

Generación de series sintéticas mensuales del Río Chira mediante el uso de modelos markovianos

Jaime Sánchez T. ¹, Miguel Sánchez D. ²

Resumen

En el presente estudio, se trata de generar series sintéticas medias mensuales del río Chira mediante el uso de modelos markovianos y luego se determina la capacidad de embalse óptimo, para lo cual se emplea el método Range, ya que de los estudios realizados, la represa Poechos tiene actualmente una vida útil de 20 años aproximadamente, como alternativa se propone el diseño de un embalse en la quebrada de San Francisco, ubicada en la cuenca del Río Chira. Se inicia, con el análisis de consistencia de la información de las series de descargas medias mensuales del Río Chira, sobre la base de las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo, ubicadas aguas arriba del embalse Poechos, resultando ambas series de tiempo consistentes, luego, se efectuó el modelamiento estocástico, mediante la utilización de los modelos markovianos ampliamente usados en la hidrología estocástica. De la calibración y validación de las series de tiempo simuladas, se determinó que el modelo markoviano de segundo orden AR (2), para la estación Ardilla y el modelo markoviano de tercer orden AR (3), para la estación Ciruelo, son las que generan los mejores estadísticos históricos de las series analizadas. Para la calibración y validación se usó el programa de cómputo SAMS 2000 (Análisis Estocástico, Modelamiento y Simulación), versión 98.1. Basados en los modelos antes mencionados se generaron 20 series sintéticas de 50 años cada una, para cada estación, con la ayuda del programa de cómputo SAMS 2000. Luego se determinó la capacidad de almacenamiento por el método Range, con las series generadas, con los datos de la estación Ardilla debido a que se ubica aguas abajo y registra dos tributarios más respecto a la estación Ciruelo. Finalmente se determinan experimentalmente la distribución de probabilidades de la capacidad de embalse, las cuales se ajustan a una distribución log-normal de dos parámetros.

Palabras clave:

Abstract

In this study, the series synthetics averages monthly from Chira river are generated by using the markovians models and then the very good damming capacity is determined for that the Range model is used, since the studies were realized, the Poechos dam has at present a useful life of 20 years approximately, as an alternative a damming design is proposed in San Francisco ravine, placed in Chira river basin. The beginning is with the consistent analysis by using the unloading series average monthly of Chira river information, over the base Ardilla and Ciruelo hydrometric stations, placed on Poechos damming up, having resulted both time series consistently, then the stochastic model was done by using the markovians models that are usually used in the stochastic hydrology. From the measurement and validation of simulated time series was determined that the markovian model of second order AR(2) is for Ardilla station, and markovian model of third order AR(3) is for Ciruelo station, those generate the best historical statistics of the analysed series. For the measurement and validation; the software SAMS 2000 version 98.1 (Stochastics Analysis, Modeling and Simulation) was used. Based in this kind of models that was mentioned before was generated 20 synthetics series of 50 years each one, for each station, using the software SAMS 2000. After the storage capacity was determined by using the Range model with generated series and the dates of Ardilla station since it was placed on Poechos damming down and it registers 2 more tributaries than Ciruelo station. Finally the probability distribution is determined experimentally of damming capacity, that are fit to a log-normal distribution of 2 parameters.

Key words:

1. Introducción

En la actualidad uno de los problemas fundamentales en el planeamiento y operación de los recursos hídricos, constituye el diseño de la capacidad de embalses, que permita con mayor seguridad lograr el balance óptimo de los periodos húmedos y secos para satisfacer las demandas existentes y futuras.

El método Range, trata de resolver el problema de embalses por medio de generación de numerosas muestras de secuencias de caudales; así permitir al diseñador determinar aproximadamente los momentos (media, desviación estándar, etc) y las funciones de distribución de probabilidades del rango

ajustado de la capacidad de embalses, que permite a su vez simular el sistema integral mediante modelos de optimización y que combinando con los criterios ingenieriles y económicos, se pueda definir la capacidad óptima técnica y económicamente de la estructura hidráulica.

