

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y  
COMPUTACIÓN**



**VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA AL MONITOREO  
AUTOMATIZADO DEL PROCESO DE CLORACIÓN  
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

**MARÍA VICTORIA PALACÍN SILVA**

**Chiclayo, 07 de Diciembre de 2011**

**“VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA AL MONITOREO  
AUTOMATIZADO DEL PROCESO DE CLORACIÓN  
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA”**

**POR:**

**MARIA VICTORIA PALACIN SILVA**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**

---

**Eduardo Francisco Alonso Perez  
PRESIDENTE**

---

**Luis Augusto Zuñe Bispo  
SECRETARIO**

---

**María Ysabel Arangurí García  
ASESOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a: mi mamá, mi papá, Piero, mi hermano, y a las personas más especiales que están a mi alrededor, por su apoyo incondicional siempre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco por su apoyo académico y moral a:

María Arangurí  
Eduardo Alonso  
Alberto Hananel  
Vicky Carreras  
Roberto Reto  
Saulo Murillo  
Iván Uriarte  
Lesly Jimenez  
Bárbara Zeña

Y a todas las personas que siempre me animaron a continuar. También a  
Oso que, aunque no puede hablar, también lo hizo.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	10
II.	MARCO TEÓRICO.....	13
2.1.	Antecedentes.....	13
2.2.	Bases Teóricas.....	26
2.2.1.	El agua.....	26
2.2.2.	El agua en la industria.....	27
2.2.3.	Desinfección del agua en la industria alimentaria.....	28
2.2.4.	Acción de cloración sobre los agentes.....	30
2.2.5.	Tecnología usada en la desinfección de aguas.....	31
2.2.6.	Métodos de revisión de resultados.....	32
2.2.7.	Cloración en plantas industriales de Chiclayo.....	32
2.2.8.	Visión artificial.....	33
2.2.9.	Redes neuronales.....	35
2.2.10.	Metodología de desarrollo.....	42
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
3.1.	Diseño de la investigación.....	44
3.2.	Población, Muestra y Muestreo.....	44
3.3.	Hipótesis.....	44
3.4.	Variables.....	44
3.5.	Indicadores.....	45
3.6.	Metodología.....	46
IV.	RESULTADOS.....	47
4.1.	E1: Construcción ambiente controlado.....	48
4.2.	E2: Identificación nivel de cloro.....	54
4.3.	E3: Obtención y publicación de resultados.....	71
V.	DISCUSIÓN.....	77
VI.	PROPUESTA.....	83
VII.	CONCLUSIONES.....	85
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Esquema de una neurona artificial.....	38
Figura 02: Funciones de transferencia utilizadas en las redes neuronales. (1) Lineal; (2) Escalón; (3) Sigmoidea; (4) Tangente Sigmoidea; (5) Gaussiana.....	39
Figura 03: Representación de una red neuronal de tres capas.....	39
Figura 04: Nivel 0.5 de cloro.....	48
Figura 05: Nivel 1.0 de cloro .....	48
Figura 06: Nivel 2.0 de cloro .....	49
Figura 07: Nivel 3.0 de cloro.....	49
Figura 08: Ambiente controlado vista por fuera .....	49
Figura 09: Ambiente controlado, vista superior.....	50
Figura 10: Ambiente controlado, se puede ver el tubo de ensayo y la cámara. ....	50
Figura 11: Ambiente controlado, vista superior con un tubo de ensayo con DPD..	50
Figura 12: Fluorescente CFL, usado en el Ambiente controlado .....	51
Figura 13: Medida de la caja del ambiente controlado .....	51
Figura 14: Ambiente controlado, Distancia .....	52
Figura 15: Ambiente controlado, toma .....	52
Figura 16: Ejemplo toma de la función captura.....	53
Figura 17: Vista del directorio predeterminado donde se guarda la toma de nombre “imagen”.....	53
Figura 18: Directorios de tomas .....	54
Figura 19: Imagen cortada .....	55
Figura 20: Matrices de datos de cada nivel de cloro.....	62
Figura 21: Matriz de datos en el Workspace de Matlab .....	63
Figura 22: Diseño de la red neuronal.....	64
Figura 23: Funciones de transferencia de la red neuronal .....	65
Figura 24: Ejemplo de matriz de entradas y salidas .....	65
Figura 25: Pantalla entrenamiento de la red neuronal .....	66
Figura 26: Performance de la red neuronal .....	67
Figura 27: Workspace con red neuronal creada .....	67
Figura 28: Simulación red neuronal .....	69
Figura 29: Conexión ODBC.....	72
Figura 30: Configuración de Origen de Datos .....	72
Figura 31: QueryBuilder de Matlab.....	73
Figura 32: QueryBuilder de Matlab .....	73
Figura 33: Configuración QueryBuilder de Matlab .....	74

Figura 34: Registros guardados en MySQL .....	75
Figura 35: Página web de publicación de resultados .....	76
Figura 36: Página de Registro de niveles de cloro AiB .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Propiedades del agua.....	29
Tabla 02: Algoritmos de Aprendizaje Toolbox Neural Network de Matlab .....	42
Tabla 03. Indicadores.....	45
Tabla 04. Niveles de cloro .....	49
Tabla 05. Datos que se extraen de cada imagen .....	56
Tabla 06. Valores variable sig en correlación a los niveles de cloro .....	56
Tabla 07. La matriz de datos para el nivel 0.5 .....	59
Tabla 08. La matriz de datos para el nivel 1.0 .....	60
Tabla 09. La matriz de datos para el nivel 2.0 .....	61
Tabla 10. La matriz de datos para el nivel 3.0 .....	62
Tabla 11. Interpretaciones a niveles de cloro .....	76
Tabla 12. Indicadores evaluados .....	77
Tabla 13. Resumen Comparativo del proceso de pruebas de cloro Gandules Inc. ..	79
Tabla 14. Resumen Comparativo del proceso de pruebas de cloro AiB.....	80
Tabla 15. Costo de pruebas de cloro en agua.....	82
Tabla 16. Costo de pruebas de cloro en agua, con el sistema de VA. ....	82
Tabla 17. Costo de pruebas de instalación del sistema de Visión Artificial .....	83
Tabla 18. Costo de mantenimiento del sistema de Visión Artificial .....	84
Tabla 19. Recuperación de la inversión.....	84

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo además de cumplir con los requisitos que exige la escuela de ingeniería de sistemas y computación de la USAT, ofrecer una alternativa eficiente a las empresas industriales en uno de sus procesos más importantes: la cloración del agua.

La situación problemática que llevó a la presente propuesta fue: el alto índice de error en las mediciones de cloro, la demora en el proceso así, como los costos que la misma implica. Además de problemas de índole legal al no almacenar los resultados de las mediciones por dos años, como indican las leyes del país.

Debido a esta situación problemática se optó por implementar un sistema de visión artificial con redes neuronales que permita la automatización de las mediciones de nivel de cloro dentro del proceso de cloración. La metodología que se utilizó para el desarrollo fue la metodología de visión artificial, propuesta por (Kong y Nilsson 2005)

Esta propuesta estuvo justificada desde el punto de vista científico, porque se llevó a cabo una contrastación de hipótesis que permitió verificar el logro de los indicadores, desde un punto de vista tecnológico porque se aplicó una tecnología emergente y automatizable para un proceso industrial, desde el punto de vista social dado indirectamente mejora la calidad de los productos que serán ingeridos por personas, y económicamente dado que representa un ahorro en el proceso de cloración.

Lográndose los objetivos de: reducción de tiempo en las mediciones, disminución del error de las mediciones, almacenamiento permanente de los resultados, disminución del esfuerzo humano y minimización de costos del proceso.

**Palabras clave:** Mediciones de cloro, proceso de cloración, visión artificial, redes neuronales.

## **ABSTRACT**

This research work has as main objective in addition to complying with the requirements of the school of systems engineering and computing of the USAT, offer an efficient alternative to industrial companies in one of its most important processes: the chlorination of the water.

The problematic situation that led to this proposal was: the high error rate measurements of chlorine, the delay in the process as well as the costs that it entails. In addition to problems legal by not storing the results of measurements for two years as indicated by the laws of the country.

Because of this problematic situation it was decided to implement a system of machine vision with neural networks allowing the automation of the measurements of chlorine in the process of chlorination. The methodology used for the development was the methodology of artificial vision, proposed by (Kong y Nilsson 2005)

This proposal was justified from the scientific point of view, because a contrasting hypotheses which allowed to verify the achievement of indicators from a technological point of view because it was applied technology emerging and had for an industrial process, from the social viewpoint given indirectly improving the quality of the products that will be eaten by people was carried out, and economically given which represents a saving in the process of chlorination.

Achieving the objectives of: reduction of time measurements, reduction of the error of the measurements, permanent storage of the results, decreased human effort and minimization of costs of the process.

**KEYWORDS:** Measurements of chlorine, process of chlorination, computer vision, neural networks.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo y la contaminación de los recursos de agua dulce del mundo son fenómenos que afectan al mundo en la actualidad. Se desconocen las consecuencias a largo plazo, pero ya han infringido grave daño al medio ambiente y presentan riesgos crecientes a numerosas especies. El agua contaminada y la falta de saneamiento también están incubando una tragedia sanitaria humana. (Hinrichsen Bryant & Upadhyay Ulmha, 2008).

