

Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú

Hector Huamán Samaniego¹, Saul Ernesto Arauco Esquivel²,
Rafael Wilfredo Rojas Bujaico³, John Fredy Rojas Bujaico⁴

Recibido: 15-05-2020

Aceptado: 25-06-2020



DOI: <https://doi.org/10.18050/ucvs.v.12i1.2598>

Cómo citar: Huaman Samaniego, H. Arauco Esquivel, S. Rojas Bujaico, R. Rojas Bujaico, J. (2020) Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. UCV-Scientia (12) 1, pág 9 -23. www.doi.org/10.18050/ucvs.v.12i1.2598

¹ Universidad Nacional del Centro del Perú. hhuaman@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0761-5000>

² Universidad Nacional del Centro del Perú. searauco@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7521-5557>

³ Universidad Nacional de Huancavelica. rafael.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8426-1333>

⁴ Universidad Nacional de Huancavelica. john.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6614-9615>

Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú

Hector Huamán Samaniego¹
Saul Ernesto Arauco Esquivel²
Rafael Wilfredo Rojas Bujaico³
John Fredy Rojas Bujaico⁴

Resumen

Las empresas públicas o privadas productoras de agua potable deben usar la cantidad óptima de coagulante (Al_2SO_4) en la producción del agua potable por el beneficio económico y el cuidado de la salud teniendo en cuenta a las ciudades de la sierra ubicadas sobre los 3200 m.s.n.m.

La dosis óptima de coagulante es una operación crítica, que tiene como propósito precipitar la cantidad de impurezas presentes en el agua cruda, su exceso altera la calidad del agua ocasionado daños en la salud cuando los parámetros están fuera de los límites permisibles por la OMS. El uso de los algoritmos genéticos permitió determinar la cantidad óptima de coagulante (sulfato de aluminio). Sin embargo, en la actualidad se realiza de manera manual mediante pruebas de ensayo denominadas pruebas "Jar Test" éstas se realizan en laboratorio, pero, es costos y demora mucho tiempo.

Los parámetros utilizados en la simulación son: pH, turbidez, sólidos totales disueltos y conductividad, los cuales miden la cantidad de coagulantes a la entrada y salida en un periodo de tiempo, la precisión alcanzada con este método es del 99,2% con un margen de error de 0,8%, en comparación con otros métodos como las neuronales que alcanzan un resultado del 98% con un margen de error de 2%.

La cantidad de coagulante está dentro de los parámetros que establece la organización mundial de la salud evitando problemas de cáncer en la población de las zonas de la sierra, alcanzando los estándares de calidad.

Palabras clave: Agua potable, Algoritmos genéticos, Jar Test.

¹ Universidad Nacional del Centro del Perú. hhuaman@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0761-5000>

² Universidad Nacional del Centro del Perú. searauco@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7521-5557>

³ Universidad Nacional de Huancavelica. rafael.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8426-1333>

⁴ Universidad Nacional de Huancavelica. john.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6614-9615>

Optimization of the amount of coagulants for the production of drinking water in areas of the Peruvian highlands

Hector Huamán Samaniego¹
Saul Ernesto Arauco Esquivel²
Rafael Wilfredo Rojas Bujaico³
John Fredy Rojas Bujaico⁴

Abstract

Public or private companies producing drinking water must use the optimal amount of coagulant (Al_2SO_4) in the production of drinking water for economic benefit and health care, taking into account the cities in the highlands located above 3200 m.a.s.l.

The optimal dose of coagulant is a critical operation, which aims to precipitate the amount of impurities present in raw water, its excess alters the quality of water causing damage to health when the parameters are outside the permissible limits by the WHO. The use of genetic algorithms allowed to determine the optimal amount of coagulant (aluminum sulfate). However, at present it is done manually by means of tests called "Jar Tests". These tests are done in the laboratory, but, it is expensive and takes a long time.

The parameters used in the simulation are: pH, turbidity, total dissolved solids and conductivity, which measure the amount of coagulants at the entrance and exit in a period of time. The precision achieved with this method is 99.2% with a margin of error of 0.8%, compared to other methods such as neuronal methods which reach a result of 98% with a margin of error of 2%.

The amount of coagulant is within the parameters established by the World Health Organization, avoiding cancer problems in the population of the highland areas, reaching quality standards.

Keywords: Drinking water, Genetic algorithms, Jar Test.

¹ Universidad Nacional del Centro del Perú. hhuaman@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0761-5000>

² Universidad Nacional del Centro del Perú. searauco@uncp.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7521-5557>

³ Universidad Nacional de Huancavelica. rafael.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8426-1333>

⁴ Universidad Nacional de Huancavelica. john.rojas@unh.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6614-9615>

INTRODUCCIÓN

En las investigaciones para el tratamiento del agua potable se ha simulado la dosificación de coagulantes mediante redes neuronales artificiales (RNA); "... se ha aplicado en el tratamiento de agua con residuos domésticos" (Gulay Tezel & R. Kaan Sinan, 2009).

En la evaluación de calidad de agua de los ríos, es importante conocer la cantidad de microorganismos presentes en él. Su monitoreo, se realiza con redes neuronales de tipo backpropagation donde se utiliza funciones sigmoideas/lineal (Saint Gerons & Mota Adrados, 2010)

El uso de los algoritmos genéticos en el tratamiento de agua es importante porque ha permitido pronosticar la demanda de su uso para el caso de la ciudad de Barquisimeto – Cabudare (Venezuela). (Rincon O., 2006.)

