



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

**“DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMATICO BASADO EN REDES
NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACION DE SULFATO DE
ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
CARIGAN”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN ELECTROMECÁNICA**

Autor:

Ing. Edgar Alberto Ochoa Vásquez.

Director:

Ing. Miguel Ángel Caraballo. PhD.

LOJA – ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez. PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de posgrado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMATICO BASADO EN REDES NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CARIGAN**”, previa a la Obtención del título de Master en Electromecánica, realizado por el Sr. Ingeniero. Edgar Alberto Ochoa Vásquez, La misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 31 de Agosto de 2017.



Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez. PhD

DIRECTOR DE TESIS

AUTORIA

Yo, Edgar Alberto Ochoa Vásquez, declaro ser autor del presente trabajo de tesis, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja, al Municipio de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente Acepto y Autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

Autor: Ing. Edgar Alberto Ochoa Vásquez

Firma: _____



Cédula: 1103496277

Fecha: Agosto de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **Edgar Alberto Ochoa Vásquez**, declaro ser autor de la tesis titulada “**DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO BASADO EN REDES NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CARIGÁN**”, como requisito para optar por el grado de: **Magister en Electromecánica**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que confines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en RDI, en las redes de información del País y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los treinta y un días del mes de agosto de 2017, firma el autor.

Firma:  _____

Autor: Ing. Edgar Alberto Ochoa Vásquez

Cedula: 1103496277

Teléfono: 0997113996

Datos complementarios:

Director de Tesis: Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez

Miembros del Tribunal:

Ing. Jorge Patricio Muñoz Vizhñay	PRESIDENTE DEL H. TRIBUNAL
Ing. Carlos Barreto Calle	VOCAL
Ing. José Benavides Maldonado	VOCAL

DEDICATORIA

Dedicado a mi hijo y mis padres quienes son los motores para la culminación de este trabajo.

Edgar Alberto

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja.

A mi director de tesis Ing. Miguel Angel Caraballo Nuñez, Mg. Sc. PhD.

Al Ing. Juan Pablo Cabrera Mg. Sc. Por su aporte y colaboración al presente trabajo

A mi familia Padres, Esposa e Hijo

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
4.1 Criterios sobre el agua y su tratamiento.....	8
4.1.1 Introducción.....	8
4.1.2 Condiciones requeridas.....	9
4.1.3 Características Físicas.....	15
4.1.4 Objetivos del Tratamiento.....	21
4.2 Importancia de una adecuada coagulación.....	22
4.2.1 Coagulación-Floculación de las impurezas del agua.....	26
4.2.2 Relación entre color y pH.....	28
4.2.4 Químicos utilizados en el tratamiento en la fase de coagulación y floculación.....	30
4.2.5 Uso de redes neuronales en el tratamiento del agua.....	32
4.2.5.1 Redes Neuronales Artificiales.....	33
4.2.5.2 Redes Neuronales Biológicas y Redes Neuronales Artificiales.....	33
4.2.5.3 Características principales de una RNA.....	37
4.2.5.4 Funciones de activación, umbral o de transferencia.....	38
4.2.6 Topología de una RNA.....	40

4.2.7	Tipos de conexiones entre capas.....	41
4.2.8.	Clasificación de las redes neuronales	43
4.2.8.1.	Clasificación según el tipo de conexión.	43
4.2.8.2.	Clasificación según el tipo de información	44
4.2.9.	Entrenamiento de RNA.	45
4.2.9.1	Aprendizaje Supervisado.....	47
4.2.9.2.	Aprendizaje no supervisado.	47
4.2.10	Ejemplos de aplicaciones.....	48
4.2.10.1	El uso de la lógica difusa para la potabilización de agua.	48
4.2.10.2	Redes Neuronales para el tratamiento del agua potable en zona de altitud del Perú.	51
4.2.10.3	Control automático del flujo de retroalimentación en una planta piloto para tratamiento de aguas residuales.	53
4.2.10.4.	Modelo de predicción de demanda del sector residencial de la ciudad de Loja.	54
4.3	Conclusiones revisión de literatura.....	56
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
5.1	Datos.....	59
5.1.1	Determinación de fuentes de información y calidad de las mismas.	59
5.1.1.1	Equipos de Laboratorio.....	60
5.1.2	Equipos y materiales para análisis microbiológicos.	67
5.1.3	Descripción de los datos.....	68
5.1.4	Análisis de calidad y consistencia de los datos.....	73
5.1.5	Investigación del modelo.	78
5.1.5.1	Determinación de estructura de modelo, tipo de RNA y variables de ajuste de la RNA.	78
5.1.6	RNA de determinación de dosificación de sulfato y cal.....	90
5.1.6.1	Entrenamiento de RNA 1	91

5.1.6.2	Entrenamiento variando los porcentajes de prueba, validación y muestra.	94
5.1.7	Conclusiones materiales y métodos.	98
6.	RESULTADOS	101
7.	DISCUSIÓN	112
7.1	Conclusiones capítulo de resultados y Discusión	114
8.	CONCLUSIONES	116
9.	RECOMENDACIONES	118
10.	BIBLIOGRAFÍA	120
11.	ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites Máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, comparada con los resultados de los análisis del agua cruda realizada en el laboratorio de planta Carigán	9
Tabla 2 Tabla histórica de Análisis físico químico al agua cruda que ingresa a Planta Carigán para tratamiento.....	11
Tabla 3 Características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas, máximas comparativas de la norma INEN 1108 y los análisis de laboratorio de Planta Carigán.....	13
Tabla 4 Tabla histórica de Análisis físico químico al agua potabilizada en Planta Carigán para abastecimiento de la ciudad.	14
Tabla 5 Relación olor en el agua con su origen	20
Tabla 6. Tipo de Tratamiento	23
Tabla 7 Variación de color según el pH.....	28
Tabla 8 Características físico-Químicas del color y la turbiedad.....	30
Tabla 9 Algoritmos de entrenamiento en MatLab	46
Tabla 10. Descripción de Datos de Entrenamiento	59
Tabla 11 Cultivos para análisis microbiológicos.....	67
Tabla 12 Resultado de las simulaciones con diferentes estructuras de red.....	89
Tabla 13. Resumen de resultados.....	94
Tabla 14 Resumen de resultados.....	97
Tabla 15 Red Final.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Nomograma 1 de Singley para determinar pH	29
<i>Figura 2.</i> Neurona biológica.....	34
<i>Figura 3.</i> Modelo de neurona artificial feedforward.....	35
<i>Figura 4.</i> Recorrido de señales por la neurona artificial.....	36
<i>Figura 5.</i> Función logística.....	36
<i>Figura 6.</i> <i>Función de activación Harlim.</i>	38
<i>Figura 7.</i> Función de activación Purelin.....	39
<i>Figura 8.</i> <i>Función de activación Logsig.</i>	40
<i>Figura 9.</i> Red neuronal multicapa.....	41
<i>Figura 10.</i> Red con conexiones hacia atrás.....	42
<i>Figura 11.</i> Red con conexiones laterales.....	42
<i>Figura 12.</i> Metodología para la creación de un modelo de predicción basado en RNA...	58
<i>Figura 13.</i> Espectrofotómetro.....	61
<i>Figura 14.</i> Turbidímetro.....	62
<i>Figura 15.</i> Conductímetro	63
<i>Figura 16.</i> pH metro	64
<i>Figura 17.</i> Multiparámetros	65
<i>Figura 18.</i> Prueba de Jarras	66
<i>Figura 19.</i> Membranas de Cultivo	67
<i>Figura 20.</i> Medios de Cultivo	67
<i>Figura 21.</i> Rampa de Filtración.....	68
<i>Figura 22.</i> Incubadora.....	68
<i>Figura 23.</i> Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Turbiedad de entrada ...	68
<i>Figura 24.</i> Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Caudal de entrada	68
<i>Figura 25.</i> Gráfica de datos de color de entrada vs datos de pH de entrada.....	69
<i>Figura 26.</i> Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Alcalinidad de entrada ..	69
<i>Figura 27.</i> Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de pH de entrada.....	69
<i>Figura 28.</i> Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de Caudal de entrada	70
<i>Figura 29.</i> Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de Alcalinidad de entrada	70
<i>Figura 30.</i> Gráfica de datos de pH de entrada vs datos de alcalinidad de entrada.....	70
<i>Figura 31.</i> Gráfica de datos de pH de entrada vs datos de Caudal de entrada	71

<i>Figura 32.</i> Gráfica de datos de Alcalinidad de entrada vs datos de Caudal de entrada...	71
<i>Figura 33.</i> Historicos de Planta Carigán Control de Proceso.....	72
<i>Figura 34.</i> Importación de datos historicos de Planta Crigán a MATLAB	72
<i>Figura 35.</i> Uso de MoveOutLim determinación de outliers.....	74
<i>Figura 36.</i> Generación de entradas y salidas	77
<i>Figura 37.</i> Visualizacion de la arquitectura de la RNA planteada.....	82
<i>Figura 38.</i> Estructura de red a ser evaluada	82
<i>Figura 39.</i> Códigos de división de porcentaje de muestras para entrenamiento, validación y prueba	82
<i>Figura 40.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainlm.....	83
<i>Figura 41.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainbr	84
<i>Figura 42.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainbfg	84
<i>Figura 43.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainrp	85
<i>Figura 44.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainscg.....	85
<i>Figura 45.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traincgb.....	86
<i>Figura 46.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traincfg.....	86
<i>Figura 47.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función traincgp.....	87
<i>Figura 48.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainoss.....	87
<i>Figura 49.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingdx.....	88
<i>Figura 50.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingdm	88
<i>Figura 51.</i> Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingd	89
<i>Figura 52.</i> RNA de entrenamiento 1.....	91

<i>Figura 53.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA1	91
<i>Figura 54.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA2	92
<i>Figura 55.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA3	92
<i>Figura 56.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA4	93
<i>Figura 57.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA5	93
<i>Figura 58.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA1	95
<i>Figura 59.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA2	95
<i>Figura 60.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA3	96
<i>Figura 61.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA4	96
<i>Figura 62.</i> Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA5	97
<i>Figura 63.</i> Uso de <i>MoveOutLi.m</i> determinación de outliers de los datos 2016	103
<i>Figura 64.</i> Sulfato a dosificar resultante de la modelación de la Red	104
<i>Figura 65.</i> Cal a dosificar resultante de la modelación de la Red	104
<i>Figura 66.</i> Cal dosificada Durante el periodo de evaluación enero – abril 2016	104
<i>Figura 67.</i> Sulfato dosificado Durante el periodo de evaluación enero – abril 2016 ..	105
<i>Figura 68.</i> Gráfica de contraste de la dosificación de cal simulada y la dosificada en periodo de evaluación enero-abril 2016	105
<i>Figura 69.</i> Ampliación de la gráfica de contraste de la dosificación de cal simulada y la dosificada en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores	105
<i>Figura 70.</i> Gráfica de contraste de la dosificación de sulfato simulado y el dosificado en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores.....	106
<i>Figura 71.</i> Ampliación de la Gráfica de contraste de la dosificación de sulfato simulado y el dosificado en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores.....	106

<i>Figura 72.</i> Gráficas de tendencia del error de cal.....	107
<i>Figura 73.</i> Ampliación de la gráfica de tendencia de error de cal	107
<i>Figura 74.</i> Gráfica de residuos de datos obtenidos de cal.....	108
<i>Figura 75.</i> Gráficas de tendencia del error de Sulfato	108
<i>Figura 76.</i> Ampliación de la gráfica de tendencia de error de Sulfato.....	109
<i>Figura 77.</i> Gráficas de residuos de Sulfato	110

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.....	123
Anexo 2. Norma Técnica 1108.....	163
Anexo 3. Extracto del Veto Parcial a La Ley de Recursos Hídricos (Ley De Aguas).	172
Anexo 4: Certificado de Calibración	173
Anexo 5. Función <i>MoveOutLi.m</i>	174
Anexo 6. nnet.....	176
Anexo 7. Desarrollo.....	178
Anexo 8. Proyecto Aprobado.....	180

1. TÍTULO

DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMATICO BASADO EN REDES NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CARIGAN.

2. RESUMEN

En esta memoria se exponen los resultados del diseño de un modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio de la planta de tratamiento de agua potable Carigán de la ciudad de Loja, se tomó como caso estudio la dosificación de sulfato y cal, etapa perteneciente a la floculación y coagulación del proceso de tratamiento, por la importancia en el proceso de tratamiento así como por su dosificación actual por parte de los operadores de la planta.

Para la creación del modelo matemático se consideraron métodos estrictamente no lineales, basados en Redes Neuronales Artificiales (RNA), contando únicamente con la serie de datos históricos de laboratorio de planta Carigán, proporcionada por la Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja (UMAPAL), Unidad del ilustre Municipio de Loja.

Para llegar a determinar la base de datos que alimentan las entradas de la RNA se realizó el procesamiento integral de todos los datos proporcionados, llegando a extraer datos determinantes del proceso y en algunos casos se efectuó el filtrado de la curva de datos obtenida.

En el proceso de validación y prueba del modelo matemático basado en RNA, se comprobó que los resultados obtenidos por la RNA seleccionada, para cada dosificación, se ajusta a los parámetros obtenidos en el laboratorio, previo al proceso de diseño.

Para el desarrollo de la investigación se hizo uso del software de ingeniería MATLAB® (Matrix Laboratory) usado para el desarrollo del proceso de creación del modelo matemático basado en RNA.

ABSTRACT

In this memory or report the results of the design of a mathematical model based on neural networks dosing system aluminum sulfate and cal, treatment plant water Carigán, city of Loja exposed, was taken as a case study the dosage of sulfate, stage belonging to flocculation and coagulation of treatment process as well as its current dosing by plant operators.

To create the mathematical model were considered strictly nonlinear methods based on Artificial Neural Networks (ANN), relying solely with the number of historical data, which was provided by the Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja (UMAPAL). Unit of Ilustre Municipio de Loja

To get to determine the database that feed entries RNA processing was performed comprehensive processing of all database provided was conducting, leading to extract data determining the process and in some cases made the filtering of the obtained data curve was effected.

In the process of validation and testing of the mathematical model based of RNA, it was found that the results obtained by the selected RNA for each dosage is adjusted to the parameters obtain in laboratory, prior to the design process.

For the development of the research was done using MATLAB[®] software engineering (Matrix Laboratory) used to develop of the process of creating mathematical model based on RNA.

3. INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento “Carigán” del Municipio de Loja, se encuentra ubicada al Noroeste de la ciudad, en el sector denominado Carigán. Esta planta fue diseñada implementando la última tecnología en procesos de tratamiento de agua. Por lo cual es llamada a ser pieza fundamental en el buen servicio y óptima calidad del agua que entrega el Ilustre Municipio a través de la Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja.

La planta de Carigán actualmente, potabiliza más de 400 l/s durante las 24 horas del día y sirviendo aproximadamente al 45% de la población de la Ciudad de Loja, posee un equipo de técnicos laboratoristas, que controlan la calidad del agua durante 8h diarias, periodo en el cual dosifican sulfato, cal y polímero, basándose en los parámetros de agua de entrada y de salida analizados en el laboratorio con el uso de equipo como espectrofotómetros, medidores de color, medidores de pH, medidores de turbidez, etc. Que posee la planta de tratamiento, durante el resto del día el control lo realizan operadores de planta en turnos rotativos, los cuales no tienen acceso al laboratorio, pero dada su experiencia en el tratamiento del agua a potabilizarse, dosifican de acuerdo a su apreciación visual de las características físicas de salida del agua tratada, siempre basándose en la relación de caudal de entrada – cloro, color – turbidez- dosificación de cal-sulfato, únicamente pueden registrar color de entrada y de salida mediante el uso de un espectrofotómetro que les entrega laboratorio, elemento muy importante en las características físicas del agua a ser tratada en planta Carigán.

Al ser el agua un elemento vital prioritario para las diferentes actividades humanas, es obligación del Municipio de Loja, entregar la mayor calidad del servicio, y siempre busca innovar y mejorar los esquemas de potabilización, ya establecidos, mejorando siempre la confiabilidad y optimizando los gastos de producción.

El uso de los modelos matemáticos como método de análisis de decisiones es el proceso que le permite al decisor seleccionar una decisión (solo una), entre un conjunto de alternativas posibles de decisión cuando existe incertidumbre con respecto al futuro, con el objetivo de optimizar un proceso y toman un interés relevante desde el punto de vista de ingeniería como financiero.

Desde el punto de vista de ingeniería, los modelos matemáticos no son más que la descripción matemática de las características dinámicas de un sistema, al utilizar sistemas basados en redes neuronales el objetivo es modelar matemáticamente, el problema planteado y formular una solución mediante un algoritmo codificado, que asuma una serie de propiedades que permitan resolver el problema y el objetivo es que la red aprenda automáticamente las propiedades deseadas, es por esto que el diseño de la red tiene más que ver selección del modelo de la red , las variables a incorporar y el pre procesamiento de la información que formara el conjunto de entrenamiento , que con los flujos de datos y la detección de condiciones, el modelo permita mejorar la decisión del operador en la dosificación de químicos en particular sulfato.

Desde el punto de vista económico permitirá un control de gasto de químicos proyectados que ayudaran a la planificación y asignación de recursos para la adquisición de químicos en la Planta de tratamiento Carigán

En el presente modelo nos basamos en datos obtenidos en el laboratorio de Planta Carigán, a través de equipos de gran presión que serán descritos en el desarrollo de documento y se describirá metodológicamente y podrá ser reproducida para las otras plantas de tratamiento de Loja, o aplicaciones de ámbito industrial que se asemejen a lo planteado.

Las Redes neuronales Artificiales (RNA), por sus características de absorción de no linealidades, análisis de gran cantidad de datos en un tiempo reducido y con respuesta relativamente rápida, además de la posibilidad de crear modelos multi-variable, de baja complejidad, con altos índices de confiabilidad, constituyen la herramienta más idónea para el análisis de un elemento tan complejo como el tratamiento de agua potable.

Por lo descrito en los párrafos anteriores, se analiza como problemática de la presente investigación que:

El corazón de un sistema de potabilización de agua para consumo humano es el proceso de coagulación en el que intervienen dosificaciones de químicos que permiten acondicionar el agua cruda a ser tratada, de tal forma que los procesos posteriores de

limpieza, en donde, propiamente dicho, se remueven las impurezas, puedan realizar su función adecuadamente. Si la coagulación no funciona adecuadamente, tampoco funcionan adecuadamente los procesos posteriores de limpieza. Así de sencillo, si la coagulación no se optimiza tampoco se puede tratar el agua óptimamente.

Durante el periodo de control de los operadores en la planta de tratamiento, se está aprovechando la experiencia de los mismos en la potabilización del agua, generando una dosificación de químicos no óptima ya que parte de una apreciación visual del operador dejando a un criterio subjetivo la aplicación de la dosis adecuada de las lechadas de químicos, en el proceso de coagulación, no acorde al tipo de planta de tratamiento semi-automático de última tecnología como lo es Carigán, este tipo de procesos se aplica especialmente en plantas tradicionales de tratamiento, por qué se puede generar errores en el proceso de tratamiento, por lo que el tratamiento dado por los operadores al proceso de coagulación a través de la dosificaciones no cumplen con las expectativas generadas en una planta de tratamiento tan moderna como lo es CARIGAN, en la actualidad se desea plantear un modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio de la planta de tratamiento CARIGAN, que permita al operador de la planta de tratamiento contrastar su experiencia con los resultados del modelo de los datos de dosificación de sulfato durante el periodo de trabajo de los laboratoristas en planta, garantizando la dosificación adecuada del mismo sin necesidad de la utilización de equipos de laboratorio, de los cuales no tienen la preparación adecuada para su utilización, ya que el modelo nace de los datos reales generados en el control que realiza diariamente el personal del laboratorio de planta Carigán cada hora durante el periodo de trabajo.

Por lo descrito anteriormente determinamos que el problema determinante del presente trabajo es:

“La dosificación de químicos aplicada por los operadores a través de apreciación visual genera errores en el tratamiento de agua potable, al no existir un modelo que basado en resultados de laboratorio permita corroborar las dosis óptimas de químicos a ser aplicados”.

Teniendo como objetivo General de la presente investigación:

- Determinar la dinámica del sistema de dosificación de Cal y Sulfato de aluminio del proceso de tratamiento de agua potable de la planta Carigán, a través de la

utilización de un modelo matemático basado en redes neuronales.

Como Objetivos Específicos:

- Obtener datos del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal, basados en la relación características físicas del agua de entrada vs dosificación.
- Obtener el modelo matemático basado en redes neuronales que genere la mejor respuesta de reproductividad, obteniendo un índice de correlación que sea igual o mayor al 90%.
- Validar resultados obtenidos, mediante comparación de datos resultantes del modelo ,con los obtenidos en laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable Carigán

Como Hipótesis al presente proyecto tenemos:

- Con la obtención de un modelo matemático basado en redes neuronales podemos reproducir la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal con un índice de correlación igual o mayor al 90%, durante el periodo de trabajo del laboratorio de planta Carigán, el cual permitirá a los operadores de la planta de tratamiento de agua Carigán contrastar su experiencia con los resultados obtenidos del modelo, garantizando una óptima dosificación de sulfato de aluminio y Cal al proceso de tratamiento.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Criterios sobre el agua y su tratamiento

4.1.1 Introducción.

El agua es el elemento vital para el ser humano y uno de los recursos básicos en los que se apoya el desarrollo junto con el aire, la tierra y la energía. El agua es el compuesto químico más abundante en el planeta y está conformado por un átomo de oxígeno y 2 de hidrógeno (H₂O), El agua pura como tal es un recurso natural renovable, pero por las actividades humanas cotidianas y de desarrollo llega a estar tan contaminada que ya se vuelve nociva y de calidad deficiente, por lo cual se debe tratar a la misma para su consumo y para actividad de producción como la agricultura.

En su estado más puro, ríos, quebradas en las partes altas de las cordilleras, en las que el ser humano no ha realizado un impacto ambiental considerable, el agua tiene unas características físico químicas muy buenas pero la contaminación por microorganismos, agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor. Generan que la misma en su estado natural que se denomina cruda deba ser tratada para su consumo y aplicación

Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Purificación, 2005).

La contaminación del agua terminó con el que se denomina es el grado de impurificación, que puede originar efectos adversos a la salud de un número representativo de personas durante períodos previsibles de tiempo.

La provisión de agua dulce está disminuyendo a nivel mundial, 1200 millones de habitantes no tienen acceso a una fuente de agua potable segura. Las enfermedades por aguas contaminadas matan más de 4 millones de niños al año y 20% de todas las especies acuáticas de agua fresca están extintas o en peligro de desaparecer. (Purificación, 2005)

4.1.2 Condiciones requeridas.

Para considerarse apta el agua en su estado natural para el proceso de tratamiento para consumo humano, debe poseer ciertas características mínimas y según la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua”, norma técnica ambiental que se dictó bajo el amparo de la ley de gestión ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control, emitido por la Presidencia de La República del Ecuador, lo cual es mostrado en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1
Límites Máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, comparada con los resultados de los análisis del agua cruda realizada en el laboratorio de planta Carigán

Parámetros mínimos de agua cruda para tratamiento convencional	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	Promedio Planta Carigán agua cruda
Aluminio	Al	mg/l	0,2	0,02
Cloruro	Cl	mg/l	250	7
Cobre	Cu	mg/l	1,0	0.06
Coliformes Totales	nmp/100	ml	3 000	30
Coliformes Fecales	nmp/100	ml	600	8
Color	color real	unidades de color	20	15
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500	24.7
Floruro(Total)	F	mg/l	1,5	0.08
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0	0.41
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1	0,03
Materia Flotante			Ausencia	Ausencia
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0	0,04
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0	0.013
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional	Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		6-9	7.18
Totales Sulfatos	SO ₄ -	mg/l	400	1
Temperatura		°C	Condición natural o - 3 °	Condición natural
Turbiedad		UTN	100	53

Fuente: Municipio de Loja

Para comprobar que el agua captada y conducida a planta de tratamiento Carigán debe ser tratada mediante el uso de tratamiento convencional de potabilización, se realizan las respectivas pruebas de laboratorio, los análisis físico químicos del agua cruda receptada en la captación Tambo Blanco y transportada por tubería se realizan al menos 2 veces por semana en el laboratorio instalado en la planta de tratamiento.

De los datos históricos de los exámenes físicos químicos al agua cruda realizados en el laboratorio de planta Carigán, tomamos como referencia los datos de la tabla. 2 que se expone a continuación.

Tabla 2

Tabla histórica de Análisis físico químico al agua cruda que ingresa a Planta Carigán para tratamiento



MUNICIPALIDAD DE LOJA
PLANTA DE CARIGAN

LABORATORIO

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PARAMETRO

No. Muestra	FECHA	COLOR	TURBIEDAD	pH	ALCALINIDAD	DUREZA TOTAL	DUREZA CALCICA	DUREZA MAGNESICA	CALCIO	MAGNESIO	ALUMINIO	HIERRO TOTAL	COBRE	ZINC	SULFATOS	SULFUROS	NITRITOS	NITRATOS	CLORUROS	FOSFATOS	FLUORUROS	N. AMONIACO	MANGANESO
1	06/01/2015	24	4.23	7.59	29	22.66	8.24	14.42	10	3.31	0.014	0.11	0.03		0	0.002	0.003	0.03	4.5	0.43	0.08	0.06	0.031
2	08/01/2015	49	4.74	7.51	28	27.81	4.12	23.69	10	5.44	0.02	0.16	0.02		1	0.003	0.007	0.03	3.5	0.52	0.14	0.04	0.3
3	13/01/2015	41	3.72	7.42	22	24.72	8.24	16.48	12	3.79	0.033	0.11	0.02		0	0.002	0.009	0.04	5	0.29	0.06	0.02	0.027
4	15/01/2015	53	6.86	7.32	24	25.75	9.88	15.87	12	3.65	0.018	0.12	0.04		0	0.004	0.013	0.06	5.5	0.3	0.04	0.00	0.022
5	20/01/2015	24 0	26.2	6.98	25	24.72	5.76	18.96	8	4.36	0.021	0.72	0.03	0.06	1	0.05	0.009	0.04	7.5	0.65	0.12	0.36	0.2
6	22/01/2015	29 3	35.1	6.93	28	20.6	4.12	16.48	10	3.79	0.026	0.41	0		1	0.037	0.006	0.05	7	0.27	0.06	0.36	0.015
7	27/01/2015	45	4.93	7.24	29	19.57	9.06	10.51	14	2.42		0.027	0.16		1	0.006	0.012	0.04	6	0.39	0.03	0.1	0.026
8	30/01/2015	74	6.87	7.18	26	24.72	7.41	17.31	10	3.98		0.23	0.08		0	0.009	0.011	0.05	6.5	0.34		0.13	0.021

Fuente: Municipio de Loja

Analizando las tablas 1 y 2 presentadas anteriormente, se puede determinar que el tratamiento que debe ser suministrado en la Planta Potabilizadora de Carigán es el tratamiento Convencional según lo indica la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua” de la Presidencia de la Republica.

El tratamiento convencional se forma de algunas etapas generales de tratamiento, iniciamos con el desvió del recurso hídrico de la quebrada los Leones, hacia la captación denominada Tambo Blanco, que es una obra civil que permite que el agua se desvíe de su cauce natural y luego de un proceso de desarenado el agua cruda sea canalizada a través de tubería hacia la planta de tratamiento, en esta existen obras de infraestructura que permitirán el adecuado proceso de tratamiento, como son: La cámara de entrada de agua a planta potabilizadora, piscinas de mezcla rápida, piscinas de mezcla lenta, piscinas de decantación, Filtros de arena rápidos y cámara Desinfección.

Para que el agua que se distribuye a través de la planta de tratamiento Carigán de la Ciudad de Loja sea considerada apta para su consumo, se rige a las normas que emitió el Instituto Nacional de Normalización (INEN), la número 1108 que es la norma técnica ecuatoriana que determina los requisitos mínimos para que el agua procesada en las plantas potabilizadoras del país garanticen su idoneidad para el consumo humano.

Actualmente dicha norma se ha modificado o revisado por 5 vez en enero del 2014 y es la que actualmente está vigente y a la cual se toma como lineamiento de trabajo en Planta Carigán, en la tabla siguiente se indica las características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas, máximas para considerarse apta para el consumo

Tabla 3

Características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas, máximas comparativas de la norma INEN 1108 y los análisis de laboratorio de Planta Carigán

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE	Valores Promedio Planta Carigán
Color	Unidades de Color Aparente (Pt-Co)	15	2
Turbiedad	NTU	5	1
Olor	----	No objetable	No objetable
Sabor	----	No objetable	No objetable
Cloro Libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5	0.4
Cobre, Cu	mg/l	2,0	0.01
Fluoruros	mg/l	1,5	0.08
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50	0.02
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0	0.005

Fuente: Municipio de Loja

Hasta este punto ya podemos determinar, si el agua captada de una vertiente hídrica, es apta para su potabilización, conforme lo indican los resultados de laboratorio las características del agua cruda, indican que la quebrada los leones la cual alimenta a la planta de Tratamiento Carigán a través de la captación denominada Tambo Blanco es apta para potabilizar, y luego mediante tratamiento convencional debemos determinar si cumple con las normas INEN exigidas, para garantizar que es apta para el consumo humano , esto nuevamente lo hacemos a través del laboratorio de planta Carigán.

Luego de Pasar por los procesos de tratamiento de planta Carigán, ingreso de agua cruda, mezcla rápida, mezcla lenta, decantación, filtración y desinfección, analizamos las muestras del agua potabilizada y podemos comparar los resultados como se lo indica en la tabla 3, además en la tabla 4. Que se muestra a continuación, se puede apreciar el histórico de planta que registra los análisis del agua tratada en varios días de potabilización, cumpliendo siempre con la norma INEN 1108-5.

1	06/01/2015	PLANTA CARIGAN	0	0.89	7.21	16	27.81	8.24	19.57	16	4.50	0.008	0.03	0.02	10	0.001	0.001	0.02	6.5	0.4	0.06	1.5	0.04
2	08/01/2015	PLANTA CARIGAN	5	0.97	7.02	18	23.69	3.29	20.4	10	4.69	0.014	0.03	0.01	8	0	0.003	0.02	6.5	0.37	0.11	1.5	0.01

Tabla 4

No. Muestra	FECHA	UBICACION	COLOR	TURBIDIDAD	pH	ALCALINIDAD	DUREZA TOTAL	DUREZA CALCIO	DUREZA MAGNESIO	CALCIO	MAGNESIO	ALUMINIO	HIERRO TOTAL	COBRE	ZINC	SULFATOS	SULFUROS	NITRITOS	NITRATOS	CLORUROS	FOSFATOS	FLUORUROS	N. AMONIACO	MANGANESO		
3	13/01/2015	PLANTA ARIGAN																						0		
4		PLANTA ARIGAN																						0		
5		PUERTO VORTI																						0.05		
6		SAN AYETI																						0.06		
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO																										
PARAMETRO																										
7	19/01/2015	PITAS II	10	0.96	7.34	12	24.72	5.76	18.96	8	4.36		0.04	0.06		11	0.005	0.008	0.03	13	0.34		0.4	0.08		
8	20/01/2015	PLANTA CARIGAN	4	0.92	6.46	12	26.78	4.59	20.29	8	4.64	0.01	0.03	0.02	0.02	13	0.000	0.007	0.03	13	0.34		0.4	0.02		

Tabla histórica de Análisis físico químico al agua potabilizada en Planta Carigán para abastecimiento de la ciudad.

Fuente: Municipio de Loja

Como se puede observar en la tabla 4. El agua potabilizada es analizada en el laboratorio de planta Carigán y se certifica que cumple con las normas INEN, en cuanto a límites máximos permisibles siendo un agua de excelente calidad adecuada para el consumo humano.

Es en este momento en el que debemos determinar las variables más importantes para garantizar el tratamiento adecuado, y mantener la producción por debajo de los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108, garantizando la calidad del agua potable suministrada a la ciudadanía, siempre partiendo de la conceptualización de calidad que realizan los consumidores, la ciudadanía de Loja.

4.1.3 Características Físicas.

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua en los consumidores y como lo indicamos en el párrafo anterior se da un énfasis particular a la opinión de la ciudadanía de Loja, sin desmerecer las características químicas del agua. (Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible, 2015)

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles
- Color
- Olor y sabor
- Temperatura
- Ph.

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, etcétera.

El diseño de los sistemas de remoción de turbiedad debe considerar no solo el tipo de partículas existentes (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño y comportamiento.

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, como señala OPS (2004), según refiere Castro de Esparza los estudios elaborados por Tracy, por Sanderson y Kelly han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbiedad en la fuente de abastecimiento, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección.

El agua que abastece a planta Carigán proviene de una captación principal ya antes mencionada Tambo Blanco y una Captación emergente denominada Shucos. La turbidez en las captaciones que alimentan a planta Carigán son bajas, únicamente varían por efectos de la naturaleza y estación climática, deslaves, lluvias estacionales, represamientos, etc., que incluso han hecho llegar la misma a valores superiores a 3500 NTU, el menor rango de turbiedad registrado en los históricos de laboratorio de planta Carigán es 2 NTU en el agua cruda una vez potabilizado no debe exceder de 5 NTU para cumplir con la norma INEN 1108.

Sólidos y residuos se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada.

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

- Disueltas (hasta un mili micrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 mili micrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 mili micrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.
- Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.

Sólidos totales. Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido.

El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Equivalencias:

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles

Sólidos disueltos o residuos disueltos. Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1 μ)

*Sólidos en suspensión. Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los **sólidos en suspensión** son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio. (OPS, 2004)*

Sólidos volátiles y fijos. Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico (OPS, 2004).

Para determinar sólidos y residuos, se necesita una mufla, un desecador, un filtro de sólidos una membrana para filtración y estos equipos no están disponibles en planta Carigán pero se realizan enviando a los laboratoristas y las muestras a planta Pucara donde están instalados estos equipos, de la muestras realizadas podemos indicar que la cantidad de sólidos y residuos es muy baja en el agua de las captaciones, y únicamente se ven afectado únicamente por efectos de la naturaleza y estación climática, deslaves, lluvias estacionales, represamientos, etc.

Color, esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella (OPS, 2004).

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- la descomposición de la materia;
- la materia orgánica del suelo;
- la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y
- una combinación de los procesos descritos.

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre, el sulfato férrico, sulfato de aluminio a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.

Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales. (OPS, 2004)

En planta Carigán es el parámetro físico de mayor incidencia, ya que el agua de las captaciones que alimentan a Planta Carigán presentan un alto rango de color con una disminución de turbiedad, lo que dificulta el tratamiento, lo que hace que esta agua sea tratada con 2 coagulantes como son el sulfato de aluminio y el hidróxido de calcio para eliminar este parámetro en el tratamiento del agua y evitar la formación de compuestos clorados en el agua tratada

Olor y sabor

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”.

Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

Y podemos reflejar los productores de sabor y su origen mediante un resumen expuesto en la tabla #5.

En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Tabla 5

Relación olor en el agua con su origen

NATURALEZA	ORIGEN
Dulzor	Coelosphaerium
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: Análisis Físico Químico al agua de la Planta de Carigan

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales (OPS, 2004).

En planta Carigán se lo considera a este parámetro no objetable en el agua cruda, pero en el agua procesada en la planta, las consideramos aceptables porque nosotros nos abastecemos en planta con la misma agua que procesamos y es de sabor dulce.

En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo.

Temperatura, es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (OPS, 2004).

pH

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua (OPS, 2004).

4.1.4 Objetivos del Tratamiento.

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

Higiénico: Remover bacterias y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la mineralización excesiva y las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, protozoarios y otros microorganismos.

Estético: Corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor.

Económico: Reducir la corrosividad, la dureza, el color, la turbidez; reducir las concentraciones de hierro y manganeso; resolver problemas de olor y sabor, etcétera (BVSDE, 2010).

4.2 Importancia de una adecuada coagulación

El corazón de un sistema de potabilización de agua para consumo humano es el proceso de coagulación. En él se acondiciona el agua de tal forma que los procesos posteriores de limpieza, en donde, propiamente dicho, se remueven las impurezas, puedan realizar su función adecuadamente. Si la coagulación no funciona adecuadamente, tampoco funcionan adecuadamente los procesos posteriores de limpieza. Así de sencillo, si la coagulación no se optimiza tampoco se puede tratar el agua óptimamente. Paradójicamente, un proceso de tal importancia está lejos de ser operado de una manera óptima en las plantas de tratamiento de agua potable actualmente.

En la planta de tratamiento Carigán, el proceso de tratamiento del agua potable corresponde al tipo de tratamiento denomina A2 según la tabla # 6 de la Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007.

Tabla 6.
Tipo de Tratamiento

Grado de tratamiento	Composición de tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento Físico simple + Desinfección	Filtración rápida + Desinfección
Tipo A2	Tratamiento Físico normal + Tratamiento Químico	Pre cloración +Coagulación/ Desinfección + Decantación +Filtración + Desinfección
Tipo A3	Tratamiento Físico normal + Químicos Intensos	Pre cloración +Coagulación/ Desinfección + Decantación +Filtración + Afino con carbón activo + Desinfección

Fuente: Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007

El tipo A1 es el que usualmente se realiza en las parroquias o pequeñas comunidades, el tipo A2 o denominado convencional en ciudades grandes con efluentes parcialmente contaminados y el tercero en especial en ciudades grandes cuyos efluentes están altamente contaminados considerando un agua superficial, de río, embalse, o subterránea, con unos problemas de calidad que estimamos como convencionales, el proceso o línea de tratamiento, considerado también convencional, consta de una serie de etapas más o menos complejas en función de la calidad del agua bruta objeto del tratamiento hare un breve resumen del proceso en Planta Carigán y desglosare cada etapa con más detalles como se lo ha hecho en los diferentes literales.

El proceso realizado en planta Carigán parte desde la captación de agua, que está ubicada a 35,5 km de la ciudad de Loja y consta de una infraestructura de captación de rejilla lateral con desarenadores previo a la admisión del agua a través de tubería de Prfv y acero cuyo diámetro varía entre 900mm a 600mm durante el trayecto de

conducción del líquido hacia la planta de tratamiento, una vez en la planta de tratamiento ingresa a una obra civil denominada cámara de rotura , en la cual está instalado un equipo denominado obturador de capota cuya función es la de romper la energía dinámica absorbida por el líquido a través de los 35.5 km por los que es conducido, en esta cámara además existen elemento de medición que determinan en tiempo real el Ph, Turbidez y Oxígeno disuelto que posé el agua que denominada cruda en esta etapa al no haber recibido ningún tratamiento.

La siguiente etapa son las mezclas rápidas en las que se agregan Cal y Sulfato y mediante resaltos hidráulicos generados por un electro agitador se desestabilizan las moléculas y sólidos en suspensión propios del agua cruda para poder nuevamente formar moléculas y solidos de mayor peso y tamaño que floccularan y se decantaran en las etapas posteriores. Claramente se puede observar la importancia de lo que denominamos en párrafos anteriores como “El corazón de un sistema de potabilización”. Si esta adición de químicos inicial no es la adecuada no se podrán remover adecuadamente las impurezas ya que los procesos posteriores son resultados de esta etapa inicial.

Luego de la mezcla rápida se realiza la mezcla lenta en la cual un electro agitador de bajas revoluciones y la adición de un coadyuvante de floculación denominado polímero se cohesionan las moléculas y sólidos en suspensión de mayor tamaño y peso que los iniciales en el agua cruda, que a partir de este momento se denominan flocks y dan nombre a la etapa de floculación.

La etapa subsiguiente es la decantación que consiste en dos piscinas de gran tamaño en las cuales el agua en tratamiento ingresa por la base de las mismas y los flocks por su tamaño y peso se precipitan hacia la base de las piscinas denominándose a partir de ese momento en fangos, los flocks, livianos generados son atrapados por denominados modulas ABS que no son más que módulos plásticos en forma de panel de abejas que atrapan a los flocks en sus paredes y al agruparse por peso se decantan hacia la base o fondo de las piscinas.

En la parte superior de las piscinas el agua en tratamiento clarificada se canaliza a través de unas canaletas metálicas que, conducen el agua hacia otra piscina denominada de agua a filtrar, en esta piscina el agua decantada se bombea hacia los filtros de arena rápida por bombas sumergibles de gran capacidad, una vez el líquido pasas a través de las capas de arena de sílice y antracita se retienen todos los sólidos de hasta 4mm de tamaño denominándose a esta etapa Filtración.

Finalmente los elementos patógenos, bacterias son de un tamaño menor a los 4mm que fueron retenidos durante el proceso de tratamiento y estos elementos son eliminados finalmente mediante la adición de cloro gas diluido al agua en tratamiento eliminando los elementos antes mencionados quedando un Agua con características adecuadas para el consumo humano.

Tradicionalmente la coagulación de las aguas que entran a las plantas de potabilización se realiza de una manera manual, y con controles fuera de línea que no permiten ajustar adecuadamente las dosis de las sustancias coagulantes a los cambios que tiene la planta tanto en cantidad como en calidad del agua que llega esto se puede observar en Plantas tradicionales de la Ciudad de Loja como son Pucara y Curitroje Chontacruz en donde no se posee un sistema de medición de parámetros en línea y tampoco existe sistemas de bombeo para dosificación adecuada de químicos al proceso de tratamiento y se debe regir únicamente por la apreciación visual de los operadores en caso de no encontrarse trabajando el laboratorio de cada planta. En Carigán por ser una planta semi automática permite controlar la adecuada dosificación a través de los sistemas de bombeo y monitoreo de línea pero al ser semi automática la dosificación y caudales de bombeo de químicos depende de lo indicado por el laboratorio pero este solo trabaja 8h diarias luego volvemos a la apreciación de los operadores, ya por su experiencia o por equipos referenciales pero el modelo matemático a desarrollar en el presente trabajo que se basa en los resultados obtenidos de laboratorio en conjunto con la experiencia de los operadores permitirá una coagulación y por ende un tratamiento acorde a la norma INEN 1108, garantizado acorde a la tecnología y calidad de la Planta de tratamiento Carigán.

Se debe recordar que la dosificación automática de coagulantes no es de ninguna manera un proceso fácilmente automatizable debido en primera instancia a la dificultad de poder definir, en línea, bien sea por mediciones directas o por estimaciones indirectas, cuando se logró una adecuada coagulación del agua cruda que llega a la planta. (Duque, Geraldo, Martinez, Gauthier, & Villa, 2015).

En muchos casos las variables de calidad del agua cruda que definen la dosis del coagulante no son fácilmente medibles en línea con sensores robustos y confiables como por ejemplo el color. Por otra parte la desestabilización de las sustancias y partículas que se quiere remover es difícil de obtener en línea, al igual que otras variables que definen la eficiencia del proceso de coagulación. (Duque, Geraldo, Martinez, Gauthier, & Villa, 2015)

4.2.1 Coagulación-Floculación de las impurezas del agua.

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas flock. Dicho proceso se usa para:

- a. Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d. Destrucción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

El uso de cualquier otro proceso, como la sedimentación simple, para la remoción de partículas muy finas, resulta antieconómico, si no imposible.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

- a. La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como a coagulación y al segundo como a floculación.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores.

Tres mecanismos pueden actuar en el primer fenómeno: el de adsorción-desestabilización basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y Repulsión, el del puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides, y el de sobresaturación de la concentración de coagulantes en el agua.

En el segundo aspecto debe distinguirse entre: Floculación ortocinética y pericinética, o con escala de turbulencia por encima o por debajo de la microescala de Kolmogoroffh.

La primera es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias, por ejemplo). La segunda es la promovida, internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquél (movimiento browniano), y se realiza en un tiempo muy corto después de desestabilizada la partícula hasta que la partícula tiene un tamaño que se acerca a la microescala de Kolmogoroff h. (Valencia, 1992)

4.2.2 Relación entre color y pH

Conocido es el hecho de que el color presenta un "efecto indicador". Esto es que su intensidad cambia con el pH. En la vida diaria se puede observar este fenómeno al poner unas gotas de limón al té.