En la presente tesis se generaran series sintéticas mensuales en base a las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo y luego se determinará la capacidad de almacenamiento por el método Range, para el Proyecto Especial Chira- Piura, con las muestras sintéticas de la estación hidrométrica Ardilla, en este trabajo se plantea el diseño de un nuevo embalse ubicada en la quebrada San Francisco, en la cuenca del Río Chira.

¹ Ingeniero Agrícola.

² Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina. E-mail: msanchez@lamolina.edu.pe.

1.1.- Objetivos

El objetivo general de la tesis a desarrollar, es la generación de series sintéticas mensuales sobre la base de las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo. Como objetivos específicos se tienen a los siguientes:

- Determinación de modelos markovianos en distintas ordenes (AR (m)), para la generación de descargas medias mensuales del Río Chira.
- Calibración y Validación de las series de tiempo simuladas con los modelos markovianos ó autorregresivos definidos.
- Determinar la capacidad de embalse por el método Range.

1.1.- Modelos, procesos y sistemas hidrológicos

1.1.1.- Procesos y modelos determinísticos

Un modelo matemático del tipo determinístico es aquel que tiende a establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto, utilizando una relación directa para obtener una respuesta debida a un requerimiento, sea por medio de una ecuación empírica o por medio de un operador desarrollado a partir de criterios e hipótesis experimentales.

1.1.2.- Procesos y Modelos No Determinísticos

Un proceso es no determinístico cuando no esta bajo la descripción de las relaciones matemáticas exactas y su comportamiento futuro no puede ser determinada con precisión. Los datos involucrados son representados por series de tiempo en términos de variable aleatoria. La propiedad más importante de un proceso aleatorio es la falta de regularidad determinística en sus resultados, es decir, estos pueden ser totalmente diferentes aún bajo las mismas circunstancias.

1.1.3.- Procesos o modelos estocásticos y probabilísticas

Yevjevich (1976), considera que la mayoría de los fenómenos hidrológicos son procesos estocásticos, o procesos gobernados por las leyes de la probabilidad, ejemplo de estos procesos son la precipitación, evaporación, escorrentía, etc. Los resultados de estos fenómenos son gobernados por leyes de probabilidad y las secuencias de las variables que describen, son procesos estocásticos.

1.2.- Modelamiento Matemático

El modelo matemático es el más importante en Hidrología, a lo largo del presente trabajo de tesis cuando se hable de modelo hidrológico se entenderá que es un modelo matemático.

2.2.1.- Modelos Markovianos (AR)

Yevjevich (1972) describe que los modelos markovianos pueden tener parámetros constantes, parámetros variando con el tiempo o una combinación de ambos. El primer caso es típicamente usado para modelar series de tiempo de valores anuales mientras que los últimos pueden ser aplicadas para series de tiempo de intervalos que son una fracción del año.

a) Modelo Lineal Markoviano de datos Estacionales. Guerrero (2003), el modelo general autorregresivo para un orden m, considerando las periodicidades en los coeficientes de autocorrelación y por lo tanto las

periodicidades en los coeficientes de autorregresión, para una componente estocástica $\epsilon_{v,\tau}$, es representado en la siguiente forma:

$$X_{v,\tau} = \alpha_{1,\tau} X_{v,\tau-1} + \alpha_{2,\tau} X_{v,\tau-2} + \dots + \alpha_{m,\tau} X_{v,\tau-m} + \sigma_{\epsilon\tau} \epsilon_{v,\tau} \dots \dots \dots (2.1)$$

Modelo Markoviano de Primer Orden

Para m = 1, el modelo Markoviano con coeficientes de autocorrelación periódicos tiene la siguiente forma:

$$X_{v,\tau} = \alpha_{1,\tau} X_{v,\tau-1} + \sigma_{\epsilon\tau} \epsilon_{v,\tau} \dots \dots \dots (2.2)$$

Con

$$\alpha_{1,\tau} = \rho_{1,\tau} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\sigma_{\epsilon\tau} = (1 - \alpha_{1,\tau}^2)^{1/2} = (1 - \rho_{1,\tau}^2)^{1/2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Donde:

$\alpha_{1,\tau}$ = primer coeficiente de autorregresión

$\rho_{1,\tau}$ = primer coeficiente de autocorrelación

$\sigma_{\epsilon\tau}$ = Desviación estándar de la serie residual

Modelo Markoviano de Segundo Orden

Para m = 2, se obtiene el modelo Markoviano de segundo orden, cuya ecuación es:

$$X_{v,\tau} = \alpha_{1,\tau} X_{v,\tau-1} + \alpha_{2,\tau} X_{v,\tau-2} + \sigma_{\epsilon\tau} \epsilon_i \dots \dots \dots (2.5)$$

Con

$$\alpha_{1,\tau} = \frac{\rho_{1,\tau} - \rho_{1,\tau-1} \rho_{2,\tau}}{1 - \rho_{1,\tau-1}^2} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\alpha_{2,\tau} = \frac{\rho_{2,\tau} - \rho_{1,\tau} \rho_{1,\tau-1}}{1 - \rho_{1,\tau-1}^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\sigma_{\epsilon\tau} = (1 - (\alpha_{1,\tau} \rho_{1,\tau} + \alpha_{2,\tau} \rho_{2,\tau}))^{1/2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde:

$\alpha_{1,\tau}$ = primer coeficiente de autorregresión periódico del mes τ .

$\alpha_{2,\tau}$ = segundo coeficiente de autorregresión periódico del mes τ .

$\rho_{1,\tau-1}$ = primer coeficiente de autocorrelación periódico del mes $\tau - 1$.

$\rho_{1,\tau}$ = primer coeficiente de autocorrelación periódico del mes τ .

$\rho_{2,\tau}$ = segundo coeficiente de autocorrelación periódico del mes τ .

$\sigma_{\epsilon\tau}$ = Desviación estándar de la serie residual

1.3.- Determinación de la Capacidad Efectiva de Embalse.

1.3.1.- Método Experimental ó Range

Debido a que hay infinitas secuencias de caudales posibles que pueden ocurrir, también hay infinitas capacidades de almacenamiento posibles; por lo que, no se puede hablar de una capacidad en el sentido determinístico, sino que se debe considerar la

distribución de probabilidades de las características descriptoras del almacenamiento.

a) Características del Método Experimental

Presenta las siguientes características:

- Se basa en la generación de muestras sintéticas.
- Es una necesidad como método confiable.
- Usa cualquier ecuación diferencial de almacenamiento.
- Se determina en forma experimental el valor esperado y la varianza de la capacidad de almacenamiento.
- Se determina tantas capacidades de almacenamiento como series generadas se disponga.
- Se determina la capacidad de almacenamiento para una longitud igual a la vida del proyecto.
- El sistema es tratado como proceso periódico-estocástico.
- Permite obtener la extracción de toda la información desde los datos.
- Permite la extracción regional óptima de información con los modelos matemáticos y análisis regional de parámetros.
- Permite determinar el riesgo.

b) Ventajas del Método

La principal ventaja del método es que se obtiene varias capacidades de almacenamiento, lo cual permite una mayor flexibilidad en la toma de decisiones y se puede optimizar dicha capacidad combinándolo con los demás aspectos de ingeniería y con los costos y beneficios respectivos.

2. Materiales y métodos

2.1.- Materiales

3.1.1.-Equipo de Cómputo

- Computadora Pentium III 866 MHZ, memoria 256MB y 37.2 GB.

- Impresora

2.1.2. – Programas de Cómputo

- “Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation” (SAMS 2000) versión 98.1.

- Golden Surfer 7.0.

- Office XP 2000: Word, Excel.

2.1.3.- Información Hidrométrica

- Los datos de descargas medias mensuales fueron, proporcionado por el Proyecto Especial Chira-Piura de la División de Hidrometeorología. La ubicación de las estaciones una respecto a la otra se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de las Estaciones Hidrométricas: Ardilla y Ciruelo.