Tal es así que la relación agua - salud tiene una gran importancia y fuerte dimensión local y mundial, afectando a alrededor de 1.1 billones de personas que carecen de acceso a fuentes de agua potable mejoradas, y unos 2.4 billones de personas con falta de saneamiento adecuado. Actualmente se tiene gran evidencia sobre el agua, saneamiento e higiene y enfermedades que traen como consecuencia la muerte de unos 2, 213,000 personas anualmente y una pérdida de calidad de vida. (Holding, 2009).

En cuanto a la industria alimentaria se refiere, la probabilidad que un producto envasado tenga problemas de calidad es de 90% cuando los procesos son realizados de manera manual dando resultado más de 6 tipos de problemas para la salud (Lergomín Fer and Caballero Torres 2002). Las enfermedades transmitidas por el agua mal tratada o que escapó al correcto proceso de cloración del agua son aproximadamente 4. (Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente 2000)

En el departamento de Lambayeque en el trimestre I – 2009, existieron un total de 85.88% de conexiones activas de agua, propiciando el consumo de la misma aunque no cumpla ciertas normas potables y por ende propiciando enfermedades. (EPSEL, 2009)

El proceso de cloración del agua en las industrias lambayecanas presenta constantes incidencias de niveles superiores a los normales de cloro, en más del 55% de todas las revisiones hechas al día y los registros de las mediciones no son guardados impidiendo un control adecuado de la información y los procesos en el tiempo.

El proceso de cloración del agua en las empresas industriales locales, requiere tres personas para realizar el proceso de pruebas y cloración del agua, a lo largo del día y la semana, lo cual representa un gasto mayor de 30 mil soles anuales. A su vez dicha empresa no cuenta con información histórica de sus mediciones, lo cual representa una desventaja en el monitoreo y control de sus procesos.

Es por todo lo mencionado que surgió la interrogante: ¿De qué manera la implementación de un sistema de visión artificial aplicado al monitoreo automatizado del proceso de cloración puede mejorar la calidad del agua?

La hipótesis que este trabajo buscó comprobar fue la siguiente: Con la implementación de un sistema de visión artificial aplicado al monitoreo

automatizado se agiliza y apoya el proceso de cloración del agua para asegurar su calidad.

Para ello se tuvo como objetivo principal: disminuir el esfuerzo y tiempo en el proceso de cloración del agua, asegurando la eficacia y seguridad de los resultados.

Entre los objetivos específicos se tuvo:

- Reducir el tiempo de los procesos de cloración de agua.
- Disminuir el error de las mediciones de nivel de cloro.
- Apoyar el cumplimiento de las normas de calidad de agua establecidas por ley.
- Disminuir el esfuerzo humano en la realización del trabajo (horas hombre).
- Reducir costos de las mediciones de nivel de cloro.

En el ámbito científico esta investigación es importante, ya que se llevó a cabo una contrastación de hipótesis que permitió verificar el logro de los indicadores

Dentro del ámbito tecnológico cabe destacar que se desarrolló un sistema de automatización de procesos que funciona como una herramienta de apoyo en un proceso muy importante “la cloración”, asegurando la calidad del agua, reduciendo tiempos y esfuerzos así como reduciendo el margen error en los resultados del proceso. Utilizando tecnologías emergentes como Matlab, computadores, bases de datos y técnicas de reconocimiento como redes neuronales. Una herramienta universal e útil para las empresas industriales y de servicios. El problema se identificó tras visitas técnicas a las diferentes plantas de producción, cisternas, etc. Con la revisión de los niveles de cloro registrados, los cuales no cumplían un orden, por el contrario presentaban problemas en su concentración de cloro. A partir de esto se determinó los requerimientos del sistema a implementar el cual dará respuesta inmediata a la solución de problemas, facilitando el proceso de cloración del agua, logrando así asegurar la calidad y reducir costos en procesos y mano de obra trabajando directamente con el monitoreo automatizado de los niveles de cloro en el agua de las cisternas.

Es por ello que se consideró el factor económico, como una parte clave en el desarrollo de la presente investigación, la cual puede reducir costos de esfuerzo y mano de obra sobre todo el tiempo en la realización del proceso de monitoreo de la cloración del agua. Los tiempos se ven reducidos en un 65.5% y los costos del proceso disminuyen significativamente, sobre todo a partir del tercer año, que es cuando la inversión se recupera.

El desarrollo es importante porque no solamente se aboca a evaluar los procesos de producción, sino en la repercusión que tendría en otros procesos, de otras áreas, puesto que se verá la misma como un sistema hermenéutico, en los cuales se evaluará la necesidad de la transferencia de información para lograr su estado de equilibrio. Y evitar los estados de entropía. Así como su repercusión en el medio otorgando seguridad en los procesos post cloración

para los que es usada el agua, sobre todo se resalta su importancia dado que se está hablando de la industria alimentaria y de servicios de agua potable para ciudades.

Es así que se debía tomar en cuenta el punto de vista tecnológico desde el cual la se desarrolló una herramienta que asegura la calidad y usa tecnología de visión artificial, usando redes neuronales de reconocimiento de patrones, que recopilan la experiencia previa de pruebas con el elemento en estudio, aportando una propuesta novedosa y útil que hace uso de la tecnología que agiliza el proceso de cloración y asegura los procesos de producción para lo que es usada el agua.

La técnica usada para este desarrollo fue el manejo de una red neuronal de reconocimiento de patrones, conjuntamente con conectores ODBC y bases de datos para publicar los registros en línea. La red neuronal cual aprende en base a casos previos, el sistema analiza imágenes del agua con el reactivo y de esta manera determina qué nivel de cloro es el que representa la muestra, mostrando este resultado y a su vez almacenándolo para futuras revisiones y controles en web, permitiendo total disponibilidad para el usuario.

La importancia social de esta investigación se centra en la salud de los consumidores de productos y servicios que usan el agua procesada de esta manera, asegurándoles calidad y evitando problemas de salubridad. A su vez en esta investigación se considera que con el ahorro obtenido al optimizar el proceso se puede financiar proyectos de mejora para ciudades o para contratar más personal en las industrias productivas o de servicios que usen esta herramienta.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Antecedentes de investigación locales:

<b>Título</b>	DISEÑO ECOLÓGICO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN DE AGUA DE MAR EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
<b>Autor</b>	Daniel Rosales Samillan
<b>Año</b>	2008
<b>Universidad</b>	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
<b>Resumen</b>	<p>El recurso de agua dulce en el Perú y el mundo está siendo amenazado no solo por el cambio climático sino especialmente por el uso inadecuado, la contaminación y la pérdida en la distribución.</p> <p>En mediano plazo, se estima que el recurso hídrico indispensable para las centrales hidroeléctricas y la generación de energía eléctrica, estaría comprometida por la insatisfacción de la creciente demanda de agua potable debido al incremento poblacional, el crecimiento agrícola e industrial.</p> <p>Una alternativa para la obtención de agua dulce para consumo humano en la costa y en particular en el litoral del departamento de Lambayeque, es la desalación del agua de mar. A partir de la experiencia tanto en países árabes como en el Perú en las ciudades de Talara y Chíncha se pretende evaluar diversas metodologías para proponer la instalación de una futura planta desoladora que satisfaga las necesidades, proyectadas al año 2026 de las poblaciones costeras del departamento de Lambayeque.</p>
<b>Correlación</b>	<p>Esta tesis evalúa el tratamiento del agua para su desalación, por ende trabaja procesando el agua evaluando su calidad dado que tiene que cumplir ciertos estándares es aquí donde se encuentra la correlación dado que el proceso de cloración también se trabaja con agua y se requiere cumplir estándares mundiales para evitar problemas de salud, calidad, producción ambos trabajos apuntan a obtener un agua en perfecto estado y sobre todo apta para el consumo humano en su mayoría haciendo mucho énfasis entonces en la desinfección y tratamiento de la misma.</p>

<b>Título</b>	VISIÓN ARTIFICIAL APLICADO A LA AYUDA DEL DIAGNÓSTICO MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE RADIOGRAFÍAS EN EL HOSPITAL NACIONAL ALMANZOR AGÜINAGA ACENJO.
<b>Autor</b>	Shirley Vanessa Manosalva Delgado
<b>Año</b>	2007
<b>Universidad</b>	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
<b>Resumen</b>	<p>La problemática a la que se pretende apoyar esta tesis es al diagnóstico de nódulos pulmonares en imágenes de rayos x del tórax que se pretende mejorar el diagnóstico de nódulos pulmonares.</p> <p>Esta tesis uso la metodología de visión artificial, la cual consta de dos etapas, las cuales se desarrollaran en procesamiento digital de imágenes y análisis con reconocimiento de patrones.</p> <p>Con los algoritmos del PDI la máquina de aprendizaje para el reconocimiento de patrones, obtención de la información de objetos para la clasificación a través de rasgos.</p>
<b>Correlación</b>	<p>En esta tesis se usa la visión artificial para determinar ciertos elementos presentes en los rayos x, a través de su evaluación apoyando al experto que en la mayoría de casos no nota la presencia de estos en los rayos x la correlación se encuentra en el análisis de imágenes dado que ambas tesis trabajan con imágenes procesándolas para dar un resultado de apoyo e importancia en la toma de decisiones de los expertos evitando correr grandes riesgos y sobre todo caer en el error.</p>