En general, al subir el pH se incrementa el color, pero el mayor incremento se obtiene con aguas que tienen originalmente un color bajo. (Arboleda, 1992), como se observa en la tabla 7, expuesta a continuación:

Tabla 7

Variación de color según el pH

Muestras de Agua	Unidades de color		Aumento de color a pH 10 sobre color a pH 2- %
	A pH 10	A pH 2	
A	100	270	67
E	237	412	74
C	102	182	78
D	71	130	83
E	50	82	64
F	54	82	62
G	190	290	73
H	42	86	105
I	330	440	30
J	150	265	77

Fuente: Análisis Físico Químico al agua de la Planta de Carigan

La variación del color se puede predecir usando el Nomograma siguiente, tomado de Singley (1966) y colaboradores, que relaciona el color a pH =8.3 con el color a cualquier otro pH.

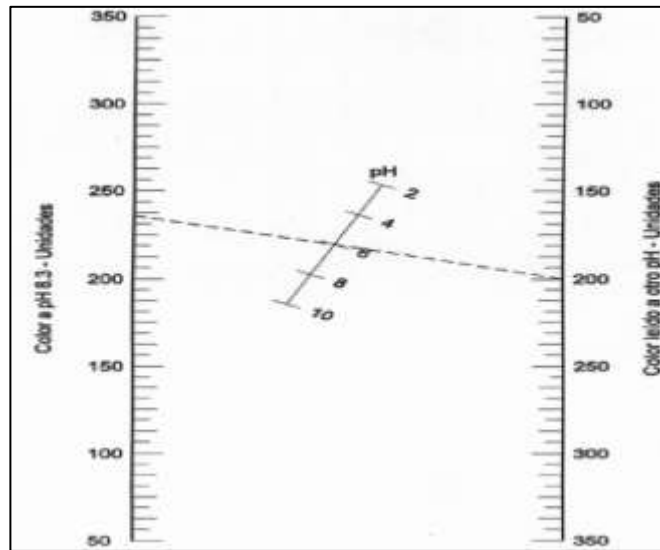


Figura 1. Nomograma 1 de Singley para determinar pH

4.2.3 Comparación entre las características del color y la turbiedad.

Como se puede ver, por la información incluida anteriormente, el color y la turbiedad tienen características bastante diferentes que deben tenerse muy en cuenta cuando se quieren remover del agua por medio del proceso de coagulación.

No solo el fenómeno óptico se percibe en forma distinta, sino que sus características físicas y químicas difieren grandemente como se puede observar en la Tabla #8 a continuación (Valencia, 1992)

Tabla 8*Características físico-Químicas del color y la turbiedad*

<i>Item</i>	<i>Color</i>	<i>Turbiedad</i>
<i>Composición Física</i>	<i>Sustancias disueltas parcialmente coloidales</i>	<i>Arcillas coloidales</i>
<i>Composición Química</i>	<i>Ácidos orgánicos con pesos moleculares entre 200 y 500000 mas</i>	<i>Cristales de Silicato</i>
<i>Origen</i>	<i>Orgánico</i>	<i>Mineral</i>
<i>Tamaño de la dispersión</i>	<i>87% < 0,01 μ</i>	<i>Entre 0,1 y 10 μ</i>
<i>Intensidad</i>	<i>Aumenta con el pH</i>	<i>No varía con el pH</i>
<i>Comportamiento químico</i>	<i>Se comportan preferentemente como sustancia disueltas</i>	<i>Se comportan únicamente como suspensiones coloidales</i>

Fuente: Análisis Físico Químico al agua de la Planta de Carigan

Es muy importante distinguir entre color verdadero y color aparente. El primero es el que existe cuando se ha removido toda la turbiedad por medio de filtración o centrifugación para evitar que ésta quede registrada como color. El segundo es el valor que resulta de medir el color sin remover la turbiedad, lo que no da una indicación muy precisa de las características del agua. (Valencia, 1992)

4.2.4 Químicos utilizados en el tratamiento en la fase de coagulación y floculación

Debido a que muchas fuentes de agua, particularmente agua de río, contienen sólidos suspendidos es necesario agregar coagulantes para remover la turbiedad. Los principales coagulantes son sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y cal.

Esta última se usa también para el control del pH, con cualquiera de los otros coagulantes debido a que muchas aguas son acidas por naturaleza, la cal se emplea casi siempre para incrementar el pH, y obtener la mayor eficiencia de coagulación. (Asociación Nacional de fabricantes de CAL, 2010).

Recientemente se han desarrollado polielectrolitos para usarse como coagulantes en muchos casos se emplean conjuntamente con la cal, además de proporcionar el pH adecuado la cal actúa como ayuda al filtro particularmente con lodos de apariencia gelatinosa formados con algunas aguas y combinaciones de coagulantes difíciles de filtrar (Asociación Nacional de fabricantes de CAL, 2010)

Bedoya (2012) menciona:

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamientos de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$.

Se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico

El material es empacado en diversas formas: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida. El sulfato de aluminio ha estado disponible en todo el mundo con un costo razonable porque ha sido fácil de producir incluso en fábricas muy sencillas. Por esta razón la mayoría de plantas están diseñadas para alum y el personal de las plantas están capacitados para usar el alum.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^- . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal

El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible. Durante la floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocks hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación el flock se asienta para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar flock de hidróxido de aluminio, si el agua no contiene alcalinidad natural suficiente para reaccionar con el alumbre, es necesario añadir la alcalinidad necesaria. Esto se hace normalmente con cal o soda (Bedoya, 2012) (Chavarro & Patiño, 2009).

4.2.5 Uso de redes neuronales en el tratamiento del agua.

La aplicación de la inteligencia artificial al control de procesos es cada vez mayor, ejemplo de ello son: el mejoramiento en el control de los procesos mediante la introducción de técnicas tales como los sistemas expertos, redes neuronales, algoritmos genéticos y lógica difusa. Todo esto conlleva oportunidades para el desarrollo de soluciones óptimas, en procesos cuyo control mediante el uso de técnicas convencionales resulta muy difícil (Socola, 2014)

El proceso de coagulación es una de los más importantes cuando se trata de remover estos solidos del agua —que se presentan también como partículas coloidales—, por ser difícil el suministro de la dosis de coagulante en función de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua cruda; además, se ve influido por factores tales como: el corto tiempo de reacción del proceso de coagulación, el largo tiempo de reacción del proceso de floculación y el caudal de agua que ingresa al tratamiento. Todo esto hace que el control de este proceso requiera técnicas de análisis químico como la prueba de jarras en la estimación de la dosis optima, así como la acción de un operador que supervise el proceso y haga los ajustes necesarios para garantizar una remoción de turbiedad efectiva, lo cual lleva tiempo de ejecución y permite que en ese intervalo se genere agua de mala calidad. La calidad del agua está determinada por límites permisibles en parámetros físicos y químicos (Socola, 2014)

En la búsqueda de la gestión óptima del abastecimiento de agua y la recuperación ambiental de cuerpos de agua superficiales han aumentado la necesidad de nuevas técnicas de modelación que puedan proporcionar una representación confiable, eficiente y precisa de la dinámica no lineal de la calidad del agua en los sistemas de distribución de agua. Lo cual es posible utilizando las redes neuronales artificiales (RNA) han sido ampliamente aplicadas a la aproximación de funciones de transferencia no lineal (Chavarro & Patiño, 2009)

Desde el punto de vista de la ingeniería, las redes neuronales artificiales (RNA) pueden ser vistas como un gran sistema dinámico en paralelo, que puede realizar transformaciones por medio de respuesta de estado de su información de entrada.

Como se lleva a cabo la transformación, depende del modelo de la RNA y de su forma de aprehender la transformación. El área de aplicación más natural de las RNA son obviamente las tareas en las cuales se deben obtener las transformaciones apropiadas de ciertas entradas a ciertas salidas, pero las transformaciones no pueden ser descubiertas analíticamente, debido a la variedad de factores involucrados en ellas, Una red neuronal es un sistema que imita al cerebro humano en la transformación de entradas en una o más salidas, con un conjunto de neuronas. (Socola, 2014)

Un algoritmo de RNA puede llegar al resultado en condición de escasez de datos con la ayuda de la información actual, aceptar la entrada continua de datos, entrenarse y recordar. La mayor ventaja de una red neuronal es su habilidad para relacionar modelos complejos no-lineales sin suposiciones a priori de la naturaleza de la relación. El modelo RNA realiza un mapeo funcional no-lineal a partir de las observaciones pasadas (X_{t-1} , X_{t-2} ... X_{t-p}) para encontrar un valor futuro X_t , i.e (Durdu, 2009).

4.2.5.1 Redes Neuronales Artificiales.

Las redes neuronales artificiales son sistemas de procesamiento de información, desarrolladas por científicos cognitivos con el propósito de entender el sistema nervioso biológico e imitar los métodos computacionales del cerebro y su impresionante habilidad para reconocer patrones. (Tkacz & Hu, 1999), (Shachmurove, 2002).

4.2.5.2 Redes Neuronales Biológicas y Redes Neuronales Artificiales

El elemento funcional básico del cerebro es la neurona como la que representamos en la figura. 2. La neurona, a su vez, está conformada por un cuerpo o soma, unas dendritas y un axón. Cada neurona recibe estímulos eléctricos de otras neuronas a través de las dendritas. En el soma se lleva a cabo la integración de toda la información obtenida en las dendritas. Estos estímulos son amplificados o disminuidos durante la sinapsis y luego sumados. Finalmente, si la suma de todos los estímulos es mayor que el umbral de resistencia máximo de la neurona, entonces el axón transmite a otras células el mensaje resultante de la integración.

Estas conexiones sinápticas, cuya intensidad es variable, se usan para enviar mensajes entre neuronas. Las neuronas coleccionan la información y aprenden patrones al reforzar sus conexiones (Hernández López, 2006).

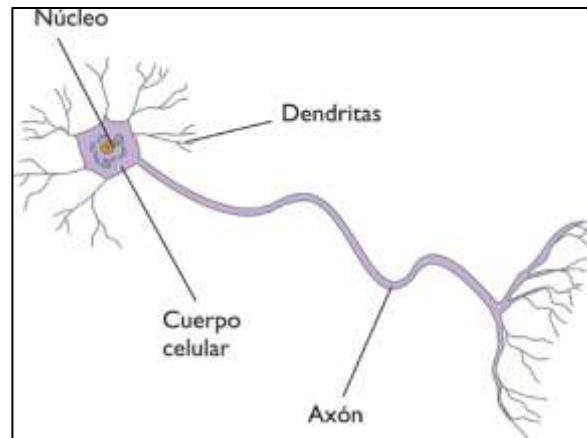


Figura 2. Neurona biológica.

Las Redes Neuronales Artificiales se inspiran en la estructura y funciones de las neuronas biológicas. Una red neuronal artificial es esencialmente una colección de neuronas interconectadas, agrupadas en capas. Haciendo un paralelo con el esquema recién descrito de procesamiento del cerebro, la neurona artificial recibe distintos valores de entrada “inputs” que son multiplicados por una ponderación. En el escenario más simple, estos productos son sumados para obtener un valor de salida “output”. La forma más básica de red neuronal se encuentra estrechamente vinculada con las técnicas econométricas de regresión estándar. Este tipo de red simplificada posee dos capas, una de inputs (entradas) y otra de outputs (salidas). La figura.3 ilustra la representación gráfica estándar de una red neuronal feedforward (alimentada hacia delante, es decir que la información fluye desde los inputs hacia el output).

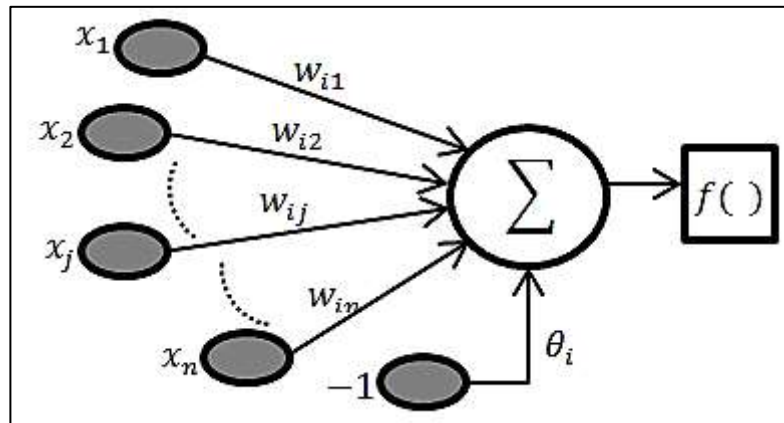


Figura 3. Modelo de neurona artificial feedforward.

Cada conexión entre un input y un output está caracterizada por un peso ω_i que expresa la importancia relativa de un input particular en el cálculo del output. Para calcular el valor del output en el momento t , la neurona output colecciona los valores de cada neurona input en la observación t y multiplica cada uno de ellos por un peso asociado con la conexión relevante. A continuación se suman estos productos y se obtiene (Yegnanarayana, 2004):

$$y_t = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_i x_j = \sum_{i=1}^j \omega x_i \quad \text{Ecuación (1)}$$

La ecuación 1 indica que Y es una suma ponderada de X_i , donde cada X_i (las neuronas input) se vincula con Y (la neurona output) por los parámetros ω_i (las ponderaciones). En este modelo lineal, cuando X_i cambia en una unidad, y cambia ω_i unidades.

La neurona output luego procesa este valor usando una función de activación. En la forma más simple de red neuronal, la función de activación es la identidad. En sus cálculos, la red tratará de reproducir el valor del output, dados los valores de los inputs. Una idea más clara de este proceso se muestra en la figura 4, en donde se puede observar el recorrido de un conjunto de señales que entran en la neurona artificial.

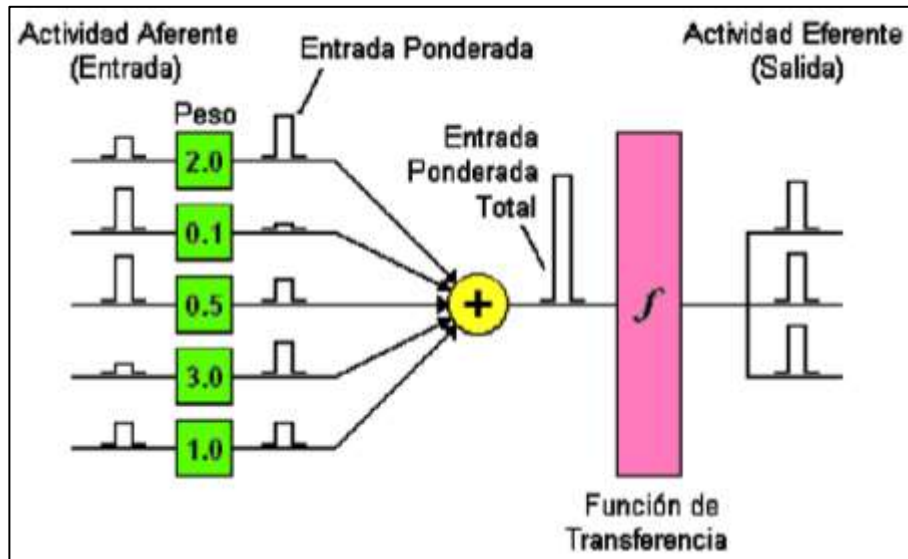


Figura 4. Recorrido de señales por la neurona artificial.

Ahora, si se cree que existen asimetrías entre los inputs y los outputs, es decir que la relación entre estas variables depende de la magnitud y la dirección de los inputs, entonces la ecuación (1) debe generalizarse con la introducción de no linealidades en la relación. Esto puede lograrse incorporando una función de umbral, que permita que una suma ponderada de los inputs suficientemente grande active un cambio de régimen discreto. Sin embargo, el cambio de régimen no tiene que ser abrupto y para ello se emplean funciones de activación suaves, tales como la función logística fig. 5.

$$G(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

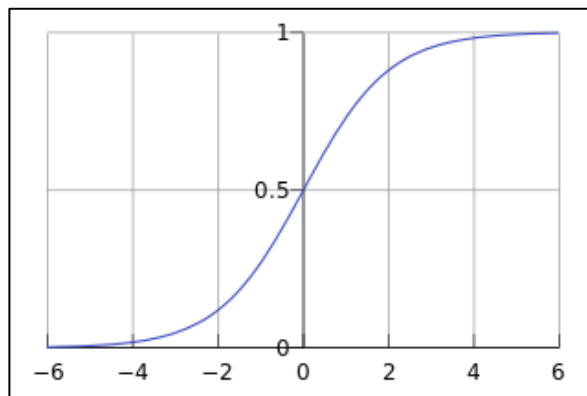


Figura 5. Función logística.

La ecuación (2) puede aplicarse al modelo lineal en la ecuación (1) para permitir una relación no lineal entre los inputs y el output. Si además se cree que el efecto de los inputs sobre el output no es directo, sino que existen variables intermedias que operan entre ellas; entonces el uso de unidades escondidas o “Hidden Layers” como etapas intermedias donde los inputs X_i y sus pesos son sometidos a una nueva ponderación antes de afectar al output, esto permite que la red capture la relación no lineal entre las variables input y el output (Haykin, 2009).

4.2.5.3 Características principales de una RNA.

Las RNA deben su capacidad de procesar información a su estructura distribuida y paralela y a su capacidad de entrenamiento y por lo tanto de generalización. Estas dos propiedades hacen que las RNA sean capaces de resolver cierto tipo de problemas muy complejos.

Según Hernández, (2006), entre las principales ventajas de las RNA tenemos:

No linealidad: las neuronas son elementos de proceso generalmente no lineales. La interconexión de estos elementos genera estructuras de transformación de datos donde este carácter no lineal queda distribuido por toda la red. Esta característica permite modelar procesos intrínsecamente no lineales, pero complica también los métodos de análisis de las estructuras resultantes, impidiendo la aplicación de técnicas de análisis bien establecidas como son las de los sistemas no lineales.

Modelado de relaciones entrada salida: La RNA es capaz de aprender a partir de un conjunto de parejas de datos entrada-salida sin necesidad de conocer las características del problema. Estos pares permiten optimizar los pesos de la red, de tal forma que sea capaz de generar un mapa de entrada-salida para después poder reproducir casos no representados en el conjunto de datos original.

Aprendizaje adaptativo: las RNA tienen la cualidad de aprender a realizar tareas a partir de un entrenamiento, debido a la capacidad de auto-ajuste de los elementos de

procesado (neuronas) que componen el sistema. En el proceso de entrenamiento, los pesos que conectan las neuronas se van ajustando de manera que la red reproduce los resultados buscados.

4.2.5.4 Funciones de activación, umbral o de transferencia.

Como se mencionó anteriormente para incluir las no linealidades al modelo, se utiliza las funciones de umbral, las principales funciones son las siguientes:

- **LIMITADOR FUERTE (HARDLIM)**

Como se muestra en la figura 6, esta función de transferencia acerca la salida de la red a cero, si el argumento de la función es menor que cero y la lleva a uno si este argumento es mayor que uno. Esta función crea neuronas que clasifican las entradas en dos categorías diferentes, característica que le permite ser empleada en la red tipo Perceptrón (Flórez López & Fernández Fernández, 2008).

$$a = \begin{cases} 1 & \text{si } n \geq 0 \\ 0 & \text{si } n < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (3)}$$

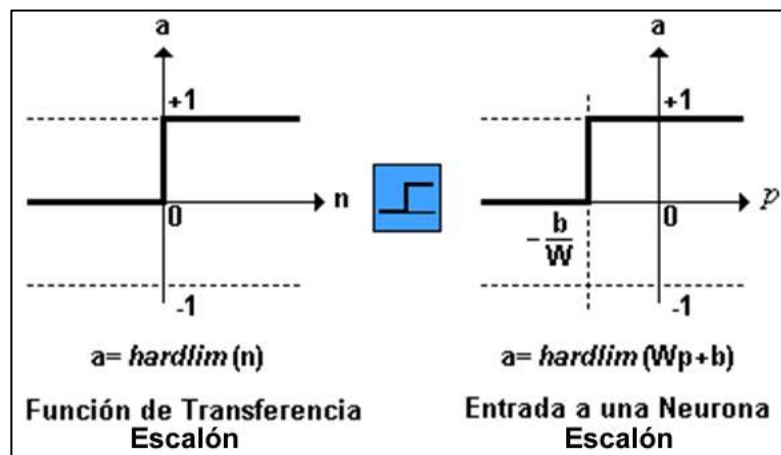


Figura 6. Función de activación Harlim.

- **FUNCIÓN DE TRASFERENCIA LINEAL (PURELIN)**

La salida de una función de transferencia lineal es igual a su entrada.

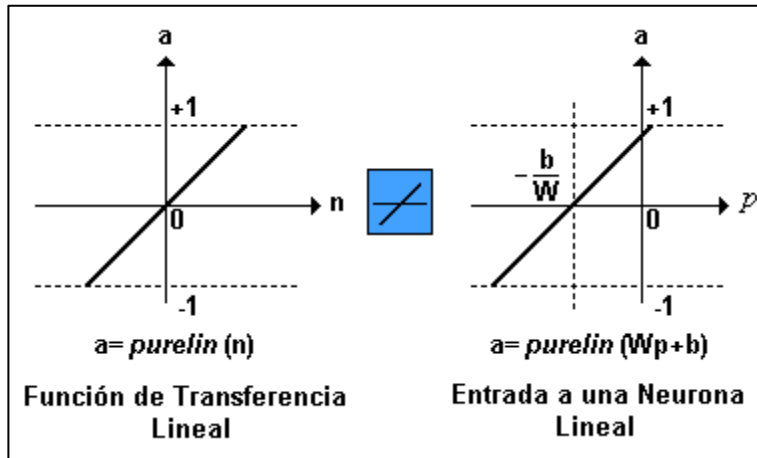


Figura 7. Función de activación Purelin.

En la gráfica derecha de la figura.7, puede verse la relación entre la salida a de la red, y la entrada p , teniendo en cuenta el valor de ganancia b ; neuronas que emplean esta función de transferencia son utilizadas en la red tipo Adeline (Flórez & Fernández, 2008).

- **FUNCIÓN DE TRASFERENCIA SIGMOIDAL (LOGSIG)**

También denominada como función logística, figura 8, toma los valores de entrada, los cuales pueden oscilar entre más y menos infinito, y restringe la salida a valores entre cero y uno, de acuerdo a la expresión:

$$a = \frac{1}{1+e^{-n}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Esta función es comúnmente usada en redes multicapa, como la Backpropagation, en parte porque la función Logsig es diferente (Flórez López & Fernández Fernández, 2008).

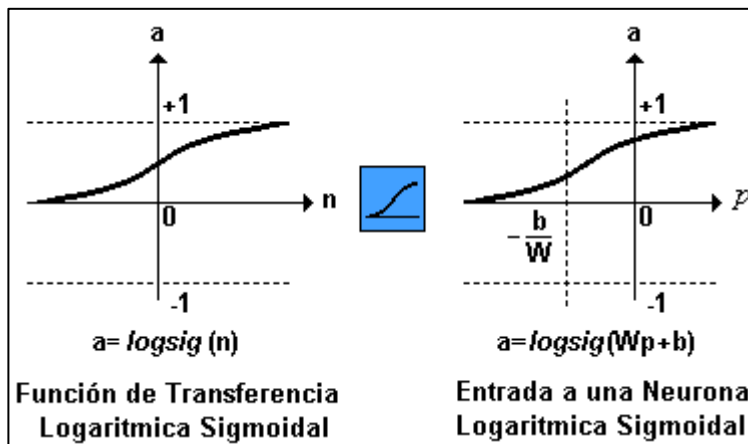


Figura 8. Función de activación Logsig.

4.2.6 Topología de una RNA.

Normalmente las neuronas se organizan en distintos niveles dentro de la red neuronal, que se suelen denominar capas. Estas capas se clasifican según su situación dentro de la red en base al siguiente criterio (Priddy & Keller, 2005):

De entrada: Es siempre la primera capa de una RNA, y tiene tantas neuronas como entradas a la red. Cada neurona tiene una sola entrada que proviene del exterior y varias salidas a neuronas de capas posteriores. A menudo, en el recuento de capas de una RNA no se incluye la entrada, ya que sus neuronas se limitan a distribuir las entradas externas a las capas posteriores, pero no realizan ninguna operación “típica” de estos elementos de procesado.

Ocultas: Estas neuronas son las que realizan el trabajo y no tienen contacto directo con las señales externas a la red. Las neuronas de estas capas son las que mejor se ajustan a la definición de neurona. Puede haber varias capas de neuronas ocultas, desde cero hasta un número elevado. La primera de las capas ocultas estará conectada con la capa de entrada y la última de estas capas comunicará generalmente con la capa de salida. La forma de interconexión entre las distintas capas ocultas junto con el número de neuronas en cada capa determinará la topología de la red.

De salida: Es la capa de neuronas que transmite la información generada por la red al exterior. El número de neuronas de esta capa será igual al número de salidas de la RNA.

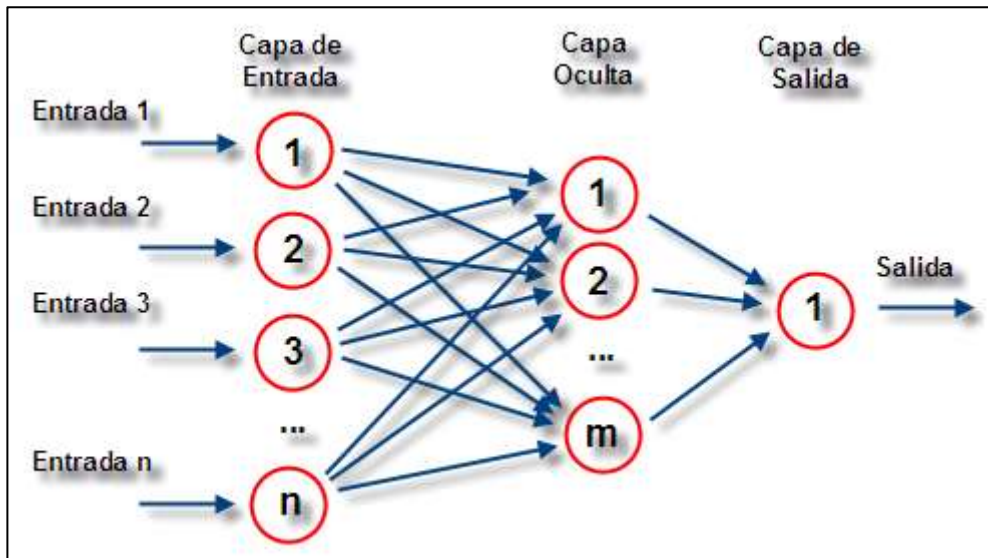


Figura 9. Red neuronal multicapa.

En la figura 9 se muestra una RNA compuesta por 3 capas: la capa de entrada “Input layer” posee n neuronas de entrada, la capa oculta “Hidden layer” posee m neuronas y la capa de salida “Output layer” posee una neurona de salida, cada capa se encuentra totalmente interconectada con la siguiente, es decir, la salida de una neurona de la capa anterior llega a la entrada de todas las neuronas de la capa siguiente.

4.2.7 Tipos de conexiones entre capas.

Conexiones hacia atrás: estas conexiones llevan los datos de las neuronas de una capa superior a otras de una capa inferior. Son también llamadas feedbackward (Graupe, 2007).

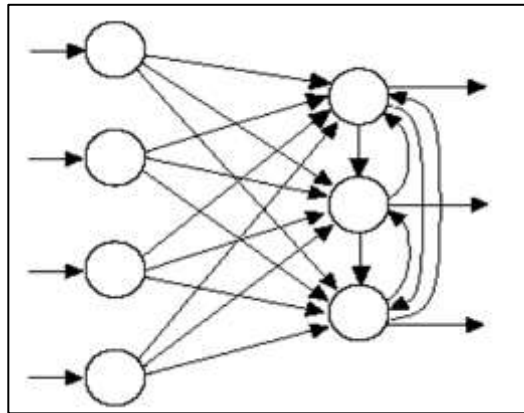


Figura 10. Red con conexiones hacia atrás.

En la figura. 10 se puede apreciar el tipo de conexión hacia atrás, en donde la RNA consta de dos capas con 4 neuronas en la capa de entrada y 3 neuronas en la capa de salida, las cuales se encuentran interconectadas hacia atrás entre sí.

Conexiones laterales: son las conexiones que se hacen entre neuronas de una misma capa. Estas conexiones se diseñan como excitadoras, permitiendo la cooperación (con peso positivo) o la inhibición (con peso negativo) entre neuronas, lo que establece una competición entre neuronas de la misma capa, la conexión se puede apreciar en la figura 11(Graupe, 2007).

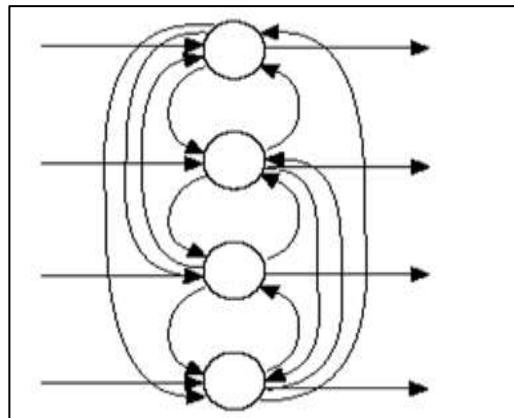


Figura 11. Red con conexiones laterales.

Conexiones con retardo: los elementos de retardo se incorporan en las conexiones para implementar modelos dinámicos temporales (redes dinámicas). Se almacenan los

datos antiguos para después procesarlos junto con la información actual (Graupe, 2007).

Conexiones autorecurrentes: la salida de una neurona se conecta con su propia entrada (Graupe, 2007).

4.2.8. Clasificación de las redes neuronales

Existen varios tipos de criterios para clasificar las RNA, en el presente trabajo nos interesa la clasificación en base al tipo de conexiones y el tipo de datos de entrada, ya que posteriormente en el desarrollo de la red se modificaran las conexiones y los instantes temporales de los datos para poder optimizar los entrenamientos de la misma y poder obtener los mejores resultados posibles.

4.2.8.1. Clasificación según el tipo de conexión.

Dependiendo del tipo de conexión que se establece entre las neuronas de una RNA, estas se pueden clasificar según Kumar (2004) en:

- **RNA CON CONEXIÓN HACIA ADELANTE**

También conocidas como redes *feedforward*. En este tipo de redes las señales neuronales se propagan siempre hacia adelante a través de las capas de la red. No existen conexiones hacia atrás y normalmente tampoco auto-recurrentes ni laterales. Ejemplos de redes *feedforward* son: Perceptrón multicapa.

Este tipo de redes tienen la ventaja de que la respuesta de la red es rápida y que además admiten algoritmos de entrenamiento del tipo *Backpropagation*.

- **RNA RECURRENTES**

En este tipo de redes, la información circula tanto hacia adelante (*feedforward*) como hacia atrás (*feedbackguard*), por medio de conexiones que comunican con

neuronas de capas anteriores. Las redes recurrentes están especialmente indicadas para los casos en los que la dinámica del proceso es importante, es decir, cuando los patrones de entrada-salida son secuencias temporales de datos. A diferencia de las anteriores, la obtención de las respuestas es más lenta y su entrenamiento es más complicado y largo.

Algunos ejemplos de estas redes neuronales recurrentes son: Perceptrón multicapa recurrente, red de datos temporales, red Hopfield, etc.

4. 2.8.2. Clasificación según el tipo de información

En base a la información que recibe la RNA, a decir de Sivanandam & Deepa (2006), estas se pueden clasificar en:

- **RNA ESTÁTICAS**

El tipo de información que manejan las redes estáticas tiene carácter estacionario, es decir, el valor de la salida solo depende del valor de las entradas en el mismo momento en el que ésta se produce.

Estas redes se pueden caracterizar estructuralmente por la inexistencia de bucles de realimentación y de elementos de retardo entre los distintos elementos de proceso que las forman. Normalmente van asociadas a las redes con conexiones hacia adelante (feedforward).

- **REDES DINÁMICAS**

La información que se maneja en este tipo de redes incluye la variable tiempo, es decir, la salida depende de las variables de entrada en el momento actual y de los valores de entrada y/o salida en momentos anteriores.

Estas redes suelen asociarse al tipo de redes recurrentes explicadas con anterioridad. Para incluir la variable tiempo, se puede incorporar en la red retardos temporales o conexiones de tipo feedbackward entre las capas de neuronas. El entrenamiento para las redes dinámicas puede plantear problemas de convergencia y estabilidad, y los resultados que generan son en general de difícil análisis.

4.2.9. Entrenamiento de RNA.

Construir un sistema que aprenda ha sido tradicionalmente uno de los objetivos más escurridizos de la inteligencia artificial. El aprendizaje, es un proceso de adaptación al entorno; durante él se crean y manipulan representaciones que sean capaces de explicar dicho entorno.

En las redes neuronales la esencia del aprendizaje se encuentra en la modificación colectiva de los pesos de los elementos de procesado. Una definición de aprendizaje en redes neuronales podría ser la siguiente: Proceso por el cual los parámetros libres de una red neuronal son ajustados a través de un proceso continuo de estimulación por parte del entorno en donde se sitúa el sistema. El tipo de aprendizaje viene determinado por la forma en la que tienen lugar dichos cambios. Esta definición, implica tres hechos fundamentales:

- La red neuronal se encuentra estimulada por el entorno, cambia como consecuencia de esos estímulos y responde de manera diferente al entorno a causa de los cambios que se han producido en sus estructura interna.
- Existen tres paradigmas de aprendizaje: Supervisado, No supervisado (o auto supervisado) y Reforzamiento (se puede considerar como un caso especial del aprendizaje supervisado).
- Existen una gran cantidad variedad de algoritmos dentro de cada una de estas categorías.
- El MatLab (Matrix Laboratory), cuenta con un número interesante de algoritmos de entrenamiento para la RNA, en la tabla 9 se muestra dichos algoritmos y una pequeña definición de los mismos (Sivanandam & Deepa, 2006).

Tabla 9*Algoritmos de entrenamiento en MATLAB®*

Función Matlab	Descripción
TRAINGD	Los pesos y sesgos de la RNA se actualizan en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Respuesta lenta.
TRAINGDM	Los pesos y sesgos de la RNA se actualizan en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Se emplea un nuevo parámetro (momento) que permite esquivar mínimos locales. De esta forma la actualización es función del último cambio realizado y del gradiente.
TRAINGDA	Se emplea un factor de entrenamiento variable. El factor de entrenamiento se establece en base a las magnitudes de error obtenidas en la iteración actual y anterior. De igual forma los cambios en pesos y sesgos son función de sus valores actuales y anteriores.
TRAINGDx	Es similar al entrenamiento TRAINGDA con la diferencia que en este método se emplea además un parámetro de momento.
TRAINR	Actualización incremental de orden aleatorio.
TRAINRP	Retro propagación con Resiliencia. Emplea el signo de la derivada de la función de ejecución para determinar el cambio en los pesos y sesgos, la magnitud de la derivada no se considera.
TRAINCGF	En los algoritmos de gradiente descendente conjugado se realiza una búsqueda a lo largo de direcciones conjugadas de decremento del gradiente para determinar la magnitud del cambio en los pesos y sesgos. En este caso se emplea la actualización mediante el método Fletcher-Reeves, en el cual se determina la dirección del cambio en base a la dirección de búsqueda de descenso de gradiente actual con la anterior.
TRAINCGP	Método de gradiente descendente conjugado con el algoritmo Polak-Ribière
TRAINCGB	Método de gradiente descendente conjugado empleando el método de restablecimiento de dirección de búsqueda Powell-Beale.
TRAINSCG	Emplea un gradiente conjugado escalado. Es el único algoritmo de gradiente conjugado que no requiere una línea de búsqueda.
TRAINBFG	Emplea métodos de Newton para el cálculo de las actualizaciones. Requiere almacenar una aproximación de la matriz Hessiana
TRAIPOSS	Método de la secante de un paso. Es una combinación de los métodos de gradiente conjugado y Newton.
TRAINLM	Algoritmo de Levenberg-Marquardt. Emplea modificaciones para disminuir el uso de memoria.
TRAINBR	Regulación Bayesiana. Modificación al algoritmo Levenberg-Marquardt.

Fuente: Sivanandam & Deepa (2006).

4.2.9.1 Aprendizaje Supervisado.

En el aprendizaje supervisado (aprender con un maestro), la adaptación sucede cuando el sistema compara directamente la salida que proporciona la red con la salida que se desearía obtener de dicha red. Existen tres tipos básicos: por corrección de error, por refuerzo y estocástico.

En el aprendizaje por corrección de error el entrenamiento consiste en presentar al sistema un conjunto de pares de datos, representando la entrada y la salida deseada para dicha entrada (este conjunto recibe el nombre de conjunto de entrenamiento). El objetivo, es minimizar el error entre la salida deseada y la salida que se obtiene.

El aprendizaje por refuerzo, es más lento que el anterior. No se dispone de un ejemplo completo del comportamiento deseado pues no se conoce la salida deseada exacta para cada entrada sino que se conoce el comportamiento de manera general para diferentes entradas. La relación entrada-salida, se realiza a través de un proceso de éxito o fracaso, produciendo este una señal de refuerzo que mide el buen funcionamiento del sistema. La función del supervisor es más la de un crítico que la de un maestro.

El aprendizaje estocástico consiste básicamente en realizar cambios aleatorios de los valores de los pesos y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado.

4.2.9.2. Aprendizaje no supervisado.

En el aprendizaje no supervisado (o auto supervisado), la red se sintoniza a las regularidades estadísticas de datos de entrada de forma tal que se formen categorías que optimizan, respecto a los parámetros libres de la red, una medida de calidad de la tarea que se quiere realizar con la red. El funcionamiento de estas redes se basa en la búsqueda de características, regularidades, correlaciones y categorías del conjunto de datos de entrada.

Existen diferentes interpretaciones que se le pueden dar a las salidas generadas por una red que utilice este tipo de aprendizaje: similaridad (semejanzas entre la información actual y la información pasada), clusterización (establecimiento de clases), codificación (versión codificada de las entradas) o mapeo (representación topográfica de los datos de entrada).

4.2.10 Ejemplos de aplicaciones

Aplicación de la inteligencia se ha extendido a la predicción de algunas propiedades, como elaboración de RNA para para estimar la profundidad de carbonatación en la minería, la permeabilidad de materiales, la dosificación de químicos, para la detección de daños estructurales, etc., pero con mayor asiduidad se emplean para especificar una dosificación adecuada de todos sus componentes con el fin de obtener una propiedad o característica deseada y el segundo como optimización de un componente en particular. A continuación analizaremos algunos métodos empleados en conjunto con sus resultados obtenidos

4.2.10.1 El uso de la lógica difusa para la potabilización de agua.

Este trabajo se realizó, en la planta Weisner ubicada en Bogotá – Colombia realizado por Duque Mauricio, Giraldo Eugenio, Martínez Alba Cristina, Gauthier Alain, y Villa José Luis, profesores y estudiantes de la Universidad de los Andes de Bogotá Colombia, en este trabajo se realiza una primera aproximación a la automatización de la dosificación de coagulantes, utilizando la lógica difusa para la generación del esquema de control, la aplicación de lógica difusa se propone ya que el modelamiento mediante ecuaciones diferenciales es bastante complejo y poco conocido, y sus operarios tiene conocimiento empírico para la operación manual .

El elemento básico para el análisis es el sulfato de aluminio ya que este se realiza de forma manual y la definición de las dosis se realiza mediante pruebas de jarras, las características del agua a ser potabilizada es buena, baja turbiedad, baja alcalinidad y alto color.

La dosificación del alumbre o sulfato de aluminio se realiza mediante una rueda de canjilones , la cual se compone de un motor de velocidad variable que hace girar una serie de canjilones que al pasar por su parte inferior se van llenando con la solución, la cual depositan en un elemento central donde escurre el flujo hasta el punto de aplicación , como se indica se considera un proceso de dinámica lenta (en el rango de los minutos) con perturbaciones y cambios de puntos de operación lentos , aspecto que permite un manejo manual de la dosificación, sin una clara señal objetivo. Se propone la mezcla de turbiedad, SCD y carrera de los filtros para definir adecuadamente la señal objetivo.

Se adquiere en el trabajo un equipo SCD (Streaming current detector), el cual toma una muestra continua de agua una vez dosificado el sulfato de aluminio y la introduce en el analizador, en el cual la muestra se mueve rápidamente hacia adelante y hacia atrás, los iones que rodean las partículas, son llevados cerca de la superficie la partícula y movidos a través de dos electrodos, se induce una diferencia de potencial entre los electrodos superior e inferior de la celda, el potencial resultante proporcional a la carga es procesado electrónicamente para dar una lectura de corriente del fluido en micro-amperios, el equipo permite analizar que mientras mayor es la carga del sistema mayor es la repulsión entre las partículas, de esta manera se conoce rápidamente el efecto de la dosificación.

El método a aplicarse fue la generación de un sistema de adquisición de datos para determinar la relación entre los factores el proceso, turbiedad de agua cruda y agua tratada, caudal, SCD, y se implementó una aplicación sobre Lab View, la cual toma señales de 4-20mA de los transmisores de los sensores respectivos y se guardan en un archivo tipo texto para su posterior evaluación.

Se tomó como valor de referencia la turbiedad del agua filtrada (TF*), la cual se compara con la turbiedad de agua real cada 4 minutos tiempo que según los datos tomados se alcanza a apreciar algún cambio luego de la variación de la dosificación. La salida comparación entre el valor deseado y el real de la turbidez del agua filtrada (eTF), se relaciona con el valor deseado de SCD mediante una función que en el caso presentado es una línea recta cuya pendiente y corte se pueden modificaren línea según el punto de operación requerido.

Una vez encontrado el valor de SCD*, en función del valor deseado eTF y el real de la de la turbiedad del agua filtrada, se realimenta el SCD real obteniendo el error de SCD (eSCD) y su variación (DESCD), estas dos últimas variables, junto con la variación de turbiedad de agua Cruda (DTC), son las entradas del control difuso, cuyo tiempo de muestreo es de 60 segundos.

Como ejemplo indican que si el valor medidos por el SCD es positivo grande y su variación es negativa y DTC es ceo, es decir que el valor real de SCD es más negativo que el deseado pero la variación de este error está disminuyendo y la turbiedad del agua cruda no está cambiando, entonces la orden es aumente un poco la dosificación.

Reglas como la antes mencionadas se generaron 175 reglas considerando las posibles combinaciones.

Por periodo de monitoreo en modo automático, el error de SCD de -0.0609 y varianza de 0.043 y en el caso de la turbiedad de agua filtrada se obtuvo un error promedio de -0.088 y varianza de 0.016 que es muy conveniente ya que es la variable que se desea controlar.

En caso del manejo del proceso de un operador, este no variara la dosificación de una forma tan fina ni a intervalos de tiempo tan seguidos, la decisión del operador consistirá en mantener la dosificación esperando ver resultados después de una o dos horas o cuando las condiciones de entrada cambien: en tal caso haría cambios más bruscos.

Se logró controlar adecuadamente la turbiedad del agua filtrada, optimizando la dosificación de coagulantes, en este caso el alumbre

Fue importante en la definición de reglas de control la participación de los expertos de la planta y el conocimiento de las normas de calidad del agua y del comportamiento químico del alumbre como agente coagulante.

Manejar tres variables a la entrada de un control de un control difuso cada una con varios conjuntos puede volverse muy complejo, ya que el número de reglas aumenta, aumentando a la vez la posibilidad de error al definir las. Esto puede ser de importancia en un futuro cuando se complementa el presente sistema con la medición y el control del pH del agua coagulada.