Estación	Río	Altitud m.s.n.m	Coordenadas		Periodos de Registro
			Latitud	Longitud	
Ardilla	Chira	150	4° 31'	80° 26'	1976-2003
Ciruelo	Chira	250	4° 16' 06"	80° 09' 11"	1976-2003

Fuente: Elaboración Propia

2.2.- Métodos

En el presente trabajo de tesis se llevará a cabo el siguiente procedimiento:

a.- Análisis de Datos, referido al comportamiento de los datos, tendencias, saltos; es decir, homogeneidad y consistencia, para las estaciones Ardilla y Ciruelo del río Chira, para un periodo de registro de 28 años cada uno (1976-2003).

b.- Selección del tipo de modelo, es muy importante considerar la selección del tipo de modelo, la cantidad de información disponible de tal forma que esta permita una buena estimación de los parámetros del modelo seleccionado.

c.- Identificación de la forma del modelo, a través del dominio en el tiempo que es el análisis del correlograma serial.

d.- Estimación de los parámetros del modelo, se efectuarán los cálculos de los estadísticos como la media, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría, y los coeficientes de autocorrelación.

e.- Generación de Series Sintéticas, la generación de las series de tiempo estará basado en un modelo markoviano probado para los datos mensuales, luego se procederá a efectuar las pruebas de comparación estadística de medias y desviaciones estándar bajo la hipótesis planteada de que ambas (generadas e históricas) son estadísticamente iguales, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. La prueba T para la media y la prueba F para la desviación estándar.

f.- Calibración y Validación del modelo, para la calibración se utilizarán series de tiempo, de un periodo para la obtención de los parámetros de los modelos matemáticos de autocorrelación (coeficientes de las ecuaciones de autorregresión). En la validación se establecerán las pruebas de normalidad e independencia de los residuos, con la ayuda del programa de cómputo Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS 2000) versión 98.1.

g.- Cálculo de la capacidad de embalse, Se calculará la capacidad de embalses para cada una de las series sintéticas generadas empleando el método de Range, determinando el valor máximo y mínimo de las sumas parciales ajustadas.

3. Resultados y discusión

3.1.- Recolección, Análisis y Sistematización de los datos

De acuerdo al objetivo de la tesis se eligió las Estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo del Río Chira ubicadas aguas arriba de la represa Poechos; las cuales presentan caudales medios mensuales de un periodo de 28 años (1976 -2003), es decir 336 datos de descarga para cada estación.

Del análisis visual, se muestra la distribución temporal de la serie de caudales medias mensuales registradas en las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo de la cuenca del río Chira, las cuales presentan el mismo comportamiento en la variación

de la serie histórica, lo cual indica que ambas series de tiempo son consistentes.

3.2.- Estadísticos Mensuales de la Serie Original

Se calcularon los estadísticos de la serie mensual obteniéndose la media, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría, valores máximos y mínimos, para las dos estaciones hidrométricas en estudio.

Asimismo, se estimaron los coeficientes de autocorrelación de los datos originales, la cual se graficó para retardos equivalentes a $0.2N$, siendo N el total de observaciones, los correlogramas de las dos estaciones en estudio, el cual mide la estructura de dependencia lineal de la serie para retardos de 1, 2, 3, 4, 5 y 6; observándose que para los tres primeros retardos de cada una de las estaciones muestran periodicidad a través de los doce meses y la estructura del correlograma para dichos retardos muestran que existe dependencia ya que las curvas están casi en su totalidad fuera de los límites de confianza. Para los retardos 4, 5 y 6, la estructura del correlograma muestra que caen dentro de los límites de confianza, entonces se puede afirmar que la serie es independiente y por lo tanto no es necesario usar ningún modelo de dependencia.

De las comparaciones de los correlogramas se observan que para las primeras correlaciones presentan una misma serie o modelo, lo que nos permite establecer que se probaran modelos Markovianos de orden 1, 2 y 3; que represente la dependencia de la serie.

3.3.-Normalidad de la Serie de Descargas Mensuales

Para probar la normalidad de las muestras de las dos estaciones en estudio, se utilizaron la prueba de asimetría de Normalidad de la serie original para cada uno de los doce meses. Para la estación ardilla se observa que los 11 meses del año excepto el mes de noviembre no pertenecen al límites de confianza por lo tanto se rechaza la prueba, es decir en estos meses la serie no es normal.