## Antecedentes de investigación Nacionales

<b>Título</b>	TRATAMIENTO Y REVITALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES, PRODUCTO DEL PROCESO DE TEÑIDO EN UNA EMPRESA TEXTIL: PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL
<b>Autor</b>	Rossi Vera, Silvia Luz
<b>Año</b>	2007
<b>Universidad</b>	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
<b>Resumen</b>	<p>Esta tesis se centró en el tratamiento de las aguas residuales del proceso de teñido de telas e hilos en una fábrica textil, con la finalidad de contribuir con la disminución de la contaminación de aguas y preservar el recurso. Por tal motivo, en el trabajo de investigación también se presentó alternativas para la reutilización, reciclaje y disminución de la cantidad de agua necesaria en el proceso de teñido.</p> <p>A partir del análisis realizado se establece un método de tratamiento para aguas coloreadas que elimina los residuos presentes y el color de las aguas, así mismo, este tratamiento permite obtener agua limpia que puede ser utilizada nuevamente en el proceso de teñido, sin que se presenten modificaciones o variaciones en las telas e hilos sometidos al proceso.</p>
<b>Correlación</b>	<p>Esta tesis enfocó su atención sobre el proceso de tratamiento de agua para reducir los riesgos y asegurar la calidad de los productos en la empresa donde se aplicó haciendo foco de atención en el tratamiento y desinfección del agua para que al final del proceso esta cumpla los niveles requeridos para que pueda ser usada en un proceso nuevamente y no genere problemas de calidad en cuanto al producto final el fin que persigue es el mismo que la presente tesis (aseguramiento de la calidad, reducción de costos, etc.).</p>

<b>Título</b>	VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA GRADO INYECTABLE
<b>Autor</b>	Medina Reyna, Hugo Enrique
<b>Año</b>	2003
<b>Universidad</b>	Univ. Nacional Mayor de San Marcos
<b>Resumen</b>	Este trabajo de tesis presentó el estudio de validación de un sistema de tratamiento de agua grado inyectable, con la finalidad de establecer evidencia documentada de que el mencionado sistema cumple en forma consistente con las especificaciones de calidad establecidas. Para lograr esta meta, se elaboró y ejecutó un protocolo de validación, el cual presenta las respectivas calificaciones de instalación, calificación operativa y calificación funcional. La calificación operativa presenta mediciones de parámetros realizadas. La calificación funcional contiene un programa de muestreo dividido en dos fases. Se realizó la evaluación del producto final, agua grado inyectable, calculándose los índices de concentración de ciertos elementos para las pruebas de pH (medida de la acidez) y presión de ingreso en los equipos de ósmosis inversa. Los resultados del presente trabajo demuestran que el sistema de tratamiento de agua grado inyectable se encuentra bajo control y que su producto el agua cumple con las especificaciones establecidas
<b>Correlación</b>	La presente investigación tiene como fin asegurar el agua para que cumpla con las especificaciones de calidad establecidas sobre todo demostrar que la implantación de una nueva tecnología no solo puede agilizar el proceso sino asegurarlo y mejorarlo notablemente este proceso busca mejorar la calidad del agua en base a nuevas propuestas que a la vez aseguran la calidad del agua para su uso industrial.

<b>Título</b>	SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBOT
<b>Autor</b>	Eddie Angel Sobrado Malpartida
<b>Año</b>	2003
<b>Universidad</b>	Pontificia Universidad Católica Del Perú

<b>Resumen</b>	En este proyecto, un brazo robot permitirá seleccionar objetos (tornillos, tuercas, llaveros, etc.) que se encuentran en una mesa, independiente de la posición y orientación. El problema se aborda mediante un esquema de Visión Artificial consistente en 6 etapas: obtención de la imagen, pre-procesamiento, segmentación, extracción de características, clasificación y manipulación con el brazo robot.
<b>Correlación</b>	La investigación trabaja con visión artificial y señales análogas para la realización de las tareas con el brazo robótico para así agilizar y reducir costos en algún proceso, basándose en imágenes y el procesamiento de las mismas para realizar post actividades que dependen de esta prueba, la correlación la podemos encontrar en el análisis de imágenes tomadas del medio controlado en el que trabaja, proceso que el mismo principio se usa para el presente trabajo.

#### Antecedentes de investigación Internacionales

<b>Título</b>	ESTUDIO SOBRE SISTEMAS DE TELEMETRÍA Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS AGRÍCOLAS EN MÉXICO
<b>Autor</b>	JUAN MANUEL RUBIELL ABURTO
<b>Año</b>	2005
<b>Universidad</b>	Instituto Tecnológico Autónomo de México
<b>Resumen</b>	Debido a la gran competitividad que existe en la rama agrícola y ganadero a nivel mundial se ha dado una lucha incesante en la reducción de costos y el incremento de la eficiencia en los procesos de producción del sector. Desgraciadamente a pesar de las grandes oportunidades con las que cuenta el campo mexicano como es la riqueza en el suelo y características climáticas, este se ha ido rezagando a causa de la poca tecnología aplicada a esta rama. Uno de los principales problemas a los que se enfrentan es la mala utilización de recursos escasos primarios, como lo son el agua y la electricidad. Como consecuencia de esto, los costos aumentan, la electricidad involucrada en el sistema de bombeo es desperdiciada, paralelamente, al necesitarse abrir y cerrar válvulas de agua manualmente se incurre en un costo de oportunidad de tiempo y fuerza laboral. Actualmente se puede utilizar tecnologías de control, telemetría y automatización, utilizando los beneficios de varios sistemas de telecomunicaciones

	inalámbricas e informáticos para realizar dichas tareas. Por tanto este sistema aunado a los conocimientos y experiencia del agricultor y ganadero permite lograr la utilización de los recursos de forma más precisa, eficiente y por ende la reducción en costos.
<b>Correlación</b>	Esta tesis trabaja con automatización de varios procesos entre los cuales se caracteriza el de monitoreo del agua, para reducir costos y aumentar la competitividad de la industria agrícola mexicana en el mercado buscando así mejorar este proceso asegurarlo y reducir costos para aumentar la probabilidad de crecimiento de la industria mexicana en el mercado internacional optimizando recursos al máximo.

<b>Título</b>	CONTROL AUTOMÁTICO DE UN CITOFOTOMETRO CON PLATAFORMA MÓVIL MEDIANTE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL EN COLOR REAL. APLICACIONES A LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.
<b>Autor</b>	MEDINA CARNICER RAFAEL
<b>Año</b>	1991
<b>Universidad</b>	Universidad Politécnica De Madrid
<b>Resumen</b>	El trabajo presentado propuso un nuevo algoritmo de segmentación de escenas en color, basado en técnicas de análisis de histogramas. El mismo, aporta una clara ventaja frente a procedimientos clásicos, en los que es necesario calcular un gran número de histogramas condicionados para caracterizar mediante colorimetría cada región presente en la escena. Dicho algoritmo tiene como ventaja fundamental su bajo tiempo de computo.
<b>Correlación</b>	Esta tesis trabaja con visión artificial para reconocimiento de imágenes a través de colores, caracterizándose por el gran tiempo ahorrado logrando el reconocimiento de los niveles de concentración de cloro dado que este proceso se realiza por el color del agua que tiende a estar dentro de una escala de rosados, además se espera que el tiempo de análisis a reducir sea máximo asegurando la eficacia del mismo, esta tesis también usa la visión artificial para reconocimiento de colores.

<b>Título</b>	TRATAMIENTO INTEGRAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA FABRICACIÓN DE HARINA DE PESCADO
<b>Autor</b>	GUERRERO SALDES LORNA.
<b>Año</b>	2008
<b>Universidad</b>	Santiago de Compostela
<b>Resumen</b>	La presente tesis, dentro de su plan de trabajo, incluyo: estudios de tratamientos primarios o pre tratamientos, para la eliminación del alto contenido en sólidos suspendidos de estas aguas residuales. Estudios de tratamientos secundarios, para la eliminación de la elevada carga orgánica causante del poder contaminante de las aguas residuales. Estudios de tratamientos terciarios o tratamientos avanzados, para la eliminación de compuestos contaminantes específicos (amonio) no eliminados en la etapa anterior.
<b>Correlación</b>	Esta tesis se centró en el tratamiento de agua automatizado, para la eliminación de su alto contenido contaminado, esta agua es usada para producción resaltándose aquí la importancia de la calidad de esta sobre los procesos alimenticios que pueden causar problemas al ser humano en caso no sean bien procesados y de manera paralela destruir a una industria por su incompetencia en producción por ende el fin que se persigue es común: el aseguramiento de la calidad a fin de mejorarla y resaltar en el mercado por productos buenos en distintos aspectos.

#### Antecedentes de aplicación Locales

<b>Título</b>	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
<b>Autor</b>	GTZ - COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA
<b>Año</b>	1998
<b>Universidad</b>	GTZ - Cooperación Técnica Alemana
<b>Resumen</b>	Se describe la planificación e implementación de un Programa y un Manual de Control de Calidad en una Empresa de Saneamiento, de manera automática y que se base en un proceso de 3 pasos. Inspección, elaboración del análisis, acciones correctivas y seguimiento.