El trabajo se concentró en el control usando como variable como variable objetivo el valor medido por el SCD en el lazo rápido y la turbiedad en el lazo cerrado, el sistema se acoplo mediante una función lineal. Valido como una aproximación, esta relación lineal obtenida empíricamente debe ser validada o replanteada desde el marco teórico.

4.2.10.2 Redes Neuronales para el tratamiento del agua potable en zona de altitud del Perú.

Rojas & Pino (2013) nos muestran los siguientes datos:

En este trabajo se evaluó la dosificación de coagulantes utilizando redes neuronales artificiales en una planta de agua potable ubicada en Perú, a 3420msnm, donde la calidad al ingreso es inestable debido a precipitaciones fluviales que alteran sus propiedades físicoquímicas. Se utilizó la prueba de jarras para evaluar la dosis de coagulante (Al_2SO_4) considerando turbiedad, pH, conductividad y sólidos disueltos, con temperatura y caudal promedio a 10° y 148 l/s. los datos de once meses fueron utilizados para entrenar diversas topologías de redes siendo la regresión generalizada la que presento un rendimiento de 97.77% y evidencio que los factores más influyentes son los sólidos disueltos, la turbidez, la conductividad y el pH con 42.79, 32.43, 10.33 y 7.26% respectivamente.

Se utilizaron datos de pruebas de jarras realizadas en el laboratorio de aguas de la planta referida para los parámetros de agua de entrada, tales como pH, Turbiedad (NTU), color (UCV), conductividad y total de sólidos disueltos (TDS). S el proveedor del agua cruda Con una temperatura promedio de del agua en las operaciones fue de 10°C y el caudal promedio de trabajo 148 l/s. datos procesados en el periodo de julio del 2012 a mayo del 2013. El rio Shullcas es el proveedor del agua cruda.

Se desarrollaron pruebas de optimización de aplicación de coagulantes, para lo cual se aplicaron dosis diferentes de coagulantes en el laboratorio, en los diferentes tipos de muestras de agua de la planta controlando turbiedad, pH, color, conductividad y TDS, la prueba de jarras fue la elegida como alternativa principal y los resultados obtenidos se derivaron del proceso de entrenamiento de la red neuronal.

El programa usa un algoritmo de aprendizaje supervisado, el cual necesita un conjunto de datos, donde en cada grupo exista una salida esperada, para así poder aproximar una función que los relacione. A este conjunto de datos se les da el nombre de datos de entrenamiento, los que provendrán de los resultados de pruebas de jarras que se llevaran a cabo y de las dosis históricas registradas en pruebas de laboratorio de julio del 2012 a mayo del 2013, las propiedades físico químicas del agua cruda seleccionadas como entrada son: turbiedad, pH y conductividad, por su importancia en el proceso de cinética de coagulación, naturalmente la variable de salida es la dosis óptima de sulfato de aluminio (mg/l.)

Como resultados obtenidos en el trabajo indican que se utilizó el programa Neural Tools facilito la selección de una configuración de red, opción en la cual el software entrena y prueba todas las configuraciones de red marcadas, considerando el porcentaje de errores y el índice de determinación (variables estadísticas). Para este estudio se incluyeron redes GRN, PNY las redes MLFN, con cuentas de distintos nodos en la capa oculta. Así se logró disponer de modelos de los cuales Neural Tools selecciona el mejor. Basados en el error cuadrático generado y el porcentaje de predicciones incorrectas se analizaron los 3 mejores modelos tomando como base los datos diarios del mes de julio del 2012, a mayo del 2013, resultando ser la mejor red la de regresión generalizada.

En la parte de conclusiones, el trabajo expone que la red neuronal de regresión generalizada es la que tiene un mejor rendimiento, con un porcentaje de error del 2,24%, es decir con una asertividad de 97,77%, en la fase de entrenamiento para una adecuada respuesta de dosificación del coagulante. Los modelos de red neuronal pueden probarse constantemente y entrenarse de manera continua, con mayores datos históricos, en tanto que el modelo configurado permite hacer predicciones para nuevas entradas de las variables independientes, prescindiendo en momentos críticos de la prueba de jarras.

La red neuronal artificial GRN, permite tomar decisiones rápidas de dosificación ante cambios inesperados de turbiedad o pH, que se presentan cuando el efluente se altera, debido a las precipitaciones fluviales intempestivas que caen en la zona. Los factores más influyentes en la dosificación, de acuerdo con el modelo GRN, son los sólidos disueltos, la turbidez, la conductividad, el pH y el color. Estos factores influyen según su variabilidad y la desviación standard de sus medidas, en el ingreso a la planta de agua. La temperatura es un factor importante en el tratamiento de la coagulación y por las condiciones de altitud de la zona de estudio es 10°C de promedio anual. (pág 109 – 116)

4.2.10.3 Control automático del flujo de retroalimentación en una planta piloto para tratamiento de aguas residuales.

En estudio realizado por L. A. Muñoz y J. P. Oviedo (2012), Docentes de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Universidad cooperativa de Colombia UCC- sede de Ibagué se manifiesta lo siguiente:

En resumen el trabajo plantea la identificación y control del sistema de realimentación de flujo en una planta piloto de tratamiento de aguas residuales. En el proceso de identificación se utilizaron técnicas paramétricas, y no paramétricas (eyeball), Los métodos paramétricos utilizados son los modelos ARX, OE, BJ, sus características y comportamiento son evaluados. Una vez seleccionado el modelo que presenta mejor resultado se utiliza este para el diseño del controlador utilizando el método de auto sintonía de Ziegler – Nichols. El controlador es sintonizado utilizando el modelo identificado y finalmente su rendimiento es evaluado en el proceso real.

Esta planta recibe agua residual y pasa por un tanque primario para realizar una primera remoción de los sólidos suspendidos que se puedan encontrar, el material filtrado se envía al birreactor principal donde la carga orgánica del agua residual es reducida por medio de un proceso aerobio con lodos activados. Una vez procesada el agua residual es reducida por medio de un proceso aerobio con lodos activados, una vez procesada el agua esta pasa a un decantador con el objetivo de separar las partículas sólidas conformadas en su mayoría por microorganismos que se puedan encontrar en el efluente, parte del material se recircula para mantener una población constante en el biorreactor, y el restante es eliminado.

El sistema a identificar consta de una bomba peristáltica, un variador de frecuencia, un computador y una tarjeta de adquisición de datos, la señal de entrada del sistema es el voltaje del variador de frecuencia, la señal de salida del sistema es el flujo de recirculación el cual se mide por medio de una platina de orificio y un sensor de presión diferencial, para el proceso de

identificación se fijó un punto de operación de 1.2 l/m. se utilizaron 3 tipos de señales de entrada una señal PRBN, una señal aleatoria, y un tren de pulsos, el periodo de muestreo es de 1segundo, este periodo se escogió luego de aplicar una entrada de paso al sistema y calcular la constante de tiempo del mismo, una vez se tuvo la constante de tiempo esta se dividió entre 10 para obtener el periodo de muestreo, regla del pulgar.

Para los métodos de identificación, se utilizaron las reglas paramétricas y no paramétricas, los métodos no paramétricos se utilizó una prueba de paso unitario al sistema, ya que la respuesta semejaba el comportamiento de un sistema de segundo orden, el modelo se obtuvo mediante el ajuste de los parámetros de un modelo genérico de segundo orden de tal forma que la respuesta cumpliera con las especificaciones enunciadas anteriormente

Para los métodos paramétricos se utilizaron 4 modelos para la identificación del sistema, se los obtuvo del toolbox de identificación del software MATLAB®. Los modelos escogidos fueron el ARX, en donde la relación entre la entrada y la salida esta descrita por una ecuación lineal, el modelo OE, cuando la relación entre la entrada y la salida puede ser dada por una ecuación diferencial lineal y la perturbación existe de un ruido de medición blanco aditivo en la salida encontramos el modelo output error. Modelo Box Jenkins es una generalización del modelo OE, que se obtiene modelando más el error.

Resultados, se presentan los mejores resultados para cada uno de los métodos utilizados como su porcentaje de ajuste con respecto a los datos utilizados, el mejor ajuste lo da el modelo OE con un 68.91%, seguido luego por el Modelo ARX con un 66.32% luego el Box Jenkin con un 64.89% y finalmente con el eyeball con un 45%,

Conclusiones, Los métodos de identificación paramétricos ofrecen un mejor resultado comparado con los métodos de identificación no paramétricos , esto se debe a que los métodos no paramétricos se limitan a justar una respuesta de un sistema a formas estándares mientras que los métodos paramétricos son más flexibles utilizan todos los datos de entrenamiento mientras que los no paramétricos se limitan a ciertas características de la respuesta, lo que genera que los errores que se presenten sean mayores

4.2.10.4. Modelo de predicción de demanda del sector residencial de la ciudad de Loja.

Cabrera (2013), egresado de la Universidad Nacional de Loja, en su Tesis de Grado resume lo siguiente al respecto del tema:

Resultados del diseño de un modelo de predicción de demanda eléctrica del sector residencial de la ciudad de Loja, en un sector que por las características de los usuarios se lo considera como residencial.

Metodología, para la creación de modelo de predicción se consideraron métodos No lineales, basados en redes neuronales artificiales (RNA), seleccionando la arquitectura no lineal auto regresiva, dicha arquitectura posibilita la predicción de serie temporales, contando únicamente con la serie de datos histórica, proporcionada por la Empresa eléctrica regional del Sur (EERSSA).

Para llegar a determinar la base de datos que alimenten las entradas de la RNA, se realizó el procesamiento integral de la base de datos, llegando a eliminar datos y en algunos casos se efectuó el suavizado de la curva de datos obtenida.

El proceso de validación y prueba del modelo de predicción de demanda eléctrica, se comprobó que los resultados obtenidos por la RNA seleccionada para cada predicción, se ajusta a las métricas planteadas previo al proceso de diseño.

Para el desarrollo de la investigación se hizo uso del software de ingeniería Mat Lab para el desarrollo del proceso de creación del modelo predictivo a través de RNA.

Resultados, la red fue diseñada para predecir la curva de demanda de un día, dándole como parámetros de entrada la curva de demanda del día anterior al pronóstico y la curva de demanda que se desea pronosticar pero de una semana anterior.

Se analizan por separado los valores de las curvas de potencia activa y potencia reactiva.

El coeficiente de correlación R obtenido a la salida del proceso de potencia reactiva es del 94% y de la potencia activa es del 98%

El modelo obtenido se clasifica como modelo de predicción a corto plazo, es decir la predicción de potencia se proyecta al día siguiente, el modelo desarrollado podría ser utilizado para predecir semanas, inclusive años de demanda más la exactitud y consistencia de los datos no se garantizan debido a que los datos de la serie temporal es de cerca de un año para el proceso de entrenamiento evaluación y testeo, la red se basa en patrones y tendencias de los datos, si los datos son de un año es capaz de predecir la potencia en intervalos de tiempo dentro de dicho año.

4.3 Conclusiones revisión de literatura

- Para determinar que el agua en su estado natural es apta para el proceso de tratamiento para consumo humano, se realizaron análisis físico químicos en el laboratorio de Carigán y se determinó la concordancia de los resultados entre los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico del agua captada en Tambo Blanco y contrastado con los parámetros establecidos en la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, emitido por la presidencia de la república del Ecuador. Determinando que el efluente es apto para un tratamiento convencional para el consumo humano.
- Las características físicas del agua, son aquellas que pueden impresionar a los sentidos y tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas del agua, se consideran importantes características físicas a la turbiedad; solidos solubles e insolubles, color, olor, sabor; temperatura, y pH.
- El objetivo del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son tanto higiénicos en la que se debe erradicar bacterias, elementos venenosos, compuestos orgánicos, protozoarios y microorganismos, como estéticos corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor. Económicos reducir costos de producción, consumo innecesario de químicos y coadyuvantes de floculación para esto el proceso de coagulación es el punto neurálgico del tratamiento del agua. En él se acondiciona el agua de tal forma que los procesos posteriores de limpieza, en donde, propiamente dicho, se remueven las impurezas, puedan realizar su función adecuadamente. Si la coagulación no funciona adecuadamente, tampoco funcionan adecuadamente los procesos posteriores, es por esto que, se analizan los coagulantes utilizados convencionalmente en el tratamiento y se determinan que la coagulación depende de la adecuada dosificación de sulfato y Cal , considerando que el pH del agua en tratamiento influye directamente con el color del agua de salida

- Las redes neuronales artificiales (RNA) pueden ser vistas como un gran sistema dinámico en paralelo, que puede realizar transformaciones por medio de respuesta de estado de su información de entrada. Como se lleva a cabo la transformación, depende del modelo de la RNA y de su forma de aprehender la transformación, el área de aplicación más natural de las RNA son obviamente las tareas en las cuales se deben obtener las transformaciones apropiadas de ciertas entradas a ciertas salidas, pero las transformaciones no pueden ser descubiertas analíticamente, debido a la variedad de factores involucrados en ellas como es el caso del tratamiento del agua potable que es un sistema multivariable, la RNA es capaz de aprender a partir de un conjunto de parejas de datos entrada-salida sin necesidad de conocer las características del problema de tal forma que sea capaz de generar un mapa de entrada-salida para después poder reproducir casos no representados en el conjunto de datos original y tienen la cualidad de aprender a realizar tareas a partir de un entrenamiento, debido a la capacidad de auto-ajuste de los elementos de procesado (neuronas) que componen el sistema.
- Se analizan algunos trabajos en la utilización de redes neuronales aplicadas al tratamiento de Agua potable y otros ámbitos que permiten determinar técnicas de modelación que puedan proporcionar una representación confiable, eficiente y precisa de la dinámica no lineal de la calidad del agua en los sistemas de distribución de agua, determinando que el tipo de aprendizaje en que se ha enfocado el presente trabajo será de tipo supervisado.
- El MATLAB® (Matrix Laboratory), es un software ideal para la modelación aplicando redes neuronales ya que posee bibliotecas que cuenta con un número interesante de algoritmos de entrenamiento para las RNA, que nos ayudara a la adecuada selección del modelo a implementarse en el presente trabajo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Previo al desarrollo del modelo matemático basado en redes neuronales debemos estructurar o validar una metodología probada y ejecutada que sirva como base para la adecuada obtención del modelo.

Luego de una búsqueda en trabajos similares se ha encontrado una metodología para la determinación de un modelo de predicción en la utilización de RNA y se establece como base para presente trabajo.

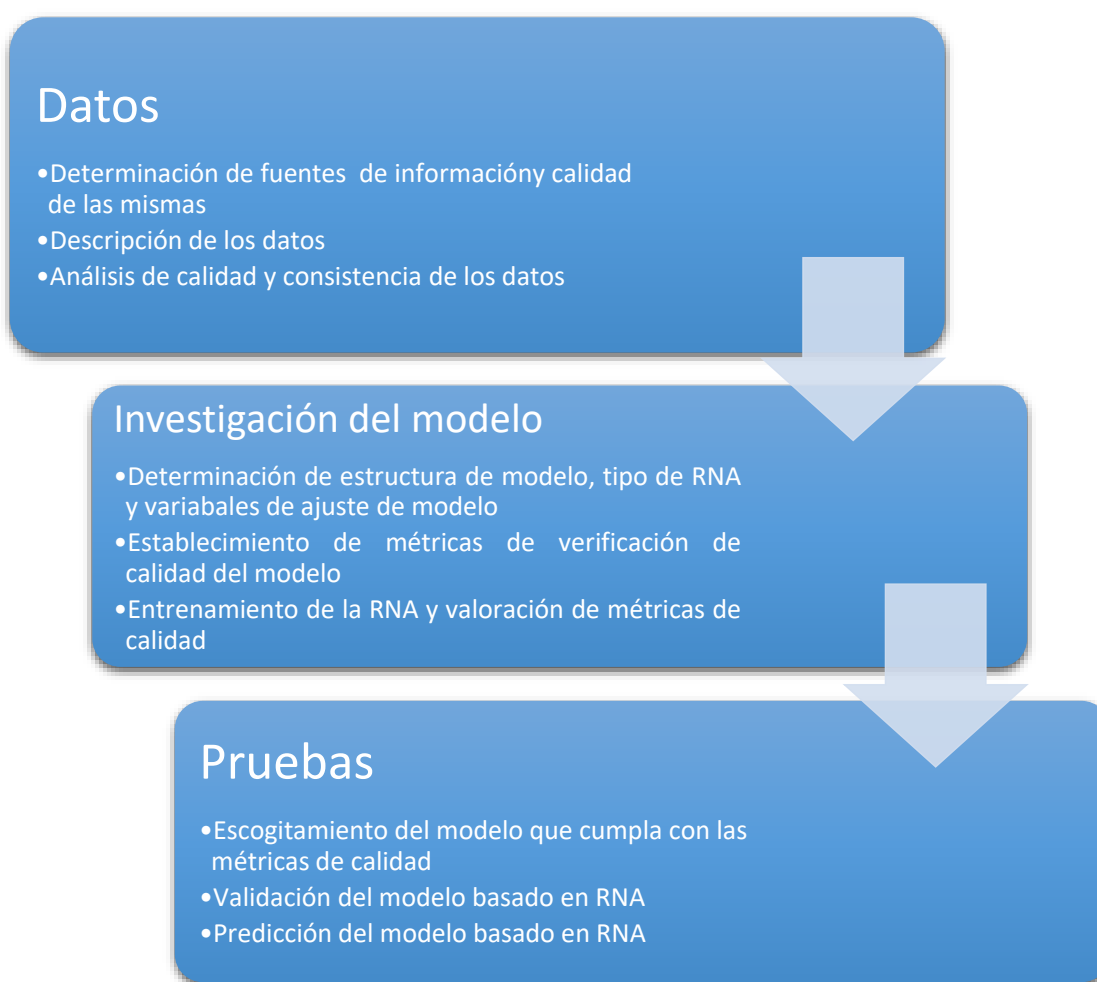


Figura 12. Metodología para la creación de un modelo de predicción basado en RNA,

Fuente: (Cabrera, 2013)

5.1 Datos

5.1.1 Determinación de fuentes de información y calidad de las mismas.

Los datos obtenidos para el desarrollo del modelo de predicción usando RNA fueron obtenidos del histórico de datos del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable “Carigán” de la ciudad de Loja, de la Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL), perteneciente al Municipio de Loja, los datos proporcionados corresponden a los meses comprendidos entre los años del 2014-2015-2016, en la planta de tratamiento se trabaja en el laboratorio en periodos de 8 horas diarias y las mediciones se realizan con un intervalo de tiempo de 1 hora, el proceso desde que el agua ingresa a la planta de tratamiento hasta que sale a la distribución completamente potabilizada es aproximado a 45 minutos por eso el rango de mediciones.

Cabe resaltar que los datos muestreados cada hora son particulares no dependen de lo que sucedió en la toma de muestra anterior ya que las características son completamente nuevas, sirven como una referencia pero lo adecuado es la valoración de características en laboratorio y aquí nace la necesidad del presente proyecto un método que permita utilizar los datos validados en laboratorio en el periodo en el que no funciona el mismo y los operadores aplican apreciaciones visuales la descripción de datos se puede observar en la tabla # 10, algunos datos no fueron ingresados ya que sus valores en el periodo diario de trabajo no se realizaron sea por falta del personal de laboratorio (no trabajan los fines de semana) o por desperfectos en los equipos de medición.

Tabla 10.

Descripción de Datos de Entrenamiento

Empresa	UMAPAL
Planta de Tratamiento	<i>Carigán</i>
Fecha de inicio	<i>01/07/2014</i>
Hora de inicio diario	<i>08:00</i>
Hora de terminación diario	<i>17:00</i>
Fecha de termino	<i>30/04/2016</i>
Hora de termino	<i>17:00</i>
Periodo de muestreo	<i>1 Hora</i>
Muestras	<i>4244</i>

5.1.1.1 Equipos de Laboratorio

Para determinar la calidad de los datos obtenidos en el laboratorio, debemos analizar los equipos instalados en el mismo. (Se anexa certificación de calibración de equipos HACH)

- **Espectrofotómetro**

Un espectrofotómetro es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra

Marca: HACH, Modelo: DR2800, características generales: posee más de 240 métodos de análisis predeterminados, utiliza lámpara de tungsteno, usb para extracción de datos, calibración de longitud de onda automático, almacenamiento de datos 500 puntos, condiciones de operación: 10-40°C, 80% de humedad relativa sin condensación, exactitud de la onda: $\pm 1.5\text{nm}$, interfaz de usuario multilinguaje, modo de operación: transmitancia (%), absorbancia y concentración, rango de longitud onda 340-900nm, selección de longitud de onda automático basado en métodos programados, manual todo tipo con excepción de los preinstalados, sistema óptico: haz de referencia espectral.

Este equipo permite la lectura de los siguientes parámetros, color, Aluminio, hierro total, hierro ferroso cobre, cromo hexavalente, sulfatos sulfuros, nitritos, nitratos, N-amoniaco, cloruros, fosfatos, bario manganeso, cadmio, zinc, y plata. Esto se representa en la figura 13.



Figura 13. Espectrofotómetro

- **Turbidímetro**

Un nefelómetro es un instrumento para medir partículas suspendidas en un líquido. Esto lo hace empleando una fotocelda colocada en un ángulo de 90° con respecto a una fuente luminosa. La densidad de partículas es entonces una función de la luz reflejada por las partículas a la fotocelda.

Marca: Hach, modelo: 2100AN, características generales, absorbancia: 0.001Abs, en el rango más bajo, Caudal de muestra 30mL con cubeta de 25mm, certificaciones de conformidad UL/CSA, condiciones de almacenamiento: -40°C hasta 60°C, exactitud : $\pm 2\%$ de la lectura más 0.01 de 0 a 1000NTU, $\pm 5\%$ de la lectura de 1000 a 4000NTU y $\pm 10\%$ de 4000NTU-10000NTU, humedad operativa máxima 90%, interfaz de comunicación : Rs232, modo de medición: NTU, Nephelo, EBC, ABS, %T, Color, ASC ,normativa: Método USEPA 180.1

Rango de medición: 0-10000FNU, 0-100000 NTU, rango de temperatura de operación: 0 - 40 °C, repetibilidad: $\pm 1\%$ de la lectura o $\pm 0,01$ NTU, lo que sea mayor, Resolución: 0.001 en el rango más bajo, Tiempo de respuesta: 6.8 s, equipo de uso exclusivo de laboratorio

Su función como su nombre lo indica determina la turbidez del agua y se puede observar en la figura 14.



Figura 14. Turbidimetro

- **Conductimetro**

El Conductimetro es un aparato que mide la resistencia eléctrica que ejerce el volumen de una disolución encerrado entre los dos electrodos.

Marca: Hach, modelo: sesión + EC71, características generales, temperatura de almacenamiento -15 a +65 °C, temperatura de funcionamiento 0a40°C, humedad de funcionamiento: < a 80% sin condensación, error de medición (± 1 dígito) \leq conductividad: $\pm 0.1\%$, salinidad/TDS $\leq 0,5\%$, temperatura: $\leq 0,2$ °C, reproductividad (± 1 dígito) conductividad: $\pm 0.1\%$, salinidad/TDS $\pm 0,1\%$, temperatura: $\pm 0,1$ °C, capacidad de almacenamiento 330 resultados y 9 ultimas calibraciones, comunicación mediante puerto RS232C, sonda de temperatura PT100, certificación CE (Conformité Européen)

Al igual que en el caso anterior este equipo mide exclusivamente la conductividad en el agua, como puede observarse en la figura 15.



Figura 15. Conductímetro

- **pH-metro**

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones.

Marca: CRISOM, modelo: pH METER BASIC 20, características generales:

Escalas: -2-16pH, $\pm 2000\text{mV}$, escalas de medición: -2-16 pH, $\pm 2000\text{mV}$ y -20 a 150°C , resolución 0,01pH. 1 mV, $0,1^\circ\text{C}$, error de medida(± 1 dígito): $\leq 0,01$ pH, ≤ 1 mV, $\leq 0,2^\circ\text{C}$, compensación automática de temperatura por teclado o con sonda de temperatura pt100, calibración de pH con 1,2 o 3 tampones seleccionables dentro de la gama, reconocimiento automático de tampones técnicos, pH 2.00, 4.01, 7.00, 9.21, 10.90 (valores a 25°C), programación automática entre 0 y 7 días, frecuencia de calibración entre 0 y 7 días, aviso automático de re-calibración, rechazo de electrodos en mal estado, aceptación de calibración de pH: potencial de asimetría ± 58 mV, pendiente 41^a 62 mV/pH, a 25°C (sensibilidad 70 a 105%), calibración a mV automático para patrón 220mV a 25°C , modos de lectura por estabilidad y en continuo.

Este equipo es de uso exclusivo para determinación de pH en el agua, se observa en la figura 16.

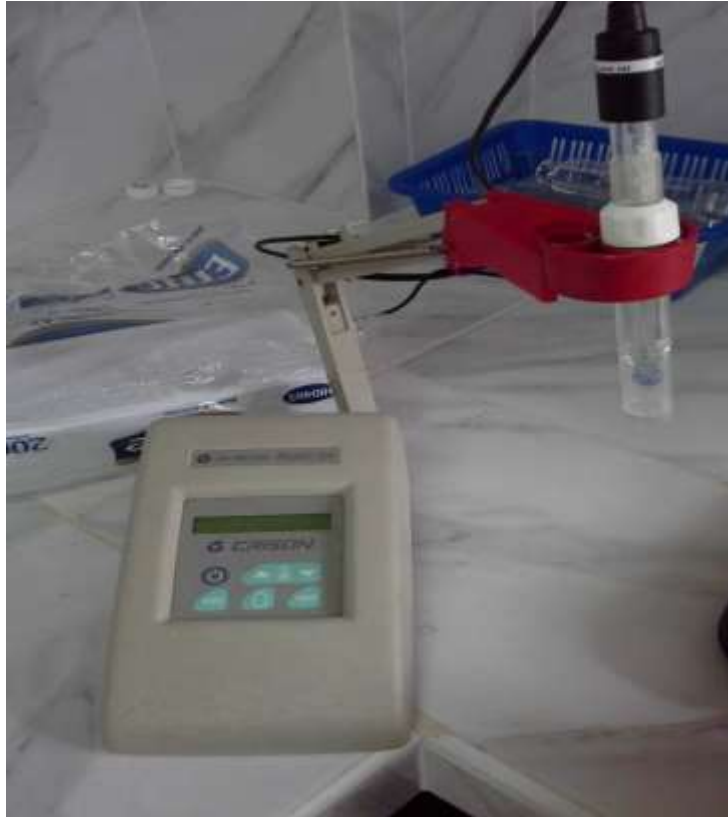


Figura 16. pH metro

- **Multiparametros:**

Marca: Hach, modelo: HQ40D, características generales, almacenamiento 500 resultados, permite medir pH, Conductividad y OD, Calibración de conductividad: Demal (1 D/0,1 D/0,01 D); molar (0,1 M/0,01 M/0,001 M), NaCl (0,05%; 25 μ S/cm; 1000 μ S/cm; 18 mS/cm), calibración del electrodo de pH en 5 puntos, calibración del electrodo específica para su utilización, certificaciones de calidad : CE, compensación automática de temperatura para pH, condiciones de trabajo: humedad relativa 90% sin condensación, temperatura 0-60°C, 2 entradas M12 digitales para sondas INTELLICAL, exactitud de la conductividad: ± 0.5 % dentro del rango (de 1 μ S/cm a 200 mS/cm), exactitud de la temperatura: ± 0.3 °C, exactitud de pH: ± 0.002 pH, exactitud mV: ± 0.1 mV, multilenguaje , alerta de calibración : 2 horas a 7 días,

Medición de pH: 0 - 14 pH, Medición de presión barométrica: para la compensación automática de DO, Medición de resistividad: 2.5 Ω cm - 49 M Ω cm, medición directa ISE: según el electrodo, mediciones simultáneas: 2 canales simultáneamente, rango de medición: -1500 - 1500 mV, rango de medición de la Conductividad: 0.01 μ S/cm to 200 mS/cm, rango de medición de la temperatura: -10 - 110 $^{\circ}$ C, rango de medición de salinidad: 0 - 42 g/kg, rango de medición de TDS: 0.0 - 50.0 mg/L, rango de Medición mV: -1500 - 1500 mV, rango medición OD: 0.00 - 20.0 mg/L DO luminiscente, resolución: \pm 0.5 % dentro del rango (de 1 μ S/cm a 200 mS/cm) 0.1/ 0.01/ 0.001, resolución de la Conductividad: Cinco dígitos con dos dígitos después de la coma decimal, Resolución de la salinidad: 0.01 ppt, Resolución de pH: Puede seleccionarse entre 0.001 y 0.1 pH, resolución de temperatura: 0.1 $^{\circ}$ C, resolución mV: 0.1 mV, resolución OD: 0.01 mg/L o 0.1 % Saturación de DO.

Este equipo permite 2 lecturas simultaneas en este momento se verifican los valores de pH y conductividad de los otros 2 equipos descritos anteriormente y se lo puede visualizar en la figura. 17.



Figura 17. Multiparámetros

- **Prueba de Jarras:**

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor

Marca: Phipps and bird, números de agitadores 6, capacidad de los vasos de 1 litro, rango de regulación de rpm 1-300, tiempo de trabajo de 0 a 59 minutos.59 segundos
Se puede apreciar este equipo en la figura 18.



Figura 18. Prueba de Jarras

5.1.2 Equipos y materiales para análisis microbiológicos.

En los análisis microbiológicos se determina la siguiente información:

Tabla 11

Cultivos para análisis microbiológicos

Tipo de análisis	Medio de cultivo
Coliformes totales	M-endo
Coliformes fecales	M-fc
e-coli (Escherichia coli)	Coli blue
Bacterias	TGE
pseudomonas	Pseudomonas
Mohos	M green
levaduras	M green

En esta etapa se utiliza la rampa de filtración, que permiten conducir la muestra a través de una membrana, la cual retiene los microorganismos que se van a cultivar con la ayuda de su respectivo medio, además una vez obtenida la muestra y adicionada el medio de cultivo se debe llevar la muestras a una incubadora, permitiendo generar las temperaturas adecuadas para el desarrollo de los cultivos y por el tiempo determinado para cada uno de los análisis requeridos, lo antes mencionado se puede observar en las figuras 19, 20, 21, 22.



Figura 19. Membranas de Cultivo



Figura 20. Medios de Cultivo



Figura 21. Rampa de Filtración



Figura 22. Incubadora

5.1.3 Descripción de los datos

En este punto se hace necesario analizar los datos de entrada y verificar si existe una correspondencia en algunas de ellas que nos facilite la ejecución de los datos que van a ser ingresados a la RNA para la búsqueda del modelo matemático.

Color de entrada vs Turbiedad de entrada

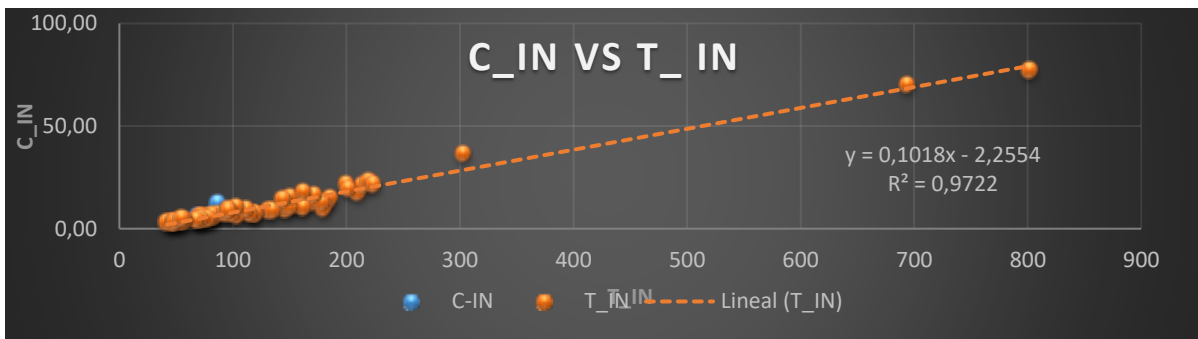


Figura 23. Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Turbiedad de entrada

Color Vs Caudal

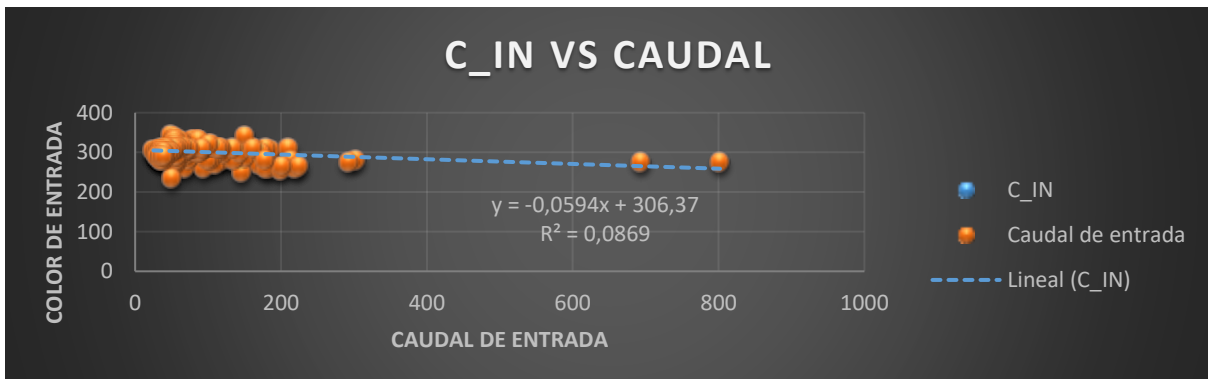


Figura 24. Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Caudal de entrada

Color vs pH entrada

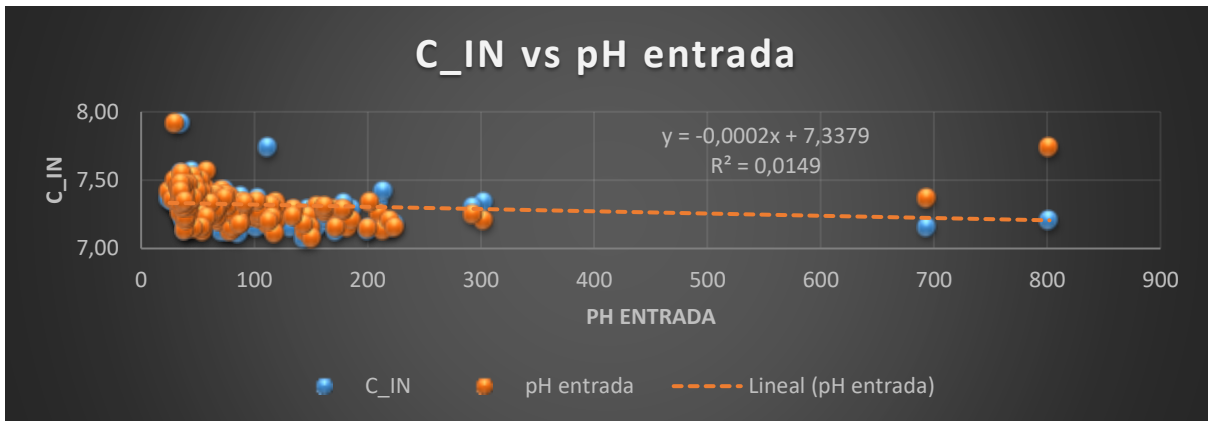


Figura 25. Gráfica de datos de color de entrada vs datos de pH de entrada

Color de entrada vs Alcalinidad



Figura 26. Gráfica de datos de color de entrada vs datos de Alcalinidad de entrada

Turbiedad vs pH

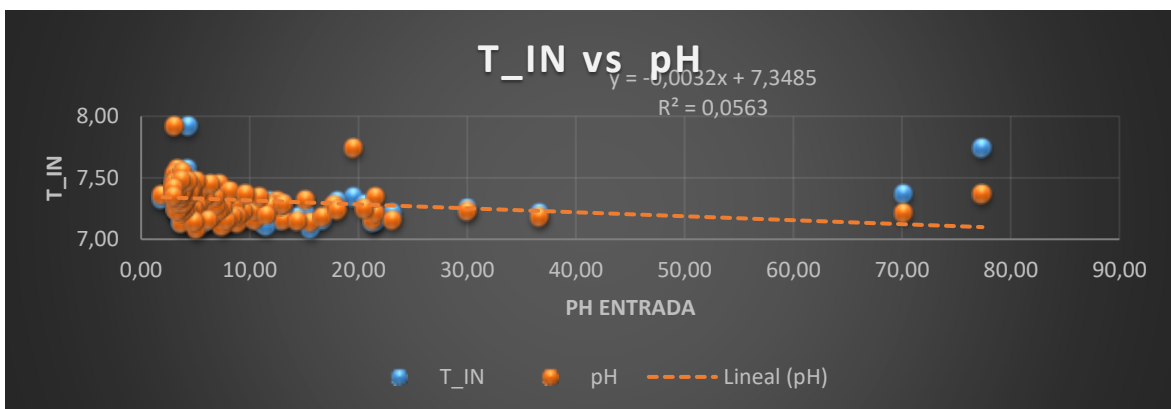


Figura 27. Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de pH de entrada

Turbiedad vs Caudal

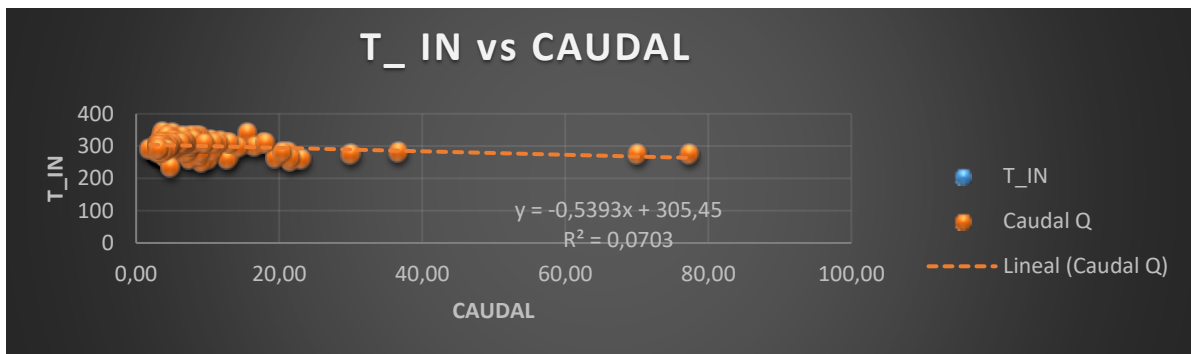


Figura 28. Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de Caudal de entrada

Turbiedad vs Alcalinidad



Figura 29. Gráfica de datos de Turbiedad de entrada vs datos de Alcalinidad de entrada

pH vs Alcalinidad

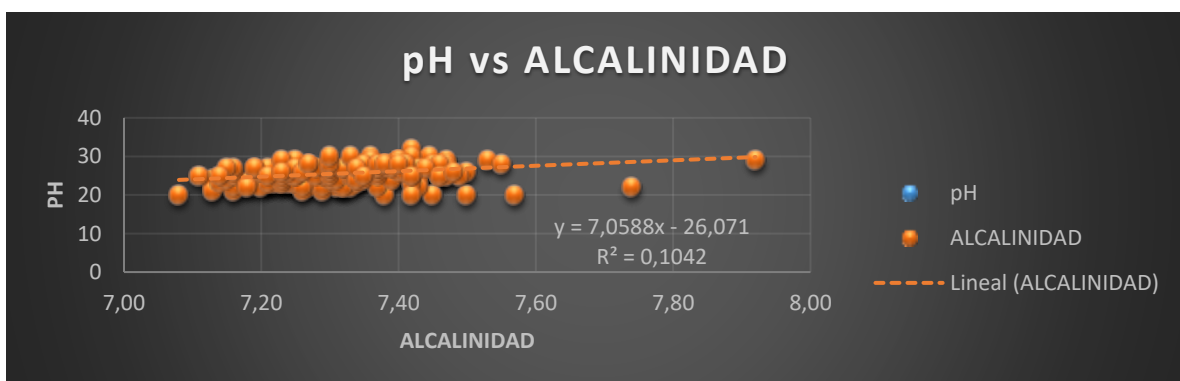


Figura 30. Gráfica de datos de pH de entrada vs datos de alcalinidad de entrada

pH vs Caudal

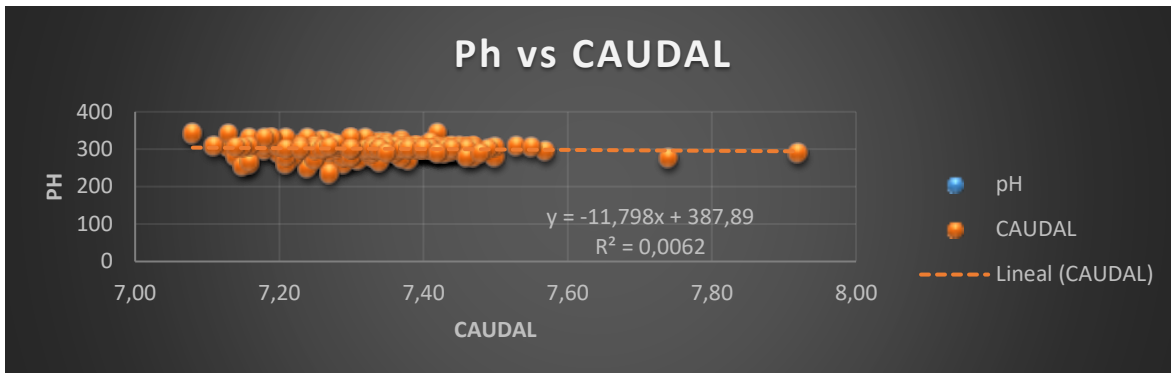


Figura 31. Gráfica de datos de pH de entrada vs datos de Caudal de entrada

Alcalinidad vs Caudal

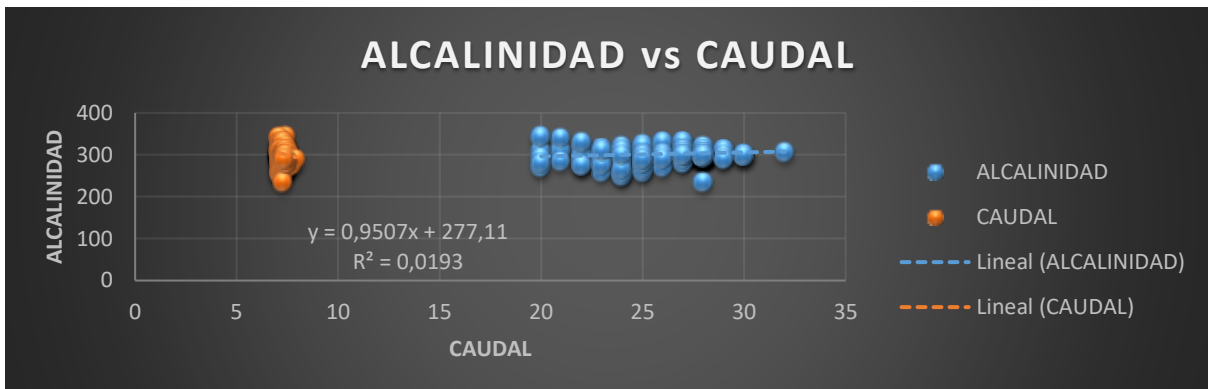


Figura 32. Gráfica de datos de Alcalinidad de entrada vs datos de Caudal de entrada

Luego del análisis de las gráficas de contraste entre los parámetros de entrada actuantes en el proceso y verificación del alguna linealidad a través de un coeficiente de reproductividad. Se concluye que la única relación en este contraste de parámetros, se da entre el color de entrada y la turbidez de entrada se puede apreciar en la Figura 23, en el resto de parámetros no existe una correlación que nos indique un comportamiento lineal entre parámetros y sus resultados se pueden apreciar en las fig. 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32

El porqué de la contratación de estos parámetros nace de la forma de llevar los históricos en la planta de tratamiento de Carigán, entre sus archivos históricos existe una hoja Excel denominada control de procesos, que permite mantener el control cada hora de las características del agua tanto cruda como distribuida, esta hoja y su

manejo adecuado permite establecer la dosificación adecuada de químicos al agua cruda y se la aprecia en la figura 33 que se expone a continuación:

HORA	COLOR U Pt Co		TURBIEDAD NTU		pH		ALCALINIDAD %		CAUDAL TRATADO (m³)	DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS			
	CRUDA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DISTRIBUIDA		SULFATO (m³)	CAL (m³)	POLIMERO (m³)	CLORO (kg/h)
08:00	69	18	4.55	1.87	7.27	6.79	24	17	260	250	0	70	1.2
09:00	83	7	6.07	0.91	7.16	6.55	25	15	320	250	0	70	1.4
10:00	87	5	7.39	0.82	7.19	6.75	25	16	310	250	0	70	1.4
08:00	162	0	12.60	0.16	7.27	6.52	22	13	305	300	0	70	1.4
09:00	155	0	11.90	0.23	7.31	6.55	22	13	300	350	0	70	1.4
10:00	170	0	13.10	0.41	7.29	6.26	24	12	270	350	0	70	1.4

Figura 33. Historicos de Planta Carigán Control de Proceso

Ahora llevamos los datos históricos del laboratorio de “Planta Carigán”, que se encuentran en formato Excel a un archivo que sea comprendido por el software a ser utilizado en el caso de la presente MATLAB®, para adquirirlos:

Se abre el archivo Excel y a través del MATLAB®, mediante el comando import data se extrae la columna que indique la variable correspondiente.