Para la estación Ciruelo, los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Agosto, Octubre, Noviembre y Diciembre caen fuera de los límites de confianza; y por lo tanto no son normales.

Posteriormente para asegurar la normalidad de la muestras de las dos estaciones en estudio en el presente trabajo, se procedió a la transformación Logarítmica, tratando en lo posible que las curvas de asimetría tengan el valor más cercano a cero.

3.4.- Estadísticos de la Serie Transformada

Los nuevos valores de los estadísticos nos darán una idea del comportamiento estadístico de las series estudiadas mes a mes para cada de las estaciones en estudio; de estas características la más importante son los gráficos de los correlogramas, de las cuales se observa que para los tres primeros retardos de cada estación el grado de dependencia lineal se mantiene, también muestran periodicidades a través de los doce meses.

3.5.- Modelamiento Estocástico

Se calcularon para las dos estaciones en estudio los parámetros de los modelos markovianos o

autorregresivos mediante el uso del programa de cómputo SAMS 2000 para el primer AR(1), segundo AR(2) y tercer AR(3) orden respectivamente.

Para la estación ardilla, que a pesar de haber utilizado datos transformados a normales, existen meses del año en que los residuos no son normales, en el caso AR(1) el 83.33%, AR(2) el 91.67% y AR(3) el 83.33% de los residuos son normales, en el caso de la independencia AR(1) el 100%, AR(2) el 100% y AR(3) el 75% de aceptación de la hipótesis.

Para la estación Ciruelo, de los resultados de normalidad e independencia de los residuos se deduce que para el caso de AR(1) el 83.33%, AR(2) el 83.33% y AR(3) el 91.67% de los residuos son normales y para el caso de la independencia AR(1), AR(2) y AR(3) el 100% de aceptación de la hipótesis respectivamente.

De los resultados antes indicados que los mejores modelos usando las pruebas ya mencionadas de la serie residual son las que presentan menor cantidad de pruebas rechazadas tanto en la normalidad y sobre todo en la prueba de independencia de los residuales. Para las dos estaciones en estudio en el presente trabajo el modelo markoviano o autorregresivo que garantiza la confiabilidad del modelo es: Para la estación ardilla, el modelo markoviano de segundo orden AR (2) y para la estación Ciruelo, el modelo markoviano de tercer orden AR (3). Debido a que tienen menor cantidad de rechazos tanto en la prueba de normalidad e independencia de la serie residual.

4.6.- Generación de Series Sintéticas

La generación de las series de tiempo sintéticas medias mensuales del Río Chira, está basado en un modelo markoviano, antes se estimaron los coeficientes de autorregresión y la varianza de la serie residual, se generará muestras sintéticas mediante las siguientes ecuaciones:

Para la estación Ardilla, se empleará el modelo markoviano de segundo orden AR(2).

$$X_{v,\tau} = \alpha_{1,\tau} X_{v,\tau-1} + \alpha_{2,\tau} X_{v,\tau-2} + \sigma_{\varepsilon\tau} \varepsilon_i$$

Para la estación Ciruelo, se empleará el modelo markoviano de tercer orden AR (3)

$$X_{v,\tau} = \alpha_{1,\tau} X_{v,\tau-1} + \alpha_{2,\tau} X_{v,\tau-2} + \alpha_{3,\tau} X_{v,\tau-3} + \sigma_{\varepsilon\tau} \varepsilon_i$$

Con dichas ecuaciones fue posible generar 20 series de 50 años cada uno para cada estación en estudio.

3.7.- Prueba de Bondad de Ajuste del Modelo Seleccionado

Luego de realizar las pruebas "T" y "F" para el promedio de las 20 series generadas para cada estación en estudio se obtuvo ningún rechazo tanto en la media como en la desviación estándar y por lo tanto se puede inferir que el modelo markoviano de segundo orden para la estación Ardilla y el modelo markoviano de tercer orden para la estación Ciruelo son confiables ya que preservan los dos principales parámetros con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$.