El uso del agua potable es uno de los recursos más importantes en las ciudades que están a más de 3000 m.s.n.m, su uso es de especial atención en el aspecto social, ambiental, y económico. Por lo tanto, es necesario mantener su sostenibilidad para su aprovechamiento, que maximice el margen bruto de la descarga de agua (Carrión, Lopez, Ortega, & De Juan, 2003).

El uso de los algoritmos genéticos usado en la producción de agua potable, busca determinar la cantidad óptima de coagulante para su producción de acuerdo con los estándares de salud. (Villalba & Saldarriaga G., 2005)

El uso de la cantidad de sulfato de aluminio (Al_2SO_4) es importante en la producción de agua potable por sus propiedades fisicoquímicas y de coagulación utilizadas en la decantación de impurezas y otros elementos importantes que se deben eliminar para su consumo humano; en la dosificación es necesario analizar la etapa inicial y final del proceso de producción de agua potable en función de ello se determina los parámetros óptimos de la cantidad.

La dosificación de la cantidad óptima de coagulante frente a la turbidez del agua, debe seguir el comportamiento del modelo de algoritmos genéticos; la cantidad debe ser regulado en función de la turbidez.

En la simulación se ha usado factores como: turbidez, pH, conductividad, TDS, los mismos, que se usan en el modelo de algoritmos genéticos, este método nos permite buenas aproximaciones cuantitativas para la dosificación de la cantidad de coagulante usado en la producción de agua, la importancia del uso de este modelo se fundamenta en los valores de la simulación que son muy cercanos a los datos experimentales del **Test de Jarras**.

El problema para determinar la cantidad de coagulante en la producción de agua, utilizando algoritmos genéticos, se basa en el modelo de los cromosomas que contienen información genética codificada y éste está formado por una secuencia de genes que codifica características del individuo.

El objetivo de la investigación fue determinar la cantidad óptima de coagulantes (sulfato de aluminio) que debe ser utilizado en la producción del agua potable de la ciudad Huancayo, utilizando para ello los algoritmos genéticos.

MATERIAL Y MÉTODO

Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son técnicas de optimización de búsqueda y aprendizaje inspirados en el proceso de evolución natural y genética.

Los trabajos desarrollados por el biólogo inglés Alex S. Fraser a principio de los años 60 sobre la evolución de los sistemas biológicos mediante una computadora digital han servido de inspiración para los algoritmos genéticos. (Parra Truyol, 2013). Hans Joachin Bremerman realiza las primeras simulaciones con cadenas binarias, que se procesan por medio de la reproducción, selección y mutación (Berzal, 2012).

Jonh Henry Holland, fue el primero en desarrollar los planes reproductivos y adaptativos mediante el uso de una computadora digital para imitar la evolución como un proceso de optimización.

Esquema de los algoritmos genéticos

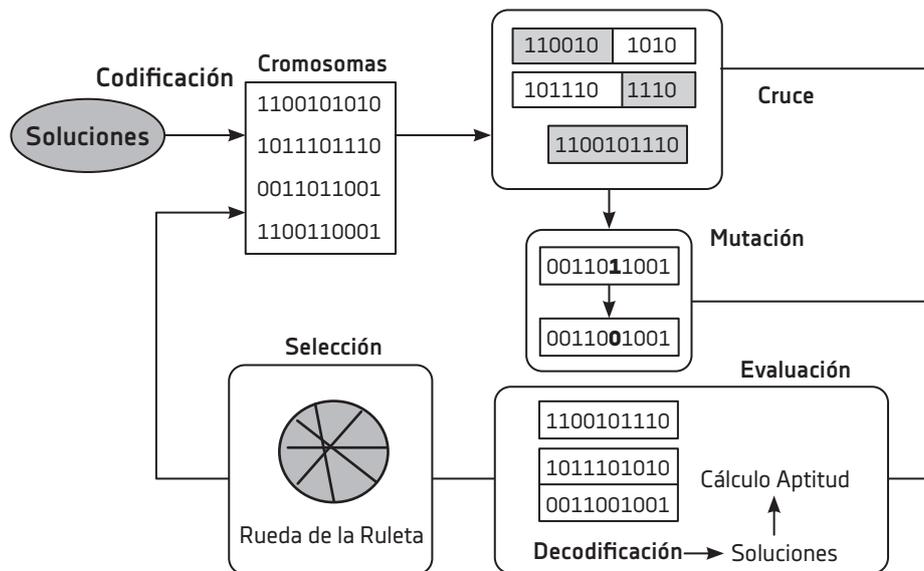
“En la naturaleza todo el proceso de evolución biológica se realiza de manera natural” (Arranz de la Peña & Parra, 2015). Para la aplicación de los algoritmos genéticos se sigue los siguientes pasos:

- a) Evaluar la puntuación de cada uno de los cromosomas generados.
- b) Permitir la reproducción de los cromosomas, considerando los más aptos aquellos que tengan más probabilidad de reproducirse.
- c) Con cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo individuo.
- d) Organizar la nueva población generada.

Los pasos mencionados se repiten hasta que se cumpla con la condición de convergencia donde finaliza la iteración. El criterio de convergencia se alcanza cuando no se produce más cambios en la población.

Figura N° 01

En la figura 01, se muestra el esquema básico de un algoritmo genético, éste está conformado por cromosomas, que se cruzan y luego mutan mediante un proceso de selección natural, obteniendo de esta manera una nueva población con características físicas diferentes.