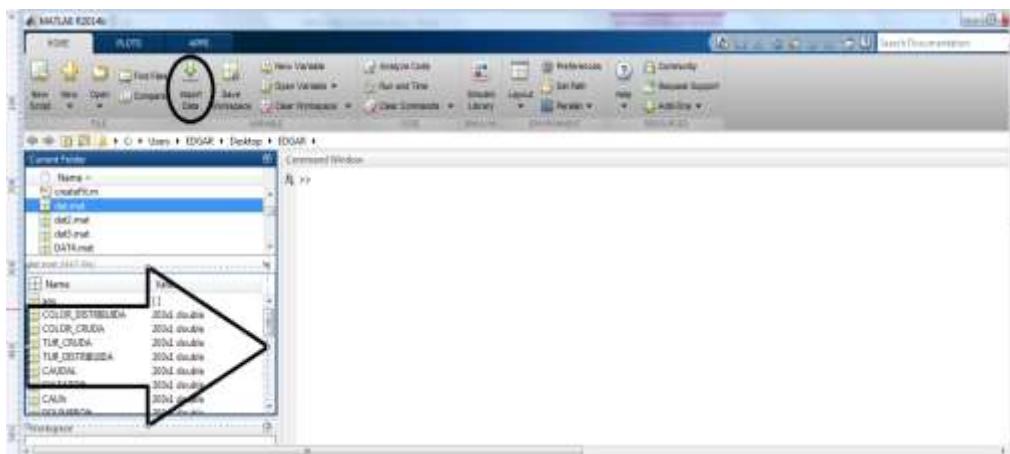


Figura 34. Importación de datos históricos de Planta Carigán a MATLAB®

El histórico de datos de proceso de laboratorio de Planta Carigán usado en el presente trabajo corresponde al control realizado cada hora por el periodo de 20 meses correspondientes a los años 2014-2015- 2016, ya que los datos expuestos en la hoja de control de procesos, permite establecer la dosificación adecuada de químicos al agua cruda para el adecuado proceso de potabilización objetivo del presente trabajo.

5.1.4 Análisis de calidad y consistencia de los datos

En todo grupo de datos existen los valores atípicos o en ingles outlier, que es un valor numéricamente distante del resto de los datos. Las estadísticas derivadas de los conjuntos de datos que incluyen valores atípicos serán frecuentemente engañosas generando que la calidad de los datos disminuya, dentro del proceso de medición se consideran los errores inherentes al proceso en sí mismo, a fallas en calibración de sensores de proceso de planta o fenómenos climatológicos exógenas al tratamiento, al generarse datos atípicos, deben ser removidos para avalar la calidad de la RNA y reducir la complejidad en el entrenamiento de la misma.

Para poder eliminar los valores atípicos, debemos establecer límites de confianza para la estabilidad de los datos obtenidos, en esta etapa utilizaremos un proceso estadístico el cual permitirá filtrar el 95% de los datos, considerando un $\pm 5\%$ como valores atípicos que estén más alejados de a media.

Para esto aplicaremos 2 desviaciones estándar de la media, que nos permitirá reunir dentro del límite impuesto la mayor cantidad de datos que siguen una tendencia.

Para el proceso de eliminación se utilizó la función **MoveOutLi.m**, tomada de la tesis de “Modelo de Predicción de Demanda del Sector Residencial de la Ciudad de Loja, Ing. Juan Pablo Cabrera , 2012 “ que colocamos en el anexo 5 del presente trabajo.

En la función **MoveOutLi.m**, se toma un valor representativo para nuestro trabajo en este caso un parámetro físico como es el color de entrada.

Damos un Nombre al vector de trabajo resultante, determinamos el número máximo de repeticiones de un mismo valor en el volumen de datos, determinamos el promedio de los datos ingresados para determinar la tendencia central y le aplicamos las 2

desviaciones standard propuestas, marcamos los límites de datos tanto positivos como negativos, en el caso actual de la data únicamente es positiva pero se generara el limite negativo como un valor no representativo, además se marcan los valores atípicos para su posterior exclusión sin que afecten al grueso de la data, finalmente realizamos la exclusión de los datos atípicos , garantizando la calidad de la data procesada.

C_in = matriz 4244 X 1 (datos adquiridos del histórico de laboratorio de planta Carigán que corresponden a 20 meses de los año 2014-2015-2016).

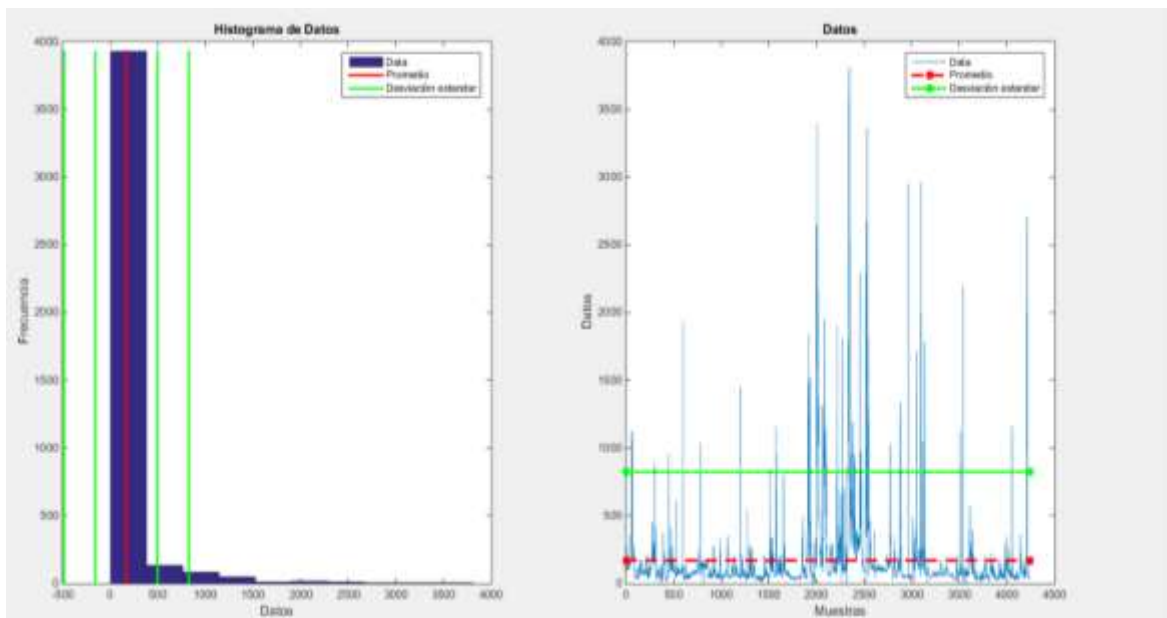


Figura 35. Uso de MoveOutLi.m determinación de outliers

Como se puede observar los datos de nuestra matriz C_IN [4244 x 1] pasa a ser una matriz de Cin_Pro [4096X1], mostrándonos que únicamente se extraen 148 muestras de las 4244, que corresponden aproximadamente al 3,49 % de la data, observándose que existe una evidente consistencia en los datos obtenidos en el laboratorio y las gráficas obtenidas por el uso de esta función se refleja en figura 35.

En este punto se analiza la relación existente entre las variables de entrada de los datos y los parámetros que deseamos analizar en este caso, los parámetros físicos son los que vamos a tratar en el presente trabajo dada su importancia en la aceptación de la ciudadanía.

Consultando con los laboratoristas de UMAPAL que trabajan actualmente en planta Carigán, Ing. Janneth Ordoñez y Dr. Adalberto Gallo, quienes realizan toma de muestras en red en los diferentes barrios de la ciudad alimentados a través de las líneas de distribución que nacen de planta, nos indican que los factores preponderantes que la ciudadanía asocia con calidad es el color, si es un poco amarilla o blanquecina no tiene calidad y si existe un sedimento en el agua que han recibido en sus casa esa agua tampoco posee calidad y las denuncias que los mismos reciben en las plantas de tratamiento y oficinas de UMAPAL, son especialmente por estos dos factores.

A criterio de la Ing. Ordoñez, “las características físicas o visuales del agua juegan un factor preponderante en el momento de calificar el agua por parte de la ciudadanía, sin embargo se indica a cada uno de los dueños de los domicilios monitoreados, que se deben tomar muestras de agua para analizar parámetros físicos químicos, como microbiológicos en el laboratorio para determinar verdaderamente la calidad del agua misma que debe estar dentro de límites máximos permisibles que constan en la norma INEN 1108, al analizar solamente color y turbiedad determinamos una falencia en el tratamiento del agua si existiera, que ayuda a mantener la calidad del agua tratada dentro de los parámetros de la norma antes mencionada.”

El tratamiento del agua es un conjunto complejo de procesos multi-variables, en mi experiencia de más de 10 años, trabajando en mantenimiento de plantas de tratamiento, en especial en equipamiento electromecánico, muchas veces me he visto obligado a colaborar en procesos de tratamiento y justamente nos fijamos mucho en el color de las piscinas en las fases de tratamiento, la turbiedad del agua a la salida y el color de salida del agua a ser distribuida, en la aplicación del cloro gas, siempre se ha indicado tener mucho cuidado de inyectar cloro con colores de salida elevados ya que generaremos trihalometanos, con las consecuencias que menciona A.SÁNCHEZ ZAFRA, Efectos de los trihalometanos sobre la salud, Hig. Sanid. Ambient.8:280-290(2008), “La desinfección del agua mediante cloración es una práctica habitual, Ahora bien, en presencia de materia orgánica se producen THMs clorados, y en los últimos años se ha producido una acumulación de datos que evidencian que la exposición a THMs, se asocia con un mayor riesgo de cáncer, sobre todo de vejiga, y a

trastornos de la reproducción” , no desmerecemos ni desestimamos el resto de los procesos generados en el tratamiento, decantación, filtrado o desinfección solo consideramos que el corazón del tratamiento se encuentra en la coagulación y la respuesta en la ciudadanía va hacia los parámetros físicos del agua particularmente color y turbidez , ya que elementos como el cloro , bacterias, minerales, etc., no pueden ser apreciados como lo indicaba la Ing. Ordoñez en párrafos anteriores solo en laboratorio pero lo observable es el indicativo para el consumidor de la calidad.

Si partimos que sin una adecuada coagulación el resto del proceso se ve afectado, se potabilizara un agua con color y residuos por lo que genera el rechazo de la misma por la ciudadanía así esta cumpla con los valores límites de la norma INEN-1108, los elementos que influyen en esta etapa son las dosificaciones de Cal y sulfato y su efecto desestabilizador de partículas así como lo observamos en la revisión de literatura la relación directa que posee el pH dela agua con el color a la salida del tratamiento.

Es por lo expuesto y observado en los párrafos y gráficos anteriores que el color de entrada será nuestra variable determinante, incluso por su relación directa con el pH, que también rige a la dosificación de cal, pero de todas las variables de entrada con cual se relaciona, por experiencia el personal de laboratorio que labora por más de 5 años en el caso de la Ing. Ordoñez y más de 20 años en el caso del Dr. Adalberto Gallo nos indica que hay una relación directa entre el color y la turbidez que se ha comprobado con el contratos de los datos de los 2 parámetros de la gráfica C_IN vs T_IN . Expuesta anteriormente con un índice de correlación de más del 97%.

Esta correlación permite considerar que si un dato de color de ingreso de forma errada o por un fenómeno exógeno, mala calibración del equipo de medición, afectara directamente al dato de Turbidez y por ende las dosificaciones de cal y sulfato no serán adecuadas al tratarse de un fenómeno anormal afectando al tratamiento de potabilización.

Se considera entonces realizar el filtrado de los valores atípicos del color y por su referencia el valor correspondiente a la posición del mismo valor en la matriz turbidez,

cal y sulfato que identificamos y marcamos mediante el uso de la función ***MoveOutLi.m***.

Una vez procesados los datos procedemos a generar nuestras matrices de entrada y salida.

En el presente caso la alimentación que daremos a la red son los datos procesados de color y turbidez y la salida a obtener de la red neuronal es la dosificación de sulfato y cal.

Y por formato de lectura del software MATLAB®, una vez generada la matriz se obtiene su inversa, generando vectores columna como se observa en la fig. 36

```
IN = [Cin_Pro Tur_Pro];  
IN = IN';  
OUT = [Cal_Pro Sul_Pro];  
OUT = OUT';
```

Figura 36. Generación de entradas y salidas

5.1.5 Investigación del modelo.

5.1.5.1 *Determinación de estructura de modelo, tipo de RNA y variables de ajuste de la RNA.*

- **DETERMINACION DE ESTRUCTURA DEL MODELO**

La topología de una red neuronal radica en la organización y disposición de las neuronas en la red formando capas o agrupaciones de neuronas. En este sentido, los parámetros fundamentales son: el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad y el tipo de conexiones entre neuronas.

Por la característica y cantidad de los datos obtenidos la arquitectura de RNA escogida para crear el modelo de predicción es una red Feedforward, que es la recapitulación de sistemas que realizan una determinada asociación de datos de entrada y de salida.

El tipo de red considerado para el proyecto es una red multicapa, en la cual se puede acomodar las neuronas en varios niveles y se realizan conexiones de las neuronas de 2 formas la denominada feedback, que realiza una conexión hacia atrás de las neuronas y la feedforward que es una conexión hacia a delante de las neuronas, en el presente desarrollo se opta por la conexión feedforward ya que no existen en este tipo de redes conexiones hacia atrás en las capas ni tampoco auto concurrentes, la salida de las neuronas nunca podrán ser entradas de las neuronas del mismo nivel o del nivel precedente.

El siguiente paso es determinar el mecanismo de aprendizaje, existen dos mecanismos de aprendizaje el supervisado y el no supervisado, su diferencia radica en la existencia o no de una agente externo que controle todo el proceso. Para la determinación del mecanismo se considera si la red puede aprender durante su funcionamiento o requiere de una fase de aprendizaje, para lo cual debe existir un conjunto de datos de entrenamiento y un conjunto de datos de prueba, basados en la característica de los datos que poseemos que no de generan de forma continua, sino de un histórico de datos de laboratorio el mecanismo de aprendizaje elegido es el supervisado

El aprendizaje supervisado se caracteriza porque el proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor, maestro) que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada.

El supervisor controla la salida de la red y en caso de que ésta no coincida con la deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de conseguir que la salida obtenida se aproxime a la deseada.

Dentro de los mecanismos de aprendizaje existen algunos tipos de aprendizaje, los más comunes son el aprendizaje por corrección de error, el aprendizaje por refuerzo y el aprendizaje estocástico. El primero consiste en ajustar los pesos de las conexiones de la red en función de la diferencia entre los valores deseados y los valores obtenidos como respuesta de la red, función de error cometido en la respuesta o salida, el segundo es un tipo de aprendizaje que parte de disponer de un ejemplo completo del comportamiento deseado, es decir no indicar durante el entrenamiento exactamente la salida que se desea obtener ante una determinada entrada, y el tercero básicamente es una prueba y error en el cual se realizan cambio aleatorios en los valores de los pesos y evaluar su respuesta en función de probabilidad hasta alcanzar el objetivo deseado.

Analizando los conceptos generales de los tres tipos de aprendizaje y al poseer un ejemplo completo del comportamiento deseado se utilizara el aprendizaje por corrección de error.

En esta etapa debemos evaluar los algoritmos de aprendizaje de la red, en literatura existen reglas y algoritmos de aprendizaje de una red, pero al usar un software tan completo como lo es MATLAB®, nos concentraremos en los algoritmos de aprendizaje para redes neuronales incluidos en el software.

- **TIPOS DE RNA MEDIANTE FUNCIONES DE ENTRENAMIENTO DE REDES**

Trainlm: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y valores de tendencia de acuerdo a la optimización Levenberg Marquardt, es a menudo el más

rápido algoritmo de retro programación, es altamente recomendado como la primera elección para algoritmos supervisados en vista que necesita emplea modificaciones para utilizar menos recursos de memoria comparado con los otros algoritmos

Trainbr: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA de acuerdo a una modificación de la optimización Levenberg Marquardt. En la que minimiza una combinación de los errores cuadráticos y los pesos, para luego determinar la combinación adecuada así como generar una red bien generalizada, este proceso se le denomina Regularización Bayesiana

Trainbfg: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos empleando métodos de Newton para el cálculo de las actualizaciones. Requiere almacenar una aproximación de la matriz Hessiana

Trainrp: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA de acuerdo con el algoritmo de retro propagación con resiliencia (Rprop). Emplea el signo de la derivada de la función de ejecución para determinar el cambio en los pesos y sesgos, la magnitud de la derivada no se considera.

Trainscg: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA empleando un gradiente conjugado escalado. Es el único algoritmo de gradiente conjugado que no requiere una línea de búsqueda.

Traincgb: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA utilizando el método de gradiente descendente conjugado empleando el método de restablecimiento de dirección de búsqueda Powell-Beale.

Traincgf: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA. En los algoritmos de gradiente descendente conjugado se realiza una búsqueda a lo largo de direcciones conjugadas de decremento del gradiente para determinar la magnitud del cambio en los pesos y sesgos. En este caso se emplea la actualización mediante el método Fletcher-Reeves, en el cual se determina la dirección

del cambio en base a la dirección de búsqueda de descenso de gradiente actual con la anterior.

Traincgp: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA de acuerdo a la retro propagación del método de gradiente con el algoritmo Polak- Ribière

Trainoss: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos utilizando el método de la secante de un paso. Es una combinación de los métodos de gradiente conjugado y Newton.

Traingdx: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos en el que Se emplea un factor de entrenamiento variable. El factor de entrenamiento se establece en base a las magnitudes de error obtenidas en la iteración actual y anterior. De igual forma los cambios en pesos y sesgos son función de sus valores actuales y anteriores, además que en este método se emplea un parámetro de momento.

Traingdm: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Se emplea un nuevo parámetro (momento) que permite esquivar mínimos locales. De esta forma la actualización es función del último cambio realizado y del gradiente.

Traingd: es la función de entrenamiento de redes que actualiza los pesos y sesgos de la RNA en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Es una función de respuesta lenta.

Con estos algoritmos de aprendizaje se correrán redes neuronales y se tomaran las 5 mejores respuestas utilizando como base lo expuesto en las figuras 37 y 38.

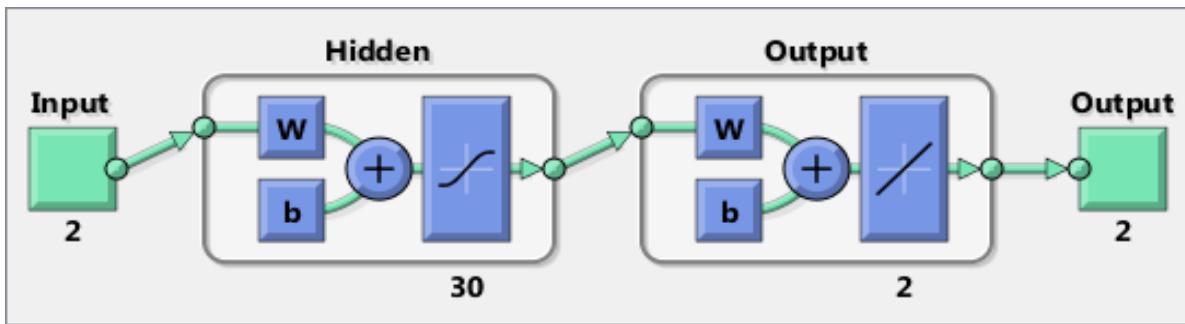


Figura 37. Visualización de la arquitectura de la RNA planteada

ESTRUCTURA DE LA RED					
NEURONAS	ENTRADAS	SALIDAS	CAPAS	INDICE DE CORRELACION	
30	2	2	2	> 90%	

Figura 38. Estructura de red a ser evaluada

Para generar los datos para las diferentes etapas de entrenamiento, validación y testeo se utiliza el siguiente código:

```
net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;
```

Figura 39. Códigos de división de porcentaje de muestras para entrenamiento, validación y prueba

El método de división es el **dividerand**, la cual crea grupos de datos escogidos de manera aleatoria del total de las muestras que cumplen el rol de entrada y se lo observa en la figura 39

Para poder analizar el performance del entrenamiento de la RNA se Gráfica algunas de las métricas aplicando el siguiente código.

```
net.plotFcns = {'plotperform', 'plottrainstate', 'ploterrhist',
...
'plotregression', 'plotfit'};
```

En este caso se Gráfica el performance, los estados del entrenamiento de la RNA, la correlación del error y la correlación del error de entrada. Es necesario aclarar que no todas son analizadas para determinar la calidad de la RNA.

Para entrenar la RNA se utiliza la siguiente línea de comando:

```
[net, tr] = train(net, x, t);
```

Para realizar el proceso de test de la RNA una vez finalizado el entrenamiento se utiliza el siguiente código:

```
trainTargets = t .* tr.trainMask{1};
valTargets = t .* tr.valMask{1};
testTargets = t .* tr.testMask{1};
trainPerformance = perform(net, trainTargets, y)
valPerformance = perform(net, valTargets, y)
testPerformance = perform(net, testTargets, y)
```

Se calcula las salidas y los errores además del performance, el cual se tabulará para cada fase (entrenamiento, test y validación) apoyando al proceso de decisión de la mejor RNA para el modelo matemático.

Trainlm

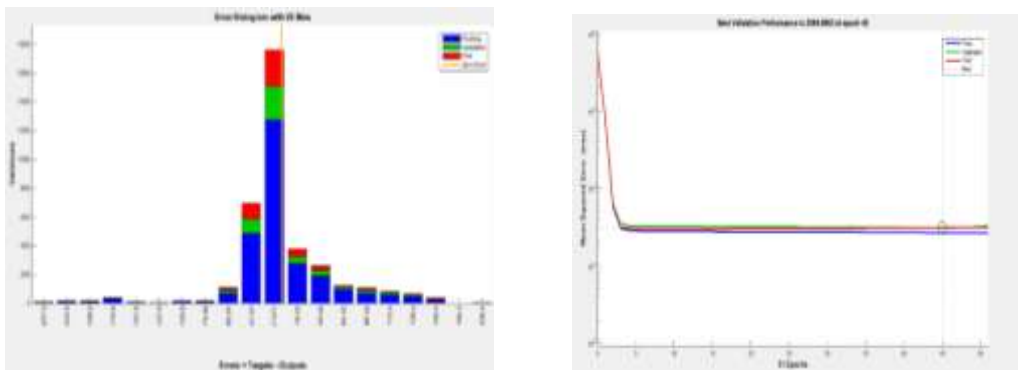


Figura 40. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainlm
R= 0.0917

Trainbr

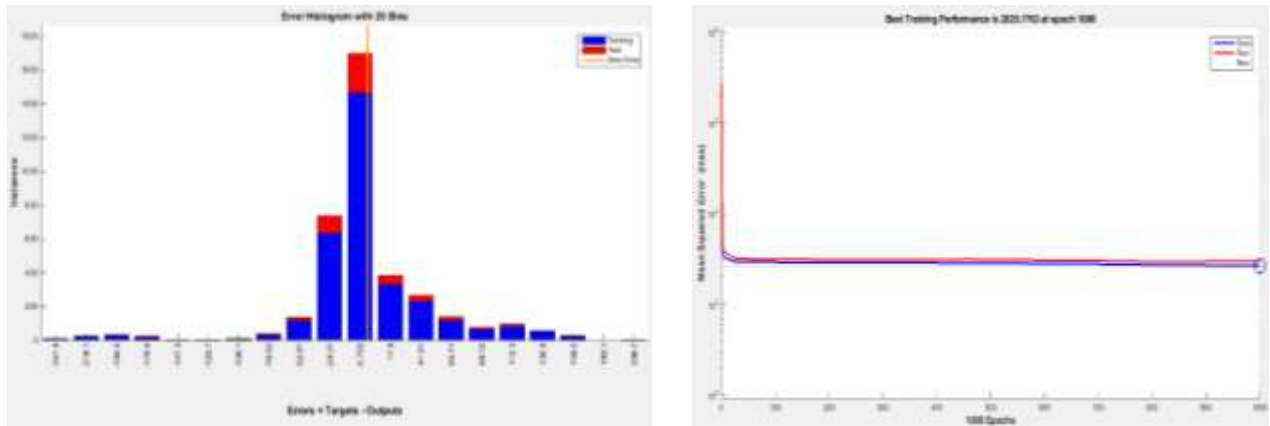


Figura 41. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainbr

R=0.9209

Trainbfg

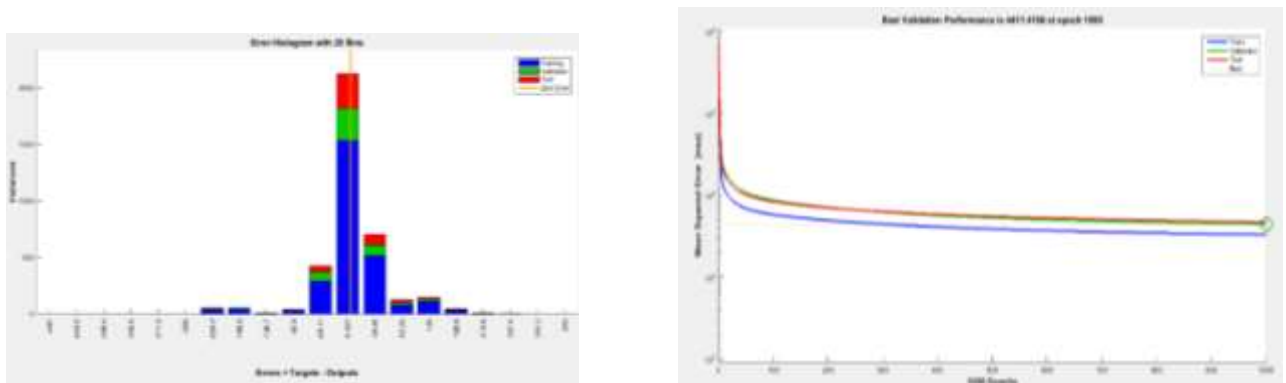


Figura 42. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainbfg

R= 0.89 no cumple con lo requerido

Trainrp

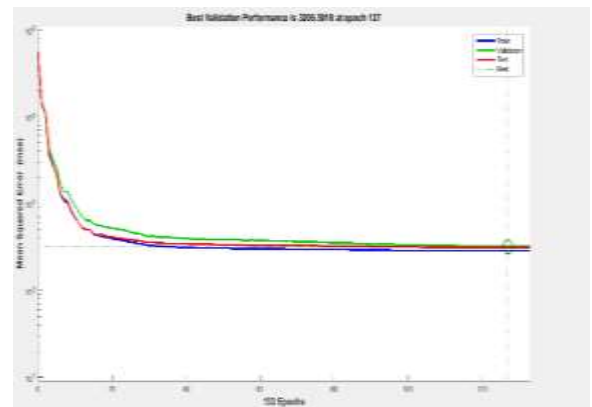
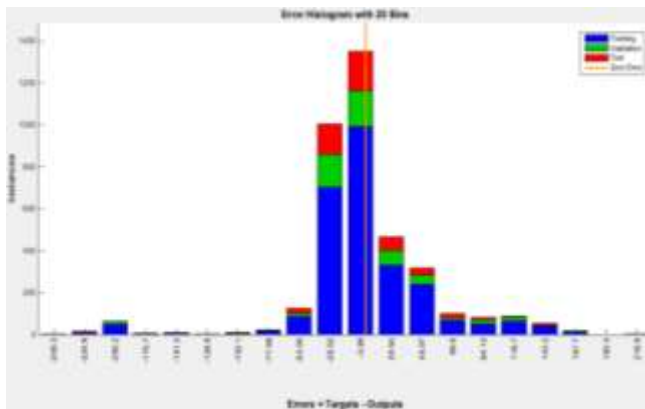


Figura 43. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainrp

R= 0912

Trainscg

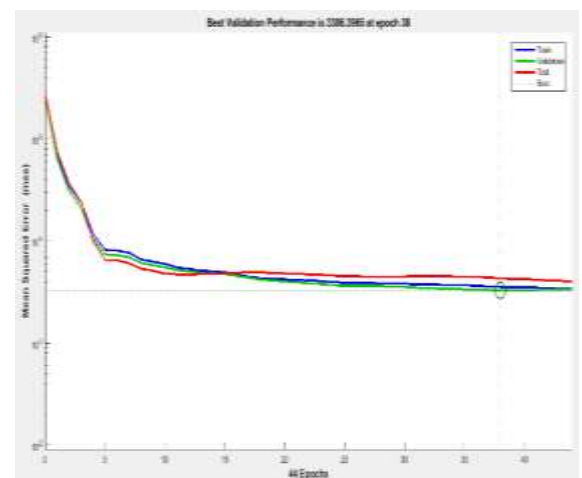
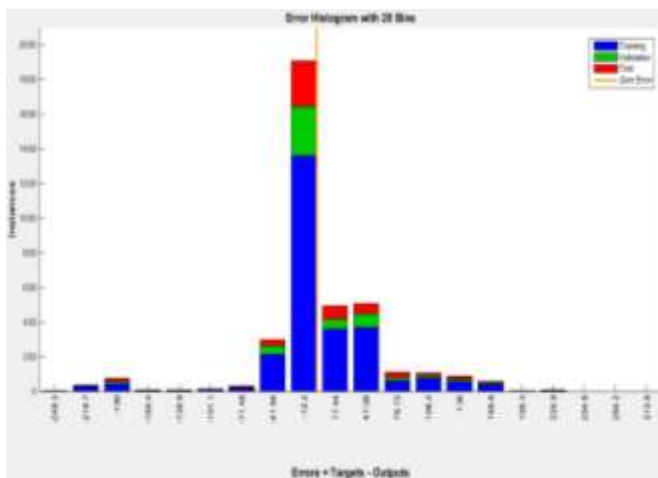


Figura 44. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainscg

R= 0.8913 no cumple con lo requerido

Traincgb

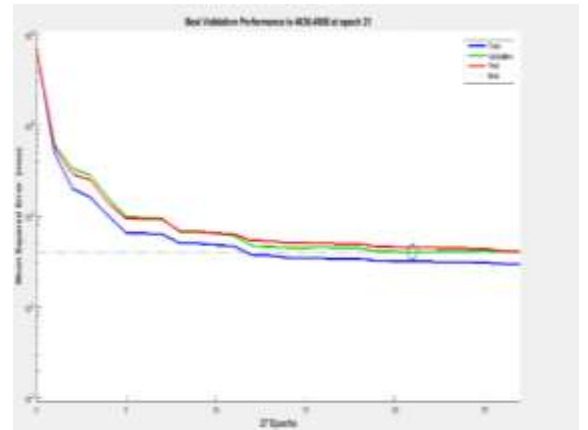
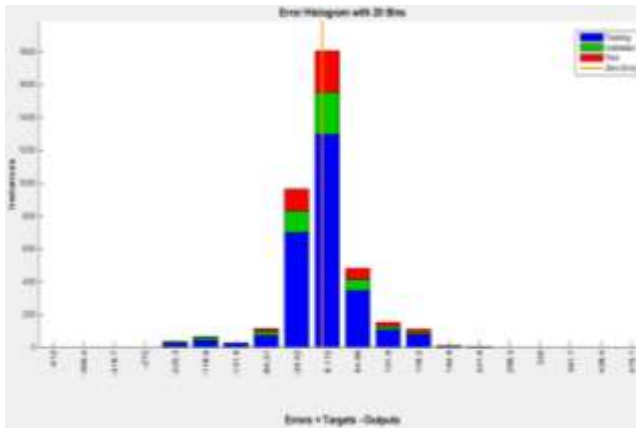


Figura 45. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traincgb

R= 0.896 no cumple con lo requerido

Traincgf

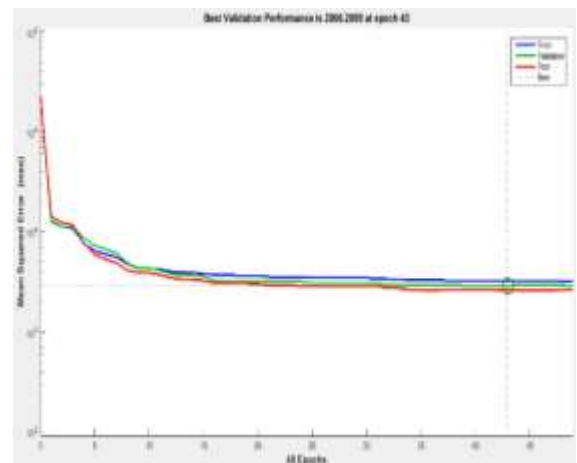
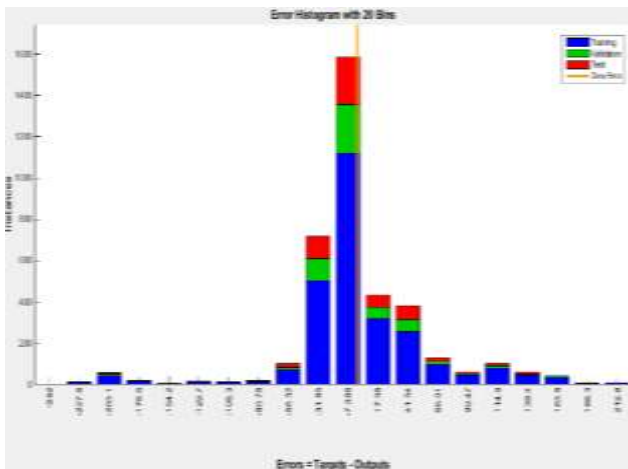


Figura 46. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traincgf

R= 0.9082

Traincgp

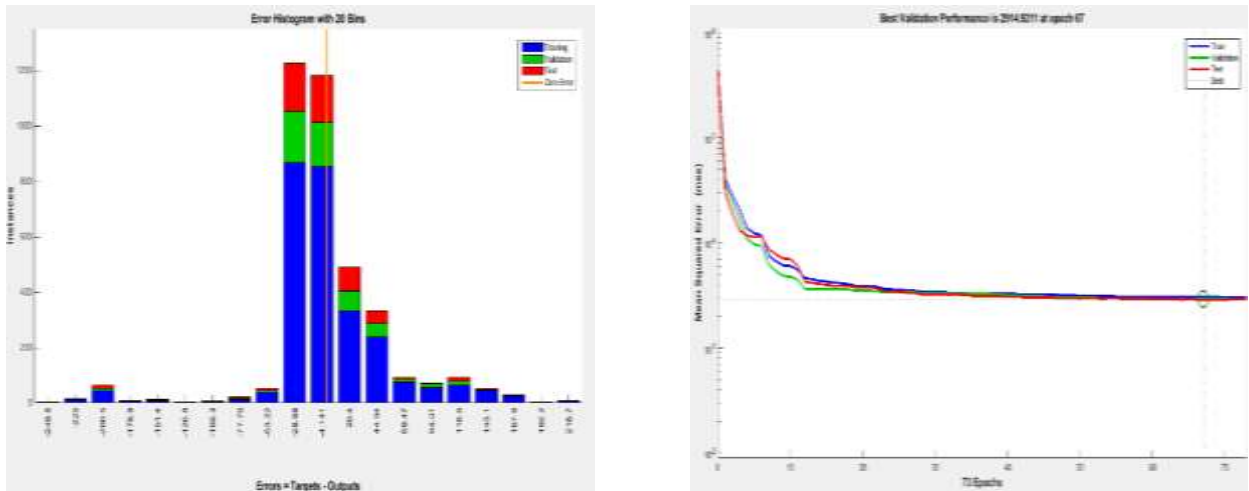


Figura 47. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función traincgp

R= 0.910

Trainoss

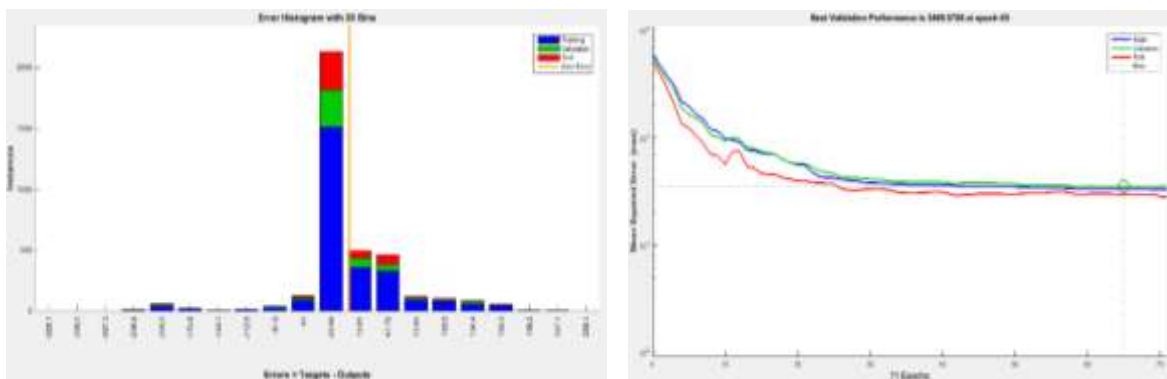


Figura 48. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Trainoss

R= 0.9024

Traingdx

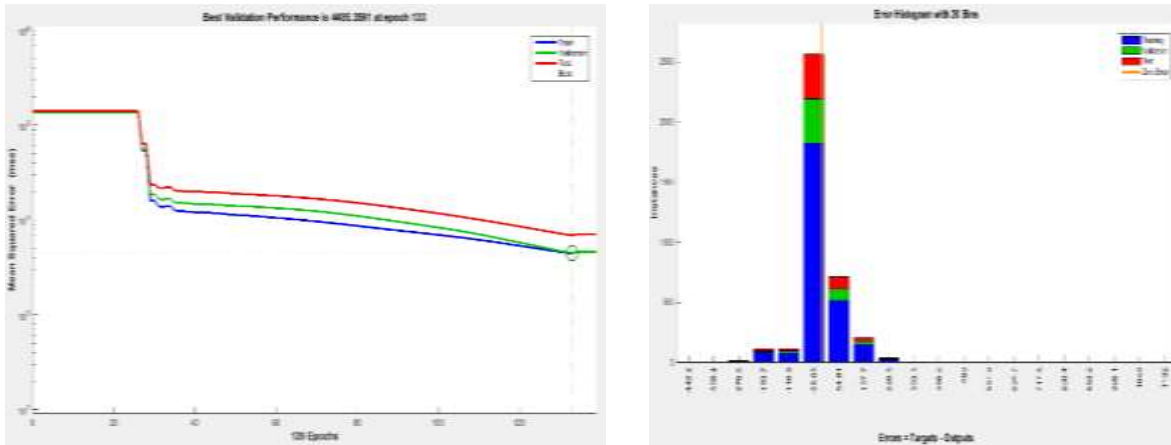


Figura 49. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingdx

R= 0.86 no cumple con lo requerido

Traingdm

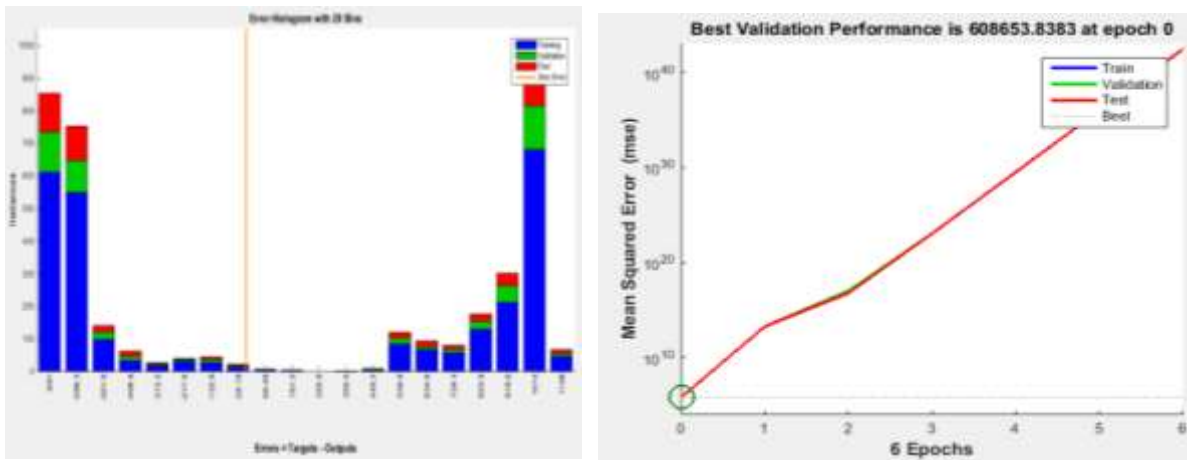


Figura 50. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingdm

R= -0.807 no cumple con lo mínimo requerido

Traingd

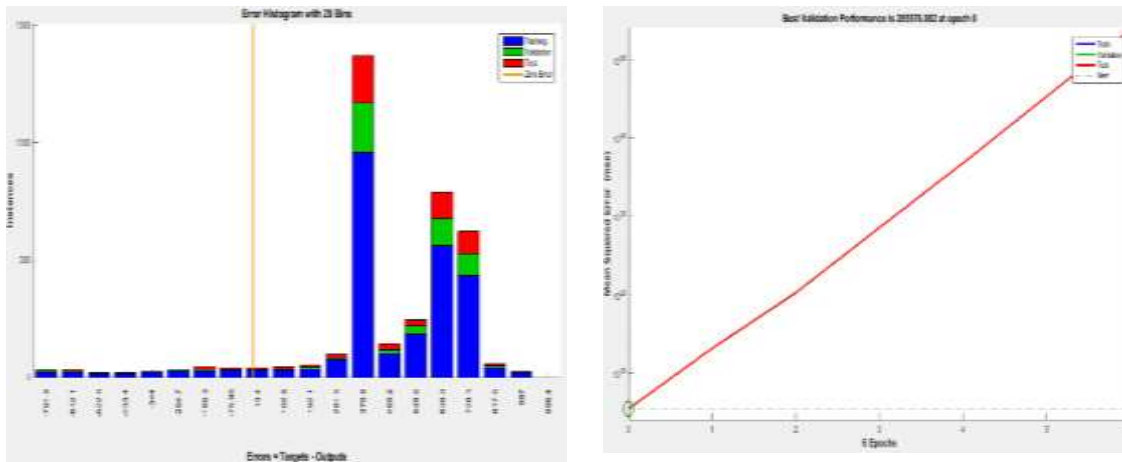


Figura 51. Gráficas de tendencia de error y de performance utilizando la función Traingd

R= - 0.0804 no cumple con el mínimo requerido

Una vez utilizados todos los algoritmos de aprendizaje descritos, se observa que solo 6 cumplen con el índice de correlación requerido y el porcentaje más alto obtenido es el logaritmo trainbr que supera el 92% de correlación. Observaremos los resultados en la tabla # 12.

