

**XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
LIMA, PERÚ, 26 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2016**

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS EN LOS
PROYECTOS ESPECIALES CHAVIMOCHIC Y CHINECAS**

Boris Condezo Montes¹, Abel Mejía Marcacuzco² y Eusebio Ingol-Blanco³

¹Estudiante de la Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Tel. 340-1180

²Profesor, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180

³Asesor, Autoridad Nacional del Agua, Profesor Visitante de la Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Lima, Perú; Telefax: 340-1180

boriscondezo@yahoo.es, jabel@lamolina.edu.pe, ingol1@utexas.edu

RESUMEN:

Este artículo presenta un estudio de los sistemas de recursos hídricos de los proyectos Especiales Chavimochic y Chinecas localizados en las regiones de La Libertad y Ancash, respectivamente. Los antecedentes muestran que los acuíferos de ambos proyectos se encuentran subexplotados, al presentarse niveles freáticos altos en la parte baja de los valles, originando problemas de salinidad y degradación de suelos. Por otro lado, existe una creciente demanda para diferentes usos productivos, que aunado a los efectos del cambio climático y al derretimiento de glaciares en la cuenca del río Santa, la competencia por los recursos hídricos podría incrementarse en las próximas décadas. En esta dirección, es fundamental una planificación y gestión de acciones para enfrentar los futuros desafíos del agua. Para tal efecto, se ha planteado investigar y aplicar metodologías para el análisis de sistemas de recursos hídricos, incluyendo la modelación estocástica para la síntesis de aportaciones y la simulación predictiva de los acuíferos y el modelamiento de la gestión, bajo condiciones hidrológicas futuras. Los resultados muestran la necesidad de planificar infraestructura de regulación y reglas de operación futura, con las cuales, pudo evidenciarse que la confiabilidad en la satisfacción de las demandas futuras mejoró considerablemente, reduciendo la vulnerabilidad del sistema.

ABSTRACT:

This article presents a study of water resources systems of Chavimochic and Chinecas projects located in La Libertad and Ancash regions, respectively. The background shows that both projects, aquifers are underexploited because of water table is high in the lower of the valleys, causing salinity and soil degradation problems. On the other hand, there is growing demand for different productive uses, which together with the effects of climate change and melting glaciers in the Santa River basin, competition for water resources could increase in the coming decades. In this direction, planning and management actions to address the future challenges of water is essential. To this end, this study raises investigate and implement methodologies for analyzing water resource systems, including stochastic modeling for the synthesis of input and predictive simulation and modeling aquifer management under future hydrological conditions. The results show the need to plan infrastructure regulation and future operation rules, with which, it could be shown that the reliability in meeting future demands improved considerably, reducing the vulnerability of the system .

PALABRAS CLAVE: Simulación, Acuíferos, Modelación Estocástica, Planificación y Gestión.

OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

Objetivo General

Desarrollar el análisis de los sistemas de recursos hídricos de los proyectos Especiales Chavimochic y Chincas para la planificación futura del agua. Para tal efecto se recurrirá a la modelación estocástica para la predicción de las aportaciones, la simulación predictiva de los acuíferos y al modelamiento de la gestión bajo diferentes escenarios y condiciones hidrológicas.

Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de los sistemas con distintos modelos estocásticos y desarrollar comparaciones de los resultados.
- Evaluar el comportamiento operacional del embalse Cascajal y Palo Redondo para diferentes condiciones hidrológicas, tales como: año muy seco, año seco, año normal, año húmedo, año muy húmedo usando WEAP.
- Desarrollar la simulación numérica del flujo subterráneo del acuífero del Valle de Chao, para evaluar diferentes alternativas de explotación de uso conjunto que garanticen el equilibrio entre la recarga y la descarga del acuífero a fin de lograr la sostenibilidad del mismo.

METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en la presente investigación incluye, en resumen, las actividades siguientes: (i) Análisis de la situación actual, cruce de oferta y demanda actual para determinar si cumple o no cumple las garantías de las demandas, (ii) Desarrollo de la modelación estocástica para la generación de series sintéticas de aportaciones para el análisis futuro de la planificación y gestión en los sistemas de recursos hídricos de Chavimochic y Chincas. Se evaluó el desempeño de los modelos PARMA, (iii) Análisis de la situación futura. Cruce de la oferta y demanda futura para determinar si cumple o no cumple las garantías de las demandas, (iv) Evaluación de alternativas de infraestructura con la finalidad de cubrir el déficit de agua futuro, como por ejemplo la construcción de embalses (regulación del recurso), la implementación de sistemas de bombeo de los acuíferos (uso conjunto). Por lo tanto, se determinaría el volumen máximo de embalses que cumpla el objetivo de regular el recurso para cumplir las garantías de las demandas futuras. Este cálculo se realizará mediante el método del rango ajustado, (v) Otras alternativas de gestión que puedan ser simuladas. Algunos aspectos de la metodología se desarrollan a continuación:

Modelo de Simulación Estocástica

Se desarrolló una simulación estocástica a nivel anual de la Estación Condorcerro para determinar la dimensión de dos embalses y simulación estocástica a nivel mensual de las estaciones Salinar-Tambo, Quirihuac–Moche, Huacapongo–Sifón Virú, Chorobal-Huamanzaña, Condorcerro, San Jacinto, Sector Tutuma, Puente Quillo, para la construcción de reglas de gestión para la operación de un sistema de embalses, estrategias de gestión para la adecuada distribución del recurso hídrico para los diferentes usos, y balances hídricos (oferta vs demanda).

Generación de Series sintéticas anuales

Con el modelo ARMA (1,0) ajustado anteriormente para los registros anuales de la estación Condorcerro se ha generado 1000 series sintéticas de 50 años cada una (suponiendo que es el periodo de diseño de la infraestructura de regulación), cuyos estadísticos resultantes han sido comparados con los estadísticos de la serie histórica.

Generación de Series sintéticas mensuales

Con la finalidad de realizar una comparación entre los estadísticos de la muestra histórica y los estadísticos de las series sintéticas, se han generado 1000 series de 60 meses cada una (50 años), para el modelo de media móvil PARMA (1,0) ajustado a la serie histórica mensual de la estación Condorcerro.

Clasificación de escurrimientos sintéticos mensuales

Existen dos formas de utilizar esta información (Rodríguez, 2012):

- desarrollar un análisis estadístico de estas 1,000 series y seleccionar un número de ellas (cinco) que representen diferentes condiciones hidrológicas (muy secas, secas, normales, húmedas, muy húmedas) y utilizar esta selección de series para evaluarlas en el modelo de planeación WEAP.
- Utilizar las 1,000 series en el modelo de planeación WEAP, y después hacer el análisis de los 1,000 modelos de planeación evaluados.

En esta investigación se seleccionó el primer método, ya que es más rápido y practico trabajar con un número selecto de series en el modelo de planeación que analizar a priori las 1,000 series de escurrimientos sintéticos.

Tabla 1.- Análisis estadístico de Series Sintéticas para su uso en el modelo de planeación, Estación Condorcerro