Esquema básico de un algoritmo genético. (Parra Trujol, 2013)

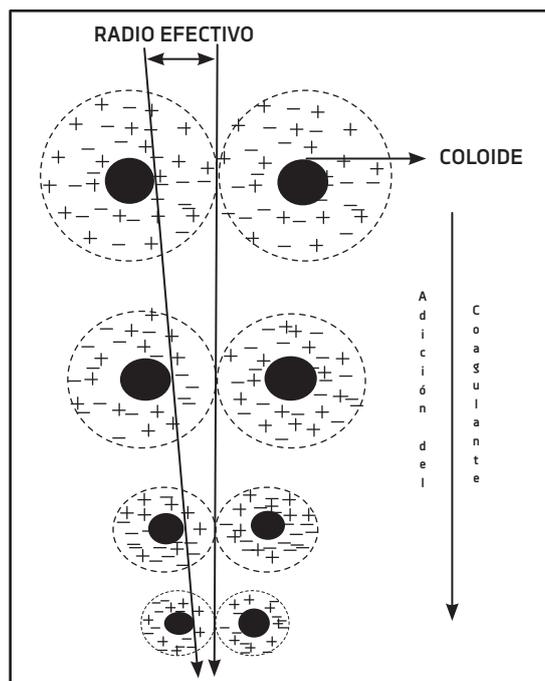
Procedimiento del algoritmo genético

- Inicio (1)
- t = 0;
- inicializar P(t);
- evaluar P(t);
- Mientras (no se cumpla la condición de parada) hacer
- Inicio (2)
- t = t + 1
- seleccionar P(t) desde P(t-1)
- recombinar P(t)
- mutación P(t)
- evaluar P(t)
- Final (2)
- Final (1)

Proceso de coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Figura N° 02



La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la nube "nube de iones" que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Uso de algoritmos genéticos en problemas de optimización

Los algoritmos genéticos son parte de la computación evolutiva. Es un área parte de la Inteligencia artificial que se basa en la evolución natural biológica y pueden adaptarse en la solución de múltiples problemas.

Mecanismo de coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

Factores que influyen en la coagulación

- a) Influencia del pH
- b) Influencia de las sales disueltas
- c) Influencia de la temperatura del agua
- d) Influencia de la dosis del coagulante

Parámetros de calidad de agua potable

Son los elementos presentes en el agua cuyo contenido se considera potencialmente peligroso para la salud, o que pueda afectar su aceptabilidad por parte del consumidor.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad del agua (SUNASS).

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP (Limite max permisible)	OBSERVACIÓN
Coliformes totales	UFC/100 mL	Ausencia	(1)
Conformes termotolerantes	UFC/100mL	Ausencia	(1)
Bacterias heterotróficas	UFC/ml	500	(1)
Turbiedad	UNT	5	(1)
Ph	Unidad	6,5-8,5	(1)
Conductividad - 25°C	uS/cm	1500	(3)
Color-Platino/Cobalto	UCV	20	(2)
Cloruros, Cl ⁻	mg/L	250	(2)
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	mg/L	250	(2)
Sólidos totales	mg/L	1000	(3)
Dureza, CaCO ₃	mg/L	500	(3)
Nitratos, NO ₃	mg/L	50	(1)
Hierro (Fe)	mg/L	0,3 (0,5 total con Mn)	(2)
Manganeso (Mn)	mg/L	0,2 (0,5 total con Fe)	(2)
Aluminio (Al)	mg/L	0,2	(*)
Cobre (Cu)	mg/L	3,0	(2)
Plomo (Pb) (*)	mg/L	0,1	(2)
Cadmio (cd) (*)	mg/L	0,003	(*)
Arsénico (As) (*)	mg/L	0,1	(2)
Mercurio (Hg) (*)	mg/L	0,001	(*)
Cromo (Cr) (*)	mg/L	0,05	(1)
Fluor (F)	mg/L	2,0	(2)
Selenio (Se)	mg/L	0,05	(2)

Fuente: (1) Valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1995). (2) Valores de la norma nacional "Reglamento de Requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas Potables" (3) Parámetros de conductividad y dureza, son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, (*) Compuestos tóxicos.

MÉTODO DE CÁLCULO

En la investigación se ha utilizado el análisis de las muestras durante varios meses. Los parámetros de la cinética de la coagulación son:

a) Determinar la temperatura de las muestras de agua potable en grados centígrados siguiendo el protocolo EPA 170,1 (termométrico).

b) Determinar la turbiedad de las muestras de agua en NTU (unidades de turbidez nefelométricas) siguiendo

el protocolo EPA Method 180,1 (nefelometría para muestras de agua potable)

c) Determinar color de muestras de agua potable en unidades de color verdadera (UCV). De acuerdo al protocolo EPA Method 110,2 (Colorimetría-Platino-Cobalto).

d) Determinar el pH de la muestra de agua (logaritmo negativo de la actividad de iones hidrogeno) de acuerdo al protocolo EPA Method 150,1 (electrométrico)

Seguido se realiza las pruebas de Jarras cuyos resultados se han usado para poder validar los algoritmos genéticos. La prueba de Jarras comprende los siguientes pasos:

a) Se llena 6 jarras con dos litros de agua cruda cada una y se coloca en el equipo floculador-test de jarras.

b) Calcular la cantidad de coagulante (Sulfato de Aluminio líquido Tipo B) que se va a aplicar a cada jarra mediante la ecuación de balance de masas:

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

P = Peso de coagulante por aplicar

D = Dosis de coagulante en mg/L

Q = Capacidad de la jarra en litros

q = Volumen de solución por aplicar (mL)

C = Concentración de la solución en mg/L

c) Colocar las cantidades del coagulante en cada vaso mediante una pipeta. Succionar el contenido del vaso con un dosificador para extraer hasta la última gota.

d) Iniciar el funcionamiento del equipo de prueba de jarra con la velocidad máxima, aplicando en forma simultánea e instantánea el coagulante a todas las jarras.