Tabla 12

Resultado de las simulaciones con diferentes estructuras de red

Algoritmo	Neuronas	Entradas	Salidas	Capas	Índice R
Trainlm	30	2	2	2	91.78%
Trainbr	30	2	2	2	92.09%
Trainrp	30	2	2	2	91.20%
Traincgf	30	2	2	2	90.82%
Traincgp	30	2	2	2	91.00%
Trainoss	30	2	2	2	90.20%

Como se observa, los mejores resultados se obtienen con Trainbr y Trainlm, que se basan en el algoritmo Lavenberg Marquart, la primera es más rápida y ocupa menos recursos de memoria y la segunda alcanza un índice de correlación elevado, sus performances e histogramas de error son muy similares, pero cuando aplicamos el índice de regresión a los datos utilizados para entrenamiento, validación y prueba, la validación genera inconsistencia de los datos. Por lo que se escoge el algoritmo Trainlm. Que se ajusta a los requerimientos

establecidos para la red sin generar inconsistencia y es el algoritmo que ocupa menos memoria para su ejecución.

- **ENTRENAMIENTO DE LA RNA Y VALORACION DE METRICAS DE CALIDAD**

Al determinar nuestro algoritmo de aprendizaje, se variara la arquitectura de la red a ser evaluada realizando un número determinado de entrenamientos, se seleccionó a los 5 mejores resultados del proceso de entrenamiento, escogiendo de ellos el que cumpla con las métricas de diseño establecidas a continuación

- Coeficiente de regresión (R) entre 0,9 y 0,95 como mínimo.
- El menor error cuadrático medio (MSE) posible.
- La correlación del error por debajo del intervalo de confianza (95%).
- Histograma de error en forma de campana lo más cercano a cero.

Para la predicción de las dosificaciones se probó alrededor de 30 tipos de RNA, variando dos parámetros en la arquitectura de las mismas:

- Número de capas ocultas.
- Porcentajes de datos distribuidos para entrenamiento y validación.

Las funciones de activación son de tipo “logsig” para las capas ocultas y “Purelin” para la capa de salida. La estructura de la red no será alterada, se variará los parámetros que ya se mencionó anteriormente.

5.1.6 RNA de determinación de dosificación de sulfato y cal.

Para cada una de las redes probadas se realizó alrededor de 15 procesos de entrenamiento hasta aproximar a los criterios de las métricas planteadas para el diseño.

Cabe señalar que adicional a los criterios también se plantea que la red sea lo más simple posible, para lograr que su entrenamiento se logre en el menor tiempo posible optimizando los recursos computacionales.

A continuación se muestra los 5 mejores entrenamientos de los realizados a las arquitecturas de RNA creadas. Al final se resumirá los resultados obtenidos para realizar el proceso de decisión de la mejor arquitectura de RNA que será implementada como modelo de predicción en lo correspondiente a número de capas ocultas.

5.1.6.1 Entrenamiento de RNA 1

La arquitectura de la RNA se muestra en la figura 52.

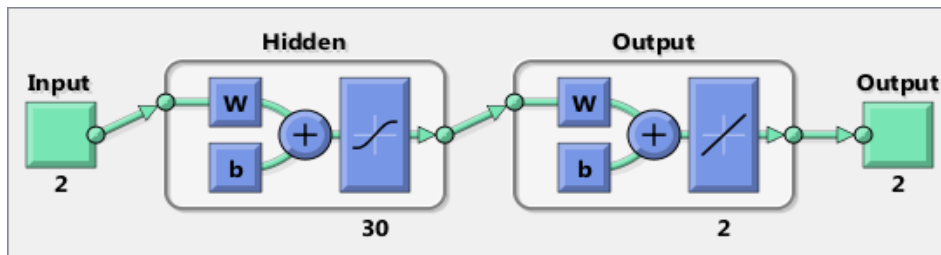


Figura 52. RNA de entrenamiento 1.

La auto-correlación del error se muestra a través de código

`R = corrcoef(y,OUT,'rows','pairwise')`

Características de la RNA1

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	75	15	15	trainlm	0.9178

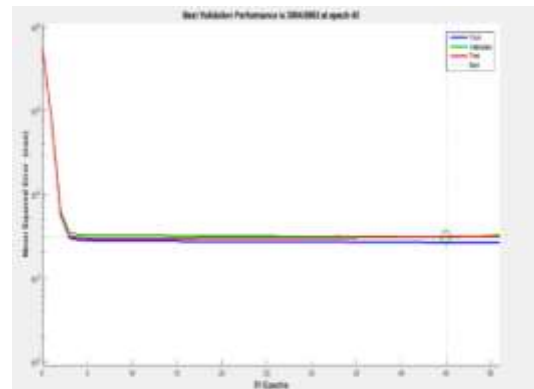
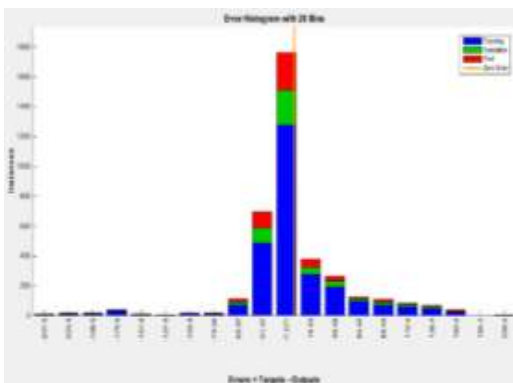


Figura 53. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA1

Características de la RNA2

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	10	75	15	15	trainbr	0.9136

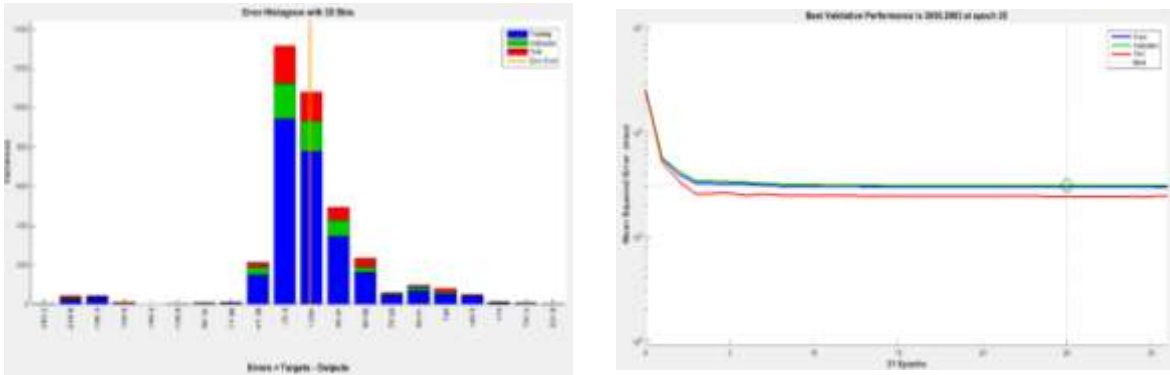


Figura 54. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA2

Características de la RNA3

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	25	75	15	15	trainbr	0.9140

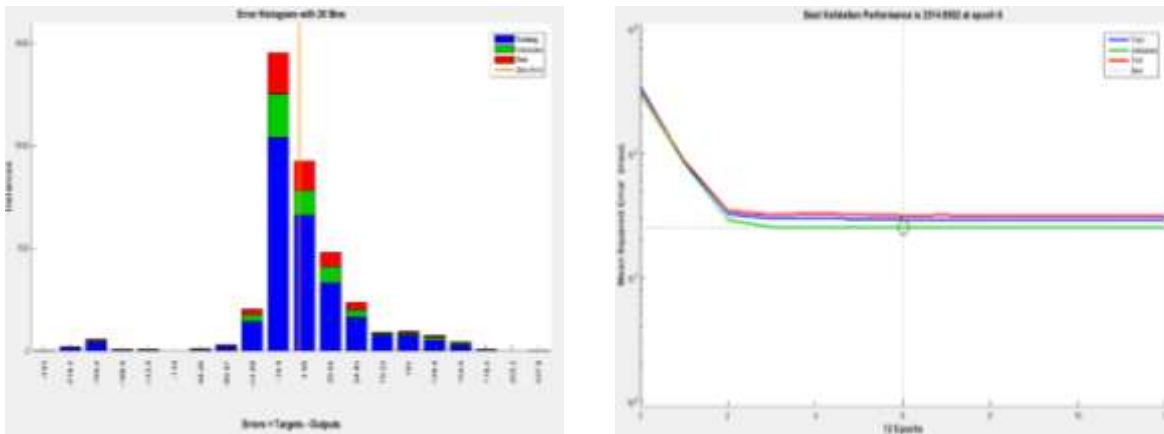


Figura 55. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA3

Características de la RNA 4

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	50	75	15	15	trainbr	0.916

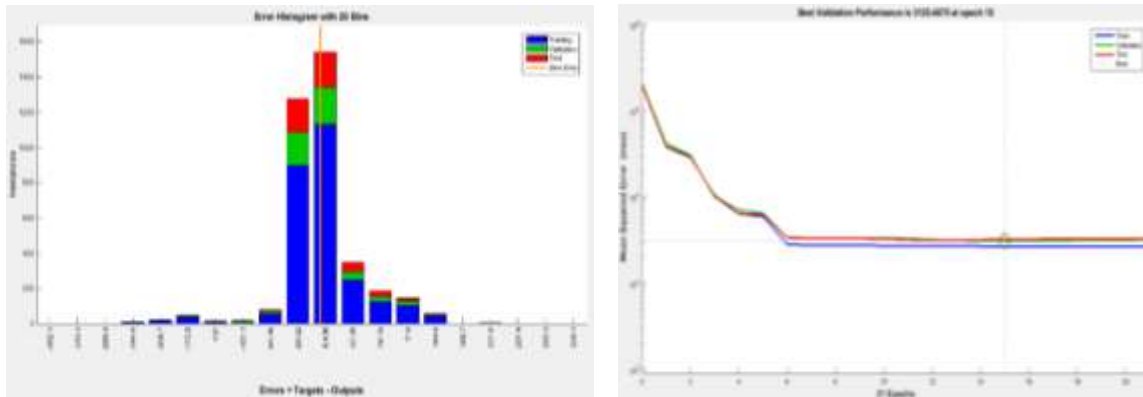


Figura 56. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA4

Características de la RNA 5

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	100	75	15	15	trainbr	0.8988

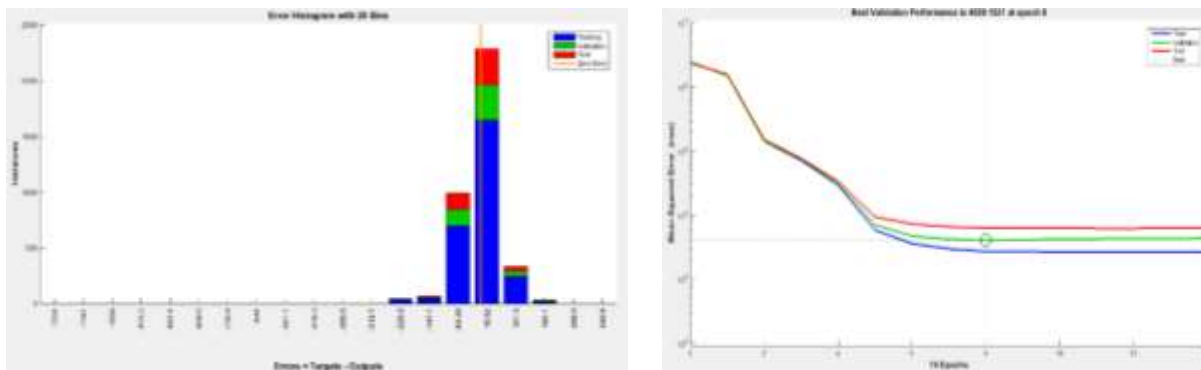


Figura 57. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA5

Se puede observar claramente que si nos alejamos de las 30 capas ocultas planteadas originalmente el coeficiente de correlación disminuye tanto en orden ascendente como descendente por eso se decide mantener las 30 neuronas originalmente planteadas.

A continuación en la tabla # 13, se considera un resumen de las 5 RNA.

Tabla 13.

Resumen de resultados

Capas Ocultas	Algoritmo	Entrenamiento		Validación		Prueba		Índice de correlación
		#	Trainlm	Perfomance	Regression	Perfomance	Regression	
10	Trainlm	2,98 e+3	0.912	3.05 e+3	0.909	2.41 e+3	0.926	0.913
25	Trainlm	2,93 e+3	0.913	2.51 e+3	0.925	316 e+3	0.906	0.914
30	Trainlm	3.011 e+3	0.922	2.918 e+3	0.907	2.681 e+3	0.908	0.9178
50	Trainlm	2.69 e+3	0.920	3.12 e+3	0.907	3.23 e+3	0.904	0.916
100	Trainlm	2.70 e+3	0.920	4.02 e+3	0.877	6.24 e+3	0.830	0.898

5.1.6.2 Entrenamiento variando los porcentajes de prueba, validación y muestra.

Al igual que las redes anteriores para cada una de las redes utilizadas se realizó alrededor de 15 procesos de entrenamiento hasta aproximar a los criterios de las métricas planteadas para el diseño.

A continuación se muestra los 5 mejores entrenamientos de los realizados a las arquitecturas de RNA creadas. Al final se resumirá los resultados obtenidos para realizar el proceso de decisión de la mejor arquitectura de RNA que será implementada como modelo de predicción variando los porcentajes de toma de muestras para aprendizaje validación y prueba.

Características de la RNA1

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	75	15	15	trainlm	0.9178

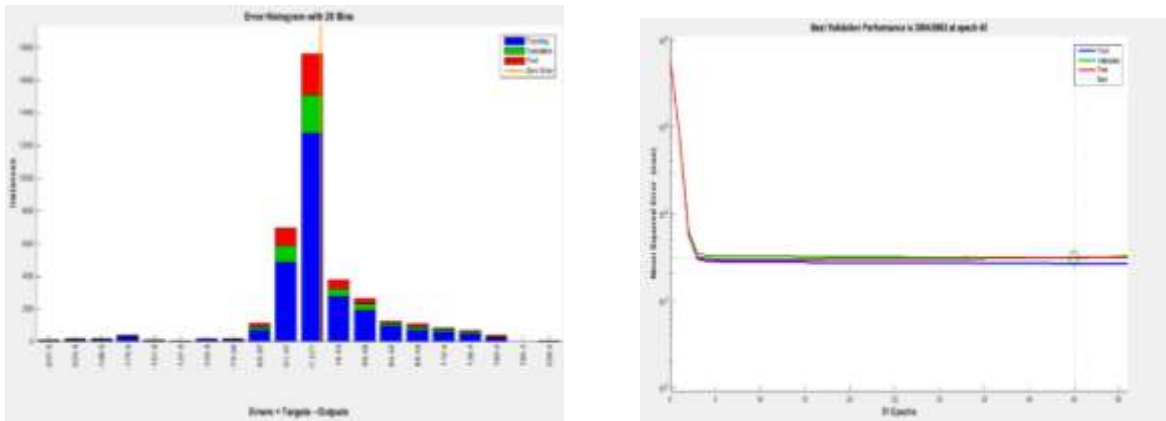


Figura 58. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA1

Características de la RNA 2

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	40	30	30	trainbr	0.904

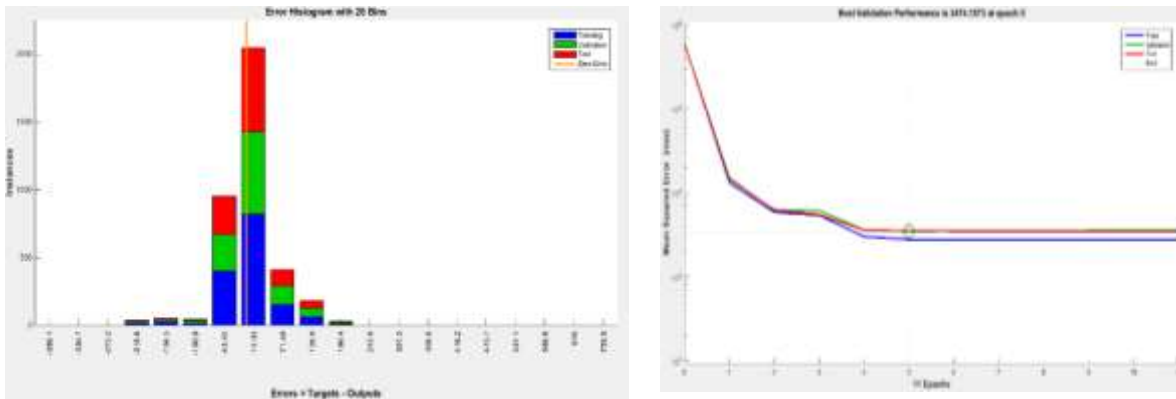


Figura 59. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA2

Características de la RNA3

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	50	25	25	trainlm	0.913

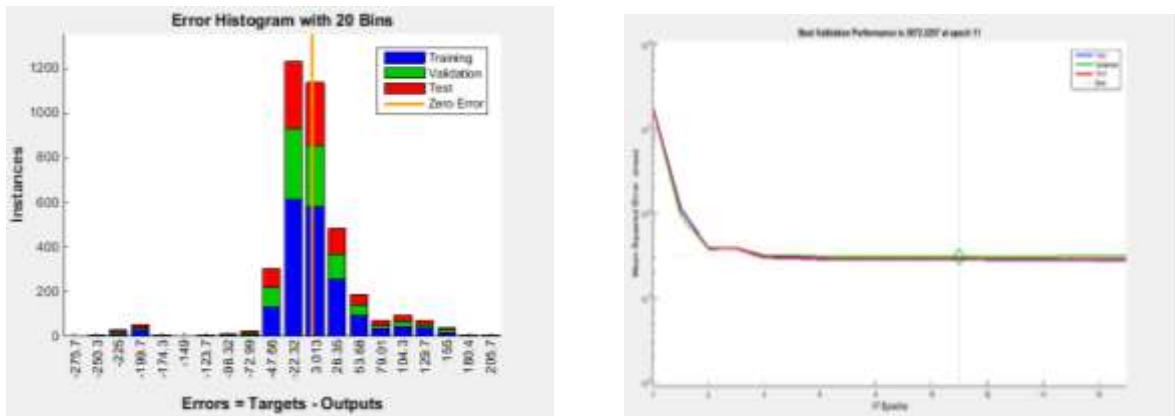


Figura 60. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA3

Características de la RNA4

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	80	10	10	trainlm	0.9152

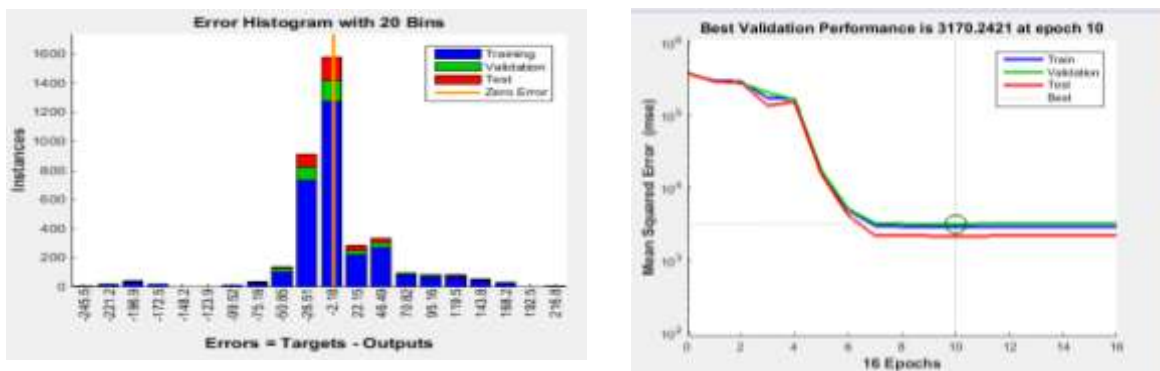


Figura 61. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA4

Características de la RNA5

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	90	5	5	trainlm	0.9162

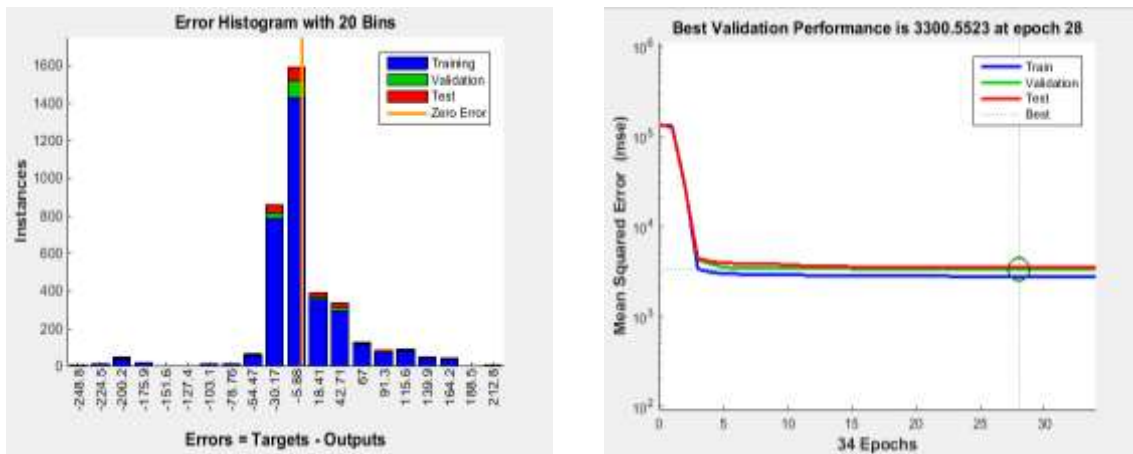


Figura 62. Gráficas del desempeño e histograma de errores nuestro modelo en la RNA5

Se puede observar claramente la distribución de datos más adecuada para nuestra es 70% de muestras para aprendizaje, 15% de muestras para validación y 15% de muestras para prueba planteadas si variamos esta o el coeficiente de correlación disminuye tanto en orden ascendente como descendente.

En la tabla # 14 se considera un resumen de las 5 RNA.

Tabla 14

Resumen de resultados

Porcentajes M-V-T	Algoritmo	Entrenamiento		Validación		Prueba		Índice de correlación
Muestra Validación Test	Trainlm	Perfomance	Regression	Perfomance	Regression	Perfomance	Regression	R
40-30-30	Trainlm	2,77 e+3	0.919	3.47 e+3	0.89	3.52 e+3	0.89	0.904
50-25-25	Trainlm	2,865 e+3	0.915	3.07 e+3	0.905	2.915 e+3	0.912	0.913
70-15-15	Trainlm	3.011 e+3	0.922	2.918 e+3	0.907	2.681 e+3	0.908	0.9178
80-10-10	Trainlm	2.91 e+3	0.914	3.17 e+3	0.905	2.16 e+3	0.935	0.9152
90-5-5	Trainlm	2.76 e+3	0.918	3.3 e+3	0.900	3.48 e+3	0.896	0.9162

Determinada por ensayos nuestra arquitectura de la red queda definida de la siguiente manera.

Tabla 15*Red Final*

Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	75	15	15	trainlm	0.9178

Una vez determinado podemos iniciar la validación de la red neuronal.

5.1.7 Conclusiones materiales y métodos.

- Los datos obtenidos para el desarrollo del modelo de predicción usando RNA fueron obtenidos del histórico de datos del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable “Carigán” de la ciudad de Loja, de la Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL), perteneciente al Municipio de Loja, los datos proporcionados corresponden a los meses comprendidos entre los años del 2014-2015-2016, en la planta de tratamiento se trabaja en el laboratorio en periodos de 8 horas diarias y las mediciones se realizan con un intervalo de tiempo de 1 hora.
- Luego del análisis de las gráficas de contraste entre los parámetros de entrada actuantes en el proceso y verificación del alguna linealidad a través de un coeficiente de reproductividad. Se concluye que la única relación en este contraste de parámetros, se da entre el color de entrada y la turbidez de entrada.
- Por la característica y cantidad de los datos obtenidos la arquitectura de RNA escogida para crear el modelo de predicción es una red Feedforward, que es la recapitulación de sistemas que realizan una determinada asociación de datos de entrada y de salida.
- Se evaluaron los algoritmos de aprendizaje de la red a partir de la arquitectura y la estructura de una red base y se usó como instrumento el software MATLAB, el cual posee una gran cantidad de los algoritmos de aprendizaje para redes neuronales los mismos que fueron aplicados para la obtención de la RNA más

adecuada al presente trabajo, los mejores resultados los obtenemos con el algoritmo de aprendizaje Trainbr y Trainlm, que se basan en el algoritmo Lavenberg Marquart, la primera es más rápida y ocupa menos recursos de memoria y la segunda alcanza un índice de correlación elevado, sus performances e histogramas de error son muy similares, pero cuando aplicamos el índice de regresión a los datos utilizados para entrenamiento, validación y prueba, la validación genera inconsistencia de los datos. Por lo que se escogió el algoritmo Trainlm. Que se ajustó a los requerimientos establecidos para la red sin generar inconsistencia.

- Al determinar nuestro algoritmo de aprendizaje, se varió la arquitectura de la red a ser evaluada realizando un número determinado de entrenamientos, se seleccionó a los 5 mejores resultados del proceso de entrenamiento, escogiendo de ellos el que cumpla con las métricas de diseño establecidas Coeficiente de regresión (R) entre 0,9 y 0,95 como mínimo.
El menor error cuadrático medio (MSE) posible.
La correlación del error por debajo del intervalo de confianza (95%).
Histograma de error en forma de campana lo más cercano a cero.
Para la predicción de las dosificaciones se probó alrededor de 30 tipos de RNA, variando dos parámetros en la arquitectura de las mismas. Determinando que la estructura ideal para la red es como lo detalla el cuadro siguiente:

Capas Ocultas	Algoritmo	Entrenamiento		Validación		Prueba		Índice de correlación
		Perfomance	Regression	Perfomance	Regression	Perfomance	Regression	
#	Trainlm							R
30	Trainlm	3.011 e+3	0.922	2.918 e+3	0.907	2.681 e+3	0.908	0.9178

- Se determina mediante pruebas variando la arquitectura de la red que consistió en variar los porcentuales de las muestras para entrenamiento, prueba y verificación determinado que la distribución de datos más adecuada para nuestra red es 70% de muestras para aprendizaje, 15% de muestras para validación y 15% de muestras para prueba planteadas si variamos esta o el

coeficiente de correlación disminuye tanto en orden Porcentajes de datos distribuidos para entrenamiento y validación.

- Se determina la estructura y la arquitectura que cumple con los requisitos establecidos para la búsqueda de la red y nos encontramos listos para realizar las pruebas y validación de resultados con la red que presenta el modelo matemático más adecuado que nos permita cumplir con los objetivos planteados en la presente tesis.

6. RESULTADOS

Para entrenar, validar y testear la RNA y su modelo matemático definitivo, se ingresaron 4069 muestras de los datos históricos de laboratorio de planta Carigán Loja.

La red fue diseñada para predecir la dosificación adecuada de cal y sulfato de aluminio siempre considerando el color y la turbidez de entrada de agua cruda en la planta Carigán.

Para la validación del modelo matemático ya generado se procede a dar como parámetros de entrada las muestras de los 4 primeros meses del año 2016, que cuentan con 871 muestras que se convertirán en los datos de ingreso de nuestro modelo y la respuesta de la red se validara contra los resultados históricos generados en el periodo antes mencionado.

Las muestras del 2016 también se han depurado, igual que las muestras que se obtuvieron para generar el modelo, los datos dentro del grupo de validación y testeo de la RNA responden a la arquitectura diseñada para la obtención del modelo matemático descrito en el capítulo anterior.

Se generaron resultados a partir de nuestra red diseñada cuyos resultados se evaluarán determinando el comportamiento de la red, el proceso metodológico de lo expuesto se observara en cada literal que se desarrolla a continuación.

6.1 Validación del modelo basado en RNA

6.1.1 Evaluación de la RNA

Para evaluar la RNA obtenida del proceso de selección realizado anteriormente, procederemos a realizar los pasos que nos permitieron el desarrollo red.

Como se menciona en el desarrollo del capítulo Materiales y Métodos En todo grupo de datos existen los valores atípicos, que es un valor numéricamente distante del resto de los datos, al generarse datos atípicos, deben ser removidos para avalar la calidad de la RNA y reducir la complejidad en el entrenamiento de la misma.

Para poder eliminar los valores atípicos, debemos establecer límites de confianza para la estabilidad de los datos obtenidos, en esta etapa utilizaremos un proceso estadístico el cual permitirá filtrar el 95% de los datos, considerando un $\pm 5\%$ como valores atípicos que estén más alejados de a media.

Para esto aplicaremos 2 desviaciones estándar de la media, que nos permitirá reunir dentro del límite impuesto la mayor cantidad de datos que siguen una tendencia.

Para el proceso de eliminación se utilizó la función **MoveOutLi.m**, tomada de la tesis de “Modelo de Predicción de Demanda del Sector Residencial de la Ciudad de Loja, Ing. Juan Pablo Cabrera , 2012 “ que colocamos en el anexo 5 del presente trabajo.

En la función **MoveOutLi.m**, se toma un valor representativo para nuestro trabajo en este caso un parámetro físico como es el color de entrada.

Damos un nombre al vector de trabajo resultante, determinamos el número máximo de repeticiones de un mismo valor en el volumen de datos, determinamos el promedio de los datos ingresados para determinar la tendencia central y le aplicamos las 2 desviaciones standard propuestas, marcamos los límites de datos tanto positivos como negativos, en el caso actual de la data únicamente es positiva pero se generara el limite negativo como un valor no representativo, además se marcan los valores atípicos para su posterior exclusión sin que afecten al grueso de la data, finalmente realizamos la exclusión de los datos atípicos , garantizando la calidad de la data procesada.

Colorin_sinpro = matriz [871 x 1] (datos adquiridos del histórico de laboratorio de planta Carigán que corresponden a 4 meses del año 2016).

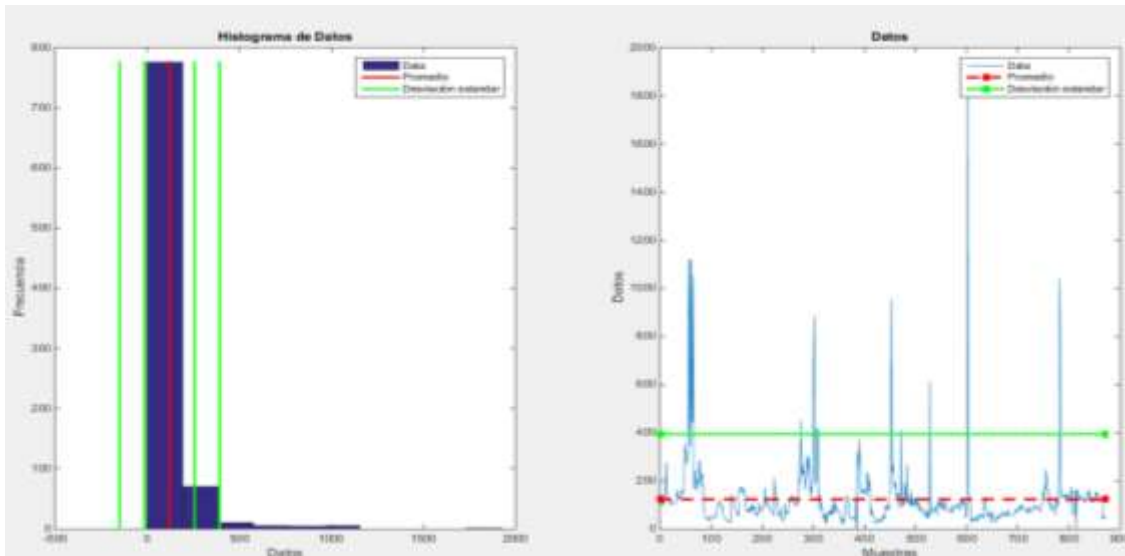
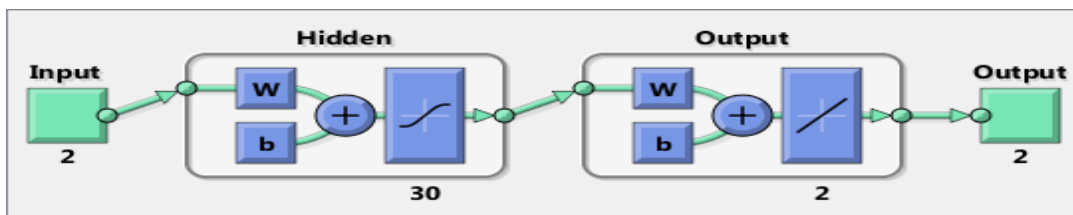


Figura 63. Uso de *MoveOutLi.m* determinación de outliers de los datos 2016

Como se puede observar los datos de nuestra matriz $\text{Colorin_sinpro} = \text{matriz } [871 \times 1]$ pasa a ser una matriz de $\text{cin_pro2016} [857 \times 1]$, mostrándonos que únicamente se extraen 14 muestras de las 871 ingresadas, que corresponden aproximadamente al 1,6 % de la data, observándose que existe una evidente consistencia en los datos obtenidos en el laboratorio y las gráficas obtenidas por el uso de esta función se refleja en figura 63.

Una vez procesados los datos de entrada color y turbidez se procede a ingresarlos a nuestra RNA determinada en el capítulo anterior.



Entradas	Salidas	Capas Ocultas	% Aprendizaje	% validación	% Prueba	Algoritmo	R
2	2	30	75	15	15	trainlm	0.9178

Ahora observaremos los resultados generados por la red

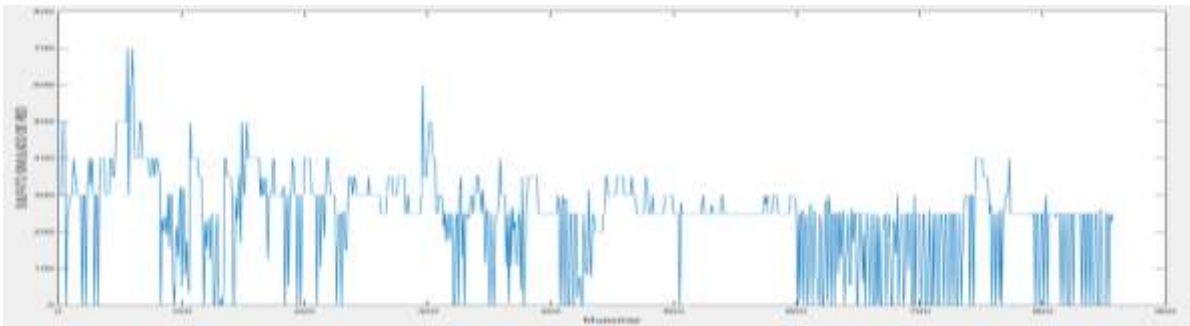


Figura 64. Sulfato a dosificar resultante de la modelación de la Red

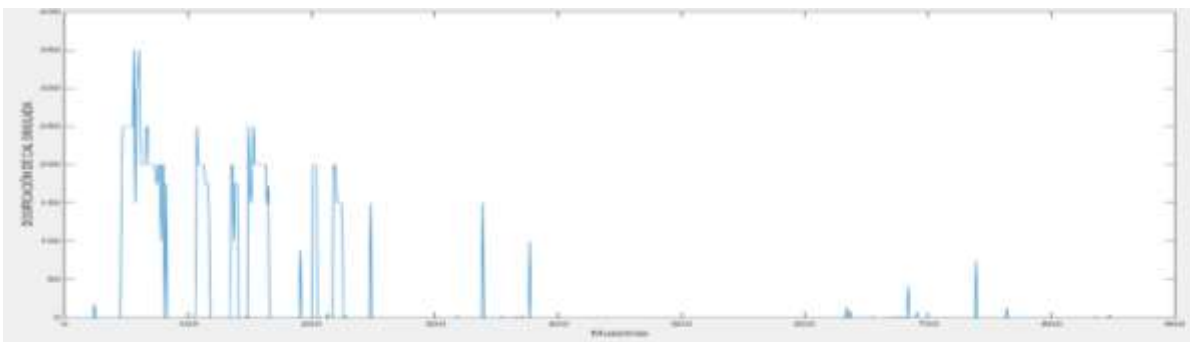


Figura 65. Cal a dosificar resultante de la modelación de la Red

Ahora contrastaremos las gráficas obtenidas de la red con las gráficas generadas de los datos históricos generados en planta.

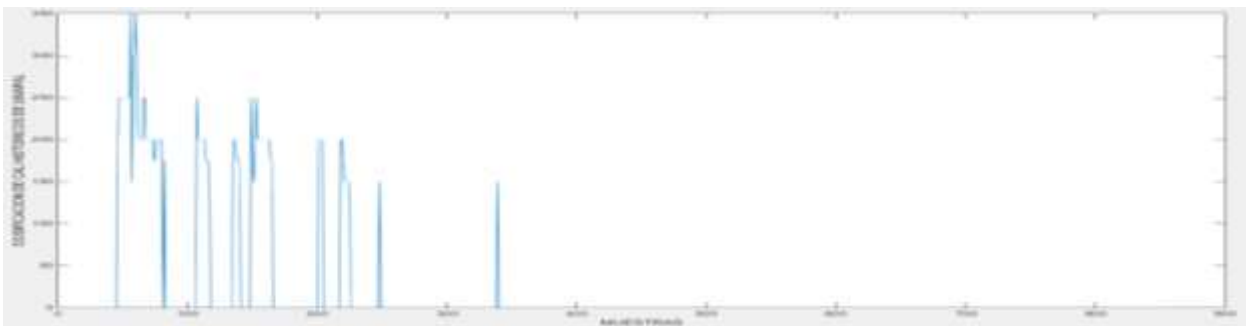


Figura 66. Cal dosificada Durante el periodo de evaluación enero – abril 2016.

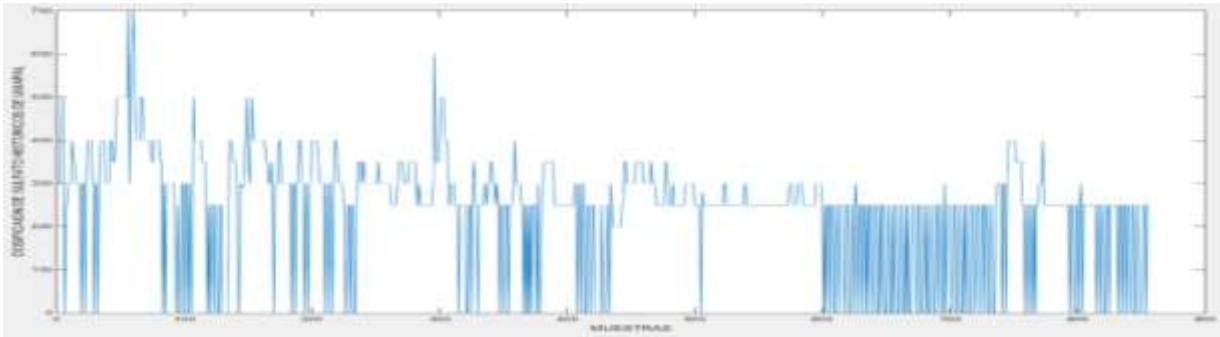


Figura 67. Sulfato dosificado Durante el periodo de evaluación enero – abril 2016

Ahora contrastaremos la Gráficas de dosificación tanto la simulada como la generada por la red

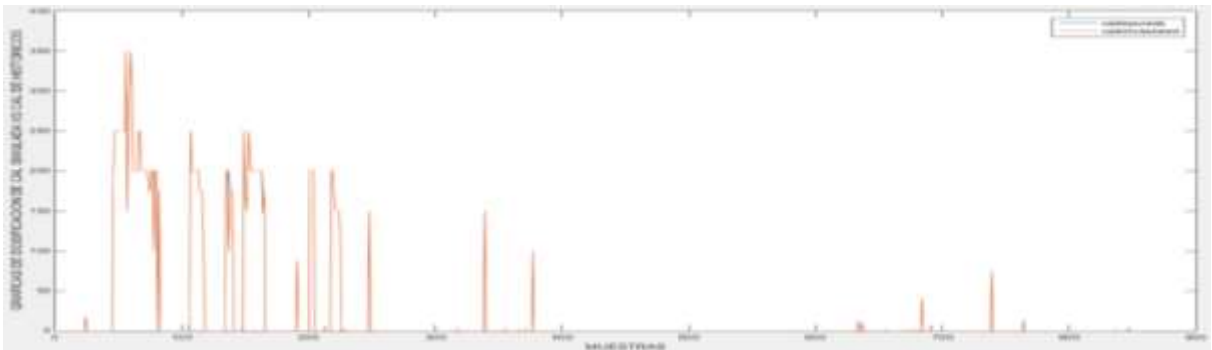


Figura 68. Gráfica de contraste de la dosificación de cal simulada y la dosificada en periodo de evaluación enero-abril 2016.

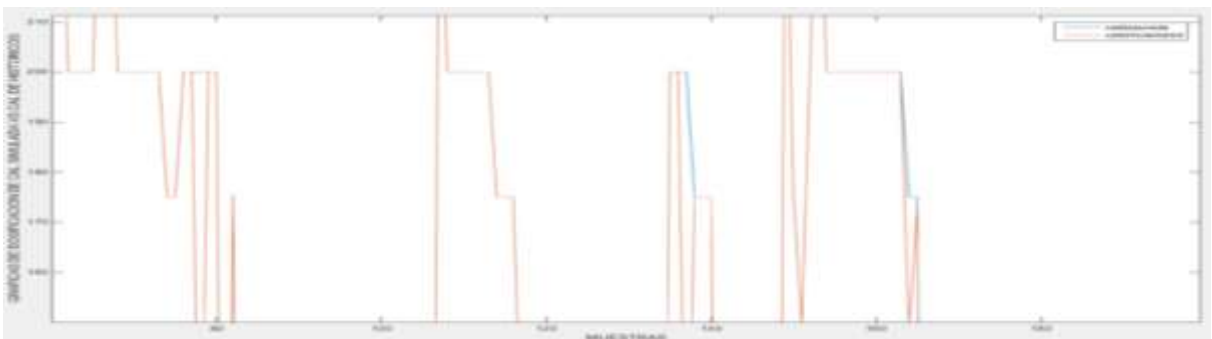


Figura 69. Ampliación de la gráfica de contraste de la dosificación de cal simulada y la dosificada en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores.

