ph. D. en Hidrología, cuenta con amplia experiencia docente, de investigación y ha publicado libros, artículos y escritos de opinión general.