3.8.- Determinación de la Capacidad de Embalse por el Método Range

Se calculó solamente la capacidad de embalse con las series generadas del río Chira, estación Ardilla,

debido a que dicha estación registra dos tributarios más que la estación Ciruelo que son: el río Quiroz y el río Alamor y también porque registra los datos a la entrada de la represa Poechos.

Las series sintéticas generadas con la estación hidrométrica Ciruelo serán útiles para la operación y mantenimiento del actual y futuro sistema fluvial del Proyecto Especial Chira-Piura.

En el presente trabajo se propone la construcción de una represa en la zona de San Francisco, ubicada aguas abajo de la represa Poechos, la cual presenta las siguientes ventajas:

- Cuenta con suficiente área de influencia aproximadamente de 320 km², para almacenar

Tabla 2. Rango ajustado de 20 series generadas de 50 años cada una MMC.

N° de serie generada	Capacidad del embalse
1	3919.91
2	3009.61
3	2520.94
4	2607.87
5	2156.31
6	1910.55
7	2052.78
8	2363.99
9	2457.07
10	1115.55
11	1633.43
12	3075.24
13	2200.30
14	1845.45
15	3752.60
16	4188.33
17	2910.60
18	3958.34
19	3289.50
20	2324.43

La determinación de la capacidad del embalse que se muestra en la tabla 4.27, es desde el punto de vista hidrológico, en dichos cálculos no se han considerado estudios topográficos ni geológicos de la zona.

Dichas capacidades, se ajustan a dos distribuciones teóricas, normal y log-normal de dos parámetros, para lo cual se estiman los parámetros de dichas distribuciones por el método de los momentos.

Con los parámetros estimados, se realizó el ajuste utilizando la prueba estadística de Smirnov Kolmogorov

De estos resultados se observa que existe un ajuste significativo, tanto con la distribución Normal como con la distribución Log-Normal de dos parámetros, al 95% de probabilidades; pero un mejor ajuste se obtiene con la distribución Log-Normal de dos parámetros.

Para visualizar con mayor claridad estos ajustes, se muestran graficadas la distribución acumulada empírica, normal y log-normal de dos parámetros, observándose, una mayor aproximación a la curva

diferentes capacidades que se propone en el presente trabajo.

- La represa Poechos, cumplirá la función de un desarenador natural para la nueva represa, la cual se captará a la zona de San Francisco mediante un canal de derivación.

Siguiendo la metodología para cada una de las series generadas, se calculó la capacidad de embalse mediante el método del Rango Ajustado.

Usando los valores de las sumas parciales de cada una de las series generadas para el río Chira, estación ardilla, se obtuvo los valores de los rangos ajustados que se muestran en la tabla 2.

empírica, la curva correspondiente a la log-normal de dos parámetros.

De los resultados obtenidos anteriormente y considerando el ajuste a la distribución log-normal de dos parámetros, se observa que para la cuenca del río Chira, estación Ardilla las capacidades de embalse efectivo de no excedencia durante el periodo de 50 años es:

- Con 75% de probabilidad de no excedencia, la capacidad de embalse es:
R* = 3289.5 MMC.
- Con 85% de probabilidad de no excedencia, la capacidad de embalse es:
R* = 3919.91MMC.
- Con 95% de probabilidad de no excedencia, la capacidad de embalse es:
R* = 4188.33MM

4. Conclusión

- Los modelos markovianos de segundo orden AR (2), para la estación Ardilla y de tercer orden AR (3), para la estación Ciruelo, son adecuados para representar la estructura de dependencia de las series hidrológicas de las descargas medias mensuales del río Chira.
- La serie de caudales medias mensuales del río Chira, registrada en la estación hidrométrica Ardilla se ajustan a la distribución, log-normal de dos parámetros.
- Las capacidades de embalse efectivo de no excedencia al 75%, 85% y 95% de probabilidad, de las series generadas, son: R* = 3289.5 MMC, R* = 3919.91MMC y R* = 4188.33MMC respectivamente, durante el periodo de 50 años.