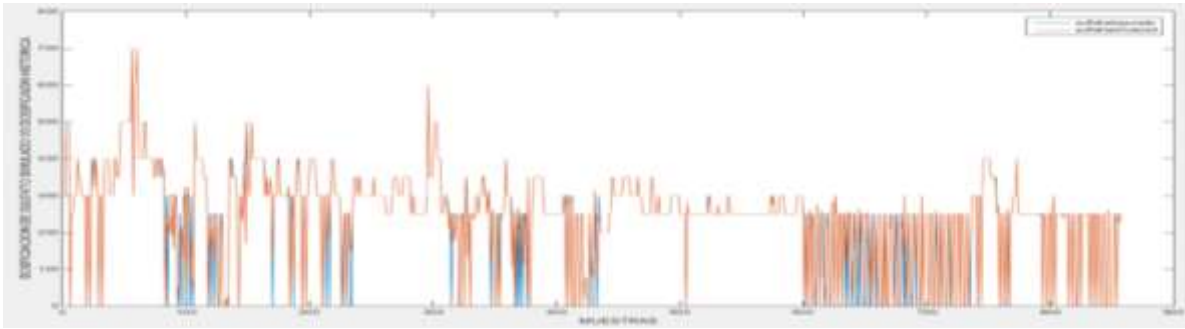


Figura 70. Gráfica de contraste de la dosificación de sulfato simulado y el dosificado en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores

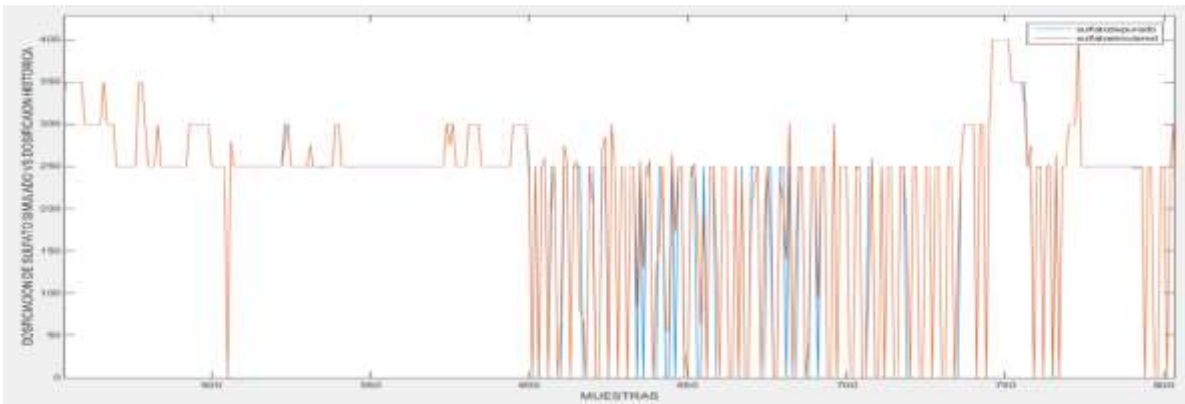


Figura 71. Ampliación de la Gráfica de contraste de la dosificación de sulfato simulado y el dosificado en periodo de evaluación enero-abril 2016 para determinar los errores

Las gráficas de dosificación muestran claramente una correlación existente entre los datos generados por la red para dosificación y los reales que fueron dosificados por el laboratorio de Planta Carigán en ese periodo de tiempo.

Para afirmar la veracidad de los resultados obtenidos además de las gráficas generadas observaremos los histogramas de error y la gráfica de residuos generados por nuestra salida de red aplicada a una de nuestras salidas en este caso Cal.

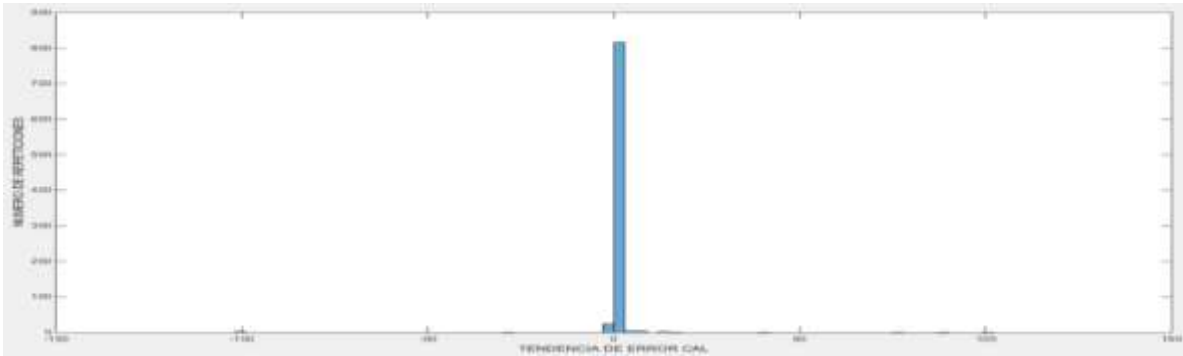


Figura 72. Gráficas de tendencia del error de cal.

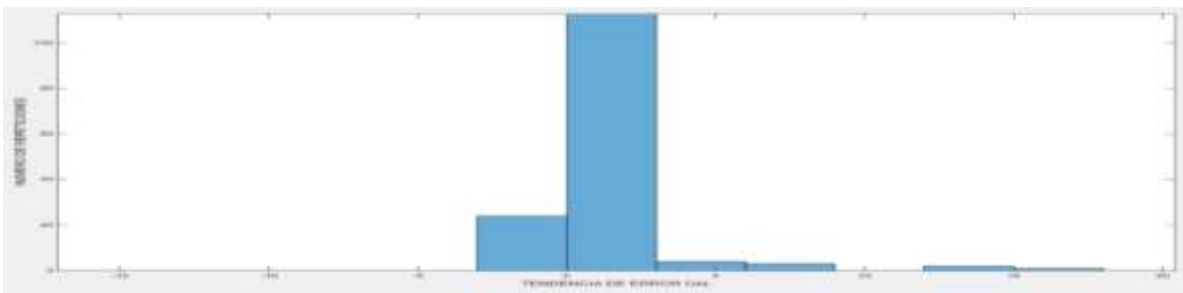


Figura 73. Ampliación de la gráfica de tendencia de error de cal.

Aquí claramente se observa que los vectores resultantes y el factor de correlación aplicada en cuanto a la dosificación de cal cuya la tendencia del error claramente tiende a estar ubicado en el intervalo de valores comprendidos entre 0 y 2,5 con más de 800 repeticiones de la totalidad de las muestras y se ubica como segundo valor de error considerable al intervalo de valores comprendidos entre 0 y -2,5 pero sus valores representativos están por debajo de las 30 repeticiones, por lo que prácticamente la tendencia de error mostrada en la figura 73. Tiende a cero en el caso particular de la cal, Utilizando la función de Mat Lab “corrcoef”, se determina el coeficiente de correspondencia de los datos tanto de la cal simulada en red como la obtenida mediante el uso de los históricos de planta en el periodo de evaluación y nos da un valor de 0.97%, el cual comprueba la tendencia de error obtenida en las gráficas.

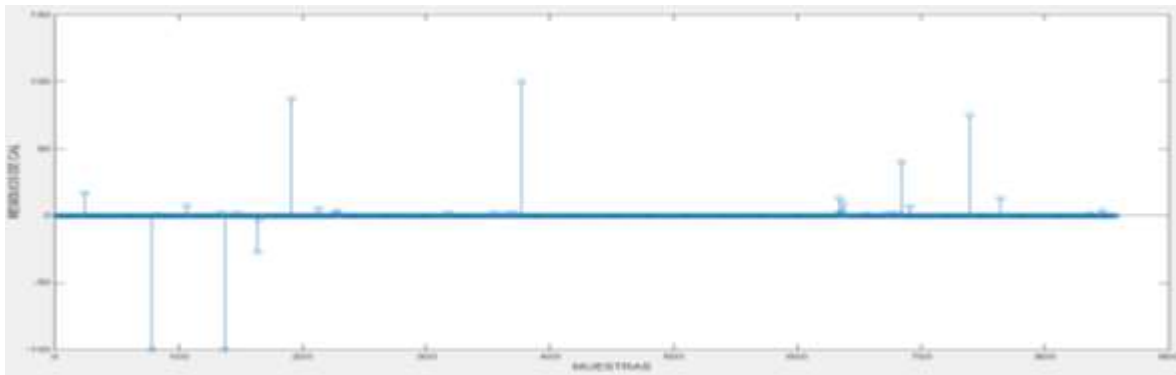


Figura 74. Gráfica de residuos de datos obtenidos de cal

En la figura 74 se aprecia la gráfica de residuos obtenida por el número de valores repetidos y valores atípicos generados en el proceso de simulación muestran como la masa de datos tiene una gran repetitividad entre los valores simulados por nuestra red y los valores históricos obtenidos en laboratorio durante el periodo de evaluación, se observa como la gran masa de datos se mantiene cerca de la línea valor cero y los valores atípicos son muy pocos tal acorde a un coeficiente de correlación del 97% , que se determinó para esta variable de salida.

Las gráficas de histogramas de error y de residuos aplicadas para la valoración de resultados nos indican un seguimiento coherente de los datos obtenidos de la RNA en función de los datos de validación aplicados a la dosificación de Cal parámetro de salida a validar para nuestra RNA.

Ahora analizaremos las gráficas de dosificación de sulfato

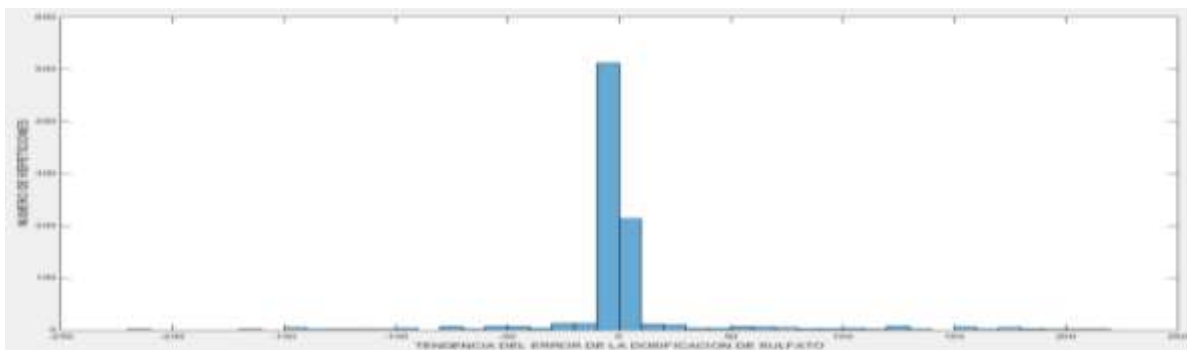


Figura 75. Gráficas de tendencia del error de Sulfato

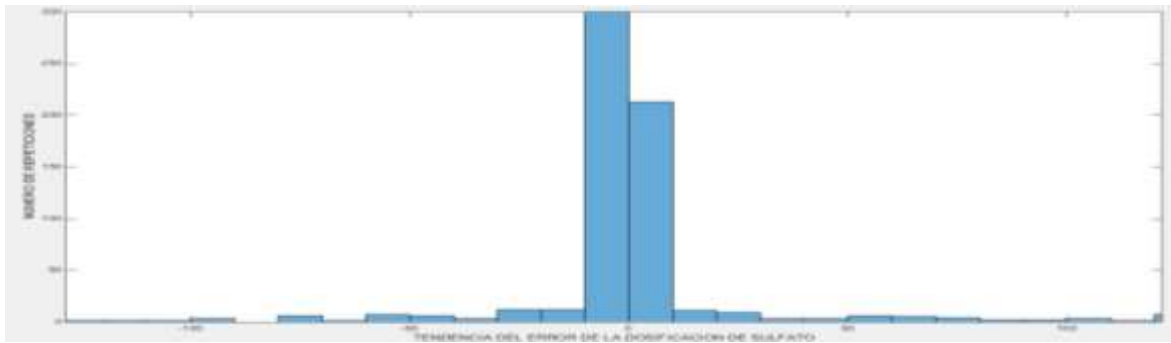


Figura 76. Ampliación de la gráfica de tendencia de error de Sulfato

Aquí claramente se observa que los vectores resultantes de la gráfica de tendencia de error en cuanto a la dosificación de Sulfato, la tendencia del error claramente tiende a estar ubicado en el intervalo de valores comprendidos entre 0 y -10 con más de 550 repeticiones de la totalidad de las muestras y se ubica como segundo valor de error considerable al intervalo de valores comprendidos entre 0 y 10, cuyos valores representativos están por debajo cerca de las 200 repeticiones, por lo que prácticamente la tendencia de error mostrada en la figura 75. Tiende a cero pero con un mayor margen de error que el determinado en el caso particular de la cal también existen valores de error más alejados de cero a los 2 considerados pero sus valores no son mayormente representativos para un análisis ya que no superan más de 20 repeticiones., Utilizando la función de MATLAB®, “corrcoef”, se determina el coeficiente de correspondencia de los datos tanto de la cal simulada en red como la obtenida mediante el uso de los históricos de planta en el periodo de evaluación y nos da un valor de 0.91%, el cual comprueba la tendencia de error obtenida en las gráficas y nos demuestra por qué en la dosificación de sulfato obtenida existe una correlación de menor proporción entre los resultados obtenidos y los simulados de la variable de salida Sulfato.

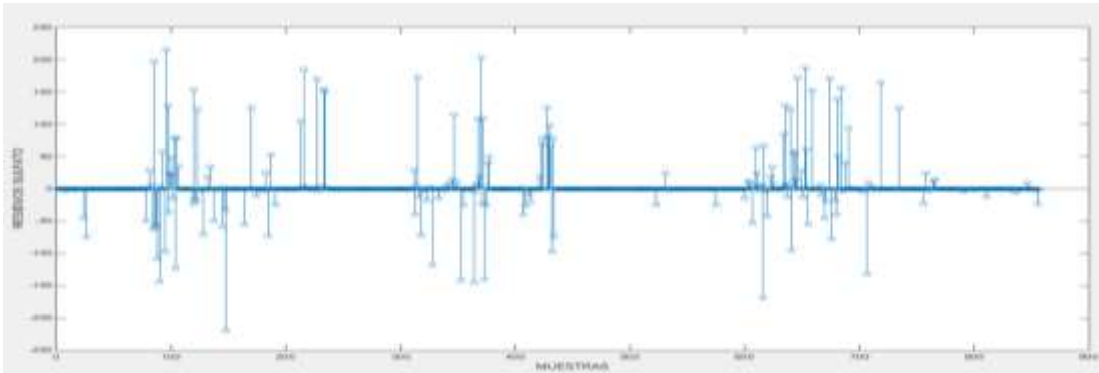


Figura 77. Gráficas de residuos de Sulfato

En la figura 77, se aprecia la gráfica de residuos obtenida por el número de valores repetidos y valores atípicos generados en el proceso de simulación muestran como la masa de datos tiene una gran repetitividad entre los valores simulados por nuestra red y los valores históricos obtenidos en laboratorio durante el periodo de evaluación, se observa como la gran masa de datos se mantiene cerca de la línea valor cero y los valores atípicos se incrementaron en relación a los obtenidos en la dosificación de Cal, pero si bien existen algunos valores atípicos que manejan grandes márgenes de error son muy pocos en comparación con la masa de datos con una tendencia de repetición entre los datos simulados y los datos reales obtenidos en el histórico de planta Carigan y son acordes a un coeficiente de correlación del 91% , que se determinó para esta variable de salida.

Las gráficas de histogramas de error y de residuos aplicadas para la valoración de resultados nos indican un seguimiento coherente de los datos obtenidos de la RNA en función de los datos de validación aplicados a la dosificación de Sulfato parámetro de salida a validar para nuestra RNA.

Finalmente una vez validado el modelo obtenido y con un índice de correlación superior al 90% que planteamos inicialmente existen 2 formas de obtener la respuesta de la red para los usuarios, los operadores de Planta Carigán, el primero es mediante el ingreso de datos aleatorios de Color y turbidez y se obtendrá de la matriz resultado los valores de dosificación tanto de Cal y de Sulfato modelados por la red, pero este método es complejo ya que se debe tener licencia para el uso gubernamental de Mat

Lab y un conocimiento medio en el uso del software, es por esto que se desarrolló un ejecutable de MATLAB®, compilando los datos obtenidos y creando una interfaz gráfica lo más sencilla posible para que los operadores de planta que en su mayoría tiene estudios primarios puedan ejecutar el mismo, consiste en una plataforma que solicita el color y turbidez de entrada dando como resultado la dosificación de sulfato y cal de acuerdo a los datos de laboratorio reales que sirvieron de base para el aprendizaje de la red.

The image shows a graphical user interface (GUI) for a MATLAB application. The title bar at the top reads "DOSIFICACIONES V 1.1". The interface is set against a blue background and contains the following elements:

- Two rows of input fields. The first row has a label "Valor de Color" followed by an empty white input box, and a label "Dosificación CAL" followed by an empty white input box.
- The second row has a label "Valor de Turbiedad" followed by an empty white input box, and a label "Dosificación Sulfato" followed by an empty white input box.
- A "CALCULAR" button is located at the bottom center of the interface.

7. DISCUSIÓN

El presente trabajo inicia determinando la dinámica del sistema de dosificación de Cal y Sulfato de aluminio del proceso de agua potable de la planta Carigán, para esto se analizó las características Físico Químicas del agua de entrada o denominada cruda y según nuestros resultados encontramos una linealidad en dos características del agua de entrada como son color y turbidez que al ser potabilizados se ven afectados en la etapa de coagulación por dos elementos químicos como son el sulfato de aluminio y la cal el primero es el coagulante standard para la potabilización del agua y el segundo permite mantener el ph deseado de tratamiento, ya que este elemento es determinante en el color de salida del agua potabilizada.

Considerado lo anteriormente planteado, se determinó un modelo matemático adecuado del tipo feedforward , con un tipo de aprendizaje supervisado, y un algoritmo de aprendizaje Lavenger Marquart, que nos permitió obtener un coeficiente de correlación superior al 90% y generar un aplicativo básico para la operadores de Planta que permite mediante el ingreso del color y turbiedad obtener las dosificaciones de cal y sulfato adecuadas basados en los datos obtenidos de laboratorio por más de 3 años, evitando el error que se comete en una apreciación visual.

Con relación a otros trabajos relacionados que reflejan el análisis de la literatura, a partir de la revisión del estado del arte encontramos, que métodos como lógica difusa se utilizan en la potabilización con excelentes resultados pero nos plantea utilizar un único objetivo que es el determinar la carga eléctrica del proceso de coagulación manejando variables de entrada pero actuando sobre una variable de salida en este caso la turbidez, basándose en el conocimiento propio de las personas que están encargadas de las plantas denominados expertos, considerando además las normas de control de calidad de agua se generan reglas de control que determinan el comportamiento del Modelo.

En nuestro caso planteamos controlar dos variables de entrada y dos de salida por la complementación del sistema entre la dosificación de cal y sulfato y su incidencia directa sobre el pH del agua generando un efecto directo en su color de salida.

Aplicado por la existencia de archivos históricos de Laboratorio que nos permitían un ajuste por error en nuestra RNA nos permitía simplificar el modelo, ya que manejar las variables de entrada de varios conjunto con dos salidas en nuestro trabajo lo volvería muy complejo por el número de reglas y una mayor incidencia de error al tratar de controlar las dos variables de salida.

Otro de los trabajos es el relacionado a la utilización de redes neuronales para el tratamiento de agua potable en zonas de altitud, en este trabajo se presentan condiciones de partida inusuales, ya que el sistema se ve afectado por la inestabilidad debida a precipitaciones fluviales constantes, este trabajo aplica una metodología de trabajo muy similar a la planteada en el nuestro, parten de una base de datos que ingresa al programa y mediante el sistema de entrenamiento supervisado a través de un software que facilita el desarrollo y prueba de modelos, determinan el mejor para su caso particular, pero la diferencia radica principalmente en su particularidad es decir su entrada es inestable y necesita un control continuo que necesita de datos y en este caso la red neuronal generalizada (GRN) se adapta perfectamente ya que es una red que se construye sobre ideas intuitivas y calcula el valor dependiente de predicción usando valores dependientes de cada caso de entrenamiento, La red GRN consta de factores de suavización optimizados para minimizar el error de la red entrenada utilizando el método de optimización de gradiente descendente conjugada, en nuestro trabajo se utiliza una red feedforward ya que no tiene los problemas de estabilidad propios de las redes retroalimentadas, y poseemos la relación causa y efecto pre calibrada ya que poseemos los datos históricos reales de comportamiento que nos permiten conocer las alteraciones medidas y el efecto que esas dosificaciones tuvieron en el agua potabilizada de salida en nuestro periodo de estudio, además analizamos un sistema que no es inestable y que los valores atípicos generados por precipitaciones son puntuales.

Otro trabajo importante dentro del análisis de la literatura fue un control del flujo de retroalimentación en una planta de aguas residuales. Fue la utilización de técnicas paramétricas y no paramétricas lo que lo hizo tan importante, durante la fase de búsqueda inicial del trabajo se realizaron un sin número de pruebas y se emplearon métodos paramétricos y no paramétricos obteniendo siempre un porcentaje de ajuste

respecto a los datos utilizados no superior al 70%, y esto se comprueba con el trabajo citado ya que su mejor porcentaje de ajuste es de 68,91%, y valida nuestra elección ya que la el uso de la RNA permitió obtener un 92% de coeficiente de correlación y la obtención de un sistema de dos variables de entrada y dos de salida que permitió generar un trabajo más completo ya que la interrelación de nuestras variables no permitían un análisis particular de cada una de ellas, que era el caso que planteamos en nuestra fase de exploración del presente trabajo.

Finalmente citamos un modelo de predicción de demanda del sector residencial de la Ciudad de Loja, este trabajo permite demostrar las bondades de las redes neuronales dentro de sistemas complejos, pese a que su objetivo es predecir la demanda de carga eléctrica para un sector residencial, y la nuestra se basa en el tratamiento del agua sus metodologías son similares y bien se pueden utilizar como base una de la otra o guía para otro estudio como podrían ser detección de daños estructurales, dosificación ideal para hormigones, en economía, etc.

En la parte central ya los trabajos son diferentes dadas las particularidades propias de cada trabajo, en el caso del sistema predictivo, justamente predice una curva estimada de carga con un tiempo no mayor a 24 horas y en nuestro caso determina valores preconcebidos, conociendo la anomalía presentada y la respuesta adecuada de laboratorio para cada evento que se presentó, permitiendo que los operadores en un sistema conocido puedan tomar las medidas certificadas por el laboratorio para el adecuado tratamiento de potabilización.

7.1 Conclusiones capítulo de resultados y Discusión

- Para la valoración de resultados se tomaron 871 muestras correspondientes al periodo comprendido entre enero y abril del 2016, una vez depuradas las muestras se utilizaron 857 muestras Los valores atípicos de intervalo correspondientes al periodo 2016 no superan el 1,6% de la data siendo las muestras confiables para ser introducidas en el modelo desarrollado para la validación de resultados, la red fue diseñada para predecir la dosificación

adecuada de cal y sulfato , siempre considerando el color y la turbidez de entrada y de agua cruda en la planta Carigán.

- Mediante la superposición de las gráficas resultantes de la simulación de cal y sulfato con las gráficas propias de la dosificación realizada real en el mismo periodo de evaluación determinamos una gran correlación existente entre nuestros 2 parámetros de salida, en el caso de la cal de un 98% y en el caso del sulfato de un 92%, para afirmar la veracidad de los resultados obtenidos en las gráficas superpuestas analizamos también histogramas de error y Gráficas de residuos de cada una de las variables de salida obtenidas.
- Las gráficas de histogramas de error en la cal muestran una tendencia de más del 90% de los datos con una tendencia a cero de error , validado por el coeficiente de correlación obtenido a través del modelo que indica un 98% de equivalencia de los datos planteados y las gráficas de histogramas de error en el sulfato muestran una tendencia de más del 65% de los datos con una tendencia a cero de error y un 23% una tendencia entre 0 y 10 de manteniendo un intervalo si bien mayor al presentado en cal sigue siendo bajo y entra en los intervalos de confianza planteados para este modelo, validado por el coeficiente de correlación obtenido a través del modelo que indica un 91.78 % de equivalencia de los datos planteados lo que indican un seguimiento coherente de los datos obtenidos de la RNA en función de los datos de validación aplicados.
- El análisis de la literatura permite comparar nuestro resultado final, con excelentes trabajos ya realizados, pero permiten además sin desmerecer a los mismos determinar que la metodología, elección y diseño de red fue el más adecuado para las condiciones particulares de la planta Carigán y cumplir con el objetivo y la hipótesis planteada al inicio del presente trabajo.

8. CONCLUSIONES

- Se ha generado un modelo matemático basado en el uso de redes neuronales que permiten determinar las dosis óptimas de químicos a ser aplicados al tratamiento del Agua Potable basado en los resultados obtenidos en laboratorio y que permitieron garantizar el cumplimiento de la Norma INEN 11-08 en cuanto a los parámetros de Color y turbidez se refiere.
- Se analizó el comportamiento de los parámetros básicos considerados para el tratamiento del agua y se determinó la dinámica del sistema de dosificación de cal y sulfato, determinando su etapa aplicación, parámetros de afectación e influencia de la calidad del agua potabilizada en la planta Carigán, para su posterior aplicación en la generación de un modelo matemático basado en redes neuronales que permite determinar las dosis óptimas de químicos en función de las dosificaciones determinadas por laboratorio de planta Carigán en el periodo comprendido entre Julio 2014 y abril del 2016.
- Se determinaron y recopilaron los datos del sistema de dosificación de sulfato y aluminio, analizando todos los parámetros de entrada y su incidencia en la determinación de la dosificación de químicos para una adecuada potabilización en el periodo comprendido entre Julio 2014 y abril del 2016.
- Obtención de un modelo matemático basado en redes neuronales del tipo feedforward que aplica el algoritmo de aprendizaje Lavenger Marquart (TRAINLM), y determinación de error mediante error cuadrático medio, con un índice de correlación de 91.78%, de las 2 variables Cal y Sulfato de Aluminio de salida de la red, superando el índice de 90% requerido.
- Mediante la utilización de los datos de los 4 primeros meses del 2016 para validación de nuestro modelo matemático basado en redes neuronales y mediante superposición de las gráficas e histogramas de error de los datos simulados por la red y los datos de los históricos del laboratorio de planta Carigán, se determina que las dosificaciones simuladas para cal se corresponden en un 98% con las existentes en los históricos y en el caso del

sulfato en un 92%. Lo que permite certificar la utilización de las dosificaciones simuladas.

- Se generó el modelo matemático y se pudo reproducir la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal con un coeficiente de correlación superior al 90% planteado, estos resultados se compilaron y se generó un aplicativo básico, con una interfaz gráfica muy sencilla que permite a los operadores de planta validar las dosificaciones adecuadas de químicos basados en resultados reales del laboratorio que han permitido garantizar el cumplimiento de la Norma INEN 1108 cumpliendo con la Hipótesis planteada en el presente trabajo.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar el formato de históricos existentes en Planta Carigán, durante el proceso de adquisición de datos, durante los años 2014-2015-2016, los formatos variaban considerablemente en este periodo, lo que dificultaba la interpretación de los mismos
- El sistema SCADA instalado en Planta Carigán permite un control a distancia y en tiempo real los parámetros de proceso del tratamiento, sería recomendable obtener la base de datos y depurar los parámetros de control de pH , turbidez relacionándolos con las dosificaciones establecidas en los registros de control de operación por parte de los operadores con el fin de incrementar la data para entrenamiento, verificación y validación de nuestro modelo mejorando su respuestas, minimizando los errores que se presenten en el mismo.
- Se debe mejorar la adquisición de datos en los históricos del laboratorio ya que se cuenta únicamente con los resultados cada hora en un periodo de 8 de la mañana a 5 de la tarde y los fines de semana solo incluyen mediciones de máximo tres horas, de no ser porque el sistema aplicado no requiere una retro - programación , y cada valor en la hora estimada no depende de la anterior, no se podría realizar un modelado del sistema en otro tipo de red, sería conveniente mejorar la capacitación del personal de operadores de planta o cambiar el perfil de los mismos con el fin que realicen el manejo de algunos equipos de laboratorio enriqueciendo los históricos de control del proceso de tratamiento.
- Se recomienda el uso del interfaz gráfico del modelo matemático basado en redes neuronales, no solo para confirmación y validación de las dosificaciones a ser suministrada sino como un medio de capacitación y preparación de nuevos operadores que ingresen a la planta de tratamiento, que no posean la experiencia y pericia de los que actualmente trabajan en la misma.
- Se recomienda que la presente metodología empleada sirva de base para futuros trabajos del ámbito de la ingeniería, y en el mismo proceso de potabilización de agua , como la implementación de coadyuvantes de floculación denominados polímeros, la generación de una red para determinar la optimización del proceso de lavado de los filtros, o una red predictiva de

consumo de químicos anual que permita realizar una adecuada planificación del stock de productos básicos necesario para la adecuada potabilización de agua a potabilizada o distribuida.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Arbib, M. (2003). *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks: Second Edition*. MIT Press.
- Bao, J. (2000). *Short-term Load Forecasting based on Neural Network and Moving*. Artificial Intelligence Lab, Dept of Computer Science Iowa State.
- Bastidas, L., Montoya, S., & Velásquez, J. (2008). ¿Hacia dónde irán los sectores eléctricos de los países de la región Andina? Tendencias posibles. *Cuadernos de Administración*.
- Bedoya, D. C. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa Santana*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira- Facultad de Tecnologías, Escuela de Química.
- Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible. (2015). Características químicas del agua.
- Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible BVSDE, T. d. (s.f.). www.bvsde.paho.org.
Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>
- Bunn, D., & Farmer, E. D. (1985). *Comparative models for electrical load forecasting*.
- Cabrera Samaniego Juan Pablo. (2 de Octubre de 2013). Modelo de Predicción de Demanda del sector Residencial de la Ciudad de Loja. Loja, Loja, Ecuador.
- cal, A. n. (s.f.). *Usos de la cal en tratamientos de Agua Potable*. Obtenido de anfcal.org/media/.../Usos...de_Aguas/USOS_DE_CAL_EN_AGUA_POTABLE.pdf
d: <http://anfcal.org>
- Desarrollo, A. y. (2014). *Ambiente y Desarrollo*. ISSN: 0121-7607, 109-116.
- Duque Mauricio, G. E. (s.f.). El uso de la lógica difusa para la potabilización del agua.
- Flórez López, R., & Fernández Fernández, J. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos Teóricos y Aplicaciones Prácticas*. Netbiblo.

- García Delgado, L., Myro, R., & Martínez Serrano, J. (1997). *Lecciones de economías Española* (Tercera ed.). Civitas.
- Graupe, D. (2007). *Principles of Artificial Neural Networks (2nd Edition)*. World Scientific.
- Haykin, S. (2009). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall.
- Hernández López, L. (2006). *Predicción y optimización de emisiones y consumo mediante redes neuronales*. Reverte.
- J. Arboleda Valencia. (1992). *Teoría Y Practica De La Purificación Del Agua*. Colombia: ACODAL.
- Jhon Chavarro, W. P. (s.f.). *Aplicación de modelos de redes neuronales artificiales en la predicción de los índices de calidad del agua en el río Tunjuelito*. Bogota: Seminario maestría en Hidrosistemas.
- Kher, L., Sioshanshi, F., & Soroosshian, S. (1987). Energy demand modelling with noisy input – output variables. *The energy journal*.
- Kumar, S. (2004). *Neural Networks: A Classroom Approach*. Tata McGraw-Hill .
- Medina, S., & García, J. (2005). Predicción de demanda de energía en Colombia mediante un sistema de inferencia difuso neuronal. *Revista Energética*.
- Murto, P. (1998). *Neural Network Models for short-term load forecasting*. Helsinki University of Technology: Department of Engineering, Physics and Mathematics.
- OPS, O. P. (2004). *Tratamiento de agua para consumo Humano*. Lima: Centro panamericano de ingeniería Sanitaria y ciencias ambientales CEPIS.
- Pai, P., & Hong, W. (2005). *Forecasting regional electricity load based on recurrent support vector machines with genetic algorithms*. *Electric Power Systems Research*.
- Priddy, K., & Keller, P. (2005). *Artificial Neural Networks: An Introduction*. SPIE Press.
- Purificación, A. (11 de Noviembre de 2005). *La importancia del Agua*. Obtenido de Tratamiento del agua blogspot: <http://tratamiento-del-agua.blogspot.com>
- Rueda, V. M., Velásquez, J. D., & Franco, C. J. (2011). Avances recientes en la predicción de la demanda de electricidad usando modelos no lineales.

Shachmurove, Y. (2002). *Applying Artificial Neural Networks to Business*. University of Pennsylvania: Economics and Finance.

Sivanandam, S., & Deepa, S. (2006). *Intro To Neural Net With Matlab 6.0*. Tata McGraw-Hill Education.

Tkacz, G., & Hu, S. (1999). *Forecasting GDP growth using Artificial Neural Networks*.

Valanecia, A., Lozano, C., & Moreno, C. (2007). Modelo de promedios móviles para el pronóstico horario de potencia y energía eléctrica. *El hombre y la máquina*.

Valencia, J. a. (1992). Colombia: Axodal.

Yegnanarayana, B. (2004). *Artificial Neural Networks*. PHI Learning Pvt. Ltd.

11. ANEXOS

Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

LIBRO VI ANEXO 1



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

0 INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

1 OBJETO

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y las que a continuación se indican:

2.1 Agua costera

Es el agua adyacente a la tierra firme, cuyas propiedades físicas están directamente influenciadas por las condiciones continentales.

2.2 Agua marina

Es el agua de los mares y se distingue por su elevada salinidad, también conocida como agua salada. Las aguas marinas corresponden a las aguas territoriales en la extensión y términos que fijen el derecho internacional, las aguas marinas interiores y las de lagunas y esteros que se comuniquen permanentemente.

2.3 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

2.4 Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

2.5 Agua dulce

Agua con una salinidad igual o inferior a 0.5 UPS.

2.6 Agua salobre

Es aquella que posee una salinidad entre 0.5 y 30 UPS.

2.7 Agua salina

Es aquella que posee una salinidad igual o superior a 30 UPS.

2.8 Aguas de estuarios

Son las correspondientes a los tramos de ríos que se hallan bajo la influencia de las mareas y que están limitadas en extensión hasta la zona donde la concentración de cloruros es de 250 mg/l o mayor durante los caudales de estiaje.

2.9 Agua subterránea

Es toda agua del subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica).

2.10 Aguas superficiales

Toda aquella agua que fluye o almacena en la superficie del terreno.

2.11 Agua para uso público urbano

Es el agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

2.12 Bioacumulación

Proceso mediante el cual circulan y se van acumulando a lo largo de la cadena trófica una serie de sustancias tóxicas, las cuales pueden alcanzar concentraciones muy elevadas en un determinado nivel.

2.13 Bioensayo acuático

Es el ensayo por el cual se usan las respuestas de organismos acuáticos, para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.

2.14 Capacidad de asimilación

Propiedad que tiene un cuerpo de agua para recibir y depurar contaminantes sin alterar sus patrones de calidad, referido a los usos para los que se destine.

2.15 Caracterización de un agua residual

Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del agua residual, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico.

2.16 Carga promedio

Es el producto de la concentración promedio por el caudal promedio, determinados en el mismo sitio.

2.17 Carga máxima permisible

Es el límite de carga que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

2.18 Carga contaminante

Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

2.19 Contaminación de aguas subterráneas

Cualquier alteración de las propiedades físico, química, biológicas de las aguas subterráneas, que pueda ocasionar el deterioro de la salud, la seguridad y el bienestar de la población, comprometer su uso para fines de consumo humano, agropecuario, industriales, comerciales o recreativos, y/o causar daños a la flora, a la fauna o al ambiente en general.

2.20 Cuerpo receptor o cuerpo de agua

Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

2.21 Depuración

Es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para disminuir su impacto ambiental.

2.22 Descargar

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado en forma continua, intermitente o fortuita.

2.23 Descarga no puntual

Es aquella en la cual no se puede precisar el punto exacto de vertimiento al cuerpo receptor, tal es el caso de descargas provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

2.24 Efluente

Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad.

2.25 FAO

Organización para la Agricultura y Alimentos de las Naciones Unidas.

2.26 Isohalina

Es una línea imaginaria que une los puntos de igual salinidad en un lugar geográfico determinado.

2.27 Isoterma

Es una línea imaginaria que une los puntos de igual temperatura en un lugar geográfico determinado.

2.28 Línea base

Denota el estado de un sistema en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades industriales o humanas.

2.29 Línea de fondo

Denota las condiciones ambientales imperantes, antes de cualquier perturbación. Es decir, significa las condiciones que hubieran predominado en ausencia de actividades antropogénicas, sólo con los procesos naturales en actividad.

2.30 Metales pesados

Metales de número atómico elevado, como cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, y zinc, entre otros, que son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación.

2.31 Módulo

Conjunto unitario que se repite en el sistema de tratamiento, cumple con el propósito de mantener el sistema de tratamiento trabajando, cuando se proporciona mantenimiento al mismo.

2.32 Oxígeno disuelto

Es el oxígeno libre que se encuentra en el agua, vital para las formas de vida acuática y para la prevención de olores.

2.33 Pesticida o plaguicida

Los pesticidas son sustancias usadas para evitar, destruir, repeler o ejercer cualquier otro tipo de control de insectos, roedores, plantas, malezas indeseables u otras formas de vida inconvenientes. Los pesticidas se clasifican en: Organoclorados, organofosforados, organomercuriales, carbamatos, piretroides, bipiridilos, y warfarineos, sin ser esta clasificación limitativa.

2.34 Polución o contaminación del agua

Es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua.

2.35 Polución térmica

Descargas de agua a mayor o menor temperatura que aquella que se registra en el cuerpo receptor al momento del vertido, provenientes de sistemas industriales o actividades humanas.

2.36 Pozo u obra de captación

Cualquier obra, sistema, proceso, artefacto o combinación, construidos por el hombre con el fin principal o incidental de extraer agua subterránea.

2.37 Pozo artesiano

Pozo perforado en un acuífero, cuyo nivel de agua se eleva sobre la superficie del suelo.

2.38 Pozo tubular

Pozo de diámetro reducido, perforado con un equipo especializado.

2.39 Río

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, embalses naturales o artificiales, lagos, lagunas o al mar.

2.40 Toxicidad

Se considera tóxica a una sustancia o materia cuando debido a su cantidad, concentración o características físico, químicas o infecciosas presenta el potencial de:

- a) Causar o contribuir de modo significativo al aumento de la mortalidad, al aumento de enfermedades graves de carácter irreversible o a las incapacitaciones reversibles.
- b) Que presente un riesgo para la salud humana o para el ambiente al ser tratados, almacenados, transportados o eliminados de forma inadecuada.
- c) Que presente un riesgo cuando un organismo vivo se expone o está en contacto con la sustancia tóxica.

2.41 Toxicidad en agua

Es la propiedad de una sustancia, elemento o compuesto, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en 4 días a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.

2.42 Toxicidad crónica

Es la habilidad de una sustancia o mezcla de sustancias de causar efectos dañinos en un período extenso, usualmente después de exposiciones continuas o repetidas.

2.43 Tratamiento convencional para potabilizar el agua

Son las siguientes operaciones y procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

2.44 Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado

Es aquel que está conformado por tratamiento primario y secundario, incluye desinfección.

Tratamiento primario.- Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejas, mallas, o cribas) para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

Tratamiento secundario.- Contempla el empleo de procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos.

El tratamiento secundario generalmente está precedido por procesos de depuración unitarios de tratamiento primario.

2.45 Tratamiento Avanzado para efluentes, previo descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado

Es el tratamiento adicional necesario para remover sustancias suspendidas y disueltas que permanecen después del tratamiento convencional para efluentes.

2.46 UPS

Unidad práctica de salinidad y representa la cantidad de gramos de sales disueltas en un kilo de agua.

2.47 Usuario

Es toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que utilice agua tomada directamente de una fuente natural o red pública.

2.48 Valores de línea de base

Parámetros o indicadores que representan cuantitativa o cualitativamente las condiciones de línea de base.

2.49 Valores de fondo

Parámetros o indicadores que representan cuantitativa o cualitativamente las condiciones de línea de fondo.

2.50 Zona de mezcla

Es el área técnicamente determinada a partir del sitio de descarga, indispensable para que se produzca una mezcla homogénea en el cuerpo receptor.

3 CLASIFICACION

3.1 Criterios de calidad por usos

1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
3. Criterios de calidad para aguas subterráneas.
4. Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
5. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
6. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
7. Criterios de calidad para aguas de uso estético.
8. Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
9. Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

3.2 Criterios generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
 - a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.
 - b) Descarga a un cuerpo de agua marina.

4 DESARROLLO

4.1 Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios.

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

- a) Consumo humano y uso doméstico.
- b) Preservación de Flora y Fauna.
- c) Agrícola.

- d) Pecuario.
- e) Recreativo.
- f) Industrial.
- g) Transporte.

- h) Estético.

En los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas, corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia.

4.1.1 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

4.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
- c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

4.1.1.2 Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 1):

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de

Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos			
Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	10,0
Benzo(a) pireno		µg/l	0,01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000

1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Xilenos (totales)		□g/l	10 000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	□g/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	□g/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración	□g/l	5
	total de dicloropropano		
Diquat		□g/l	70
Glifosato		□g/l	200
Toxafeno		□g/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		□g/l	3
Dicloroetano (1,2-)		□g/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		□g/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		□g/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		□g/l	100
Diclorometano		□g/l	50
Tetracloroetileno		□g/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		□g/l	200
Tricloroetileno		□g/l	30
Clorobenceno		□g/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		□g/l	200

Diclorobenceno (1,4-)		□g/l	5
Hexaclorobenceno		□g/l	0,01
Bromoximil		□g/l	5
Diclorometano		□g/l	50
Tribrometano		□g/l	2

Nota:

Productos para la desinfección: Cloroformo, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.

4.1.1.3 Las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección, deberán cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación (ver tabla 2):

TABLA 2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Parámetro	Expresado	Unidad	Límite Máximo
	Como		Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2,0

Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de

TABLA 2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Parámetro	Expresado	Unidad	Límite Máxim
	Como		Permisible
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	☐		Condición Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	mg/l	0,01
Benzo-a- pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y Herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorado	mg/l	0,01

Organofosforados y carbamatos	s totales Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Toxafeno		µg/l	0,01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Nota:

*Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

4.1.2 Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios

4.1.2.1 Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

4.1.2.2 Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación (ver tabla 3):

TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles	Concentración total de PCBs.	mg/l	0,5	0,5	0,5
Bifenilos policlorados/PCBs		mg/l	0,001	0,001	0,001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoníaco	NH ₃	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Totales de Petróleo					
Hidrocarburos aromáticos	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003

policíclicos (HAPs)					
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	□g/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	□g/l	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	□C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		200	200	200

4.1.2.3 Además de los criterios indicados (ver tabla 3), se utilizarán los siguientes valores máximos (ver tabla 4) para la interpretación de la calidad de las aguas.

TABLA 4. Límites máximos permisibles adicionales para la interpretación de la calidad de las aguas.