Se disminuye la velocidad a 40 rpm, por 10 minutos para simular el proceso de floculación. Finalmente, se apagan los agitadores y se dejan reposar las jarras por otros 10 minutos para simular el proceso de sedimentación.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación se muestran a continuación:

Caracterización del agua tratada

Para este estudio se ha tomado las muestras de la planta de tratamiento de Vilcacoto que es abastecida por el río Shullcas.

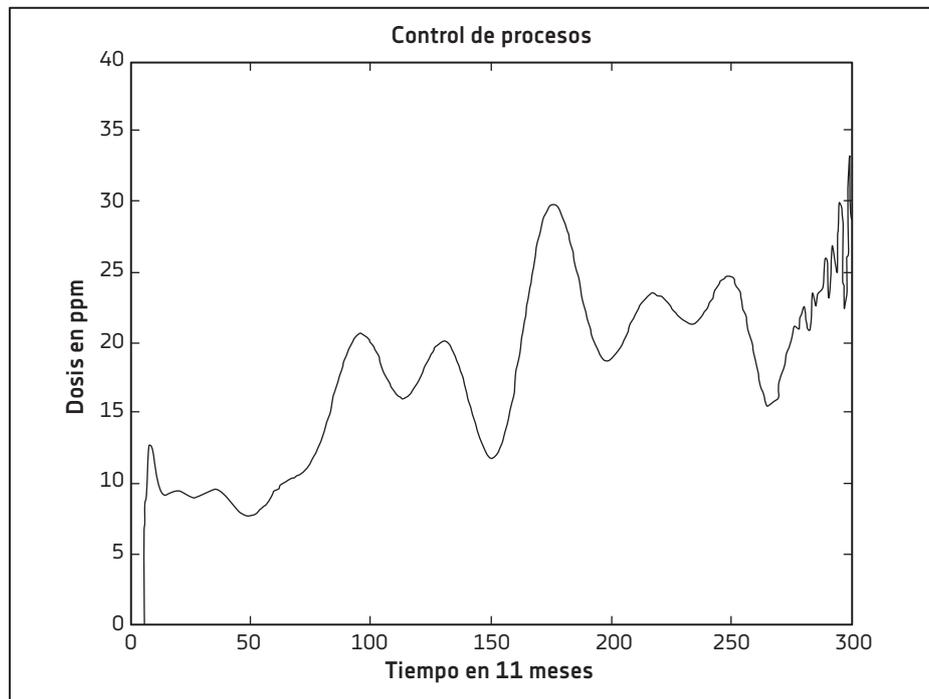
Tabla 2. Resumen mensual se muestran las variables de estudio.

	MES	TURBIEDAD (NTU)			pH		DOSIS PROMEDIO
	Mes	RIO SULLACAS	AGUA DECANTADA	SALIDA	INGRESO	SALIDA	sulf. Al (ppm)
2015	Julio	1,91	1,92	0,57	7,76	7,38	9,64
	Agosto	2,14	1,88	4,76	7,75	22,69	8,74
	Setiembre	12,43	6,67	0,69	7,7	7,32	13,5
	Octubre	12,41	7,01	0,72	7,81	7,35	18,3
	Noviembre	19,22	8,68	0,92	7,74	7,35	16,86
	Diciembre	48,22	14	8,34	7,94	7,48	22,34
2016	Enero	27,09	13,04	2,83	8,04	7,33	21,82
	Febrero	29,51	12,5	2,47	7,75	7,17	22,35
	Marzo	19,05	11	2,31	7,68	7,18	20,4
	Abril	17,25	10,9	2,86	7,98	7,35	20,74
	Mayo	4,75	7,84	1,08	8,05	7,59	15,98

Fuente: (Peña, A, 2014)

Figura N° 03

En la figura N° 03, se muestra la cantidad de dosificación de coagulante en ppm, desde el mes de julio del 2015 al mes de mayo de 2016.



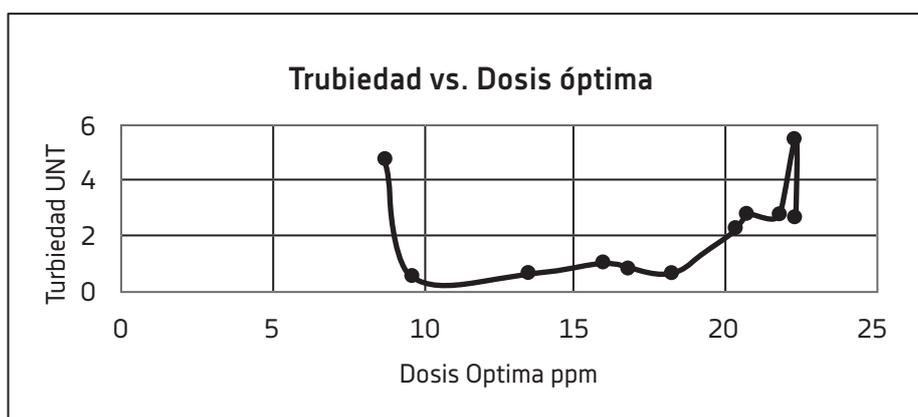
Evolución de la cantidad de dosis del coagulante en ppm.

Tabla 3. Resumen general.

Resumen	
Información de red	
Nombre	Red entrenada en DATOS PARA RED SEDAM (4)
Configuración	Predicción numérica GRNN
Localización	Este libro de trabajo
Variable de categoría independiente	0
Variables numéricas independientes	5 (Agua Decantada NTU, Ingreso COLOR, Ingreso pH, Ingreso Conduct, Ingreso TDS)
Variable dependiente	Var. numérica (Sulf. Al PPM)
Entrenando	
Número de casos	268
Tiempo de Entrenamiento	00:00:02
Número de pruebas	90
Razón de la parada	Auto-Parada
% de predicciones incorrectas (30% tolerancia)	2,2388%
Error cuadrático medio	1,065

Error absoluto medio	0,6509
Desviación estándar de error absoluto	0,8430
Probando	
Número de casos	67
% de predicciones incorrectas (30% tolerancia)	4,4776%
Error cuadrático medio	2,451
Error absoluto medio	1,477
Desviación estándar de error absoluto	1,955
Conjunto de datos	
Nombre	DATOS PARA RED SEDAM
Número de filas	335
Etiquetas manuales de caso	NO
Análisis de impacto de variable	
Ingreso TDS	42,7920%
Agua Decantada NTU	32,4337%
Ingreso Conduct	10,3272%
Ingreso pH	7,2588%
Ingreso COLOR	7,1883%

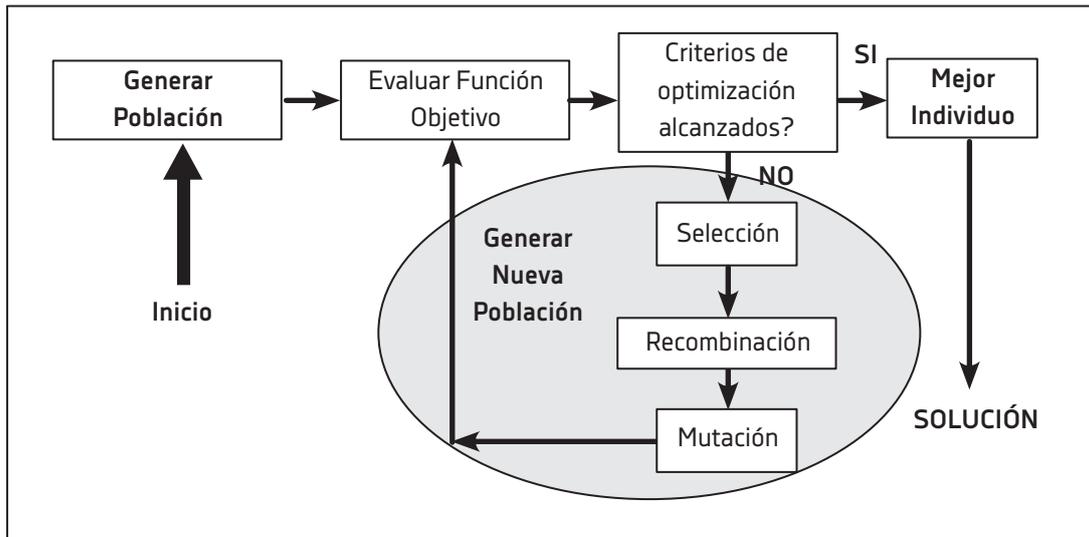
Figura N° 04



Turbiedad (UNT) vs. dosis optima ppm.

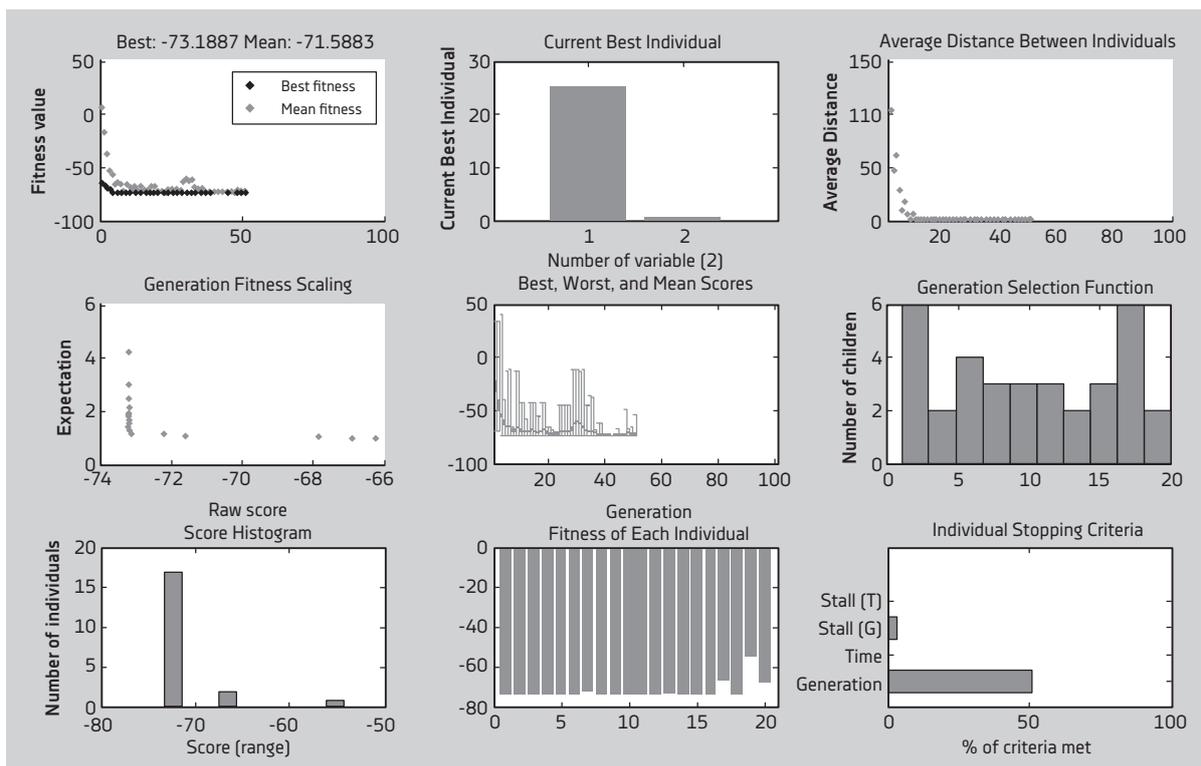
La dosificación de la cantidad de coagulante nos indica los valores máximos que alcanza la prueba de Jarras el cual debe ser aproximados con la simulación utilizando los algoritmos genéticos.

Figura N° 05



Secuencia de análisis con algoritmos genéticos con matlab.

Figura N° 06

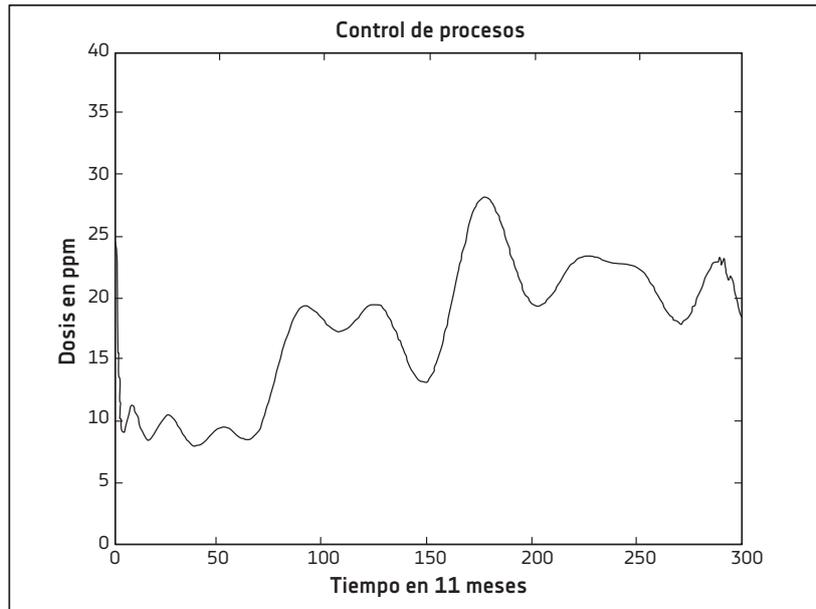


Resultados del proceso con algoritmos genéticos. (Matlab (R), 2015)

En este análisis se ha usado tres generaciones con cinco cromosomas cada una, el tamaño de la población es de 10, la escala de cruce es con una probabilidad de 0,2 y la escala de mutación es

de 0,3. El resultado con Matlab se muestra en la figura N° 06, donde muestra la cantidad óptima de coagulante que se utilizara en el proceso.

Figura N° 07

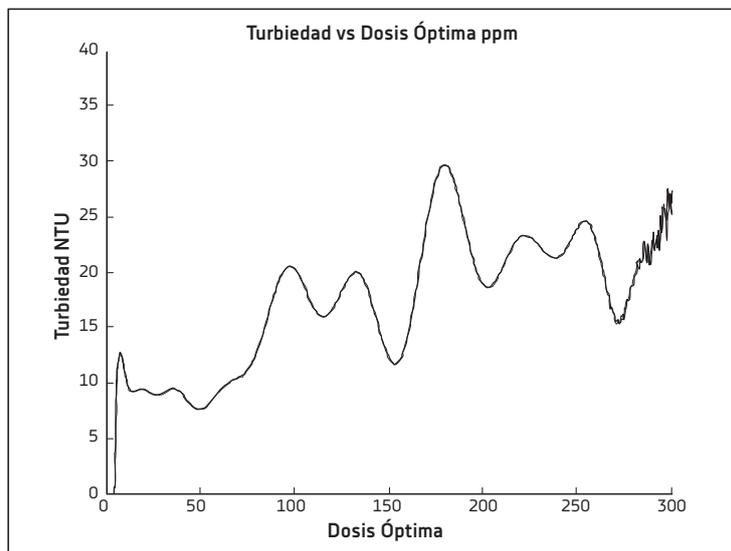


Comparación de la turbidez vs dosis óptima en ppm.

En la figura 07, se puede observar que los puntos de color rojo son los datos históricos y la dosis óptima son los puntos de color verde. La dosis óptima esta expresado en ppm.

Se ha realizado pruebas con distintos parámetros los cuales se ha alcanzado hasta una precisión de 99,2% de exactitud frente a los resultados reales, tal como se aprecia en la figura N° 08.

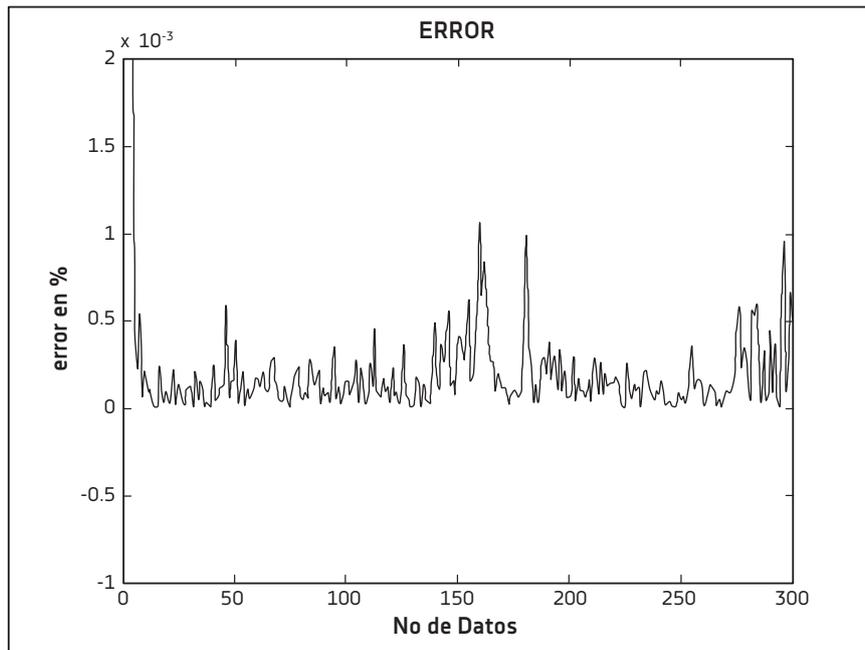
Figura N° 08



Comparación de la turbiedad vs dosis óptima en ppm. (Matlab (R), 2015)

En la figura N° 08 se observa los datos reales y los aproximados, alcanzando una precisión del 99,2% por lo tanto, se tiene un error de 0,8%.

Figura N° 09

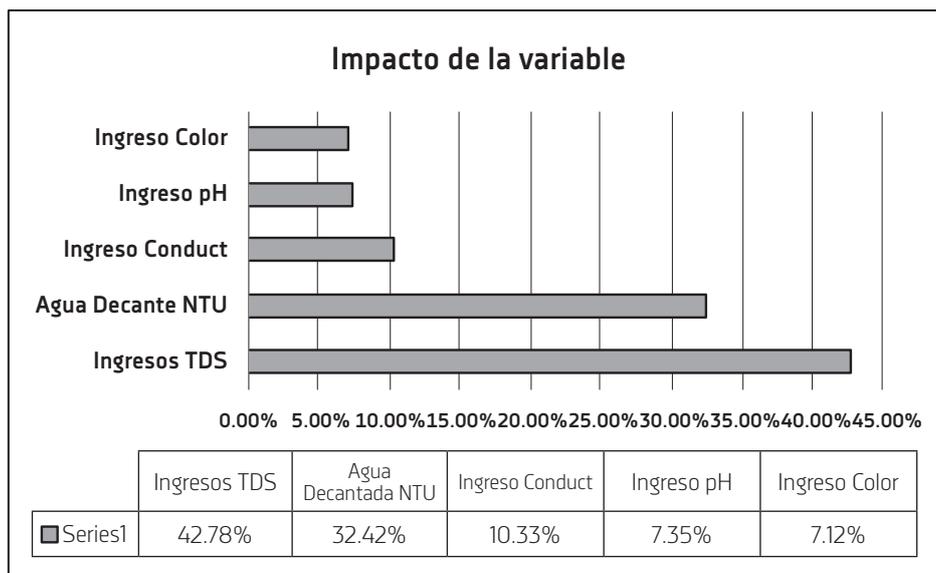


Error de los valores de pronóstico expresado en %.

El análisis con las redes neuronales se muestra en el cuadro de resultados que se tiene, un error del 2% el cual nos da una confianza de utilidad de aproximadamente 98% de confiabilidad al hacer las predicciones de nuevos parámetros.

Los impactos generados en mayor importancia son los sólidos disueltos, (42%), el nivel de turbidez del agua (32%), la conductividad (10%), pH (7%) y el color (10%).

Figura N° 10



Impacto relativo del modelo dosificación de coagulante. (Peña Rojas, 2014)

DISCUSIÓN

Se propone un modelo de algoritmo genético para la optimización de la dosificación de coagulante para el tratamiento de agua potable en la ciudad de Huancayo, para ello se estructuró el modelo partiendo de la teoría básica de la selección natural y para su aplicación se recopiló la información de las pruebas del test de Jarras. Así mismo, existen otros modelos de simulación que utilizan redes neuronales, y su implementación también están realizadas en Matlab. En el caso de los algoritmos genéticos se ha utilizado cinco escenarios alternativos para su análisis e interpretación alcanzando una precisión de 99.2% con un margen de error de 0.08%, mientras que "... en otros modelos de redes neuronales multicapa se ha simulado hasta con dos capas intermedias llegando a una precisión del 98% con un margen de error del 2%" (Peña, 2014).

La metodología responde a un tipo de investigación aplicada, de diseño experimental. Se trabajaron alternativas, empleando como criterio de optimización los costos, incluyendo el pre-diseño de las alternativas (diámetro de tubería y potencia requerida de bombas), y el tiempo de tratamiento. Los resultados demuestran la necesidad inmediata de ampliar el sistema para evitar una crisis de suministro de agua en los años venideros.