Recomendaciones

- En el planeamiento, diseño y operación de los recursos hídricos, para proyectos específicos, aplicar la metodología utilizada en este trabajo empleando correcciones por evaporación e infiltración.
- Con las series sintéticas generadas, realizar un análisis de sequía para la cuenca del río Chira, determinando la sequía crítica, con el cálculo de los parámetros que son la duración, magnitud e intensidad, tanto de las series históricas como generadas.
- Se recomienda al Proyecto Especial Chira- Piura, usar las series sintéticas generadas sobre la base de

las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo, en los modelos de simulación del sistema.

- También como continuación del presente trabajo, se recomienda calcular la capacidad de embalse, empleando los diferentes métodos como son: el algoritmo de picos sucesivos y matriz de transición.
- Se recomienda al Proyecto Especial Chira- Piura, realizar estudios sobre el nuevo sistema topológico, para la nueva operación y mantenimiento del sistema.

5. Referencias bibliográficas

- Aliaga Araujo, S. "Tratamiento de datos Hidrometeorológicos". Departamento de Recurso Hídricos. Publicación N° 65 U.N.A.L.M.-1979
- Aliaga Araujo, S. "Hidrología Estadística" U.N.M.S.M. Lima- 1985, 320 pgs.
- Alcántara Ramos J. "Generación de Descargas Medias Mensuales mediante el uso de un Modelo Autorregresivo aplicado a la Cuenca del Río Mantaro" Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola DRAT, UNALM. Lima-Perú, 1983.
- Benjamín J. Cornell C. "Probabilidad y Estadística en Ingeniería Civil". Editorial Mc Graw-Hill Colombia - 1981
- Box y Jenkins Time Series Analysis Forecasting and Control. Editorial Holden – Day Inc – 1976.
- Chow, V. T. Handbook of Applied Hidrology A. Compendium of Water-Resources Technology Edit. Mc Graw-Hill Book Company, 1964.
- Clark, R., T. "Mathematical Models in Hidrology". Irrigation and Drainage, Paper N°19, FAO of the United Nations, Roma, 1973.
- Guerrero Salazar P. Apuntes de clase del Curso de "Métodos Estadísticos en Hidrología" Escuela de Post Grado en Recursos Hídricos UNALM, Lima-Perú 2003.
- Linsley "Hidrología para Ingenieros", Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana 2da Edición, Bogota, 1977.
- Ponce, C. M. Modelos Matemáticos en Hidrología Lima, Perú- 1978
- Sadeh, W. Z. Data Collection, Analisis and Instrumentation Stochastic Approaches to Water Resources, Vol. 1 , Fort Collins, Colorado U.S.A. , 1976.
- Salas, L.C, J. D. "Modelos de Simulación Estocástica" CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1978.
- Salas, L.C, J. D "Curso de Recursos Hídricos" Convenio Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones Colorado State University Huampani Lima, 1979.
- Salas L.C.,J.D. Delleur "Applied Modeling of Hydrologic Time Series" Yevjevich and Lane Water Resource, Publications, 4ta Reimpresion, Colorado, U.S.A. 1997.
- Salas J. D. "Stochastic Analisis, Modeling, and Simulation (SAMS) version 2000". Technical Report N°8. Fort Colliuns Colorado U. S. A., 2000. 115 pgs.
- Villón Bejar M. "Hidrología" Instituto Tecnológico de Costa Rica 2da Edición, 2002.
- Villón Bejar M. "Hidrología Estadística" Instituto Tecnológico de Costa Rica 2da Edición, 2002.
- Yevjevich, V. The Structure of Inputs and Outputs of Hidrologic Systems, United Stated Japan Bi-Lateral Seminer in Hidrology, Honolulu, January, 1971.
- Yevjevich, V. "Stochastic Processes in Hydrology", Water Resources Publications Fort Collins, Colorado U. S. A. , 1972.
- Yevjevich, V. Structure of Natural Hidrology Time Processes Vol. I, For Collins; Colorado, U.S.A. 1976.
- Yevjevich, V. Probability and Statistics in Hidrology, Water Resources Publications , fort Collins, Colorado U. S. A., 1976.
- Yevjevich, V. The Application of Suplies Deficits and Range in Hydrology Hidrology Paper N° 10, Colorado State University, Fort Collins. Colorado – U.S.A., 1965.