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	
		Agua Marina	Agua Dulce
Acenaftileno	□g/l	7	2
Acrilonitrilo	□g/l		26
Acroleina	□g/l	0,05	0,2
Antimonio (total)	□g/l		16
Benceno	□g/l	7	300
BHC-ALFA	□g/l		0,01
BHC-BETA	□g/l		0,01
BHC-DELTA	□g/l		0,01
Clorobenceno	□g/l		15
Clorofenol (2-)	□g/l	30	7
Diclorobenceno	□g/l	2	2,5
Diclorobenceno (1,4-)	□g/l		4
Dicloroetano (1,2-)	□g/l	113	200
Dicloroetilenos	□g/l	224	12
Dicloropropanos	□g/l	31	57
Dicloropropenos	□g/l	0,8	2
Difenil Hidrazina (1,2)	□g/l		0,3
Dimetilfenol (2,4-)	□g/l		2
Dodecacloro + Nonacloro	□g/l	0,001	
Etilbenceno	□g/l	0,4	700
Fluoruro total	□g/l	1 400	4
Hexaclorobutadieno	□g/l	0,03	0,1
Hexaclorociclopentadieno	□g/l	0,007	0,05
Naftaleno	□g/l	2	6
Nitritos	□g/l	1 000	60
Nitrobenceno	□g/l	7	27
Nitrofenoles	□g/l	5	0,2
PCB (total)	□g/l	0,03	0,001
Pentaclorobenceno	□g/l		0,03
Pentacloroetano	□g/l	3	4
P-clorometacresol	□g/l		0,03
Talio (total)	□g/l	2	0,4
Tetraclorobenceno (1,2,3,4-)	□g/l		0,1
Tetraclorobenceno (1,2,4,5-)	□g/l		0,15

Tetracloroetano (1,1,2,2-)	□g/l	9	24
Tetracloroetileno	□g/l	5	260
Tetraclorofenoles	□g/l	0.5	1
Tetracloruro de carbono	□g/l	50	35
Tolueno	□g/l	50	300
Toxafeno	□g/l	0,005	0,000
Tricloroetano (1,1,1)	□g/l	31	18
Tricloroetano (1,1,2)	□g/l		94
Tricloroetileno	□g/l	2	45
Uranio (total)	□g/l	500	20
Vanadio (total)	□g/l		100

4.1.2.4 Además de los parámetros indicados dentro de esta norma, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

La turbiedad de las aguas de estuarios debe ser considerada de acuerdo a los siguientes límites:

- Condición natural (Valor de fondo) más 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométrica);
- Condición natural (Valor de fondo) más 10%, si la turbiedad natural varía entre 50 y 100 UTN, y,
- Condición natural (Valor de fondo) más 20%, si la turbiedad natural es mayor que 100 UTN;
- Ausencia de sustancias antropogénicas que produzcan cambios en color, olor y sabor del agua en el cuerpo receptor, de modo que no perjudiquen a la flora y fauna acuáticas y que tampoco impidan el aprovechamiento óptimo del cuerpo receptor.

4.1.3 Criterios de calidad para aguas subterráneas

A continuación se establecen criterios de calidad a cumplirse, al utilizar las aguas subterráneas.

4.1.3.1 Todos los proyectos que impliquen la implementación de procesos de alto riesgo ambiental, como: petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos, usinas nucleares, y cualquier otra fuente de gran impacto, peligrosidad y riesgo para las aguas subterráneas cuando principalmente involucren almacenamiento superficial o subterráneo, deberá contener un informe detallado de las características hidrogeológicas de la zona donde se implantará el proyecto, que permita evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos, así como una descripción detallada de las medidas de protección a ser adoptadas.

4.1.3.2 La autorización para realizar la perforación de pozos tubulares (uso del agua) será otorgada por el CNRH, previo a la presentación por parte del interesado, de la siguiente información:

- Localización del pozo en coordenadas geográficas,
- Uso pretendido o actual del agua.
- Datos técnicos de los pozos de monitoreo para la calidad del agua y remediación.

4.1.3.3 Los responsables por pozos tubulares estarán obligados a proporcionar al CNRH, al inicio de la captación de las aguas subterráneas o en cualquier época, la siguiente información:

- a) Copia del perfil geológico y características técnicas del pozo.
- b) Localización del pozo en coordenadas geográficas.
- c) Uso pretendido y actual del agua, y
- d) Análisis físico-químico y bacteriológico, efectuado en los últimos seis (6) meses, del agua extraída del pozo, realizado por un laboratorio acreditado.

4.1.3.4 Los responsables de pozos tubulares estarán obligados a reportar al CNRH, la desactivación temporal o definitiva del pozo.

4.1.3.5 Los pozos abandonados, temporal o definitivamente, y todas las perforaciones realizadas para otros fines, deberán, después de retirarse las bombas y tuberías, ser adecuadamente tapados con material impermeable y no contaminante, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. Todo pozo deberá ser técnica y ambientalmente abandonado.

4.1.3.6 De existir alteración comprobada de la calidad de agua de un pozo, el responsable, deberá ejecutar las obras necesarias para remediar las aguas subterráneas contaminadas y el suelo afectado.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas subterráneas, se presentan a continuación (ver tabla 5):

TABLA 5. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0 - 10,0) %.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Arsénico (total)	As	□g/l	35
Bario	Ba	□g/l	338
Cadmio	Cd	□g/l	3,2
Cianuro (total)	CN-	□g/l	753
Cobalto	Co	□g/l	60
Cobre	Cu	□g/l	45
Cromo total	Cr	□g/l	16
Molibdeno	Mo	□g/l	153
Mercurio (total)	Hg	□g/l	0,18
Níquel	Ni	□g/l	45
Plomo	Pb	□g/l	45
Zinc	Zn	□g/l	433
Compuestos aromáticos.			
Benceno.	C ₆ H ₆	□g/l	15
Tolueno.		□g/l	500
Estireno		□g/l	150
Etilbenceno		□g/l	75
Xileno (Suma) ¹		□g/l	35
Fenol		□g/l	1 000
Cresol ²		□g/l	100
Hidroquinona		□g/l	400
Hidrocarburos aromáticos policíclicos.			
Naftaleno		□g/l	35
Fenantreno.		□g/l	2,5
Antraceno		□g/l	2,5
Fluoranteno		□g/l	0,5
Benzo(a)antraceno		□g/l	0,25
Criseno		□g/l	0,026
Benzo(k)fluoranteno		□g/l	0,026
Benzo(a)pireno		□g/l	0,026
Benzo(ghi)perileno		□g/l	0,025
Indenol (1,2,3 cd)		□g/l	0,025
pireno			
Hidrocarburos Clorados.			
Diclorometano		□g/l	500
Triclorometano		□g/l	200
Tetraclorometano		□g/l	5,0

1,1-dicloroetano	□g/l	1 300
1,2-dicloroetano	□g/l	200
1,1,1- tricloroetano	□g/l	275
1,1,2-tricloroetano	□g/l	750
Vinilclorado	□g/l	0,35
Cis-1,2- dicloeteno	□g/l	650
Tricloroeteno	□g/l	250
Tetracloroeteno	□g/l	20
Monoclorobenceno	□g/l	90
Diclorobenceno	□g/l	25
(Suma)		
Triclorobenceno	□g/l	5
(Suma)		
Tetraclorobenceno	□g/l	1,26
(Suma)		
Pentaclorobenceno	□g/l	0,5
Hexaclorobenceno	□g/l	0,26
Monoclorofenol	□g/l	50
(Suma)		
Diclorofenol (Suma)	□g/l	15
Triclorofenol (Suma)	□g/l	5
Tetraclorofenol	□g/l	5
Pentaclorofenol	□g/l	1,5
Cloronaftaleno	□g/l	3
PCBs (Suma) ³	□g/l	0,01
Pesticidas		
Organoclorados		
DDD, DDE, DDT	□g/l	0,005
(Suma) ⁴		
Drins (Suma) ⁵	□g/l	0,05
HCH-Compuestos	□g/l	0,5
(Suma) ⁶		
Carbamatos		
Carbaril	□g/l	0,06
Carbofuran	□g/l	0,06
Maneb	□g/l	0,05
Organonitrogenados		
Atrazina	□g/l	0,05

³ Suma de Bifenilos Policlorados Totales: Formas PCB 28, 52, 101, 138, 153 Y 180. ⁴ Suma de DDD, DDE y DDT.

⁵ Suma de Aldrín, Endrín, y Dieldrín.

⁶ Suma de los isómeros del Hexaclorociclohexano: alfa, beta, gama.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Compuestos remanentes			
Ciclohexanos		□g/l	7 500
Ftalatos (Suma) ⁷		□g/l	2,75
Hidrocarburos totales de petróleo		□g/l	325
Piridina		□g/l	1,75
Tetrahidrofurano		□g/l	0,75
Tetrahidrotiofeno		□g/l	15

4.1.3.7 El Ministerio del Ambiente dictará una Subnorma específica como complemento a la presente, referente a aguas subterráneas.

4.1.4 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación (ver tabla 6) :

TABLA 6. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5

Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Además de los criterios indicados, la Entidad Ambiental de Control utilizará también las siguientes guías para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado (ver tabla 7):

NORMA AMBIENTAL

TABLA 7. PARÁMETROS DE LOS NIVELES GUÍA DE LA CALIDAD DEL

AGUA PARA
RIEGO

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
Infiltración (4):					
RAS = 0 – 3 y CE		0,7	0,7	0,2	< 0,2
RAS = 3 – 6 y CE		1,2	1,2	0,3	< 0,3
RAS = 6 – 12 y CE		1,9	1,9	0,5	< 0,5
RAS = 12 – 20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS = 20 – 40 y CE		5,0	5,0	2,9	<2,9
Toxicidad por ión específico (5):					
- Sodio:					
Irrigación superficial RAS (6)		3,0	3,0	9	> 9,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Cloruros					
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0	10,0	>10,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Boro	mg/l	0,7	0,7	3,0	> 3,0
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/l	5,0	5,0	30,0	>30,0
- Bicarbonato (HCO ₃)	meq/l	1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Rango normal	6,5 – 8,4			

*Es un limitación que indica el rango de grado de restricción, que factibilidad para el uso del agua en riego.

(1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.

(2) Conductividad eléctrica del agua: regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).

(3) Sólidos disueltos totales.

(4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.

(5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.

(6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada.

(7) Afecta a los cultivos susceptibles.

4.1.5 Criterios de calidad para aguas de uso pecuario

Se entiende como aguas para uso pecuario a aquellas empleadas para el abrevadero de animales, así como otras actividades conexas y complementarias que establezcan los organismos competentes.

Las aguas destinadas a uso pecuario deberán cumplir con los siguientes criterios de calidad (ver tabla 8):

TABLA 8. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario

Parámetro Expresado	como Unidad	Valor máximo permisible	
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,2
Bario	Ba	mg/l	1,0
Boro (total)	B	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Carbamatos (totales)	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	25,0
Cobre	Cu	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	cr+6	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	1,0
Litio	Li	mg/l	5,0
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,5
Molibdeno	Mo	mg/l	0,005
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Nitratos + nitritos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N-nitrito	mg/l	1,0
Níquel	Ni	mg/l	0,5
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	3,0
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plata	Ag	mg/l	0,05
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000
Transparencia de las			mínimo 2,0 m

aguas medidas con el disco secchi.			
Vanadio	V	mg/l	10,0
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		Menor a 1 000
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		Promedio mensual menor a 5 000

4.1.6 Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe:

- Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales y
- Contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca.

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario se presentan a continuación (ver tabla 9):

TABLA 9. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	visible		Ausencia
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras		mg/l	cero
☐ sustancias tóxicas Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2 (para cada compuesto detectado)

Residuos de petróleo Tensoactivos	visibles Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	Ausencia 0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m.
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto secundario se presentan en la tabla 10.

TABLA 10. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario

□ Sustancias Tóxicas, aquellas establecidas en el Listado de Desechos Peligrosos y Normas Técnicas aprobadas por la Autoridad Competente en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación para Desechos Peligrosos.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Coliformes totales	nmp/100 ml		4 000
Coliformes fecales	nmp/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Metales y otras		mg/l	Cero
□sustancias tóxicas Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de	mg/l	0,2

Residuos de petróleo	organoclorados totales.		Ausencia
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano visible	mg/l	0,3
Sólidos flotantes			Ausencia
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

4.1.7 Criterios de calidad para aguas de uso estético

El uso estético del agua se refiere al mejoramiento y creación de la belleza escénica.

□ Sustancias Tóxicas, aquellas establecidas en el Listado de Desechos Peligrosos y Normas Técnicas aprobadas por la Autoridad Competente en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos.

Las aguas que sean usadas para uso estético, tendrán que cumplir con los siguientes criterios de calidad:

- Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad humana.
- Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- Ausencia de sustancias productoras de color, olor, sabor, y turbiedad no mayor a 20 UTN.
- El oxígeno disuelto será no menor al 60% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l.

4.1.8 Criterios de calidad de las aguas para transporte

Se entiende el uso del agua para transporte, su empleo para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales inocuos por contacto directo.

El único parámetro a regular será el Oxígeno disuelto, que deberá ser mayor a 3 mg/l.

4.1.9 Criterios de calidad para aguas de uso industrial

Se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

- Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios;
- Generación de energía y
- Minería.

Para el uso industrial, se deberán observar los diferentes requisitos de calidad correspondientes a los respectivos procesos, aplicando el criterio de tecnología limpia que permitirá la reducción o eliminación de los residuos (que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos).

4.2 Criterios generales para la descarga de efluentes

4.2.1 Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua

4.2.1.1 El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.

Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción.

4.2.1.2 En las tablas # 11, 12 y 13 de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles, los cuales responden a promedios diarios.

La Entidad Ambiental de Control deberá establecer la normativa complementaria en la cual se establezca: La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

4.2.1.3 Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.

4.2.1.4 Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán definir independientemente sus normas, mediante ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. En sujeción a lo establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación.

4.2.1.5 Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad Ambiental de Control, de manera provisional mientras no exista sistema de alcantarillado certificado por el proveedor del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento e informe favorable de ésta entidad para esa descarga, podrá permitir la descarga de aguas residuales a sistemas de recolección de aguas lluvias, por excepción, siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua.

4.2.1.6 Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento.

4.2.1.7 Para el caso de los pesticidas, si el efluente después del tratamiento convencional y previa descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado, no cumple con los parámetros de descarga establecidos en la presente normativa (Tablas 11, 12 y 13), deberá aplicarse un tratamiento avanzado.

4.2.1.8 Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes o cuerpos receptores deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio, seguir métodos normalizados de análisis y estar certificados por alguna norma internacional de laboratorios, hasta tanto el organismo de acreditación ecuatoriano establezca el sistema de acreditación nacional que los laboratorios deberán cumplir.

4.2.1.9 Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separados en sus respectivos sistemas o colectores.

4.2.1.10 Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

4.2.1.11 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, o hacia un cuerpo de agua, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

4.2.1.12 Se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados, sin permiso de la Entidad Ambiental de Control.

4.2.1.13 Las aguas provenientes de la explotación petrolífera y de gas natural, podrán ser reinyectadas de acuerdo a lo establecido en las leyes, reglamentos y normas específicas, que se encuentren en vigencia, para el sector hidrocarburífero.

4.2.1.14 El regulado deberá disponer de sitios adecuados para la caracterización y aforo de sus efluentes y proporcionarán todas las facilidades para que el personal técnico encargado del control pueda efectuar su trabajo de la mejor manera posible.

A la salida de las descargas de los efluentes no tratados y de los tratados, deberán existir sistemas apropiados, ubicados para medición de caudales. Para la medición del caudal en canales o tuberías se usarán vertederos rectangulares o triangulares, medidor Parshall u otros aprobados por la Entidad Ambiental de Control. La tubería o canal de conducción y descarga de los efluentes, deberá ser conectada con un tanque de disipación de energía y acumulación de líquido, el cual se ubicará en un lugar nivelado y libre de perturbaciones, antes de llegar al vertedero. El vertedero deberá estar nivelado en sentido perpendicular al fondo del canal y sus características dependerán del tipo de vertedero y del ancho del canal o tanque de aproximación.

4.2.1.15 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas de descargas a un cuerpo de agua.

4.2.1.16 De acuerdo con su caracterización toda descarga puntual al sistema de alcantarillado y toda descarga puntual o no puntual a un cuerpo receptor, deberá cumplir con las disposiciones de esta Norma. La Entidad Ambiental de Control dictará la guía técnica de los parámetros mínimos de descarga a analizarse o monitorearse, que deberá cumplir todo regulado. La expedición de la guía técnica deberá darse en un plazo máximo de un mes después de la publicación de la presente norma. Hasta la expedición de la guía técnica es responsabilidad de la Entidad Ambiental de Control determinar los parámetros de las descargas que debe monitorear el regulado.

4.2.1.17 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos no tratados, provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, hacia los sistemas de alcantarillado, o cuerpos receptores. Se observarán las disposiciones vigentes en el Código de Policía Marítima y los convenios internacionales establecidos, sin embargo, una vez que los residuos sean evacuados a tierra, la Entidad Ambiental de Control podrá ser el Municipio o Consejo Provincial, si tiene transferida competencias ambientales que incluyan la prevención y control de la contaminación, caso contrario seguirá siendo la Dirección General de la Marina Mercante.

La Dirección General de la Marina Mercante (DIGMER) fijará las normas de descarga para el caso contemplado en este artículo, guardando siempre concordancia con la norma técnica nacional vigente, pudiendo ser únicamente igual o más restrictiva con respecto a la presente Norma. DIGMER será la Entidad Ambiental de Control para embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre.

4.2.1.18 Los regulados que amplíen o modifiquen su producción, actualizarán la información entregada a la Entidad de Control de manera inmediata, y serán considerados como regulados nuevos con respecto al control de las descargas que correspondan al grado de ampliación y deberán obtener las autorizaciones administrativas correspondientes.

4.2.1.19 La Entidad Ambiental de Control establecerá los parámetros a ser regulados para cada tipo de actividad económica, especificando La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

4.2.1.20 Cuando los regulados, aún cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado, que excedan los criterios de calidad para el uso o los usos asignados al agua, la Entidad Ambiental de Control podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos realizados por la Entidad Ambiental de Control, justificando esta decisión.

4.2.1.21 Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

4.2.2 Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

4.2.2.1 Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- e) Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas.

4.2.2.2 El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

4.2.2.3 Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos a continuación (ver tabla 11):

TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20

Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

4.2.2.4 Toda área de desarrollo urbanístico, turístico o industrial que no contribuya al sistema de alcantarillado público, deberá contar con instalaciones de recolección y tratamiento convencional de residuos líquidos. El efluente tratado descargará a un cuerpo receptor o cuerpo de agua, debiendo cumplir con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, marina y de estuarios.

4.2.2.5 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

4.2.2.6 Se prohíbe la descarga hacia el sistema de alcantarillado de residuos líquidos no tratados, que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc, provenientes de los talleres mecánicos, vulcanizadoras, restaurantes y hoteles.

4.2.2.7 Los responsables (propietario y operador) de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de descarga contenidas en esta Norma. Si el propietario (parcial o total) o el operador del sistema de alcantarillado es un municipio, éste no podrá ser sin excepción, la Entidad Ambiental de Control para sus instalaciones. Se evitará el conflicto de interés.

4.2.3 Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina

4.2.3.1 Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, aprobados por la Dirección General de la Marina Mercante y la Entidad Ambiental de Control. Dichos sistemas deberán ajustarse a lo establecido en la presente Norma, sin embargo los municipios podrán establecer regulaciones más restrictivas de existir las justificaciones técnicas.

4.2.3.2 Se prohíbe todo tipo de descarga en:

- a) Las cabeceras de las fuentes de agua.
- b) Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,
- c) Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

4.2.3.3 Los regulados que exploren, exploten, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias peligrosas susceptibles de contaminar cuerpos de agua deberán contar y aplicar un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberá ser aprobado y verificado por la Entidad Ambiental de Control.

4.2.3.4 Las normas locales para descargas serán fijadas con siderando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. Las normas guardarán siempre concordancia con la norma técnica nacional vigente, pudiendo ser únicamente igual o más restrictiva y deberán contar con los estudios técnicos y económicos que lo justifiquen.

En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

4.2.3.5 Para el caso de industrias que capten y descarguen en el mismo cuerpo receptor, la descarga se hará aguas arriba de la captación.

4.2.3.6 Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se establece lo siguiente:

- a) Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de cincuenta (50) metros, y la aplicación aérea de los mismos, dentro de una franja de cien (100) metros, medidas en ambos casos desde las orillas de todo cuerpo de agua,
- b) La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente, requerirá el informe y autorización previa del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- c) Además de las disposiciones contenidas en la presente Norma, se deberá cumplir las demás de carácter legal y reglamentario sobre el tema, así como los listados

referenciales de la Organización para la Agricultura y Alimentos de Naciones Unidas (FAO).

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10

⁸ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	oc		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

4.2.3.8 Toda descarga a un cuerpo de agua marina, deberá cumplir, por lo menos con los siguientes parámetros (ver tabla 13).

TABLA 13. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas		mg/l	0,3
Arsénico total	As	mg/l	0,5
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,2
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		⁹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0

Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,2
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sulfuros Organoclorados totales	S Concentración de organoclorados totales	mg/l mg/l	0,5 0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,25
Temperatura	oc		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Zinc	Zn	mg/l	10

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

4.2.3.9 Se prohíbe la descarga de efluentes hacia cuerpos de agua severamente contaminados, es decir aquellos cuerpos de agua que presentan una capacidad de dilución o capacidad de carga nula o cercana a cero. La Entidad Ambiental de Control decidirá la aplicación de uno de los siguientes criterios:

- a) Se descarga en otro cuerpo de agua
- b) Se exigirá tratamiento hasta que la carga contaminante sea menor o igual a 1,5 del factor de contaminación de la tabla 14 (Factores Indicativos de Contaminación)

4.2.3.10 Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Entidad Ambiental de Control tomará el siguiente criterio de evaluación. El regulado deberá establecer la línea de fondo o de referencia del parámetro de interés en el cuerpo receptor. El regulado determinará la concentración presente o actual del parámetro bajo estudio en el área afectada por sus descargas. Así, se procede a comparar los resultados obtenidos para la

concentración presente contra los valores de fondo o de referencia. Se considera en general que una concentración presente mayor tres veces que el valor de fondo para el agua es una contaminación que requiere atención inmediata por parte de la Entidad Ambiental de Control. (ver tabla 14).

Si la concentración presente es menor a tres veces que el valor de fondo, la Entidad Ambiental de Control dará atención mediata a esta situación y deberá obligar al regulado a que la concentración presente sea menor o igual a 1,5 que el valor de fondo.

TABLA 14. Factores indicativos de contaminación

Factor de contaminación (Concentración presente/ valor de fondo)	Grado de perturbación.	Denominación
< 1,5	0	Cero o perturbación insignificante
1,5 – 3,0	1	Perturbación evidente.
3,0 – 10,0	2	Perturbación severa.
> 10,0	3	Perturbación muy severa.

Los valores de fondo de mayor confiabilidad serán a aquellos derivados de muestras a tomarse en aquéllas partes inmediatas fuera del área a bajo estudio, que se considere como no afectada por contaminación local. En el caso de ausencia total de valores de fondo de las áreas inmediatas fuera del área bajo estudio, se podrá obtener estos valores de estudios de áreas regionales o nacionales aplicables.

Para determinar el valor de fondo o de referencia, al menos 5 muestras deben ser tomadas, si se toman entre 5 a 20 muestras, el valor más alto o el segundo más alto deben ser seleccionados como valor de fondo. Si se toman más de 20 muestras, se podrán utilizar los valores medidos que correspondan con el 90vo. o 95vo. Percentil.

Los valores de fondo empleados no podrán ser menores a los presentados en esta Norma, de acuerdo a los parámetros de calidad y usos establecidos.

La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

4.2.3.11 Los municipios serán las autoridades encargadas de realizar los monitoreos a la calidad de los cuerpos de agua ubicados en su jurisdicción, llevando los registros correspondientes, que permitan establecer una línea base y de fondo que permita ajustar los límites establecidos en esta Norma en la medida requerida.

4.2.3.12 Se prohíbe verter desechos sólidos, tales como: basuras, animales muertos, mobiliario, entre otros, y líquidos contaminados hacia cualquier cuerpo de agua y cauce de aguas estacionales secas o no.

4.2.3.13 Se prohíbe el lavado de vehículos en los cuerpos de agua, así como dentro de una franja de treinta (30) metros medidos desde las orillas de todo cuerpo de agua, de vehículos de transporte terrestre y aeronaves de fumigación, así como el de aplicadores manuales y aéreos de agroquímicos y otras sustancias tóxicas y sus envases, recipientes o empaques.

Se prohíbe la descarga de los efluentes que se generen como resultado de los procesos indicados en este numeral, cuando no exista tratamiento convencional previo.

5 METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros determinados en esta

Norma Oficial Ecuatoriana, se deberán aplicar los métodos establecidos en el manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, en su más reciente edición. Además deberán considerarse las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN): Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.

6 BIBLIOGRAFÍA

ANÁLISIS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN COLOMBIA – CEPIS. “Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud, II parte, Capítulo X.

ANÁLISIS NORMATIVO Y CONSIDERACIONES PARA FORMULAR PROPUESTAS DE AMORNIZACIÓN en URUGUAY, BRASIL y ARGENTINA: Estándares de Calidad para toda Clase de Vertidos.

ANEXO II. DEL CONTRATO DE CONCESIÓN DE ECAPAG – IN TERAGUA.

CANTER, 1998. “Manual de Evaluación del Impacto Ambiental”.

CORPORACIÓN FINANCIERA NACIONAL CFN. 1994 “Manual de Evaluación Ambiental para Proyectos de Inversión.”

DIRECTORIO DE LA EMPRESA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE

MANTA E.A.P.A.M. “Reglamento para las Normas de Descargas Permisibles al Sistema de Aguas Residuales” expedido el 14 de Enero del 2002.

HERNÁNDEZ MUÑOZ A., Hernández Lehmann, y Galán Martínez Pedro, 1996. “Manual de Depuración Uralita.”

MANUAL DE EVALUACIÓN Y MANEJO DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN AGUAS SUPERFICIALES- CEPIS. Enero del 2001.

METCALF & Eddy, 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen II Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera Edición (Primera en Español), McGraw Hill.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL ECUADOR 1999. Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el Sur del Ecuador. I. Edición.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL ECUADOR 2001. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE. Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado., 7 de mayo de 1998.

MINISTERIO DE SALUD DE COSTA RICA. REPAMAR. Boletines del Manejo Ambiental de Residuos, 2001.

NORMA OFICIAL MEXICANA- NOM-001-ECOL-1996. Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Agua y en Bienes Nacionales, 6 enero de 1997.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: INEN 2 169: 98. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: INEN 2 176: 98. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.

PROYECTO PATRA DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA GESTIÓN AMBIENTAL, 1999.
“Definición de una política Ambiental para el Municipio de Guayaquil.”
PROYECTO PATRA DE ASISTENCIA TÉCNICA A LA GESTIÓN AMBIENTAL, 2000.
“Compilación de Normas Jurídicas relacionadas con la Prevención y Control de la Contaminación.”

PROYECTO PUCE-UCO. PATRA (2000): “Reglamento de Calidad Ambiental en lo Relativo al Recurso Agua”. Ministerio del Ambiente.

REPÚBLICA DE ARGENTINA. Decreto Nacional 674: Decreto. Reglamentación de la ley de obras sanitarias de la nación, Junio 6 de 1989.

REPÚBLICA DE ARGENTINA. DECRETO NACIONAL: 831. Reglamentación de Residuos Peligrosos, 1993.

REPÚBLICA DE VENEZUELA. “Decretos y Normas Técnicas publicadas en la Gaceta Oficial”, Febrero 1 de 1999.

REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 204, 5 de Junio de 1989. Reglamento de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo relativo al Recurso Agua.

REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 222, 30 de Junio de 1993. “Reforma a la Ordenanza de Administración y Tarifas para el uso de los Servicios de Alcantarillado del Cantón Cuenca.”

REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 74, 10 de Mayo del 2000. Anexo que contiene los Valores Máximos Permisibles de los Indicadores de Contaminación y Parámetros de Interés Sanitario para Descargas Líquidas.

REPÚBLICA DEL ECUADOR. Reglamento de Aplicación de la Ordenanza No. 2910 del 27 de Enero de 1992. “Prevención y Control de la Contaminación producida por las descargas líquidas industriales y las Emisiones hacia la Atmósfera”.

WORLD BANK, 1991. Environmental Assessment Source Book, Volume III. Guidelines for Environmental Assessment of Energy and Industry Projects, Environment Department, Washington, D.C., USA.

WORLD BANK, 1997. World Bank Technical Paper No. 373, Vehicular Air Pollution. The World Bank, Washington, D.C., USA.

WORLD BANK, 1999. World Bank Technical Paper No. 376, Roads and the Environment. The World Bank, Washington, D.C., USA.

Anexo 2. Norma Técnica 1108



Quito – Ecuador

NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN 1108

Quinta revisión

2014-01

AGUA POTABLE. REQUISITOS

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

Norma	AGUA POTABLE REQUISITOS	NTE INEN
Técnica		1108:2014
Ecuatoriana		Quinta revisión
Voluntaria		2014-01

OBJETO

- 2 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

1 CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud
Pública

*REGLAMENT DE BUENAS PRÁCTICAS DE
O MANUFACTURA*

PARA ALIMENTOS PROCESADOS
Decreto

Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4
de

Noviembre del 2002

DEFINICIONES

- 3.3 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

- 2 **Agua potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.
- 3 **Agua cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.
- 4 **Límite máximo permitido.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).
- 5 **ufc/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.
- 6 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.
- 7 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.
- 8 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.
- 9 **Plaguicidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.
- 4.2 **Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.
- 4.3 **Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.
- 4.4 **Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.
- 4.5 **Sistema de abastecimiento de agua potable.** El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.
- 4.6 **Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

REQUISITOS

- c) Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.
- d) El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb,

²²⁸Ra

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos: Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5

Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazína	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina, Si pasa de 1,5 mg/l investigar:	mg/l	3
N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
<input type="checkbox"/> Bromodichlorometano	mg/l	0,3
<input type="checkbox"/> Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1):	
Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia

4.1.2.3 < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm³ ó 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo

e) < 1 significa que no se observan colonias

b) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida

INSPECCIÓN

4.1.3.7 Muestreo

- (3) El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).
- (4) El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

NTE INEN 1108

2014-01

MÉTODOS DE ENSAYO

- c) Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

APÉNDICE Y

(Informativo)

Y.1 Número mínimo de muestras a tomarse de acuerdo a la población servida para el análisis de coliformes fecales en el sistema de distribución de agua potable

Tabla Y.1

POBLACIÓN	NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS POR AÑO
< 5 000	12
5 000 – 100 000	12 POR CADA 5 000 PERSONAS
> 100000 – 500 000	120 MAS 12 POR CADA 10 000 PERSONAS
> 500 000	600 MAS 12 POR CADA 100 000 PERSONAS

Guías para la calidad del agua potable 4ta. Ed. 2011; Capítulo 4 numeral 4.3.1 tabla 4.4

APÉNDICE Z

BIBLIOGRAFÍA

World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality*, Fourth Edition. World Health Organization, 2011

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: AGUA POTABLE. REQUISITOS	Código: ICS
NTE INEN 1108		13.060.20
Quinta revisión		

ORIGINAL:	REVISION:
Fecha de iniciación del estudio:	La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de Voluntaria por Resolución No. 11 135 de 2011-05-20 publicado en el Registro Oficial No. 481 de 2011-06-30 Fecha de iniciación del estudio: 2013-08
Fechas de consulta pública: 2013-08-16 a 2013-08-30	

Subcomité Técnico de: **AGUA POTABLE**

Fecha de iniciación: 2013-10-29 Fecha de aprobación: 2013-11-08

Integrantes del Subcomité:

NOMBRES:

Ing. Marcelo Carpio (Presidente)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE

AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Dra. Zoila Novillo	SECRETARIA DEL AGUA
Dr. Carlos Espinosa	EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
Dr. Edgar Pazmiño	EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
Dr. Luis Cazar Ubilla	INTERAGUA
Ing. María José Pineda	MIPRO – SCA
Dra. Enith Bravo	ARCSA
Ing. Andrea Celi	MSP – DIRECCIÓN DE VIGILANCIA Y CONTROL SANITARIO
Dr. Juan Mora	ARCSA
Dra. Giomara Quizphe	ARCSA
Ing. Natazha Valarezo	MSP – DIRECCIÓN SALUD AMBIENTAL
Ing. Michelle Maldonado	INEN – NORMALIZACIÓN
Ing. Gabriela Chacón	INEN – NORMALIZACIÓN
Ing. Maritza Farinango	INEN – NORMALIZACIÓN
Ing. María E. Dávalos (Secretaria técnica)	INEN - REGIONAL CHIMBORAZO

Otros trámites: Esta NTE INEN 1108:2014 (Quinta revisión), reemplaza a la NTE INEN 1108:2011 (Cuarta revisión)

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria

Por Resolución No. 13523 de 2013-12-18

Registro Oficial No. 168 de 2014-01-23

Anexo 3. Extracto del Veto Parcial a La Ley de Recursos Hídricos (Ley De Aguas)

“Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua publicado en Registro Oficial

Quito (Pichincha).- Este miércoles 06 de agosto de 2014, la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua entró en vigencia una vez que fue promulgada en el Registro Oficial No. 305.

En el texto, la nueva Ley del Estado garantiza el derecho humano al agua como el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura, entre otros aspectos.

También prohíbe toda clase de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente, por tanto, no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral, o empresa privada nacional o extranjera. Se gestión será exclusivamente pública o comunitaria.

En el texto, también se indica que no se reconoce ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva sobre el agua, cualquiera sea su estado, y se dispone su redistribución de manera equitativa, con lo que se combate de manera efectiva el acaparamiento en pocas manos.

En el proceso de participación ciudadana, se desarrollaron 22 audiencias públicas y tres comisiones generales a nivel provincial, donde se presentaron los planteamientos y propuestas de más de seis mil delegados de las organizaciones sociales.

Cabe recordar que el pasado, jueves 24 de julio, la Asamblea Nacional aprobó la Ley de Aguas, con 103 votos a favor, 21 en contra y 6 abstenciones. Posteriormente se envió al Ejecutivo para su aprobación o para que emita un veto parcial o totalmente a la normativa.

El Jefe de Estado, Rafael Correa, dentro de sus facultades veto parcialmente el texto enviado por el Legislativo.

El 31 de julio, el Legislativo aprobó el veto parcial del Ejecutivo a la Ley de Recursos Hídricos con 93 votos a favor, 19 en contra y 7 abstenciones. Estuvieron 119 legisladores presentes en el pleno.

En el informe no vinculante, la Comisión de Soberanía Alimentaria pidió al pleno acoger la observación parcial del Ejecutivo.”

Anexo 4: Certificado de Calibración

<p>Manufacturer's test certificate Testzertifikat Certificado de especificaciones Certificat de spécifications Certificato di specifiche Certificado de especificação</p>																											
We/Wir/Nosotros/Nous/Nós	<p>HACH www.hach.com certify that the instrument / zertifizieren, dass das Messgerät / certificamos que el instrumento certifions que le instrument / certifichiamo che lo strumento / certifica-se que o instrumento</p>																										
Description/Beschreibung/Descripción Description/Descrizione/Descrição	<p>sension™+ EC71</p>																										
Serial N./Fabrikationsnummer N° Serie/N. Série/No. Serie/N. Série	<p>336026 has been verified unitarily and the results obtained during the verification are in accordance with the specifications mentioned. The instrument used in the verification is calibrated regularly with multimeter HP, 34401A, which itself is annually calibrated by SIMT (Shanghai Institute of Measurement Technology). <i>mit einem einheitlichen Verfahren überprüft wurde und die Ergebnisse mit den genannten Spezifikationen übereinstimmen. Das zu dieser Überprüfung eingesetzte Messinstrument wird regelmäßig mit einem Multimeter HP, 34401A kalibriert, das wiederum jährlich von SIMT (Shanghai Institute of Measurement Technology) kalibriert wird.</i> ha sido verificado de forma unitaria y que los resultados obtenidos en la verificación son conformes con las especificaciones mencionadas. El equipo de test utilizado en la verificación es regularmente calibrado con el multímetro HP, 34401A, anualmente calibrado a su vez por SIMT (Shanghai Institute of Measurement Technology). <i>a été vérifié de façon unitaire et que les résultats obtenus grâce à cette vérification sont conformes aux spécifications mentionnées. L'instrument de test utilisé pour la vérification est régulièrement étalonné avec le multimètre HP, 34401A, étalonné à son tour annuellement par Agilent Technologies.</i> è stato verificato in forma unitaria e che i risultati ottenuti nella verifica sono conformi con le specifiche menzionate. Lo strumento di test utilizzato per la verifica è regolarmente calibrato con il multmetro HP, 34401A, annualmente calibrato a sua volta da SIMT (Shanghai Institute of Measurement Technology). foi verificado de forma unitária e os resultados obtidos na verificação são conformes às especificações mencionadas. O equipamento de teste utilizado na verificação é calibrado regularmente com o multímetro HP, 34401A, anualmente calibrado por SIMT (Shanghai Institute of Measurement Technology).</p>																										
Specifications/Spezifikationen Especificaciones/Spécifications Specifiche/Especificação	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 20%;">Measurement interval (resolution depending on scale)</th> <th style="width: 20%;">Measurement error (± 1 digit)</th> <th style="width: 20%;">Reproducibility (± 1 digit)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conductivity</td> <td>0.001* µS ... 1000** mS/cm</td> <td>≤ 0.5%</td> <td>± 0.1%</td> </tr> <tr> <td>Resistivity</td> <td>0 to 100 MΩ</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Salinity</td> <td>5.85 mg/l to 311.1 g/l NaCl</td> <td>≤ 0.5%</td> <td>± 0.1%</td> </tr> <tr> <td>T.D.S.</td> <td>0 mg/l ... 500 g/l</td> <td>≤ 0.5%</td> <td>± 0.1%</td> </tr> <tr> <td>Temp.</td> <td>-20 °C to 150 °C -4 °F to 302 °F</td> <td>≤ 0.2 °C ≤ 0.4 °F</td> <td>± 0.1 °C ± 0.1 °F</td> </tr> </tbody> </table>		Measurement interval (resolution depending on scale)	Measurement error (± 1 digit)	Reproducibility (± 1 digit)	Conductivity	0.001* µS ... 1000** mS/cm	≤ 0.5%	± 0.1%	Resistivity	0 to 100 MΩ			Salinity	5.85 mg/l to 311.1 g/l NaCl	≤ 0.5%	± 0.1%	T.D.S.	0 mg/l ... 500 g/l	≤ 0.5%	± 0.1%	Temp.	-20 °C to 150 °C -4 °F to 302 °F	≤ 0.2 °C ≤ 0.4 °F	± 0.1 °C ± 0.1 °F	<p style="text-align: right; font-size: small;">* only with C=0.1 cm⁻¹ ** only with C=10 cm⁻¹</p>	
	Measurement interval (resolution depending on scale)	Measurement error (± 1 digit)	Reproducibility (± 1 digit)																								
Conductivity	0.001* µS ... 1000** mS/cm	≤ 0.5%	± 0.1%																								
Resistivity	0 to 100 MΩ																										
Salinity	5.85 mg/l to 311.1 g/l NaCl	≤ 0.5%	± 0.1%																								
T.D.S.	0 mg/l ... 500 g/l	≤ 0.5%	± 0.1%																								
Temp.	-20 °C to 150 °C -4 °F to 302 °F	≤ 0.2 °C ≤ 0.4 °F	± 0.1 °C ± 0.1 °F																								
Date/Datum/Fecha/Date/Data/Data	<p>9/1/2013</p>																										
<p>HACH Quality Management (China, Shilu)</p>																											

Anexo 5. Función *MoveOutLi.m*

```
function [c3m_PP] = MoveOutLi(PP)

%*****GUIA DE ELEMENTOS DE LA FUNCIÓN*****
%*****
% c3m ==> Datos filtrados.
% PP ==> Datos en bruto.
%*****
%*****

%% PRE-PROCESAMIENTO DE LOS DATOS
PPmax = PP; % Definiendo vector de trabajo
bin_counts_PP = hist(PPmax); % Frecuencias en la Data
N = max(bin_counts_PP); % Número máximo de frecuencias de la Data
mu_PP = mean(PPmax); % Promedio de la Data
sigma_PP = std(PPmax); % Desviación estandar de la Data
outlierspos_PP = (PPmax - mu_PP) > 2*sigma_PP ; % Límite de control superior
outliersneg_PP = (PPmax - mu_PP) < -2*sigma_PP; % Límite de control inferior
zerospos_PP = PPmax == 0; % Ubicación de datos en cero
c3m_PP = PPmax;

%% ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES DE EXCLUSIONES
figure('Name','Análisis estadístico de los datos');
subplot(1,2,1),hist(PPmax) % Histograma de la Data
title('Histograma de Potencias'),xlabel('Potencia kVA'),ylabel('Frecuencia')
hold on
plot([mu_PP mu_PP],[0 N], 'r','LineWidth',2) % Posicionando promedio
X = repmat(mu_PP+(1:2)*sigma_PP,2,1); % Estableciendo límite de control
Y = repmat([0;N],1,2);
plot(X,Y,'g','LineWidth',2)
X = repmat(mu_PP-(1:2)*sigma_PP,2,1);
Y = repmat([0;N],1,2);
plot(X,Y,'g','LineWidth',2)
legend('Data','Promedio','Desviación estandar')
hold off

%% REMOCIÓN DE DATOS ATÍPICOS
c3m_PP(outlierspos_PP) = 0; %Sustitución de outliers positivos
c3m_PP(outliersneg_PP) = 0; %Sustitución de outliers negativos
```

```

c3m_PP(zerospos_PP) = 0; %Reposición de valores en cero
% Gráfica de control
subplot(1,2,2),plot(PP),title('Potencia')
xlabel('Tiempo (Horas)'),ylabel('Potencia en kVA')
M = length(PP);
hold on
plot([0 M],[mu_PP mu_PP], '--*r', 'LineWidth', 2.5)
plot([0 M],[2*sigma_PP+mu_PP 2*sigma_PP+mu_PP], ':*g', 'LineWidth', 2.5)
plot([0 M],[mu_PP-2*sigma_PP mu_PP-2*sigma_PP], ':*g', 'LineWidth', 2.5)
legend('Data', 'Promedio', 'Desviación estandar', 'Location', 'SouthEast')
hold off

```

Anexo 6. nnet

```
function [y,net] = nnet(IN,OUT)

x = IN;
t = OUT;

% Choose a Training Function
% For a list of all training functions type: help nntain
% 'trainlm' is usually fastest.
% 'trainbr' takes longer but may be better for challenging problems.
% 'trainscg' uses less memory. NFTOOL falls back to this in low memory situations.
trainFcn = 'trainc'; % Levenberg-Marquardt
% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 30 ;
net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);

% Choose Input and Output Pre/Post-Processing Functions
net.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
net.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Choose a Performance Function
net.performFcn = 'mse'; % Mean squared error

% Choose Plot Functions
net.plotFcns = {'plotperform','plottrainstate','ploterrhist', ...
'plotregression', 'plotfit'};

% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t);
```

```
% Test the Network
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y);
% Recalculate Training, Validation and Test Performance
trainTargets = t .* tr.trainMask{1};
valTargets = t .* tr.valMask{1};
testTargets = t .* tr.testMask{1};
trainPerformance = perform(net,trainTargets,y);
valPerformance = perform(net,valTargets,y);
testPerformance = perform(net,testTargets,y);

% View the Network
view(net)

% Plots
figure, plotperform(tr)
figure, ploterrhist(e)
```


Anexo 7. Desarrollo

```
%=====ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE
DATOS=====
%=====
===
load('FINAL') %Datos precargados

%% Análisis de tendencia central
[~,atip,outlierspos_PP] = MoveOutLi(Colorin_sinpro); %Análisis de color como predominante

%%Remoción de datos atípicos
Cin_pro = Colorin_sinpro(~(outlierspos_PP));
Tur_pro = Turbidezín_sinpro(~(outlierspos_PP));
Cal_pro = Cal_sinpro(~(outlierspos_PP));
Sul_pro = Sulfato_sinpro(~(outlierspos_PP));

%% Creando datos de entrada y salida
IN_crear_red = [Cin_pro Tur_pro];
IN_crear_red = IN_crear_red';
OUT_crear_red = [Cal_pro Sul_pro];
OUT_crear_red = OUT_crear_red';
%% Depurar datos de validación

[y,net] = nnet(IN_crear_red,OUT_crear_red);

Cal_sim = salida_red_simulada(1,:);
Sulfato_sim = salida_red_simulada(2,:);

%% TEST

Sulfato_sim = salida_red_simulada(2,:);
Cal_sim = salida_red_simulada(1,:);

Sulfato_sim = Depurar(Sulfato_sim);
Cal_sim = Depurar(Cal_sim);
```

```
Sulfato_sim = Sulfato_sim';
```

```
Cal_sim = Cal_sim';
```

```
eSUL = gsubtract(Sulfato_sim , Sulfato_pro);
```

```
eCAL = gsubtract(Cal_sim , Cal_pro);
```

```
hist(eSUL)
```

```
figure
```

```
hist(eCAL)
```

```
Rsul = corrcoef(Sulfato_sim, Sulfato_pro,'rows','pairwise');
```

```
Rcal = corrcoef(Cal_sim, Cal_pro,'rows','pairwise');
```

```
[fresul,centsul] = hist(eSUL);
```

```
[frecal,centcal] = hist(eCAL);
```

Anexo 8. Proyecto Aprobado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE TESIS

DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMATICO BASADO EN REDES NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CARIGAN.