Nº	LC Inferior	LC Superior	Qmedio Anual	Clase	Frecuencia	frecuencia relativa	Función Densidad	Función Acumulada	Nº Serie Generada	Distribución Normal F(xi)	Ajuste p(xi)
1	120.00	124.00	122.00	124.00	1	0.00	0.00	0.0010	711.00	0.00035	0.000
2	124.00	128.00	126.00	128.00	4	0.00	0.00	0.0050	624.00	0.00493	0.005
3	128.00	132.00	130.00	132.00	23	0.02	0.01	0.0280	290.00	0.03815	0.033
4	132.00	136.00	134.00	136.00	139	0.14	0.03	0.1670	512.00	0.16736	0.129
5	136.00	140.00	138.00	140.00	278	0.28	0.07	0.4450	794.00	0.43774	0.270
6	140.00	144.00	142.00	144.00	300	0.30	0.08	0.7450	107.00	0.74256	0.305
7	144.00	148.00	146.00	148.00	181	0.18	0.05	0.9260	187.00	0.92774	0.185
8	148.00	152.00	150.00	152.00	65	0.07	0.02	0.9910	178.00	0.98831	0.061
9	152.00	156.00	154.00	156.00	7	0.01	0.00	0.9980	567.00	0.99895	0.011
10	156.00	160.00	158.00	160.00	1	0.00	0.00	0.9990	776.00	0.99995	0.001
11	160.00			y mayor.	1	1.00					

Tabla 2.- Secuencias seleccionadas como condiciones hidrológicas, para su uso en el modelo de planeación, Estación Condorcerro

Secuencias	Condición Hidrológica	Nº Serie Generada
Secuencia 1	Muy Seco	711
Secuencia 3	Seco	290
Secuencia 6	Normal	107
Secuencia 9	Húmedo	567
Secuencia 10	Muy Húmedo	776

Simulación Numérica del Acuífero de Chao

Construcción del modelo conceptual

El acuífero está limitado lateralmente por las formaciones rocosas representadas por cerros que afloran en ambos lados y también por grandes cerros testigos; como Chao, Carretero, Jaime, Ganoza, Dos Tetas, Huarango, Huasaquito, Huarpe, Arenoso.

El acuífero a partir del sector San León, tiene un ancho de 4.00 Km, posteriormente en el sector de Turbinzal presenta un ancho de 6.00 Km el mismo que se va ensanchando progresivamente hasta el litoral donde tiene un ancho promedio de 8 Km.

Capas del acuífero

Las unidades estratigráficas reconocidas están constituidas principalmente por materiales aluviales cuaternarios compuesto de cantos rodados, gravas y guijarros en matriz areno-arcilloso por donde discurre el agua subterránea, en consecuencia la zona presenta dos horizontes bien marcados:

- Un horizonte superior, un horizonte de material más grueso de buena permeabilidad relativa que llega hasta los 40 m, muy favorable al flujo subterráneo y que, por estar en contacto con la atmósfera, se le considera como el acuífero libre y constituye el dominio de la napa freática.
- Un horizonte inferior, Compuesto de materiales finos de baja permeabilidad; su espesor se extiende frecuentemente entre 100m y 120m, para luego encontrar el basamento por la elevación brusca de la resistividad.

Desde el punto de vista de producción de agua, el horizonte superior es el que ha venido siendo explotado desde hace más de 50 años y es esta capa la que será modelada a diferentes escenarios de explotación mediante pozos de bombeo a fin de garantizar su máximo rendimiento y equilibrio. Al modelo se introdujo el valor del nivel del basamento y de la superficie del terreno. Los valores del basamento se introdujeron al modelo como un archivo tipo txt (x,y,z).

Entradas y salidas del agua del sistema

Las entradas de agua están constituidas en este sistema, por las zonas de carga constante en los límites noreste del sistema a la altura del canal madre que es el agua subterránea que proviene de la parte alta de la cuenca, las posibles aportaciones del río Chorobal y Huamanzaña al acuífero en el límite norte, y la recarga debida fundamentalmente a las áreas de riego, que se aplica sobre la capa superior de toda la extensión del sistema.

Como salidas del sistema se han considerado; la extracción por pozos de bombeo, los drenes y ríos donde la salida de agua es hacia el mar, y la evapotranspiración desde zonas con niveles de agua subterránea elevados.

Calibración del modelo de flujo subterráneo

MODFLOW fue calibrado para régimen estacionario y régimen transitorio. Cargas hidráulicas estáticas de setiembre 2001 fueron usadas para la calibración en régimen permanente. El acuífero en estudio fue modelado con 24 puntos de datos de conductividad hidráulica y 11 puntos almacenamiento diferentes, además de la recarga debida a la infiltración del riego por gravedad en valle de Chao y el aporte subterráneo de la cuenca alta. Los resultados de las cargas en régimen estacionario fueron utilizados como condiciones iniciales para el modelo en régimen transitorio.

Escenarios de gestión del acuífero

Se plantean cinco (05) escenarios de explotación posibles, los cuales tienen relación con el mejoramiento de riego en el valle viejo y la ampliación de áreas de riego en las partes altas del valle

Chao, así como también la explotación del agua subterránea mediante pozos de bombeo, estas acciones tienen como fin disminuir la dotación de agua desde el canal Madre.

Tabla 3.- Escenarios de simulación

Escenario	Tipo	Usuario	Tipo Riego	Eficiencia/ Operatividad	Consumo de agua en MMC			Total MMC
					Superficial		Subterránea	
					Santa	Chao		
1 Actual	Agrícola A. Mejoramiento	Valle antiguo	gravedad	48.1%	80.87	1.07	13.50	95.44
	Agrícola A. Nueva	Ampliación	presurizado	85%	63.21	-	-	63.21
2 Ampliación	Agrícola A. Mejoramiento	Valle antiguo	gravedad	48.1%	80.87	1.07	13.50	95.44
	Agrícola A. Nueva	Ampliación	presurizado	85%	181.22	-	-	181.22
3 Factibilidad	Agrícola A. Mejoramiento	Valle antiguo	gravedad	55%	47.00	1.07	25.00	73.07
	Agrícola A. Nueva	Ampliación	presurizado	85%	181.22	-	-	181.22
4	Agrícola A. Mejoramiento	Valle antiguo	gravedad	55%	21.96	1.07	50.04	73.07
	Agrícola A. Nueva	Ampliación	presurizado	85%	181.22	-	-	181.22
5	Agrícola A. Mejoramiento	Valle antiguo	gravedad	55%	0	0	73.07	73.07
	Agrícola A. Nueva	Ampliación	presurizado	85%	181.22	-	-	181.22

Los escenarios de simulación en el modelo de gestión de recursos hídricos

Escenario 1: Simulación del escenario actual

Escenario 2: Simulación del escenario futuro con el mejoramiento e incremento de las áreas agrícolas, demanda poblacional en los Proyectos Chavimochic y Chincas respetando las prioridades y caudales ecológicos, comprende desde el año 2016 al 2065.

Escenario 3: Simulación del escenario futuro con incremento de explotación de aguas subterráneas, las cuales repercutirá con el mejoramiento e incremento de las áreas agrícolas, demanda poblacional en los Proyectos Chavimochic y Chincas respetando las prioridades y caudales ecológicos, comprende desde el año 2016 al 2065

Escenario 4: Proyección de los embalses Palo Redondo y Cascajal para el escenario futuro con el mejoramiento e incremento de las áreas agrícolas, demanda poblacional en los Proyectos Chavimochic y Chincas respetando las prioridades y caudales ecológicos, comprende desde el año 2016 al 2065

Escenario 5: Simulación del escenario futuro con incremento de aguas subterráneas y proyección de los embalses Palo Redondo y Cascajal para el escenario futuro con el mejoramiento e incremento de las áreas agrícolas, demanda poblacional en los Proyectos Chavimochic y Chincas respetando las prioridades y caudales ecológicos, comprende desde el año 2016 al 2065

RESULTADOS

Simulación de Escenarios de los Sistemas de Recursos Hídricos

En esta parte se presentan los resultados de los escenarios 4 y 5.

Escenario 4

Periodo de simulación desde el 2016 al 2065. Se proyecta la construcción y operación del embalse Palo Redondo con 158 Hm³ de volumen útil en Chavimochic y Cascajal de 52 Hm³ de volumen útil en Chincas. La oferta del sistema se simula con aportaciones sintéticas de los ríos

Casma-Sechin, Nepeña, Santa, Chao, Virú, Moche, Chicama y la explotación de aguas subterráneas de 90 Hm³ en Chao, Virú, Moche y 185.3 Hm³ en Chicama según lo propuesto en el estudio de Factibilidad en Chavimochic, la explotación de aguas subterráneas de 271.9 Hm³ en Chinescas en los Valles de Santa - Lacramarca, Nepeña y Casma.

Las demandas futuras de Chavimochic incluyen el mejoramiento y ampliación de las áreas de riego en Chao, Virú, Moche, Chicama y la conclusión de las obras de la tercera etapa en donde se irrigara hasta las Pampas de Urricape al norte de Chicama, además la demanda poblacional futura y el aumento de caudal en la central hidroeléctrica de Virú. Las demandas futuras en Chinescas comprenden el mejoramiento en los valles Santa- Lacramarca, Nepeña y Casma, y la ampliación de las áreas de riego en los intervalles, además la demanda poblacional futura, considerando la conclusión en la construcción del canal principal hasta el río Sechin.

Gestión de las demandas

Ante los bajos valores de confiabilidad del sistema en condiciones hidrológicas secas y muy secas es necesario gestionar las prioridades de las demandas y aguas subterráneas.

Primera estrategia.- Inicialmente las prioridades para Chavimochic y Chinescas es el consumo humano, caudales ecológicos, mejoramiento de riego, áreas nuevas de riego y luego los otros usos, por lo tanto se intentará implementar una restricción en los usos de riego y otros usos de tal manera de uniformizar los valores de prioridad tanto para mejoramiento como para de áreas nuevas, esto ayudara a reducir los impactos del déficit de agua en los usuarios con prioridades menores. Se realizó la simulación variando las prioridades en las demandas de riego y otros usos, manteniendo fija el volumen útil del embalse en Palo Redondo de 158 Hm³ y Cascajal de 52 Hm³.

Segunda Estrategia.- En Chavimochic se aumentara el volumen de explotación de aguas subterráneas de 90 Hm³ a 225 Hm³ en Chao, Virú, Moche y de 185.3 Hm³ a 226.74 Hm³ en Chicama. La explotación de aguas subterráneas de 271.9 Hm³ en Chinescas se mantendrá en los Valles de Santa - Lacramarca, Nepeña y Casma. El cuadro abajo muestra un resumen de la confiabilidad bajo diferentes condiciones hidrológicas.

Tabla 4.- Resumen de los valores Confiabilidad para los usuarios que presentaron déficit en su extracción, para diferentes condiciones hidrológicas y diferentes formas de gestión

Usuarios	Condición Hidrológica								
	Subterran. Muy seca	Gestión Muy seca	Muy seca	Subterran. seca	Gestión seca	Seca	Normal	Húmeda	Muy Húmeda
Agricultura Mejoram. Casma Sechin	96.50	100.00	100.00	97.33	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Chao	95.17	98.17	99.67	97.33	98.50	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Chicama	94.17	89.67	99.17	98.17	94.17	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Moche	94.50	89.67	99.17	99.33	96.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Nepeña	98.83	97.33	99.17	99.83	98.00	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Chimbote	90.83	97.00	99.17	95.17	98.00	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Irchim	95.17	97.00	99.17	97.33	98.00	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Leigh	91.00	97.17	99.17	95.17	98.00	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Viru	94.33	89.67	99.17	99.33	96.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Nueva Casma Sechin	96.50	85.00	92.67	97.33	90.67	95.17	97.67	98.67	98.50
Agricultura Nueva Chao	95.17	87.83	88.00	97.33	95.33	95.17	96.33	96.83	98.33
Agricultura Nueva Chicama	94.17	89.67	83.50	98.17	94.17	85.17	91.17	91.67	93.67
Agricultura Nueva Moche	94.17	89.67	74.67	99.17	96.17	88.67	90.67	92.17	91.00
Agricultura Nueva Nepeña	90.17	97.33	78.33	93.83	98.00	89.50	91.83	92.00	93.50
Agricultura Nueva Santa Lacramarca	90.83	83.67	84.00	95.17	93.17	93.50	95.17	96.17	96.67
Agricultura Nueva Viru	94.17	89.67	74.17	99.17	96.17	88.67	90.67	92.00	90.67

Escenario 5

Similar al escenario anterior, el periodo de análisis corresponde desde el 2016 al 2065. Se proyectará el embalse Palo Redondo con 70 Hm³ de volumen útil para Chavimochic y Cascajal de 52 Hm³ de volumen útil para Chinescas. La oferta del sistema se simulara con aportaciones sintéticas de los ríos Casma-Sechin, Nepeña, Santa, Chao, Virú, Moche, Chicama y aumentara la explotación de aguas subterráneas de 90 Hm³ a 225 Hm³ en Chao, Virú, Moche y de 185.3 Hm³ a 226.74 Hm³ en Chicama, la explotación de aguas subterráneas de 271.9 Hm³ en Chinescas se mantendrá en los Valles de Santa - Lacramarca, Nepeña y Casma. Las demandas futuras de

Chavimochic incluyen el mejoramiento y ampliación de las áreas de riego en Chao, Virú, Moche, Chicama y la conclusión de las obras de la tercera etapa en donde se irrigara hasta las Pampas de Urricape al norte de Chicama, además la demanda poblacional futura y el aumento de caudal en la central hidroeléctrica de Virú. Las demandas futuras en Chinecas comprenden el mejoramiento en los valles Santa- Lacramarca, Nepeña y Casma, y la ampliación de las áreas de riego en los intervalles de estos mismos.

Gestión de las demandas

Ante los bajos valores de confiabilidad del sistema en condiciones hidrológicas secas y muy secas es necesario gestionar las prioridades de las demandas. Para la gestión futura del sistema, bajar el valor de estimación de confiabilidad en las demandas, sobre todo de las prioritarias, para Chavomochic y Chinecas el uso prioritario es el consumo humano y caudales ecológicos, luego el mejoramiento de riego, áreas nuevas de riego y finalmente los otros usos. Por lo tanto se intentará implementar una restricción en los usos de riego y otros usos de tal manera de uniformizar los valores de prioridad tanto para mejoramiento como para de áreas nuevas, esto ayudara a reducir los impactos del déficit de agua en los usuarios con prioridades menores. Se realizó la simulación variando las prioridades en las demandas de riego y otros usos, manteniendo fija el volumen útil del embalse en Palo Redondo de 70 Hm³ y Cascajal de 52 Hm³. Los resultados de este procedimiento se describen a continuación con los criterios de desempeño de Confiabilidad, bajo diferentes condiciones hidrológicas.

Tabla 5.- Resumen de los valores Confiabilidad para los usuarios que presentaron déficit en su extracción, para diferentes condiciones hidrológicas y diferentes formas de gestión

Usuarios	Condición Hidrológica						
	Gestión muy seca	Muy seca	Gestión seca	Seca	Normal	Húmeda	Muy Húmeda
Agricultura Mejoram. Casma Sechin	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Chao	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Chicama	92.83	100.00	96.67	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Moche	93.00	100.00	97.83	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Nepeña	97.83	100.00	98.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Chimbote	97.50	100.00	98.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Irchim	97.50	100.00	98.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Santa Lacramarca C. Leigh	97.67	100.00	98.33	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Mejoram. Viru	93.00	100.00	97.83	99.83	100.00	100.00	100.00
Agricultura Nueva Casma Sechin	85.50	93.83	91.00	95.50	98.17	98.67	98.50
Agricultura Nueva Chao	87.17	87.67	93.67	93.67	96.17	96.33	97.33
Agricultura Nueva Chicama	100.00	91.50	100.00	93.33	96.17	96.67	97.17
Agricultura Nueva Moche	93.00	80.67	97.67	90.67	94.17	94.50	95.00
Agricultura Nueva Nepeña	97.83	78.83	98.33	88.67	91.50	92.00	93.17
Agricultura Nueva Santa Lacramarca	84.17	84.83	92.67	93.00	95.50	96.33	96.50
Agricultura Nueva Viru	92.83	80.17	97.83	90.67	94.33	94.50	94.83

CONCLUSIONES

- Los resultados de la simulación estocástica de caudales indican que los modelos ARMA y PARMA representan apropiadamente los escurrimientos históricos, tal como puede notarse en los principales parámetros estadísticos como la media (Mean), desviación estándar (Stdev), asimetría estadística (Skew), mínimos (Min), Máximos (Max) y Auto-correlación (Lag-1 cor) para cada mes. Del mismo modo las estadísticas anuales de los escurrimientos sintéticos e históricos.
- Bajo el escenario 4, la confiabilidad en la satisfacción de la demanda para los diferentes usuarios del sistema, en condiciones hidrológicas normales, supera el 90 %; mientras que para las condiciones muy secas, la confiabilidad es superior al 74 %. Para ambas condiciones hidrológicas la confiabilidad del sistema fue mayor bajo el escenario 5. Por otro lado, el cuarto escenario del modelo de simulación de acuífero de Chao constituye una de las mejores alternativas para la operación del sistema acuífero, con el cual se incrementa la

eficiencia de riego en el valle de 48.1% a 55%. Bajo este escenario las condiciones de napa alta mejoran considerablemente, con profundidades superiores a aquellas registradas en el 2007.

- Para una planificación y gestión de los sistemas Chavimochic y Chinecas, hay que asegurar el abastecimiento de agua actual y futuro para los distintos usos (poblacional, agrícola, agropecuario, hidroeléctrico), además de cumplir con las demandas ambientales (ecológicos) y preservarlas para el futuro. Desde este punto de vista se generaron múltiples escenarios futuros que expusieron el incumplimiento de las demandas, en la que se tomaron decisiones de gestión de manera confiable para la satisfacción de las necesidades hídricas del sistema.

REFERENCIAS

ANA - Autoridad Nacional del Agua. (1989). “Inventario y Evaluación de las Fuentes de Agua Subterránea de Valle del Rio Chao”, Lima – Perú, pp. 1-109.

ANA-Autoridad Nacional del Agua. (2010). Inventario y Evaluación de las Fuentes de Agua Subterránea de Valle del Rio Chao. Lima, PE. 109p

Ingol-Blanco, E and McKinney, D.C. (2013). Development of a Hydrological Model for the Rio Conchos Basin. Journal of Hydrologic Engineering, Volume 18, ASCE.

P.E. Chavimochic. (2010). “Estudio de Factibilidad Proyecto Chavimochic Tercera Etapa”, Región La Libertad – Perú.

P.E. Chinecas. (2011). “Actualización de la Eficiencia de Riego del Valle de Santa – Lacramarca”, Región Ancash - Perú.

Rodríguez Torres, Dagoberto. (2012). Disponibilidad Del Agua Y Riesgo Hidrológico En Los Ecurrimientos De La Cuenca Del Río Copalita, Con Un Modelo Estocástico. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Instituto Politécnico Nacional. 130p.

Stockolm Environment Institute. (2009). Tutorial WEAP, Water Evaluation And Planning System. 225p.

Sveinsson, O. G. B., Salas, J. D., Lane, W. L., and Frevert, D. K. (2009). “Stochastic analysis modeling and simulation (SAMS)” - Version 2009 - User's Manual, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Waterloo Hydrogeologic. (2002).“Visual MODFLOW User’s Manual”, Waterloo Hydrogeologic Inc., Waterloo, Ontario.