Sin lugar a dudas la propuesta de utilizar una técnica de inteligencia artificial como los algoritmos genéticos utilizados para la evaluación y diagnóstico del total de sólidos disueltos y las impurezas presentes en el agua representa un aporte a los entes gubernamentales para la toma de decisiones en la producción de agua potable. Los algoritmos genéticos representan una técnica efectiva al problema que se está tratando, sin embargo, el trabajo que queda por desarrollar es grande y requiere de mucho esfuerzo, ya que existe un sin número de agentes que es necesario evaluar y diagnosticar.

CONCLUSIONES

El uso de la técnica de los algoritmos genéticos para la dosificación óptima de la cantidad de sulfato de aluminio es de gran relevancia por su buena aproximación a los datos reales obtenidos de las pruebas experimentales (test de jarras), con una precisión del 99,2% y margen de error de 0,08%, en comparación con el modelo de redes neuronales propuesto en la investigación de Peña (2014) quien alcanza un 98% de precisión con un margen de error del 2%.

Los algoritmos genéticos como técnica de búsqueda y optimización permiten utilizar las reglas de selección, cruce, ordenación, mutación y evaluación; con la simulación empleada se utilizó tres generaciones con cinco cromosomas de 10 bits cada una, además de una población con 10 individuos, con una probabilidad de cruce de 0.2 y la escala de mutación de 0.3.

El sulfato de aluminio es un coagulante efectivo para el tratamiento de agua potable dado que en las pruebas experimentales ayudaron reduciendo los parámetros de turbidez (NTU: Unidades nefelométricas de turbidez) siendo éste un indicativo de mayor probabilidad de contaminación microbiológica por compuestos tóxicos, ayuda a mejorar el color del agua, así como la reducción de PH según las muestras analizadas. Los parámetros alcanzados han reducido la cantidad total de sólidos disueltos en un 42%, nivel de turbidez del agua en un 32%, conductividad en un 10%, el PH en un 7% y el color en un 10%.

El resultado de la investigación evidencia que no existe relación lineal entre la dosis óptima de coagulante en este caso el sulfato de aluminio y la turbiedad del agua expresado en ppm (partes por millón), así mismo se demostró, que la dosificación de coagulantes es mayor en aquellas muestras con baja turbulencia que en las que tiene altas turbulencias.

La demanda de agua para consumo y sus requerimientos vinculados con su uso higiénico y productivo está experimentando un considerable incremento debido al aumento poblacional, industrial, calidad de vida y

ataques pandémicos frecuentes, hoy en día el concepto de higiene y el tratamiento del agua cobran notoriedad ante las crisis sanitarias como por ejemplo el coronavirus.

La crisis del agua denota importancia hoy en día y en un futuro próximo por lo que la aplicación de los algoritmos genéticos para la producción de agua potable y la salud se está usando como una técnica predictiva de estimar la viabilidad de la calidad de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arauco Esquivel, S. E., & Peña Rojas, A. C. (2016). Aplicación de los algoritmos Genéticos para Optimización y Control de la Dosificación de Coagulantes en la Empresa SEDAM HUANCAYO. UNCP - Centro de Investigación, II(14), 12.
- Arranz de la Peña, J., & Parra, T. A. (2015). Algoritmos Genéticos. Madrid - España: --.
- Berzal, F. (2012). Algoritmos Genéticos. DECSAI - Departamento de las Ciencia de la Computación, I(12), 8.
- Carrión, P., Lopez, E., Ortega, J., & De Juan, A. (2003). Optimización mediante algoritmos genéticos de la gestión de agua en el regadío. Revista Internacional de Metodos Numericos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 19(4), 447 - 462.
- Gallego M., S., Nigro, H., & Gonzales Cisario, S. (2016). Algoritmos Genéticos para la extracción de Reglas de Predicción Interesantes Aplicadas al Posicionamiento de los distintos Motores de Búsquedas. INTIA, Departamento de Computación y Sistemas, II(23), 8.
- Gulay Tezel, E., & R. Kaan Sinan. (2009). Artificial Neural Network (ANN) Model for Wastewater Treatment Plant Control. Selcuk University Computer Engineering Department, Kampus Konya, I(12), 6.
- Matlab (R). (2015). Manual de Matlab.
- Parra Truyol, A. (2013). Algoritmos Genéticos. Universidad Carlos Tercero, II(12), 8.
- Peña Rojas, A. C. (2014). Aplicación de Redes Neuronales para la Optimización y Control de la Dosificación de Coagulante en la Planta de Servicio de Agua Potable Municipal de Huancayo. Lima: Universidad la Molina.
- Rincon O., J. (2006.). Aplicación de Algoritmo Genéticos en la Optimización del Sistema de Abastecimiento de Agua de Barquisimeto - Cabudare. Avance de Recursos Hídricos., I(14), 15.
- Saint Gerons, A., & Mota Agrados, J. M. (2010). Desarrollo de una red Neuronal para Estimar el Oxígeno Disuelto en el Agua a partir de Instrumentación de E.D.A.R. Función CETENASA, Polígono Mocholi Plaza Cein N° Noain, II(20), 10.
- Villalba, G., & Saldarriaga G., J. (2005). Algoritmos de Optimización Combinatoria (AOC) Aplicado al Diseño de Redes de Distribución de agua potable. Seminario Internacional "Gestión de Servicios Relacionados con el agua en asentamientos nucleados", --(--), 10.