ALUMNO: EDGAR ALBERTO OCHOA VÁSQUEZ

JUNIO - 2016

LOJA- ECUADOR

1. TEMA:

DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMATICO BASADO EN REDES NEURONALES DEL SISTEMA DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO Y CAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CARIGAN.

2. INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento “Carigán” del Municipio de Loja, se encuentra ubicada al Nor- este de la ciudad, en el sector denominado Carigán. Esta planta fue diseñada implementado la última tecnología en procesos de tratamiento de Agua. Por lo cual es llamada a ser pieza fundamental en el buen servicio y óptima calidad del Agua que entrega el Ilustre Municipio a través de la Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja.

La planta de Carigán actualmente, potabiliza más de 400 l/s durante las 24 horas del día y sirviendo aproximadamente al 45% de la población de la Ciudad de Loja, posee un equipo de técnicos laboratoristas, que controlan la calidad del agua durante 8h diarias , periodo en el cual dosifican sulfato , cal y polímero, basándose en los parámetros de agua de entrada analizados en el laboratorio con el uso de equipo como espectrofotómetros, medidores de conductividad, medidores de ph, medidores de turbidez , etc., que posee la planta de tratamiento, durante el resto del día el control lo realizan operadores de planta en turnos rotativos, los cuales no tienen acceso al laboratorio, pero dada su experiencia en el tratamiento del agua a potabilizarse, dosifican de acuerdo a su apreciación visual de las características físicas de salida del agua tratada, siempre basándose en la relación de caudal de entrada a ser tratado en planta Carigán, el cual se observa en un display en la sala de control de la estación y las características físicas visuales del agua a la entrada de la planta , en la mezclas rápidas y lentas en las decantaciones y la salida a distribución

3. PROBLEMATICA

El corazón de un sistema de potabilización de agua para consumo humano es el proceso de coagulación en el que intervienen dosificaciones de químicos que

permiten acondicionar el agua cruda a ser tratada, de tal forma que los procesos posteriores de limpieza, en donde, propiamente dicho, se remueven las impurezas, puedan realizar su función adecuadamente. Si la coagulación no funciona adecuadamente, tampoco funcionan adecuadamente los procesos posteriores de limpieza. Así de sencillo, si la coagulación no se optimiza tampoco se puede tratar el agua óptimamente.

Durante el periodo de control de los operadores en la planta de tratamiento, se está aprovechando la experiencia de los mismos en la potabilización del agua, generando una dosificación de químicos no óptima ya que parte de una apreciación visual del operador dejando a un criterio subjetivo la aplicación de la dosis adecuada de las lechadas de químicos, en el proceso de coagulación, no acorde al tipo de planta de tratamiento semi-automático de última tecnología como lo es Carigán, este tipo de procesos se aplica especialmente en plantas tradicionales de tratamiento, por qué se puede generar errores en el proceso de tratamiento, por lo que el tratamiento dado por los operadores al proceso de coagulación a través de la dosificaciones no cumplen con las expectativas generadas en una planta de tratamiento tan moderna como lo es CARIGAN, en la actualidad se desea plantear un modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio de la planta de tratamiento CARIGAN, que permita al operador de la planta de tratamiento contrastar su experiencia con los resultados del modelo de los datos de dosificación de sulfato durante el periodo de trabajo de los laboratoristas en planta, garantizando la dosificación adecuada del mismo sin necesidad de la utilización de equipos de laboratorio, de los cuales no tienen la preparación adecuada para su utilización, ya que el modelo nace de los datos reales generados en el control que realiza diariamente el personal del laboratorio de planta Carigán cada hora durante el periodo de trabajo.

El problema:

“La dosificación de químicos aplicada por los operadores a través de apreciación visual genera errores en el tratamiento de agua potable, al no existir un modelo que basado en resultados de laboratorio permita corroborar las dosis óptimas de químicos a ser aplicados”.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es conveniente pues permite analizar el proceso de potabilización de agua, enfocando particularmente uno de sus elementos la dosificación de sulfato de Aluminio y cal, que influye directamente en el proceso de coagulación, coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc.

Analizando el modelo matemático basado en redes neuronales, nos permitirán generar un modelo matemático que parte de los datos obtenidos en laboratorio durante la jornada laboral normal del proceso de dosificación del sulfato de Aluminio y cal, generando la mejor respuesta de reproductividad, obteniendo un índice de correlación que sea igual o mayor al 90%, con lo que la dosificación obtenida se aproximara en gran medida a la realizada por laboratorio garantizando el cumplimiento de las características requeridas en la norma INEN 1108

Lo que permitirá garantizar la calidad de agua potable que se suministra desde la planta de Carigán las 24 horas del día.

Es un trabajo de gran relevancia social, ya que el ser humano no puede vivir sin agua potable, y realizar trabajos que permitan mejorar la calidad del agua potabilizada conllevará a un beneficio en la salud y la seguridad en su consumo.

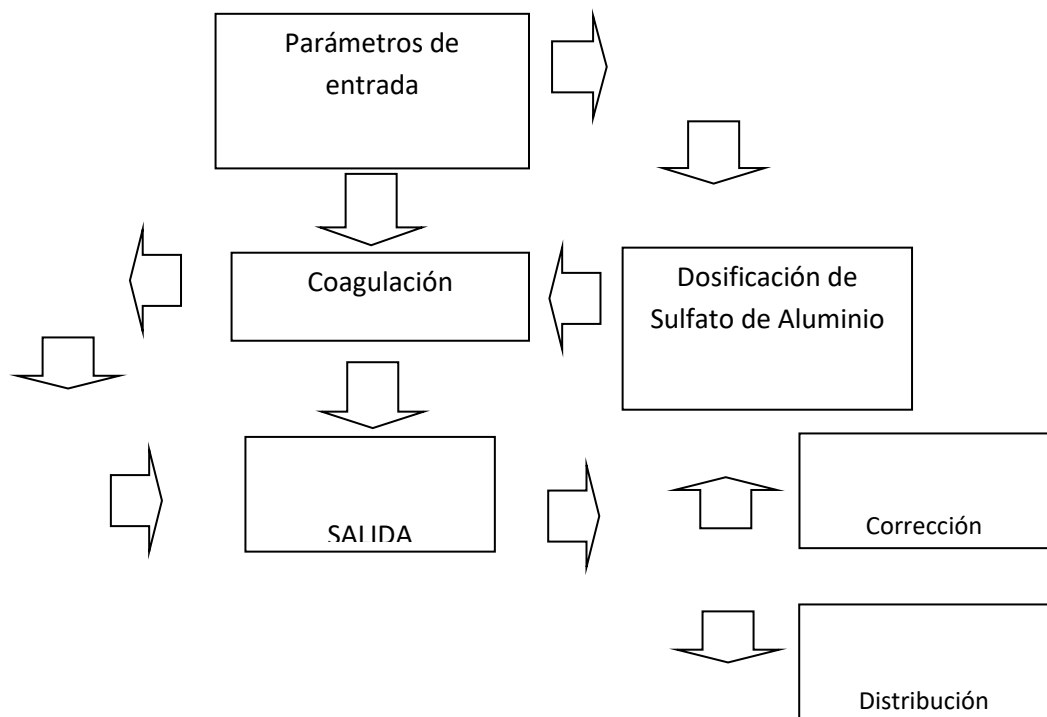
Este trabajo propone un análisis práctico de un vacío de conocimiento el cual corresponde a la utilización de modelos matemáticos basados en técnicas de inteligencia artificial que nacen a partir de un proceso real aplicados a nuestra realidad como es el suministro de agua potable en la ciudad de Loja.

Este trabajo es susceptible de ser realizado, ya que el principio de asistencia de UMAPAL Unidad Administrativa Municipal de Agua Potable y alcantarillado de Loja, es servir a la ciudadanía con agua de la mayor calidad posible,

existiendo para esto disponibilidad de recursos, facilidad de acceso y repetitividad garantizando el adecuado suministro al sector de estudio.

El presente trabajo se ajusta de manera ideal al proceso investigativo de la Maestría en Electromecánica, ya que el análisis de modelos para la aplicación del control automático para la interpretación de un sistema real se enmarca dentro de las asignaturas impartidas en el mismo.

ESQUEMA FUNCIONAL DEL PROCESO



5. OBJETIVOS

5.1 General

Determinar la dinámica del sistema de dosificación de Cal y Sulfato de aluminio del proceso de tratamiento de agua potable de la planta Carigán, a través de la utilización de un modelo matemático basado en redes neuronales.

5.2 Específicos

- Obtener datos del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal, basados en la relación características físicas del agua de entrada vs dosificación.
- Obtener el modelo matemático basado en redes neuronales que genere la mejor respuesta de reproductividad, obteniendo un índice de correlación que sea igual o mayor al 90%.
- Validar resultados obtenidos, mediante comparación de datos resultantes del modelo ,con los obtenidos en laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable Carigán

6. MARCO CONCEPTUAL TEÓRICO

6.1 Introducción

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad tal que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de un tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo sus aglomeración y formación de una partícula más pesada y poder así sedimentar. Estas partículas, con una dimensión que suele estar comprendida entre $1\mu\text{m}$ y $0,2\mu\text{m}$, son verdaderas

Los coloides generalmente son estables en solución al predominar los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Los factores estabilizantes son aquellas fuerzas que provocan repulsión entre las partículas como son las fuerzas electrostáticas y la propia hidratación. Los factores desestabilizantes son por el contrario las fuerzas de atracción que dan lugar a la unión, entre estas figuran el movimiento Browniano, las fuerzas de Van der Waals y también en menor grado las fuerzas de gravedad. La coagulación es por tanto el proceso de desestabilización de las partículas coloidales con objeto de anular o disminuir las fuerzas de repulsión.

La coagulación en el proceso de tratamiento del agua tiene por objeto agrupar estas partículas dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente del agua.

La neutralización de la carga eléctrica del coloide, objeto de la coagulación, se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. Las reacciones de coagulación son muy rápidas duran fracciones de segundo desde que se ponen en contacto las partículas con el coagulante.

La coagulación se consigue mediante una difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua objeto del tratamiento, empleando medios de agitación rápida. Tras la neutralización de las partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en disposición de aglomerarse, esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudadas ahora por una agitación lenta, es el objetivo de la floculación. La floculación está relacionada con los fenómenos de transporte de las partículas dentro del líquido, que son los que ocasionan el contacto de las partículas coaguladas.

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, esta debería estar clara, si esto no ocurre, lo más probable, es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.

En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para conseguir una óptima coagulación. (Quiros, 2010)

6.2 Introducción de los sistemas de control

La ingeniería de control diseña las leyes matemáticas que gobiernan los sistemas físicos conforme a una serie de especificaciones técnicas. Esta disciplina es esencial para el desarrollo y automatización de procesos industriales. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico de las máquinas de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz. También es esencial en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso.

Los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas, rutinarias, así como de otras actividades.

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada



Figura 1.

Es importante señalar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno o como actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, solo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso que realiza el mismo.(fig.1)

Un conocimiento preciso de la relación de entrada y salida permite predecir la respuesta de un sistema y seleccionar la acción de control adecuada para

mejorarla de esta manera el diseñador conociendo cuál es la dinámica deseada ajustara la acción de control para conseguir el objetivo final frente a perturbaciones externas del sistema.

Finalmente se puede observar y definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea mediante una acción de control. (UPS)

6.3 Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales son sistemas de procesamiento de información, desarrolladas por científicos cognitivos con el propósito de entender el sistema nervioso biológico e imitar los métodos computacionales del cerebro y su impresionante habilidad para reconocer patrones. (Tkacz & Hu, 1999), (Shachmurove, 2002)

6.3.1. Redes Neuronales Biológicas Y Redes Neuronales Artificiales

El elemento funcional básico del cerebro es la neurona (ver figura 2). La neurona, a su vez, está conformada por un cuerpo o soma, unas dendritas y un axón. Cada neurona recibe estímulos eléctricos de otras neuronas a través de las dendritas. En el soma se lleva a cabo la integración de toda la información obtenida en las dendritas. Estos estímulos son amplificados o disminuidos durante la sinapsis y luego sumados. Finalmente, si la suma de todos los estímulos es mayor que el umbral de resistencia máximo de la neurona, entonces el axón transmite a otras células el mensaje resultante de la integración. Estas conexiones sinápticas, cuya intensidad es variable, se usan para enviar mensajes entre neuronas. Las neuronas coleccionan la información y aprenden patrones al reforzar sus conexiones (Hernández López, 2006).

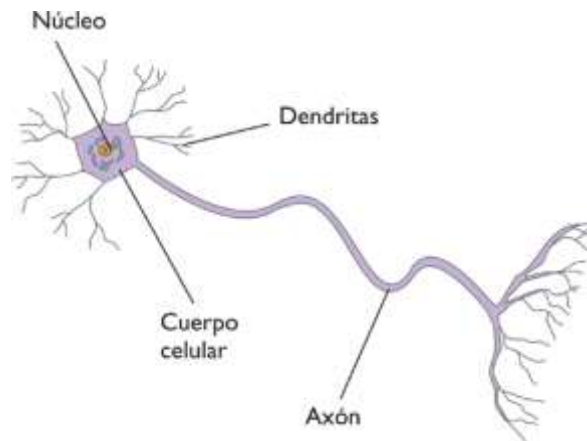


Figura 2.- Neurona biológica.

Las Redes Neuronales Artificiales se inspiran en la estructura y funciones de las neuronas biológicas. Una red neuronal artificial es esencialmente una colección de neuronas interconectadas, agrupadas en capas. Haciendo un paralelo con el esquema recién descrito de procesamiento del cerebro, la neurona artificial recibe distintos valores de entrada “inputs” que son multiplicados por una ponderación. En el escenario más simple, estos productos son sumados para obtener un valor de salida “output”. La forma más básica de red neuronal se encuentra estrechamente vinculada con las técnicas econométricas de regresión estándar. Este tipo de red simplificada posee dos capas, una de inputs (entradas) y otra de outputs (salidas). La figura 3 ilustra la representación gráfica estándar de una red neuronal feedforward (alimentada hacia delante, es decir que la información fluye desde los inputs hacia el output).

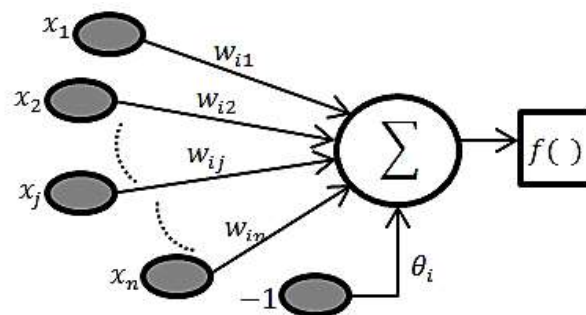


Figura 3.- Modelo de neurona artificial feedforward.

Cada conexión entre un input y un output está caracterizada por un peso ω_i que expresa la importancia relativa de un input particular en el cálculo del output. Para calcular el valor del output en el momento t , la neurona output colecciona los valores de cada neurona input en la observación t y multiplica cada uno de ellos por un peso asociado con la conexión relevante. A continuación se suman estos productos y se obtiene (Yegnanarayana, 2004):

$$y_t = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_j x_j = \sum_{i=1}^j \omega x_i \quad \text{Ecuación (1)}$$

La ecuación 1 indica que Y es una suma ponderada de X_i , donde cada X_i (las neuronas input) se vincula con Y (la neurona output) por los parámetros ω_i (las ponderaciones). En este modelo lineal, cuando X_i cambia en una unidad, y cambia ω_i unidades.

La neurona output luego procesa este valor usando una función de activación. En la forma más simple de red neuronal, la función de activación es la identidad. En sus cálculos, la red tratará de reproducir el valor del output, dados los valores de los inputs.

Una idea más clara de este proceso se muestra en la figura 4, en donde se puede observar el recorrido de un conjunto de señales que entran en la neurona artificial.

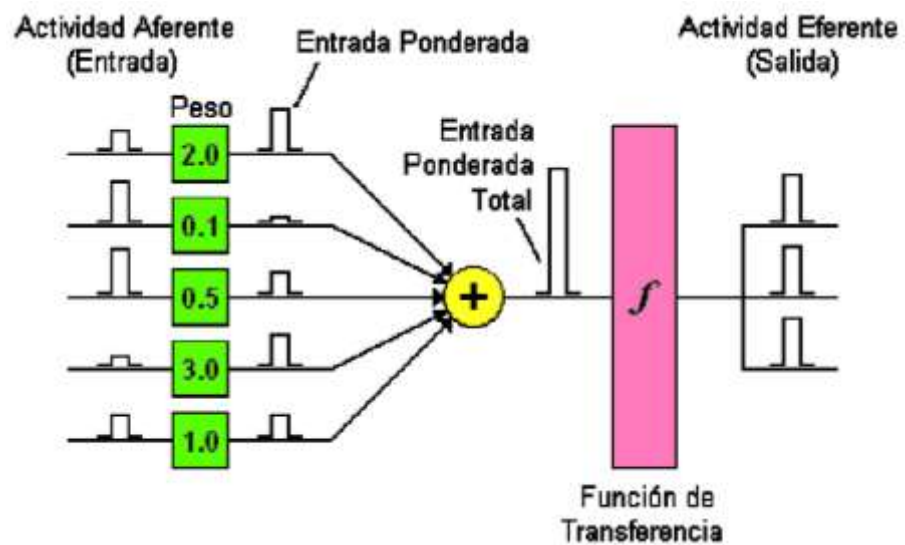


Figura 4.- Recorrido de señales por la neurona artificial.

Ahora, si se cree que existen asimetrías entre los inputs y los outputs, es decir que la relación entre estas variables depende de la magnitud y la dirección de los inputs, entonces la ecuación (1) debe generalizarse con la introducción de no linealidades en la relación. Esto puede lograrse incorporando una función de umbral, que permita que una suma ponderada de los inputs suficientemente grande active un cambio de régimen discreto. Sin embargo, el cambio de régimen no tiene que ser abrupto y para ello se emplean funciones de activación suaves, tales como la función logística.(fig. 5)

$$G(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

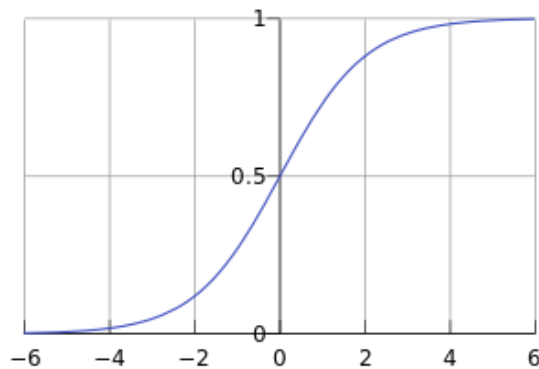


Figura 5.- Función logística.

La ecuación (2) puede aplicarse al modelo lineal en la ecuación (1) para permitir una relación no lineal entre los inputs y el output. Si además se cree que el efecto de los inputs sobre el output no es directo, sino que existen variables intermedias que operan entre ellas; entonces el uso de unidades escondidas o “Hidden Layers” como etapas intermedias donde los inputs X_i y sus pesos son sometidos a una nueva ponderación antes de afectar al output, esto permite que la red capture la relación no lineal entre las variables input y el output (Haykin, 2009).

6.3.2. Características Principales de una RNA

Las RNA deben su capacidad de procesar información a su estructura distribuida y paralela y a su capacidad de entrenamiento y por lo tanto de generalización. Estas dos propiedades hacen que las RNA sean capaces de resolver cierto tipo de problemas muy complejos.

Entre las principales ventajas de las RNA tenemos: No linealidad: las neuronas son elementos de proceso generalmente no lineales. La interconexión de estos elementos genera estructuras de transformación de datos donde este carácter no lineal queda distribuido por toda la red. Esta característica permite modelar procesos intrínsecamente no lineales, pero complica también los métodos de análisis de las estructuras resultantes, impidiendo la aplicación de técnicas de análisis bien establecidas como son las de los sistemas no lineales.

- **Modelado de relaciones entrada salida:** La RNA es capaz de aprender a partir de un conjunto de parejas de datos entrada-salida sin necesidad de conocer las características del problema. Estos pares permiten optimizar los pesos de la red, de tal forma que sea capaz de generar un mapa de entrada-salida para después poder reproducir casos no representados en el conjunto de datos original.
-
- **Aprendizaje adaptativo:** las RNA tienen la cualidad de aprender a realizar tareas a partir de un entrenamiento, debido a la capacidad de auto-ajuste de los elementos de procesado (neuronas) que componen el sistema. En el proceso de entrenamiento, los pesos que conectan las neuronas se van ajustando de manera que la red reproduce los resultados buscados. (Hernández López, 2006) (Arbib, 2003):

6.4 TOPOLOGÍA DE UNA RNA

Normalmente las neuronas se organizan en distintos niveles dentro de la red neuronal, que se suelen denominar capas. Estas capas se clasifican

según su situación dentro de la red en base al siguiente criterio (Priddy & Keller, 2005):

De entrada: Es siempre la primera capa de una RNA, y tiene tantas neuronas como entradas a la red. Cada neurona tiene una sola entrada que proviene del exterior y varias salidas a neuronas de capas posteriores. A menudo, en el recuento de capas de una RNA no se incluye la entrada, ya que sus neuronas se limitan a distribuir las entradas externas a las capas posteriores, pero no realizan ninguna operación “típica” de estos elementos de procesado.

Ocultas: Estas neuronas son las que realizan el trabajo y no tienen contacto directo con las señales externas a la red. Las neuronas de estas capas son las que mejor se ajustan a la definición de neurona. Puede haber varias capas de neuronas ocultas, desde cero hasta un número elevado. La primera de las capas ocultas estará conectada con la capa de entrada y la última de estas capas comunicará generalmente con la capa de salida. La forma de interconexión entre las distintas capas ocultas junto con el número de neuronas en cada capa determinará la topología de la red.

De salida: Es la capa de neuronas que trasmite la información generada por la red al exterior. El número de neuronas de esta capa será igual al número de salidas de la RNA.

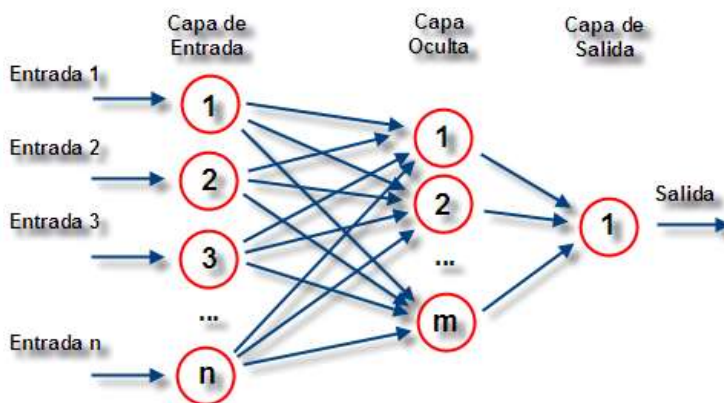


Figura 6.- Red neuronal multicapa.

En la figura 6 se muestra una RNA compuesta por 3 capas: la capa de entrada "Input layer" posee n neuronas de entrada, la capa oculta "Hidden layer" posee m neuronas y la capa de salida "Output layer" posee una neurona de salida, cada capa se encuentra totalmente interconectada con la siguiente, es decir, la salida de una neurona de la capa anterior llega a la entrada de todas las neuronas de la capa siguiente.

6.4.1 Tipos de Conexiones entre Capas

Conexiones hacia atrás: estas conexiones llevan los datos de las neuronas de una capa superior a otras de una capa inferior. Son también llamadas feedbackward (Graupe, 2007).

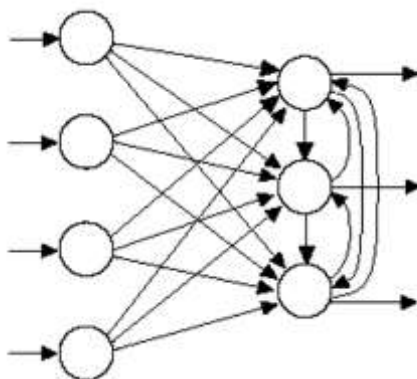


Figura 7.- Red con conexiones hacia atrás.

En la figura 7 se puede apreciar el tipo de conexión hacia atrás, en donde la RNA consta de dos capas con 4 neuronas en la capa de entrada y 3 neuronas en la capa de salida, las cuales se encuentran interconectadas hacia atrás entre sí.

Conexiones laterales: son las conexiones que se hacen entre neuronas de una misma capa. Estas conexiones se diseñan como excitadoras, permitiendo la cooperación (con peso positivo) o la inhibición (con peso negativo) entre neuronas, lo que establece una competición entre neuronas de la misma capa, la conexión se puede apreciar en la figura 8 (Graupe, 2007).

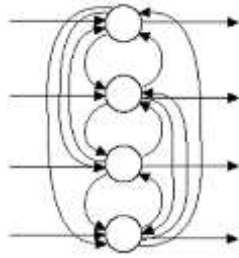


Figura 8.- Red con conexiones laterales.

Conexiones con retardo: los elementos de retardo se incorporan en las conexiones para implementar modelos dinámicos temporales (redes dinámicas). Se almacenan los datos antiguos para después procesarlos junto con la información actual (Graupe, 2007).

Conexiones autorecurrentes: la salida de una neurona se conecta con su propia entrada (Graupe, 2007).

6.4.2. Clasificación de las Redes Neuronales

Existen varios tipos de criterios para clasificar las RNA, en el presente trabajo nos interesa la clasificación en base al tipo de conexiones y el tipo de datos de entrada, ya que posteriormente en el desarrollo de la red se modificaran las conexiones y los instantes temporales de los datos para poder optimizar los entrenamientos de la misma y poder obtener los mejores resultados posibles.

6.4.3. Clasificación según el tipo de conexión

Dependiendo del tipo de conexión que se establece entre las neuronas de una RNA, estas se pueden clasificar en (Kumar, 2004):

6.4.3.1 RNA con conexión hacia adelante

También conocidas como redes feedforward. En este tipo de redes las señales neuronales se propagan siempre hacia delante a través de las capas de la red. No existen conexiones hacia atrás y normalmente tampoco autorecurrentes ni laterales. Ejemplos de redes feedforward son: Perceptrón multicapa.

Este tipo de redes tienen la ventaja de que la respuesta de la red es rápida y que además admiten algoritmos de entrenamiento del tipo Backpropagation.

6.4.3.2. RNA recurrentes

En este tipo de redes, la información circula tanto hacia adelante (feedforward) como hacia atrás (feedbackguard), por medio de conexiones que comunican con neuronas de capas anteriores. Las redes recurrentes están especialmente indicadas para los casos en los que la dinámica del proceso es importante, es decir, cuando los patrones de entrada-salida son secuencias temporales de datos. A diferencia de las anteriores, la obtención de las respuestas es más lenta y su entrenamiento es más complicado y largo.

Algunos ejemplos de estas redes neuronales recurrentes son: Perceptrón multicapa recurrente, red de datos temporales, red Hopfield, etc.

6.4.4. Clasificación según el tipo de información

En base a la información que recibe la RNA, estas se pueden clasificar en (Sivanandam & Deepa, 2006):

6.4.4.1. RNA estáticas

El tipo de información que manejan las redes estáticas tiene carácter estacionario, es decir, el valor de la salida solo depende del valor de las entradas en el mismo momento en el que ésta se produce.

Estas redes se pueden caracterizar estructuralmente por la inexistencia de bucles de realimentación y de elementos de retardo entre los distintos elementos de proceso que las forman. Normalmente van asociadas a las redes con conexiones hacia adelante (feedforward).

6.4.4.2. Redes dinámicas

La información que se maneja en este tipo de redes incluye la variable tiempo, es decir, la salida depende de las variables de

entrada en el momento actual y de los valores de entrada y/o salida en momentos anteriores.

Estas redes suelen asociarse al tipo de redes recurrentes explicadas con anterioridad. Para incluir la variable tiempo, se puede incorporar en la red retardos temporales o conexiones de tipo feedbackward entre las capas de neuronas. El entrenamiento para las redes dinámicas puede plantear problemas de convergencia y estabilidad, y los resultados que generan son en general de difícil análisis.

6.4.5. Entrenamiento de RNA

Construir un sistema que aprenda ha sido tradicionalmente uno de los objetivos más escurridizos de la inteligencia artificial. El aprendizaje, es un proceso de adaptación al entorno; durante él se crean y manipulan representaciones que sean capaces de explicar dicho entorno.

En las redes neuronales la esencia del aprendizaje se encuentra en la modificación colectiva de los pesos de los elementos de procesado. Una definición de aprendizaje en redes neuronales podría ser la siguiente: Proceso por el cual los parámetros libres de una red neuronal son ajustados a través de un proceso continuo de estimulación por parte del entorno en donde se sitúa el sistema. El tipo de aprendizaje viene determinado por la forma en la que tienen lugar dichos cambios. Esta definición, implica tres hechos fundamentales:

- La red neuronal se encuentra estimulada por el entorno, cambia como consecuencia de esos estímulos y responde de manera diferente al entorno a causa de los cambios que se han producido en sus estructura interna.
- Existen tres paradigmas de aprendizaje: Supervisado, No supervisado (o auto supervisado) y Reforzamiento (se puede considerar como un caso especial del aprendizaje supervisado).

- Existen una gran cantidad variedad de algoritmos dentro de cada una de estas categorías.
-
- El MatLab (Matrix Laboratory), cuenta con un número interesante de algoritmos de entrenamiento para la RNA, en la tabla 1 se muestra dichos algoritmos y una pequeña definición de los mismos (Sivanandam & Deepa, 2006).
-

Tabla 1. Algoritmos de entrenamiento en MatLab.

Función Matlab	Descripción
TRAINGD	Los pesos y sesgos de la RNA se actualizan en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Respuesta lenta.
TRAINGDM	Los pesos y sesgos de la RNA se actualizan en la dirección del gradiente negativo de la función de ejecución. Se emplea un nuevo parámetro (momento) que permite esquivar mínimos locales. De esta forma la actualización es función del último cambio realizado y del gradiente.
TRAINGDA	Se emplea un factor de entrenamiento variable. El factor de entrenamiento se establece en base a las magnitudes de error obtenidas en la iteración actual y anterior. De igual forma los cambios en pesos y sesgos son función de sus valores actuales y anteriores.
TRAINGDY	Es similar al entrenamiento TRAINGDA con la diferencia que en este método se emplea además un parámetro de momento.
TRAINR	Actualización incremental de orden aleatorio.
TRAINRP	Retro propagación con Resiliencia. Emplea el signo de la derivada de la función de ejecución para determinar el cambio en los pesos y sesgos, la magnitud de la derivada no se considera.
TRAINCGF	En los algoritmos de gradiente descendente conjugado se realiza una búsqueda a lo largo de direcciones conjugadas de decremento del gradiente para determinar la magnitud del cambio en los pesos y sesgos. En este caso se emplea la actualización mediante el método Fletcher-Reeves, en el cual se determina la dirección del cambio en base a la dirección de búsqueda de descenso de gradiente actual con la anterior.
TRAINCGP	Método de gradiente descendente conjugado con el algoritmo Polak-Ribière
TRAINCGB	Método de gradiente descendente conjugado empleando el método de restablecimiento de dirección de búsqueda Powell-Beale.
TRAINSCG	Emplea un gradiente conjugado escalado. Es el único algoritmo de gradiente conjugado que no requiere una línea de búsqueda.
TRAINBFG	Emplea métodos de Newton para el cálculo de las actualizaciones. Requiere almacenar una aproximación de la

	matriz Hessiana
TRAIPOSS	Método de la secante de un paso. Es una combinación de los métodos de gradiente conjugado y Newton.
TRAINLM	Algoritmo de Levenberg-Marquardt. Emplea modificaciones para disminuir el uso de memoria.
TRAINBR	Regulación Bayesiana. Modificación al algoritmo Levenberg-Marquardt.

Modelo de Predicción de Demanda del Sector Residencial de la Ciudad de Loja, Ing. Juan pablo Cabrea, 2012.

7. HIPÓTESIS

Con la obtención de un modelo matemático basado en redes neuronales podemos reproducir la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal con un índice de correlación igual o mayor al 90%, durante el periodo de trabajo del laboratorio de planta Carigán, el cual permitirá a los operadores de la planta de tratamiento de agua Carigán contrastar su experiencia con los resultados obtenidos del modelo, garantizando una óptima dosificación de sulfato de aluminio y Cal al proceso de tratamiento.

8. VARIABLES

Variables de entrada: Color - Turbidez

Variable de salida: Dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal

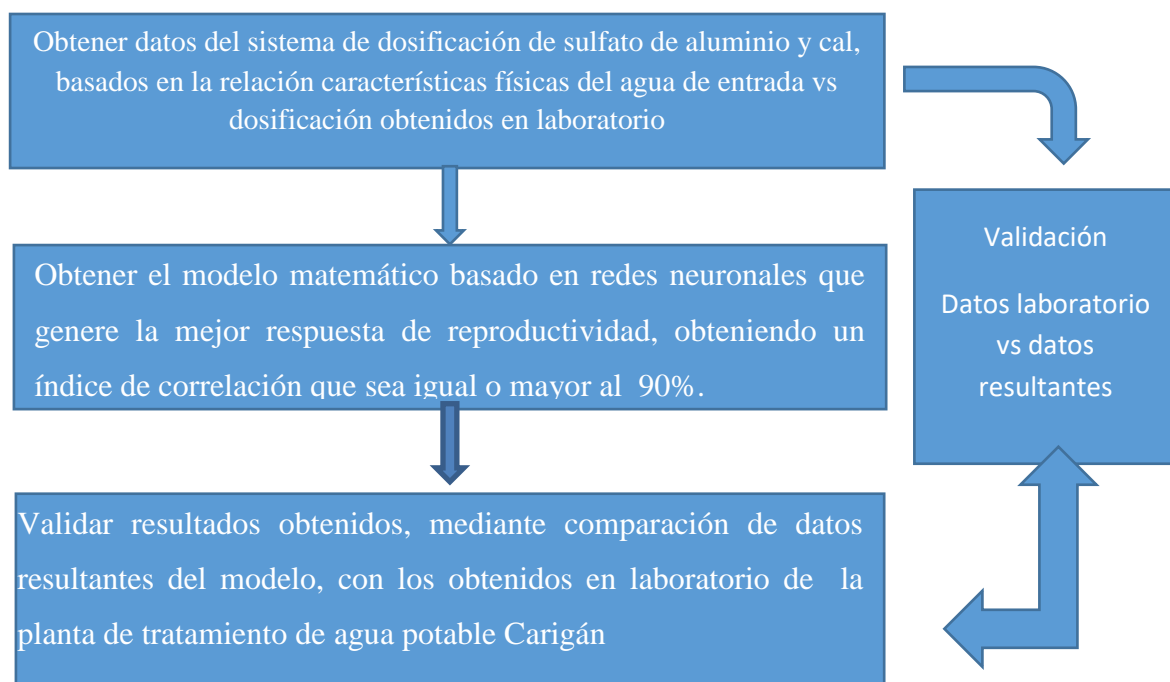
9. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación será elaborado en la ciudad de Loja en la planta de tratamiento CARIGAN, se analizará el entorno funcional y la dinámica del sistema de dosificación de químicos sulfato de aluminio y cal, para determinar las oportunidades y amenazas en el proceso de coagulación y floculación. Se potenciarán las oportunidades en tanto que las amenazas se evitarán.

En especial será necesario analizar la dinámica del sistema de dosificación de los químicos y su afectación ante la variación del caudal y los parámetros característicos del agua que ingresa a la planta CARIGAN.

Se contrastará resultados del modelo obtenido, contra los resultados de las dosificaciones sugeridas a través de los equipos de laboratorio de la planta de tratamiento.

Como el desarrollo de la metodología mencionada en los párrafos anteriores se utilizará el esquema que se expone a continuación:



10. PRESUPUESTO

El presupuesto para realizar el presente trabajo de investigación es el siguiente:

COMPONENTES /RUBRO	FUENTES DE FINANCIAMIENTO DOLARES						TOTAL
	Externo		Internas				
	Crédito	Cooperación	Crédito	Fiscales	Propios	Comunidad	
1. Análisis del sistema de dosificación							
Análisis de la dinámica, del sistema de dosificación de sulfato de aluminio					x		200
Determinación de los parámetros que afectan a la dosificación					x		200

Estudio del efecto de la dosificación en la coagulación					x		200
2. Estudio de modelos matemáticos							
2.1 Modelación del la dinámica del procesos de dosificación					x		200
2.2 Investigación de Campo					x		500
3. Estudio Técnico de Infraestructura y equipamiento instalado					x		200
4. Contraste de Resultados y validación							
4.1 Determinación del mejor modelo					x		100
4-2 Contrastación de resultados obtenidos					x		200
5. Socialización de resultados							
5.1 Entrega de tesis					x		1000
5.2 Presentación de Resultados					x		500
5.3 Gastos imprevistos					x		800
Presupuesto referencial	\$ 4100 dólares americanos						

11. CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	JUNIO 15 2016	JULIO 15 2016	27 JULIO 2016
Ajustes al anteproyecto			
Determinación de la dinámica de dosificación de sulfato	■	■	
Monitoreó de la relación Caudal y parámetros de entrada vs dosificación de sulfato de aluminio	■	■	
Modelación del proceso	■	■	
Determinación de modelo de regresión	■	■	
Contraste de resultados obtenidos de los modelos		■	
Contraste del modelo escogido vs dosificaciones sugeridas por pruebas de laboratorio		■	
Organización de datos			■
Determinación y validación de resultados			■
Conclusiones y Recomendaciones			■
Digitación proyecto y diagramas. Encuadernación.			■
Elaborar informe final y trámites en el Área			■

12. BIBLIOGRAFÍA

- Arbib, M. (2003). The Handbook of Brain Theory and Neural Networks: Second Edition. MIT Press.
- Cabrera Juan Pablo, (2013). Modelo de Predicción de Demanda del Sector Residencial de la Ciudad de Loja
- F. Ramirez Quiros, La coagulación – floculación en el proceso de tratamiento [EN LINEA], <http://www.elaguapotable.com/coagulación_floculación.htm>
- Graupe, D. (2007). Principles of Artificial Neural Networks (2nd Edition). World Scientific
- Hernández López, L. (2006). Predicción y optimización de emisiones y consumo mediante redes neuronales. Reverte.
- Kumar, S. (2004). Neural Networks: A Classroom Approach. Tata McGraw-Hill .
- Priddy, K., & Keller, P. (2005). Artificial Neural Networks: An Introduction. SPIE Press.
- Sivanandam, S., & Deepa, S. (2006). Intro To Neural Net With Matlab 6.0. Tata McGraw-Hill Education.
- Tkacz, G., & Hu, S. (1999). Forecasting GDP growth using Artificial Neural Networks.
- UPS, Diseño y Construcción Control Automático De Caudal De Agua en EMAPAL,<http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/312/2/Capitulo1_Diseño_y_construcción_control_automático_de_caudal_de_agua_en_EMAPAL.pdf>
- Yegnanarayana, B. (2004). Artificial Neural Networks. PHI Learning Pvt. Ltd.

13. ANEXOS

ANEXOS

13.1 Matriz de consistencia general

<p>“La dosificación de químicos aplicada por los operadores a través de apreciación visual genera errores en el tratamiento de agua potable, al no existir un modelo que basado en resultados de laboratorio permita corroborar las dosis óptimas de químicos a ser aplicados”.</p>			
TEMA	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN
<p><i>Determinación del modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal de la planta de tratamiento de agua potable Carigán</i></p>	<p><i>Dosificación de coagulantes en la Planta Carigán de tratamiento de agua potable Carigán</i></p>	<p><i>Determinar la dinámica del sistema de dosificación de Cal y Sulfato de aluminio del proceso de tratamiento de agua potable de la planta Carigán, a través de la utilización de un modelo matemático basado en redes neuronales.</i></p>	<p><i>Con la obtención de un modelo matemático basado en redes neuronales podemos reproducir la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio con un índice de correlación igual o mayor al 90%, durante el periodo de trabajo del laboratorio de planta Carigán, el cual permitirá a los operadores de la planta de tratamiento de agua Carigán contrastar su experiencia con los resultados obtenidos del modelo, garantizando una óptima dosificación de sulfato de aluminio.</i></p>

13.2 Ficha de Resumen del Proyecto

i. Tema

Determinación del modelo matemático basado en redes neuronales del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal de la planta de tratamiento de agua potable Carigán.

ii. Nombre de los Aspirantes

Edgar Alberto Ochoa Vásquez

iii. Problemática

La dosificación de sulfato de aluminio y cal basado en la experiencia y subjetividad visual de los operadores de la planta de tratamiento Carigán, acumulada a través los años de servicio en la misma, no es acorde con la tecnología de punta instalada en la planta de tratamiento y genera errores en los procesos de tratamiento del agua potable, específicamente en la etapa de coagulación y floculación con la no dosificación adecuada de químicos, ya que esta depende de las características físico-químicas como color , turbidez, oxígeno disuelto, Alcalinidad (Ph) etc., propias del agua cruda y el caudal de entrada elemento importante para la adecuada desinfección final de la misma, que no pueden ser contrastados con parámetros obtenidos en laboratorio durante el periodo de trabajo de los operadores de planta ya que estos no poseen ni los equipos ni la preparación adecuada para el manejo de los mismos

iv. Objetivos

General

Determinar la dinámica del sistema de dosificación de Cal y Sulfato de aluminio del proceso de tratamiento de agua potable de la planta Carigán, a través de la utilización de un modelo matemático basado en redes neuronales.

Específicos

- Obtener datos del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal, basados en la relación características físicas del agua de entrada vs dosificación.
- Obtener el modelo matemático basado en redes neuronales que genere la mejor respuesta de reproductividad, obteniendo un índice de correlación que sea igual o mayor al 90%.
- Validar resultados obtenidos, mediante comparación de datos resultantes del modelo ,con los obtenidos en laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable Carigán

v. Hipótesis

Con la obtención de un modelo matemático basado en redes neuronales podemos reproducir la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio y cal con un índice de correlación igual o mayor al 90%, durante el periodo de trabajo del laboratorio de planta Carigán, el cual permitirá a los operadores de la planta de tratamiento de agua Carigán contrastar su experiencia con los resultados obtenidos del modelo, garantizando una óptima dosificación de sulfato de aluminio y Cal al proceso de tratamiento.

vi. Metodología

El trabajo de investigación será elaborado en la ciudad de Loja en la planta de tratamiento CARIGAN, se analizará el entorno funcional y la dinámica del sistema de dosificación de sulfato de aluminio, para determinar las oportunidades y amenazas en el proceso de coagulación. Se potenciarán las oportunidades en tanto que las amenazas se evitarán.

En especial será necesario analizar la dinámica del sistema de dosificación de químicos sulfato de aluminio y cal y su aplicación ante la variación de los parámetros físicos (color y turbidez) característicos del agua que ingresa a la planta CARIGAN.

Se contrastara resultados del modelo obtenido, contra los resultados de las dosificaciones obtenidos a través de los equipos de laboratorio de la planta de tratamiento.

Como el desarrollo de la metodología mencionada en los párrafos anteriores se utilizara el esquema que se expone a continuación:

