

GENERACIÓN ESTOCÁSTICA DE SERIES DE CAUDALES PARA EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL EMBALSE EL SUSPIRO. ESTUDIO DE CASO.

Ing. Ms. Jacinto Rivero Solórzano, Ing. Andrés Ibarra Díaz y Ing. Luis Moya Chávez
Guayaquil-Ecuador

E-mail: jacintoriverosolorzano@gmail.com, acid84@gmail.com, blatiever@hotmail.com

Introducción

El Proyecto Multipropósito Valdivia, como parte importante del desarrollo agrícola de la zona norte de la Provincia de Santa Elena, ha sido concebido de tal manera que garantice el provisión de agua para el riego de aproximadamente 1800 has y posibilitar la dotación de agua para ser potabilizada y servir a alrededor de 60.000 personas, a través del embalse El Suspiro.

El Embalse será creado por la presa El Suspiro, de materiales sueltos de 31.0 m de altura y un volumen útil de 5.5 hm³, en una zona semiárida con escasa información de caudales registrados, en cuyo contexto, se realizó la generación de estocástica de serie de caudales, demostrando su potencialidad frente a la escasez de registros históricos y posibilitando el diseño de un embalse que cubra adecuadamente con sus usos demandantes., en base a disponer de una disponibilidad hídrica adecuada.

Alcance y objetivos

La generación estocástica tuvo como objetivo generar diferentes series hidrológicas, en este caso de caudales, basados en la combinación de las teorías de probabilidad y estadísticas. Con estas series, se determinó los posibles periodos críticos de déficit y superávit de disponibilidad de agua a los cuales estará sujeto el embalse.

Información general disponible

Como fuente de datos principal, se contó con la serie de precipitaciones mensuales de la estación climatológica El Suspiro (44 años de registro), a partir de la cual, se generaron, para el mismo periodo, una serie histórica de caudales medios mensuales, tomando relaciones de cuencas cercanas que cuentan con registros confiables de precipitación - escorrentía.

De esta manera, se generó la serie de caudales medios mensuales a partir de la cual se realizó la generación estocástica. El resumen de los caudales máximo, medio y mínimos mensuales multianuales se presenta en la Figura 1

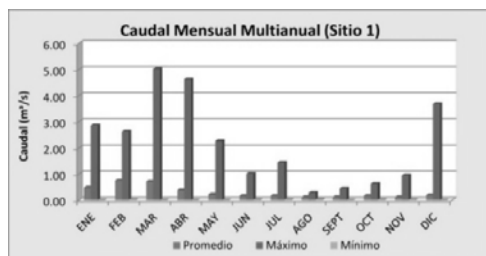


Figura 1.- Caudales Mensuales Multianuales. Sitio de Presa.

Estadísticas básicas series mensuales

Las series hidrológicas, tales como los caudales aportantes de una cuenca, son mejor caracterizadas mediante estadísticas mensuales.

La media se define como el valor promedio de una muestra y es representada mediante la siguiente expresión.

$$\bar{y}_\tau = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_{v,t} \quad [1]$$

La desviación estándar es una medida de centralización o dispersión para variables de razón (ratio o cociente) y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva y se caracteriza por ser el estadígrafo de mayor uso en la actualidad y se obtiene mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_{v,t} - \bar{y}_\tau)^2} \quad [2]$$

Siendo $y_{v,t}$ una serie de tiempo mensual en donde, $v = 1, \dots, n$, donde n representa el número de años de los que se tiene registros, y $\tau = 1, \dots, \omega$, siendo ω el número de meses, se pueden definir las variables estadísticas de la serie.

Modelación estocástica. SAMS2007

Para la generación estocástica, se utilizó la herramienta computacional SAMS2007, desarrollado por el US Bureau Of Reclamation y Colorado State University. El modelo consta de 3 módulos básicos:

Análisis de Datos: en el cual se verifican la aplicabilidad de los datos, ajustes, transformación a normalidad de los datos a utilizarse en el modelo, así como la determinación de las características estadísticas y estocásticas de la serie, como se muestra en la Figura 2

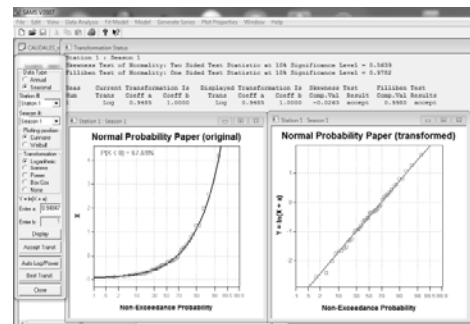


Figura 2.- Ajustes y test de normalidad a la serie normalizada de caudales en el sitio de presa El Suspiro.

Realizando el análisis de los coeficientes de autocorrelación (ACF) y de autocorrelación (PACF), se determinó que dichos valores se encontraban fuera del intervalo de confianza, por lo que fue necesario realizar una estandarización de la serie.

Ajuste del Modelo: este módulo se encarga de determinar los parámetros y pruebas de los diferentes tipos de modelos estocásticos multivariados y univariados, figura 3. En el caso de este estudio, se realizaron los ajuste al modelo autorregresivos de media móvil univariado PARMA (p,q).

El modelo PARMA (p,q) puede ser expresado mediante la siguiente ecuación.

$$Y_{v,\tau} = \sum_{i=1}^p \varphi_{i,\tau} Y_{v,\tau-i} + \varepsilon_{v,\tau} - \sum_{j=1}^q \theta_{j,\tau} \varepsilon_{v,\tau-j} \quad [3]$$

Donde $Y_{v,\tau}$ representa el valor en el año v y el mes τ . Para cada mes τ , este proceso es normalmente distribuido de media 0 y varianza $\sigma_{\tau}^2(Y)$. $\epsilon_{v,\tau}$ Es el ruido normalmente distribuido no correlacionado y varianza $\sigma_{\tau}^2(\epsilon)$.

Los términos $\{\phi_{1,\tau} \dots \phi_{p,\tau}\}$ son los parámetros autorregresivos y $\{\theta_{1,\tau} \dots \theta_{q,\tau}\}$ son los parámetros de media móvil.

Si se define ω como el número de meses, el modelo PARMA (p,q) consiste en ω números de modelos individuales ARMA(p,q)

Generación de Series: en este módulo se realizó la simulación de los datos sintéticos. La generación de datos se basa en los modelos, enfoques y esquemas mencionados anteriormente.

El modelo ajustado debe ser probado para determinar si éste cumple con las suposiciones asumidas y si es capaz de reproducir las propiedades estadísticas históricas de los datos originales.

Básicamente se refieren a las características subyacentes de los residuos tales como la normalidad y la independencia.

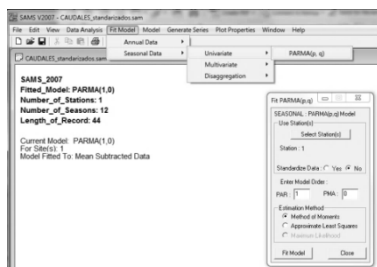


Figura 3.- Ajuste de Modelo, SAMS2007.

SAMS realiza 2 análisis de criterios de información, El criterio de Información de Akaike corregido (AICC) y el criterio de información de Schwarz (SIC), éste último es una variación del criterio de información Bayesiano (BIC).

$$AICC = n \ln \sigma^2(\epsilon) + n + \frac{2(k+1)n}{n-k-2} \quad [4]$$

$$SIC = n \ln \sigma^2(\epsilon) + n + \ln(n) \quad [5]$$

Donde n es el tamaño de la muestra usada para el ajuste, k es el número de parámetros excluyendo los términos constantes ($k = p + q$ en los modelos ARMA(p,q)) y $\sigma^2(\epsilon)$ es función de la estimación de máxima verosimilitud de la varianza residual.

Se aplicaron los 2 criterios mencionados anteriormente correspondientes a los 12 meses, de los cuales el modelo que tenga el valor menor de AICC y de SIC debe ser seleccionado.

Resultados y conclusiones

-Luego de la aplicación del modelo estocástico, y los correspondientes análisis de los criterios de información, se determinaron los modelos a aplicar para cada uno de los 12 meses, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Modelos Univariados a aplicar para cada mes del año.

Season	Model Parma (p,q)	
1	1	0
2	1	0
3	2	1
4	1	0
5	1	1
6	1	0
7	1	1
8	1	0
9	2	1
10	1	0
11	2	0
12	1	0

Con los modelos ya definidos, se generaron 50 series de precipitación con una longitud de registro igual al existente en los datos originales, es decir 44 años. La tabla 2 presenta el resumen de las trazas generadas y sus respectivas medias y desviaciones estándar.

Tabla 2.- Resumen de variables estadísticas de las series generadas.

Original	0.54	0.31									
Traza	Desv Estd	Media	Traza	Desv Estd	Media	Traza	Desv Estd	Media	Traza	Desv Estd	Media
1	0.50	0.30	14	0.41	0.28	27	0.42	0.27	40	0.45	0.29
2	0.67	0.32	15	0.80	0.35	28	0.70	0.32	41	0.49	0.27
3	0.47	0.27	16	0.58	0.32	29	0.59	0.33	42	0.57	0.31
4	0.66	0.32	17	0.49	0.27	30	1.28	0.37	43	0.55	0.27
5	0.61	0.34	18	0.55	0.30	31	0.59	0.29	44	0.54	0.31
6	0.64	0.29	19	0.58	0.29	32	1.06	0.33	45	0.46	0.29
7	0.40	0.26	20	0.72	0.39	33	0.47	0.28	46	1.05	0.32
8	0.64	0.30	21	0.44	0.25	34	0.57	0.31	47	0.51	0.28
9	1.03	0.34	22	0.71	0.33	35	0.71	0.32	48	0.49	0.29
10	0.51	0.33	23	0.58	0.30	36	0.58	0.36	49	0.28	0.21
11	0.56	0.36	24	0.40	0.26	37	0.42	0.29	50	0.55	0.30
12	0.81	0.40	25	0.80	0.32	38	0.50	0.28			
13	0.64	0.33	26	0.58	0.32	39	0.58	0.32			

En base a los resultados obtenidos en la generación estocástica y mediante el análisis de la curva de masa se deduce que las trazas 48, 4 y 12, representan los escurrimientos mínimos, medio y máximo, respectivamente los cuales fueron utilizados como posibles escenarios de los siguientes análisis.

Balance Hídrico: se realizaron los análisis para los 3 escurrimientos arriba descritos tomando en consideración las demandas de riego obtenidas mediante estudios edafológicos de la zona y los porcentajes de persistencia de la oferta. En la Tabla 3 se muestra un resumen de estos análisis.

Tabla 3.- Volúmenes de Embalse para diferentes persistencias.

VOLUMEN DE EMBALSE REQUERIDO EN hm ³			
PERSISTENCIA %	OFERTA MÍNIMA	OFERTA MEDIA	OFERTA MÁXIMA
75	5.74	5.11	4.8
80	6.03	5.44	5.01
85	6.28	5.78	5.42
90	6.56	6.31	6.17

Curva Masa: Este método permite analizar las características del escurrimiento en todo el periodo de registro y a su vez permite establecer el periodo seco más crítico de la serie para obtener los requerimientos de almacenamiento. La Tabla 4 presenta el resumen de los resultados de esta metodología.

Tabla 4.- Volúmenes de Embalse requeridos mediante la curva masa.

VOLUMEN DE EMBALSE REQUERIDO EN hm ³		
OFERTA MÍNIMA	OFERTA MEDIA	OFERTA MÁXIMA
2.0	5.00	6.4

Se concluye que el volumen útil necesario será de 5.5 millones de m³. Ya definida la capacidad de almacenamiento, se realizó una simulación de operación de embalse para conocer si dicho volumen es capaz de garantizar el riego del valle y agua potable. El resultado de esta operación se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.- Garantías de cumplimiento de la demanda.

Serie Generada	% de Garantía de la Demanda
Baja	59%
Media	82%
Alta	91%

De los resultados obtenidos, se comprueba que el volumen útil definido durante la etapa de factibilidad se confirma y establece, para la traza media una garantía de cumplimiento superior al 80 %, resultado que está muy por encima de la garantía del 70 % normalmente aceptada.

Referencias

Salas, J., Delleur, J., Yevjevich, Y. and Lane, W. (1980). *Applied Modeling Of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publication, Bookcrafters, Inc., Chelsea, Michigan USA.

Sveinsson, O., Salas, J., Lane, W. And Frevert, D. (2007). *Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS) Version 2007, User Manual, Technical Report N°11*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.