<b>Correlación</b>	Este trabajo busca mejorar la calidad del agua para asegurar que el consumo sano de este elemento para ello trabaja en base a la planificación de un plan de control automatizado con ayuda de software para la inspección, análisis y corrección de problemas, todo esto apoya el aseguramiento de la calidad, y eficacia del proceso.
--------------------	---

<b>Título</b>	CONTROL DE CALIDAD DE RUTINA EN LECHE FLUIDAS
<b>Autor</b>	ING. CARMEN A. CAMPOS SALAZAR
<b>Año</b>	2009
<b>Universidad</b>	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
<b>Resumen</b>	El presente trabajo se basó en el procesamiento de la leche y el estudio de los factores que influyen en la calidad higiénica y bioquímica de la misma, planteado como alternativa el uso de automatización industrial para hacer más rápida la tarea así como para reducir riesgos.
<b>Correlación</b>	Este trabajo presento la manera de implantar políticas de control de rutina para mejorar la calidad del agua así como el apoyo automatizado de estos para hacerlos más eficientes y rápidos todo esto con el fin de apoyar a la industria de la leche para que no carezca y sus productos no carezcan de calidad.

<b>Título</b>	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY - LAMBAYEQUE
<b>Autor</b>	CEPES - Centro Peruano de Estudios Sociales
<b>Año</b>	2003
<b>Universidad</b>	CEPES - Centro Peruano de Estudios Sociales
<b>Resumen</b>	Esta investigación avoco su atención sobre el estudio inicial de generalidades (ubicación, clima, hidrografía, hidrología, geomorfología), luego el estudio del uso actual del agua (agrícola, poblacional, industrial, pecuario), los vertimientos (agrícolas, domésticos, industriales), y los diagnósticos de calidad del agua, usos potenciales del agua. Para este estudio, se seleccionaron 4 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca del río, así como

	varias fechas durante el año. Asimismo, se obtuvo algunos indicadores de calidad que permiten calificar las aguas según su aptitud.
<b>Correlación</b>	En este trabajo se han evaluado varios parámetros del estudio químico del agua para determinar su calidad y aptitud para el consumo la relación se encuentra en el análisis de estos parámetros, todo este estudio fue llevado a cabo por medios automatizados como un kit de estudio de agua, y otros software de apoyo para determinar las presencias patógenas en el agua del mencionado río.

#### Antecedentes de aplicación Nacionales

<b>Título</b>	AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE UNA AUTOCLAVE PARA EL PROCESO DE VULCANIZACIÓN DEL CAUCHO EN CALZADO DE LONA
<b>Autor</b>	JAVIER EDUARDO REYES SÁNCHEZ
<b>Año</b>	2008
<b>Universidad</b>	Pontificia Universidad Católica del Perú
<b>Resumen</b>	<p>La mediana empresa Industrial Cóndor SAC, ha sido y es testigo del rápido crecimiento del mercado de calzado. Ante esto, la empresa Industrial Cóndor buscó renovar y automatizar sus procedimientos y maquinarias.</p> <p>El desarrollo de este proyecto buscó centrar sus objetivos en la Autoclave, siendo ésta la última etapa del proceso de producción de zapatillas de lona y donde se desarrolla el proceso de cura del caucho.</p> <p>Los resultados de trabajo muestran una automatización completa de la autoclave a nivel de campo, y un sistema de supervisión que ayuda al trabajador a controlar fácilmente la máquina. Además se corrobora el buen funcionamiento de los controles planteados inicialmente.</p>
<b>Correlación</b>	Este trabajo, se centró en el tema de automatización del proceso de autoclaves el cual trabaja con agua, para reducir costos y aumentar la producción en base a la rapidez que la automatización industrial ofrece, el fin es el mismo en cuando a reducción de costos además de la rapidez de procesos y reducción de esfuerzo humano cabe resaltar que las autoclaves trabajan con agua así que atrás del proceso de automatización con autoclaves se debe tener todo un proceso de tratamiento, desinfección para la

	reutilización de agua de otro modo el uso de autoclaves no sería conveniente por los grandes gastos que ocasionaría.
--	--

<b>Título</b>	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL A DISTANCIA DE LOS RESERVIOS SAN DIEGO
<b>Autor</b>	JUAN CARLOS HERNÁNDEZ ESPINOZA
<b>Año</b>	2006
<b>Universidad</b>	Pontifica Universidad Católica del Perú
<b>Resumen</b>	<p>Este proyecto fue realizado en los Reservorios de regulación horaria de San Diego. La necesidad del proyecto surge para cumplir con los siguientes objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatizar los Reservorios San Diego, mediante la instalación de Controladores Lógicos Programables (PLC), sensores de nivel y posición digitales, con el fin de tener lecturas exactas y, con los enclavamientos adecuados, realizar maniobras seguras.</li> <li>• Tener la información en tiempo real en el Centro de Control de Lima y a disposición de las jefaturas, para optimizar el uso de los reservorios de regulación, teniendo así un mejor manejo del recurso hídrico.</li> <li>• Instalar un sistema SCADA (registro de datos y control de supervisión) para poder efectuar la operación remota de los Reservorios San Diego desde la sala de control de la Bocatoma de la Central Hidroeléctrica de Cañón del Pato, evitando así tener un operador en los reservorios.</li> </ul>
<b>Correlación</b>	El presente trabajo centró su atención en el monitoreo de agua y su respectivo control en los reservorios para optimizar su dosificación lo cual tiene relación con esta investigación porque existe un proceso de monitoreo de cantidades de agua dado que trabaja en base a la razón de los bombeos en base al tiempo y la cantidad de agua bombeada, para determinar la cantidad exacta de agua existente en el reservorio (cisterna) para los fines necesarios de cada industria sobre el agua.

## Antecedentes de aplicación Internacionales

<b>Título</b>	INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA ANALIZAR CON OBJETIVIDAD LA SALUD DE LOS RÍOS
<b>Autor</b>	WILLIAM OCAMPO, VIKAS KUMARA, MARTA SCHUHMACHERA
<b>Año</b>	2006
<b>Universidad</b>	Rovira i Virgili University
<b>Resumen</b>	En la presente investigación el alud de datos cuantitativos obtenidos por el monitoreo de los ríos se procesan con algoritmos que relacionan indicadores físicos, químicos y biológicos. Lo valioso es que reduce las interpretaciones subjetivas de la información obtenida. Lo logra con la lógica difusa, una potente herramienta para manejar la incertidumbre, la subjetividad y la imprecisión en sistemas complejos. Incluye operaciones lógicas que computan con palabras y producen indicadores ya auto interpretado.
<b>Correlación</b>	Esta investigación trabajó con factores de relevancia en la calidad del agua de los ríos, evaluando en base a factores químicos biológicos y físicos todo esto lo procesa en base a conocimiento anterior (lógica difusa) además realizó un análisis por medio de computador para sus proyecciones, esto guarda relación con el tratamiento del agua para usarla en distintos fines con el fin de mejorar su calidad y evitar (Reducir) riesgos.

<b>Título</b>	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE TEXTURA DE IMÁGENES PARA LA DETERMINACIÓN EN LÍNEA DE LA HUMEDAD DE LA CUAJADA Y SÓLIDO DE SUERO DE LECHE
<b>Autor</b>	CC FAGAN
<b>Año</b>	2008
<b>Universidad</b>	Journal of Food Science
<b>Resumen</b>	En este estudio, el potencial de análisis de textura de imagen a monitorear la sinéresis de requesón en un tanque agitado. Durante la sinéresis se capturó imágenes de la superficie la mezcla de suero de leche cuajada agitada mediante un sistema de visión por computador. Las imágenes fueron sometidas a 5 métodos de análisis de imágenes por los cuales se extrajo 109 características de la textura. Se observaron correlaciones significativas entre una

	serie de características de la textura de la imagen y de la humedad de la cuaja y de sólidos de suero de leche. Los resultados de este estudio indican que el análisis de textura de la imagen tiene un gran potencial para el control de la sinéresis.
<b>Correlación</b>	Este trabajo se avoco en la sinéresis de la leche y sus derivados usando la visión artificial como método para evaluar sus características y determinarlos niveles de calidad que tenga presente en base a imágenes computarizadas.

<b>Título</b>	SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS
<b>Autor</b>	DR. JUAN REYNERIO FAGUNDO CASTILLO
<b>Año</b>	2005
<b>Universidad</b>	Universidad de La Habana
<b>Resumen</b>	<p>Este trabajo obtuvo como resultado del proyecto el desarrollo de investigaciones básicas y aplicadas con el objetivo de diseñar algoritmos, programas de computación y base de datos para caracterizar las aguas de abasto, clasificarla desde el punto de vista químico-físico, obtener información sobre el origen de la composición química de las mismas y desarrollar sistemas de monitoreo para el control automatizado de su calidad.</p> <p>Los productos informáticos creados y perfeccionados en el marco del proyecto o disponibles para su aplicación son los siguientes:</p> <p>MODELAGUA (Sistema automatizado para la Modelación de las Aguas).</p> <p>HIDROGEOWIN (Sistema Automatizado para el Procesamiento de Datos Hidroquímicos).</p> <p>SACAN (Sistema Automatizado para evaluar la Calidad de las Aguas Naturales).</p> <p>SAMA (Sistema Automatizado para el Monitoreo de las Aguas).</p> <p>SACAL (Sistema de Base de Datos de Calidad de las Aguas).</p> <p>Los resultados de este proyecto constituyen un aporte socioeconómico dirigido a una mejor explotación de los recursos hídricos de Cuba para su uso en el abasto de la población. Por último, el proyecto crea las bases para la generalización de los productos informáticos creados en el marco del mismo.</p>

<b>Correlación</b>	El presente trabajo se basó en el estudio físico del agua obteniendo como resultado un producto software que conjuntamente con otros materiales apoya el proceso de aseguramiento de calidad del agua que puede ser aplicado en distintas formas y lugares.
--------------------	---

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. El Agua**

El agua, proveniente del latín *aqua*, es una sustancia esencial para la vida en el planeta tierra, y para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. Tiene diferentes estados, líquido, sólido y gaseoso, siendo el estado líquido el más común. (CIA 2009)

Siendo en estado líquido, que es utilizado en las plantas industriales y para servicios, que han sido estudiadas para esta investigación.

Fue Henry Cavendish quien descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, como se pensaba desde la Antigüedad. Los resultados de dicho descubrimiento fueron desarrollados por Antoine Laurent de Lavoisier dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno. En 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt demostraron que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno (H<sub>2</sub>O). (Survey 2009)

Las propiedades fisicoquímicas más notables del agua son (Braun Charles y Sergei 1993):

- El agua es insípida e inodora en condiciones normales de presión y temperatura. El color del agua varía según su estado: como líquido, puede parecer incolora en pequeñas cantidades, el hielo también tiende al azul y en estado gaseoso (vapor de agua) es incolora.
- El agua bloquea sólo ligeramente la radiación solar UV fuerte, permitiendo que las plantas acuáticas absorban su energía.
- La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles y también en las redes de conexión de agua, para hacerla llegar a los hogares y en las industrias para sus cisternas, torres de enfriamiento, autoclaves, procesos de producción, esterilización, entre otros.
- El agua es un disolvente muy potente, al que se ha catalogado como el disolvente universal, y afecta a muchos tipos de sustancias distintas. Las sustancias que se mezclan y se disuelven bien en agua como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos.
- El agua es miscible con muchos líquidos, como el etanol, y en cualquier proporción, formando un líquido homogéneo. Por otra parte, los aceites son inmiscibles con el agua, y forman capas de variable densidad sobre la superficie del agua. Como cualquier gas, el vapor de agua es miscible completamente con el aire.
- El agua tiene el segundo índice más alto de capacidad calorífica específica.

- La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión.

### **2.2.2. El agua en la industria**

La industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose como medio en la refrigeración, el transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico el 10%, y la agricultura el 70%. (Baroni, y otros 2006)

La industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar, enfriar, producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar. (ONU 2008)

Los mayores consumidores de agua para la industria en el año 2000 según (ONU 2008) fueron:

- EE.UU, China, Rusia, India, Alemania, Canadá, Francia, México, Chile, Argentina.

En algunos países desarrollados y sobre todo en Asia Oriental y en el África subsahariana, el consumo industrial de agua puede superar ampliamente al doméstico. (Yurina, Masahiro y Tomoko 2008)

El agua es fundamental para varios procesos industriales y maquinarias, como la turbina de vapor, el intercambiador de calor, autoclaves, y también su uso como disolvente químico.

Esto implica que las plantas industriales, requieran procesos de potabilización, para que el agua que usan esté libre de microorganismos, y puedan ofrecer plenas garantías de un producto cumpliendo con las normas sanitarias correspondientes y con las normas internacionales para el agua potable de la Organización Mundial de la Salud de 1963. (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008)

Según (Aquamarket 2011) Los usos principales del agua en la industria son:

- Sanitario: Emplean en inodoros, duchas e instalaciones que garanticen la higiene personal.
- Transmisión de calor o refrigeración: Aproximadamente el 80% del agua industrial corresponde a esta aplicación, siendo las centrales térmicas y nucleares las instalaciones que más agua necesitan.
- Producción de vapor: suele estar dirigida a la obtención de un medio de calentamiento del producto que se desea elaborar.
- Materia prima: el agua puede ser incorporada al producto final, como en el caso de la producción de bebidas, o puede suministrar un medio adecuado a determinadas reacciones químicas.
- Utilización como disolvente en los diferentes procesos productivos.

- Labores de limpieza de las instalaciones.
- Obtención de energía: referido a las centrales hidroeléctricas y- a las actividades que usan vapor de agua para el movimiento de turbinas.
- Esterilización de productos.

### 2.2.3. Desinfección del agua en la industria Alimentaria

Según (Milán 2002) La desinfección del agua en la industria alimentaria puede realizarse mediante:

- Agentes químicos, la cloración forma parte de este tipo de desinfección.
- Agentes físicos.
- Medios mecánicos.
- Radiación.

El fin del proceso de desinfección es destruir todos los microorganismos patógenos y no patógenos y agentes infecciosos del agua con el fin de asegurar su potabilidad para los procesos que necesiten de su uso.

Según (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008) el desinfectante que se use incluido el cloro (el desinfectante por excelencia) debe tener las siguientes propiedades:

<b>Propiedad</b>	<b>Detalle</b>
Toxicidad a los microorganismos	Deben poseer un amplio espectro de actividad en altas diluciones.
Solubilidad	Debe ser soluble en el agua o en los líquidos tisulares.
Estabilidad	Los cambios que se produjeran no deben suponer pérdida de la acción germicida.
Inocuidad para el hombre y los animales	Deberá ser altamente tóxico a los microorganismos pero inocuo a formas superiores de vida.
Homogeneidad	Las preparaciones deberán tener composición uniforme.
Interacción con materias extrañas	Debe tener poca afinidad por la materia orgánica en favor de un mayor efecto antimicrobiano residual.
Toxicidad a temperatura ambiente	No deberá ser necesario elevar la temperatura sobre la normal del medio en que se utiliza.
Penetración	Deberá tener capacidad de penetración para que su acción no quede limitada a la desinfección superficial.
No debe ser corrosivo ni	No ha de oxidar o deteriorar los objetos metálicos ni teñir o estropear

manchar	el material sobre el que actúa.
Capacidad desodorante	Es conveniente que el desinfectante posea además poder desodorante, mejor aún si es inodoro.
Capacidad detergente	El desinfectante que sea además detergente (agente limpiador) cumple dos objetivos, y la acción de limpieza mejora la acción desinfectante.
Disponibilidad	Deberá poder adquirirse en cantidad suficiente y a precios razonables.

**Tabla 01: Propiedades del agua**

**Fuente: (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008)**

La cloración es una técnica muy difundida en la industria alimentaria como medida de saneamiento. (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008).

La misma tiene sus ventajas y sus precauciones que (Milán 2002) detalla como las siguientes:

Ventajas:

- El uso de cloro previene el crecimiento bacteriano sobre la superficie del material y equipos.
- La cloración permite más horas de operación y/o reduce los costos de mano de obra mediante el acortamiento de tiempos destinados a limpieza.
- Los recuentos bacterianos en la materia prima y los aportados por manipulación se reducen, lo que se traduce en una mayor efectividad del proceso.

Precauciones:

- Deberá determinarse que el sabor del producto no será afectado adversamente por el cloro.
- Se deberán tomar medidas estrictas para prevenir la contaminación del agua clorada con fenoles o compuestos relacionados
- Las salmueras y jarabes añadidos al producto no deberán ser clorados.
- Deberán hacerse pruebas frecuentes de la concentración de cloro en el agua.
- Deberán observarse todas las medidas de seguridad normales en el manejo de recipientes de cloro y los sistemas usados para inyectar el mismo a las aguas del proceso.

---

<sup>1</sup> El fenol es una sustancia manufacturada, El fenol es muy utilizado en la industria química, farmacéutica y clínica como un potente fungicida, bactericida, sanitizante, antiséptico y desinfectante, también para producir agroquímicos

“Particularmente en la industria del enlatado está comprobado que la cloración es un seguro digno de confianza contra pérdidas considerables causadas por deterioros de infiltración en esa industria. El deterioro por infiltración, ocurre cuando en una etapa del enfriamiento, posterior al tratamiento térmico; estar blando el compuesto sellador (cierre del producto), y al originarse vacío del recipiente, existe la posibilidad de penetración de agua de enfriamiento. En caso de ser agua contaminada llevará consigo microorganismos que se reproducirán en el interior del envase, originando pérdida de calidad con riesgo para la salud del consumidor y este deterioro también es causante de importantes pérdidas económicas en las industrias de los enlatados.” (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008)

Desde hace más de 90 años la cloración desempeña un papel crítico en lo que a la protección del agua se refiere, Es un proceso de higienización que se llevó a cabo por primera vez en los sistemas de abastecimiento de agua potable, surge como alternativa eficiente para eliminar las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua; aunque pueda resultar extraño y a la vez sorprendente, la cloración ha sido responsable en gran parte del 50% de aumento de expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX. (Amiclor 2011)

La cloración continua se hizo presente en los primeros años del siglo XX en Gran Bretaña donde su aplicación redujo considerablemente las muertes por tifoidea; poco después dicho procedimiento se trasladó a los Estados Unidos en 1908 y se consiguieron eliminar las enfermedades transmitidas por el agua (cólera, tifoidea, disentería y hepatitis A). (Amiclor 2011)

#### **2.2.4. Acción de cloración sobre los agentes**

En 1881 el bacteriólogo Robert Koch demostró que el hipoclorito podía destruir cultivos puros de bacterias; sus observaciones aseguraban que las células bacterianas dosificadas con cloro liberan ácidos nucleicos, proteínas y potasio; y las funciones de la membrana resultaban afectadas por el cloro.

La cloración causaba alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de toda célula, de esta forma se destruye la barrera protectora de la misma dejándola indefensa, disminuyendo sus funciones vitales hasta llevarla a la muerte; como conclusión, el cloro no permite que la bacteria crezca, se reproduzca o cause ninguna enfermedad. Los beneficios del cloro sobre el agua son muchos y son justamente ellos los que enaltecen el uso de este producto tanto en los tanques de agua potable como en el mantenimiento de piscinas; ante todo debemos destacar que es un germicida potente ya que reduce el nivel de microorganismos patógenos en el agua hasta niveles que son casi imposibles de medir. La cloración permite el control de gusto y olores reduciéndolos, esto se debe que el cloro oxida sustancias que se presentan naturalmente, nos referimos a las secreciones de algas malolientes y olores de vegetación que se encuentra en proceso de descomposición; el cloro le otorga al agua atributos inodoros y modifica favorablemente su sabor. (Amiclor 2011)

La cloración conlleva también a un control biológico y químico, con respecto al primero, señalamos que su acción germicida elimina bacterias, mohos y algas, controla los microorganismos molestos que suelen crecer en las piscinas y cisternas que se transmiten por el agua. El control químico es aquél que se encarga de destruir el sulfuro de hidrógeno y eliminar el amoníaco como otros compuestos nitrogenados que generan sabores desagradables y obstaculizan cualquier tipo de desinfección. (Aquamarket 2011)

Entonces se llega a afirmar que la cloración desempeña una función extraordinaria al proteger los sistemas de abastecimiento de agua potable de las enfermedades infecciosas, si complementamos dicho proceso con el sistema de filtrado los resultados obtenidos son aún mucho mejores; según la Organización Mundial de la Salud, la desinfección de piscinas y de redes de agua para consumo público con cloro es la mejor garantía de un agua microbiológicamente segura, es por ellos que en la industria también se usa la desinfección de agua por cloración para garantizar la calidad de los alimentos en su producción.

### **2.2.5. Tecnología usada en la desinfección de aguas**

Según (Laboratorio Tecnológico de Uruguay 2008) los tipos de tecnología usada para la desinfección de aguas con cloro son:

- a. Dosificación de cloro:** Es la cantidad de cloro agregada al agua. Se expresa generalmente en partes por millón, ppm (Miligramos por litro) y es independiente de la “demanda de cloro del agua”.
- b. Demanda de cloro:** Cuando se adiciona cloro al agua no destilada, una pequeña cantidad reacciona con las impurezas presentes en la misma la cual depende de la concentración y tipo de impurezas, del pH, del tiempo de contacto, la temperatura y de la cantidad de cloro aplicado. La diferencia entre la cantidad de cloro que se aplique, y la cantidad de cloro residual se conoce como “demanda de cloro del agua”.
- c. Cloro residual combinado:** El cloro que se combina con compuestos nitrogenados, para formar cloraminas<sup>2</sup> y otras sustancias cloronitrogenadas se le llama “cloro residual combinado”
- d. Cloro residual libre:** El cloro residual en el agua existe tanto bajo forma combinada con la materia nitrogenada, como en su forma libre. En soluciones acuosas, el cloro libre existe como ácido hipocloroso. La acción germicida del cloro es proporcional a la cantidad de ácido hipocloroso no disociado.
- e. Cloración marginal:** Es la adición de suficiente cantidad de cloro, al agua como para producir un residual el cual puede estar libre o combinado, dependiendo esto de la concentración de compuestos nitrogenados.
- f. Cloración al punto de quiebre:** El hecho de que el cloro reaccione con compuestos nitrogenados, junto a su propiedad de ser un poderoso oxidante, dificulta el mantenimiento de una cantidad residual en la dosificación de las aguas.

---

<sup>2</sup> Es un compuesto químico con la fórmula  $\text{NH}_2\text{Cl}$ . Por lo general se utiliza como una solución diluida en función desinfectante

### 2.2.6. Métodos de revisión de resultados

Según (The American Water Works Ass Inc.) Los tipos de métodos usados para determinar el nivel de cloro en el agua son:

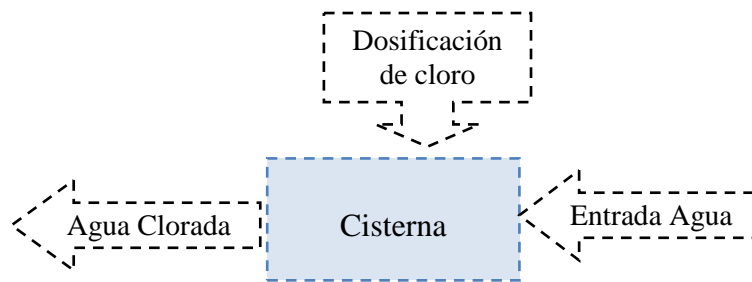
- a. Iodometría:** Esta técnica sirve para estandarizar el agua clorada. Es conveniente para determinar altas concentraciones de cloro libre residual, y generalmente más preciso cuando la concentración es alta, no es tan exacto en bajas concentraciones o en presencia de interferencias.
- b. Amperometría:** Es el método más preciso para la determinación de cloro libre combinado. No es afectado por la presencia de otros agentes ni la temperatura, no es tan simple ni práctico.
- c. Ortotoluidina:** Permite la diferencia de cloro libre disponible y el combinado, aún en la presencia de color. Es un método colorimétrico, y rápido de planta, sin embargo la OMS no recomienda su empleo dado que es cancerígeno.
- d. DPD:** Método simple y muy preciso para diferenciar fracciones de cloro libre residual y combinado. Los colores producidos son más estables y se necesitan menos reactivos que en otros métodos.

### 2.2.7. Cloración en plantas industriales de Chiclayo

A partir del estudio realizado se ha logrado determinar ciertas características presentes en las plantas industriales: AiB, Gandules, Backus, las cuales son:

- La tecnología usada para la desinfección con cloro es “Dosificación de cloro”.
- Los procesos más importantes son los de desinfección, enfriamiento y uso del agua en planta.
- El método usado es el del reactivo Dietil -p-fenilen diamina (DPD) y el método de titulación, ambos son métodos que usan el color.

- El sistema de cloración es el siguiente:



- Las inyecciones de cloro se realizan cada que ingresa nueva agua a la cisterna.
- Cada planta posee un mínimo de 4 cisternas.
- Entre algunos de los detalles con respecto a este proceso dentro de los programas de control en la planta están:
  - o Controlar el cloro ppm cada cuatro horas usando un ensayo rápido.
  - o Revisar el cloro en cada cisterna.
  - o Revisar el cloro en varios puntos de la planta como mínimo 2 veces al día.
  - o Mantener un registro de los datos obtenidos.
- Hacen utilización de kits de cloro para la determinación
- Es un proceso que demora 10 minutos por revisión.

### **2.2.8. Visión artificial**

La visión artificial, también conocida como visión por computador (del inglés *computer vision*) o visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen. (Rodríguez 2011)

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (por ejemplo, segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.

- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Según (Rodríguez 2011) Un sistema de visión artificial se compone básicamente por:

- Sistema de iluminación: Proporciona unas condiciones de iluminación uniforme e independiente del entorno, permitiendo o facilitando la extracción de los rasgos de interés para una determinada aplicación.
- Captura de imagen: Conjunto encargado de recoger la característica del objeto en estudio y proporcionar los datos para su procesado, por medio de una imagen digital.
- Procesado de imagen: Conjunto de algoritmos y transformaciones necesarias para realizar el análisis de la imagen y de este modo extraer la información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.

### **Iluminación para las aplicaciones de visión artificial**

La iluminación es el aspecto más decisivo de cualquier aplicación de visión artificial. Eligiendo la técnica adecuada de iluminación se puede lograr un aumento en la exactitud, en la fiabilidad del sistema y en su tiempo de respuesta. Es un error muy serio y costoso asumir que se puede compensar una iluminación inadecuada con un algoritmo. (Universidad Nacional de Quilmes 2005)

Las técnicas de iluminación son:

- a. Iluminación posterior (backlight): La iluminación posterior permite delinear el contorno de las piezas, minimiza la visibilidad de gabinetes traslúcidos y permite visualizar perforaciones pasantes. Esta técnica brinda un contraste muy alto y es fácil de implementar. En las imágenes tomadas bajo esta técnica, el fondo (background) aparece uniformemente blanco y el objeto se visualiza mediante su silueta. Dentro de las técnicas de iluminación posterior se pueden encontrar la difusa y la direccional. En la iluminación posterior difusa los rayos de luz se transmiten en diversos ángulos.

En la iluminación posterior direccional, un colimador<sup>3</sup> hace que todos los rayos de luz se propaguen en direcciones paralelas.

---

<sup>3</sup> Un colimador es, por definición, un instrumento de precisión para una tarea especial. El objetivo de la colimación es hacer que el eje óptico de cada lente o espejo coincida con el rayo central del sistema.

- b. Iluminación frontal oblicua y direccional:**

La dirección de la iluminación, conocida como el ángulo de incidencia, es el ángulo formado por el plano normal a la superficie y el rayo incidente. Cuando los haces de luz forman un ángulo de 20 grados con la superficie, se puede maximizar el contraste en objetos con relieves de manera que los bordes aparezcan brillantes frente al fondo oscuro que forman las superficies planas del objeto. En la iluminación frontal direccional, el ángulo entre los rayos incidentes y la superficie es de 30°, lo que reduce un poco el contraste pero incrementa la cantidad de información obtenible de las superficies planas.
- c. Iluminación Frontal Axial (difusa):**

Mediante esta técnica se puede iluminar desde el mismo eje de la cámara con luz uniforme, incluyendo el centro de la imagen. Permite iluminar uniformemente superficies reflectivas, realza detalles grabados y crea contraste entre superficies especulares y difusas / absorbentes.
- d. Iluminación de Día Nublado (cloudy day illumination, CDI):**

Suministra iluminación difusa en la misma dirección que el eje de la cámara. Ha sido diseñada para las aplicaciones más complejas y difíciles con superficies especulares irregulares que necesitan luz completamente uniforme. La CDI proporciona una completa uniformidad, con un máximo de desviación del 10% en el campo de visión.
- e. Iluminación de Campo Oscuro (dark field):**

Se trata de luz directa de alta intensidad que se hace incidir sobre el objeto con un ángulo muy pequeño respecto a la superficie donde descansa. De esta manera conseguimos que sobre superficies que presentan hendiduras o elevaciones, éstas interfieran en la trayectoria de la luz produciéndose zonas brillantes.
- f. Array de luces:**

La luz producida por el array de luces llega directamente al objeto. Produce un gran contraste y resalta las texturas, relieves y fisuras del objeto iluminado debido a que cualquier relieve, por pequeño que sea, produce una sombra muy definida.
- g. Iluminación de campo claro (o brillante):**

La fuente de luz es uniforme y difusa (suave) e incide con un pequeño ángulo sobre la superficie reflectante del objeto a inspeccionar.

### **2.2.9. Redes Neuronales**

Son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas en una red que colabora para producir

un estímulo de salida. En inteligencia artificial es frecuente referirse a ellas como redes de neuronas o redes neuronales. (Gestal 2011)

Ventajas:

- **Aprendizaje:** Las RNA tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama etapa de aprendizaje. Esta consiste en proporcionar a la RNA datos como entrada a su vez que se le indica cuál es la salida (respuesta) esperada.
- **Auto organización:** Una RNA crea su propia representación de la información en su interior, descargando al usuario de esto.
- **Tolerancia a fallos:** Debido a que una RNA almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir respondiendo de manera aceptable aun si se daña parcialmente.
- **Flexibilidad:** Una RNA puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada (por ejemplo si la información de entrada es la imagen de un objeto, la respuesta correspondiente no sufre cambios si la imagen cambia un poco su brillo o el objeto cambia ligeramente).
- **Tiempo real:** La estructura de una RNA es paralela, por lo cual si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.

Los tipos de aprendizaje de las redes neuronales son:

- Aprendizaje supervisado: necesitan un conjunto de datos de entrada previamente clasificado o cuya respuesta objetivo se conoce. Ejemplos de este tipo de redes son: el perceptrón simple, la red Adaline, el perceptrón multicapa, red backpropagation, y la memoria asociativa bidireccional.
- Aprendizaje no supervisado o auto organizado: no necesitan de tal conjunto previo. Ejemplos de este tipo de redes son: las memorias asociativas, las redes de Hopfield, la máquina de Boltzmann y la máquina de Cauchy, las redes de aprendizaje competitivo, las redes de Kohonen o mapas auto organizados y las redes de resonancia adaptativa (ART).
- Redes híbridas: son un enfoque mixto en el que se utiliza una función de mejora para facilitar la convergencia. Un ejemplo de este último tipo son las redes de base radial.
- Aprendizaje reforzado: se sitúa a medio camino entre el supervisado y el auto organizado.

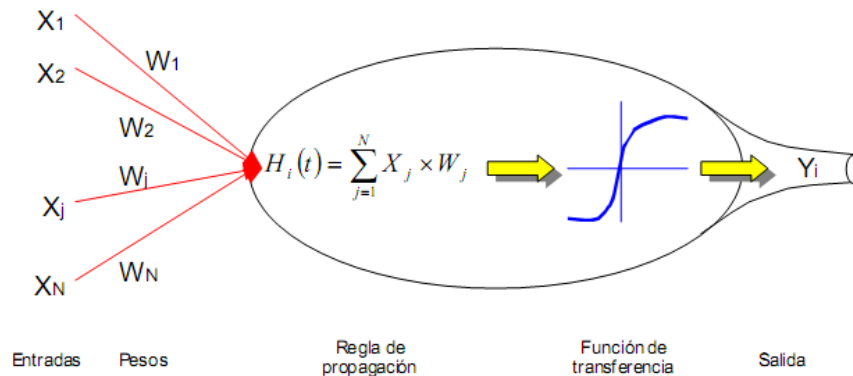
Según (Bien, Krein y Rambo, 2008) Las características de las RNA las hacen bastante apropiadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado, pero se dispone de un conjunto básico de ejemplos de entrada (previamente clasificados o no). Asimismo, son altamente robustas tanto al ruido como a la disfunción de elementos concretos.

Esto incluye problemas de clasificación y reconocimiento de patrones de voz, imágenes, señales, etc. Asimismo se han utilizado para encontrar patrones de fraude económico, hacer predicciones en el mercado financiero, hacer predicciones de tiempo atmosférico, etc.

### **Neurona Artificial**

Desde 1960 varios grupos de investigadores han intentado replicar el funcionamiento de las neuronas biológicas en la resolución de problemas matemáticos y el resultado ha sido la neurona artificial. Recordemos que la neurona biológica es un tipo de célula especializada que recibe información de otras neuronas o de diversos órganos y la procesa enviando el resultado a otras neuronas. De la misma manera, la neurona artificial recibe información de diversas fuentes, representadas por la letra X; así tenemos desde  $X_1$  hasta  $X_N$ . La información no le llega a la neurona en estado puro, sino que es ponderada debido a que un tipo de información tendrá diferente importancia respecto a otro. Por eso a la información  $X_i$  se le multiplica por un peso designado por  $W_i$ . Lógicamente, si hay N puntos de información, habrá N pesos, uno por cada punto de información. Todos estos conceptos están reflejados en la figura 01. (Esteves Pablo, 2005)

**Figura 01: Esquema de una neurona artificial**



**Fuente: (Esteves Pablo, 2005)**

Al llegar a la neurona todos los datos de las informaciones, ponderados por sus pesos, son sumados. Esto es lo que se denomina la Regla de Propagación. La fórmula más habitual para representarlo, es la simple suma de todas las entradas ponderadas que toma el nombre de Potencial sináptico. Es decir, el resultado de la regla de propagación elegida es denominado el potencial sináptico.

$$H_i(t) = \sum_{j=1}^N X_j \times W_j$$

Siendo

$H_i(t)$  el potencial sináptico de la neurona  $i$  en el momento  $t$ .

$X_j$  la entrada de datos procedentes de la fuente de información  $j$ .

$W_j$  el peso sináptico asociado a la entrada  $X_j$

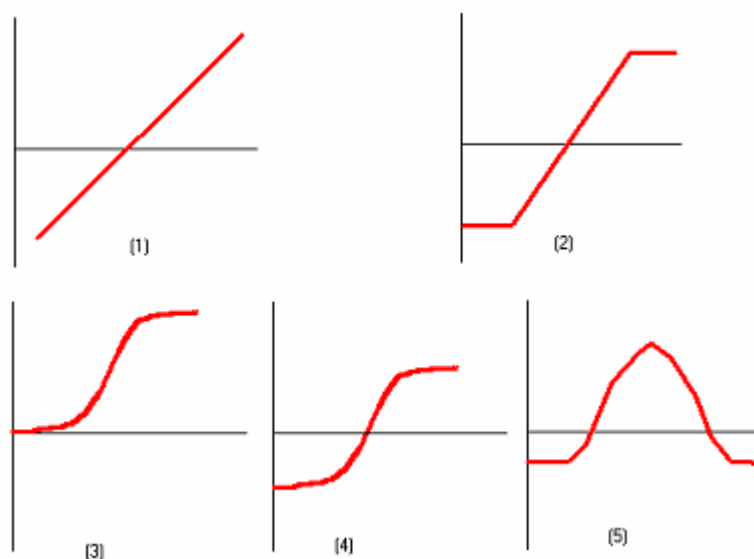
Cuando el resultado de la regla de propagación supera un cierto número, denominado umbral, entonces la neurona se activa y el número resultante de la regla de propagación se “introduce” en una función denominada Función de transferencia. Esquemáticamente se podría representar de la siguiente manera:

$$H_i(t) > \theta, \quad \text{entonces } f[H_i(t)]$$

Se puede escoger diferentes funciones para la función de transferencia, Según (Esteves Pablo, 2005) las cinco funciones de transferencia típicas que determinan los distintos tipos de neuronas son:

1. Función lineal
2. Función escalón
3. Función Sigmoidea
4. Función Tangente Sigmoidea
5. Función Gaussiana

**Figura 02: Funciones de transferencia utilizadas en las redes neuronales. (1) Lineal; (2) Escalón; (3) Sigmoidea; (4) Tangente Sigmoidea; (5) Gaussiana**



**Fuente: (Esteves Pablo, 2005)**

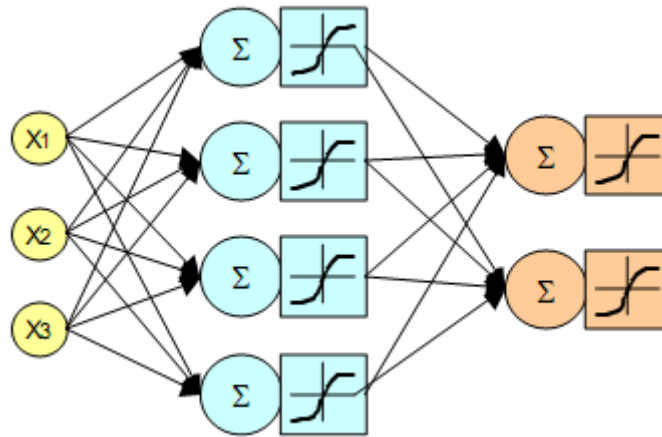
### **La Red Neuronal Artificial: La Red MLP**

Una neurona no tiene capacidad para realizar un proceso lógico, pero un conjunto de ellas sí. Por tanto, las neuronas se agrupan para realizar trabajos de cálculo lógico en redes. Las redes están compuestas de capas.

Generalmente, una red neuronal típica tendrá tres capas: una de entrada de datos, otra oculta donde se procesan los datos y una tercera de salida de los resultados. Cada una de las capas contendrá un número determinado de neuronas en función del diseño que haya decidido el analista y del tipo de trabajo que vaya a realizar la red. Todas las neuronas que contiene una capa se conectan con todas las neuronas de la siguiente capa. De esta manera, cuando una neurona obtiene un resultado, lo envía a todas las neuronas de la capa siguiente. (Esteves Pablo, 2005)

En la figura 03, se muestra un ejemplo de red neuronal compuesto por tres capas: entrada, oculta y salida. La capa de entrada está compuesta, en este ejemplo, por tres neuronas de entrada. Éstas no hacen ningún proceso, sólo envían información a las neuronas de la capa oculta. Por tanto cada neurona de entrada tendrá tantas conexiones como neuronas tiene la capa oculta, y cada neurona de la capa oculta recibirá tanta información como neuronas tiene la capa de entrada. En este ejemplo, cada neurona de entrada está conectada a las cuatro neuronas de la capa oculta, y cada neurona de la capa oculta recibe tres flujos de información procedente de cada una de las neuronas de la capa de entrada. Este flujo de información estará ponderado por un peso sináptico, por tanto al haber tres flujos de información por neurona de la capa oculta y hay cuatro de éstas, habrá doce pesos sinápticos.

**Figura 03: Representación de una red neuronal de tres capas**



**Fuente: (Esteves Pablo, 2005)**

En cada neurona de la capa oculta ocurre un proceso matemático consistente en la suma de las multiplicaciones de cada dato de información por sus pesos ponderados para determinar el potencial sináptico y que será el dato a introducir en la función de transferencia.

El resultado de esta función en cada neurona de la capa oculta será su salida que se enviará a cada neurona de la capa de salida. Por tanto cada neurona de la capa oculta tendrá tantas conexiones como neuronas de salida hay y cada neurona de salida recibirá tantos flujos de información como neuronas existan en la capa oculta. Los flujos de información son ponderados por los pesos que unen las neuronas de la capa oculta con las neuronas de la capa de salida. En las neuronas de la capa de salida se realiza el mismo proceso que hemos visto antes en las neuronas de la capa oculta. Al final, el resultado de la red será la salida de las neuronas de la capa de salida. (Esteves Pablo, 2005)

Este proceso se puede representar de manera matricial, que facilita la comprensión del sistema; siguiendo el esquema de la figura 3, la matriz de entradas estará representada por X, mientras que la matriz de los pesos sinápticos viene representada por W y la matriz H representa los potenciales sinápticos de cada neurona de la capa oculta, como se muestra a continuación:

$$(X_1 \quad X_2 \quad X_3) \times \begin{pmatrix} W_{1,1} & W_{2,1} & W_{3,1} & W_{4,1} \\ W_{1,2} & W_{2,2} & W_{3,2} & W_{4,2} \\ W_{1,3} & W_{2,3} & W_{3,3} & W_{4,3} \end{pmatrix} = (H_1 \quad H_2 \quad H_3 \quad H_4)$$

Cuando alimentamos las funciones de transferencia con los valores de la matriz de los potenciales sinápticos obtenemos la matriz Y de salidas de las neuronas de la capa oculta. Estas serán ponderadas por la matriz W' de pesos sinápticos que unen la capa oculta con la capa de salida. El resultado será la matriz H' de potencial sináptico de la capa de salida que servirá para alimentar las funciones de transferencia de esta capa y que su resultado será la matriz Z de resultado de la red.

$$f(H_1 \ H_2 \ H_3 \ H_4) = (Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4)$$

$$(Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4) \times \begin{pmatrix} W'_{1,1} & W'_{2,1} \\ W'_{1,2} & W'_{2,2} \\ W'_{1,3} & W'_{2,3} \\ W'_{1,4} & W'_{2,4} \end{pmatrix} = (H'_1 \ H'_2)$$

$$f(H'_1 \ H'_2) = (Z_1 \ Z_2)$$

Para que una red neuronal descubra las conexiones no lineales entre dos conjuntos de datos hay que entrenarla. Para esto se le presentan a la red los datos de entrada y los resultados queridos por el analista. La red, utilizando de manera reiterada un algoritmo, denominado de aprendizaje, irá modificando los pesos, (que en el inicio de la red tienen un valor aleatorio) una y otra vez hasta encontrar el conjunto de ellos que consigue que con los datos suministrados obtener los resultados queridos.

Una vez entrenada, se le presentan nuevos datos y se hace un test para comprobar la bondad del conjunto de pesos. Si no es satisfactorio se vuelve a ajustar los pesos. Cuando la red es testada y ofrece un rendimiento óptimo, ya está lista para trabajar. Se le puede introducir datos nuevos y la red ofrecerá los resultados del problema en el que se está trabajando. Este tipo de redes neuronales se les denomina supervisadas, debido a que al introducir los datos queridos, la red, en la fase de entrenamiento, puede calcular el error que comete y modificar los pesos sinápticos con el objetivo de disminuir este error.

De acuerdo a (Ocaris y Fernandez,2007) La red neuronal supervisada más utilizada es la denominada Perceptrón Multicapa o MLP (Multi - Layer Perceptron). Esta es una red de varias capas usualmente tres (entrada, oculta y salida) que utiliza como función de transferencia en la capa oculta funciones sigmoideas. Las funciones de la capa de salida pueden ser lineales o sigmoideas, dependiendo del tipo de salida que se quiera. La red MLP es un aproximador universal de funciones. Si existe una función que relaciona dos conjuntos de datos, la red MLP la descubrirá. Pero la característica más importante de las MLP es que utiliza como función de aprendizaje la Retropropagación hacia atrás o Regla BP.

Existen diferentes programas informáticos que permiten manejar redes neuronales de manera sencilla. Uno de los más potentes, y es la Toolbox de Redes Neuronales de Matlab. Una de las decisiones que debe realizar el analista a la hora de diseñar una red neuronal es elegir el algoritmo de aprendizaje. La Toolbox de Matlab ofrece diferentes algoritmos que tienen unas características específicas. Es muy difícil elegir el algoritmo adecuado para cada problema. Un algoritmo que es rápido y consigue soluciones satisfactorias para un problema no es eficaz para otro, o se vuelve muy lento. (Esteves Pablo, 2005)

Hay veces que es preferible un algoritmo que trabaje de manera lenta, debido al resultado que se quiere obtener, y otras veces se necesita rapidez y la

precisión de los datos no es tan importante. En la tabla 18 se muestra una lista de los algoritmos que ofrece Matlab ordenados del más lento al más rápido. Generalmente se aconseja elegir el más rápido e ir eligiendo, si no es muy preciso, los siguientes, que aunque menos rápidos pueden darnos mejores precisiones. De todos modos el algoritmo Levenberg – Marquardt es el mejor algoritmo para problemas que no sean muy grandes. (Porras Paolo, 2006)

<b>Algoritmo</b>	<b>Sentencia Matlab</b>
Variable	Traingdx
Rprop	Trainrp
Gradiente conjugado escalar	Trainscg
Fletcher Powell CG	Traincgf
Polak Ribière CG	Traincgp
Secante de un paso	Trainoss
Quasi Newton BFGS	Trainbfg
Levenberg Marquardt	Trainlm

**Tabla 02: Algoritmos de Aprendizaje Toolbox Neural Network de Matlab**

**Fuente: (Porras Paolo, 2006)**

### **Metodología de Desarrollo**

Para desarrollo de visión artificial existe una metodología la propuesta por (Kong y Nilsson 2005), la cual utiliza las etapas de un sistema de visión artificial, los cuales son:

- a. Representación de la imagen
- b. Procesamiento de la imagen
- c. Análisis de la imagen

En la fase de Representación de la imagen, se menciona que estas tienen dos representaciones:

- Imágenes Monocromáticas: Cada punto contiene el valor de intensidad de la luz. Es un valor real que se traduce en un nivel de gris, normalmente entre 0: negro, 1: blanco.
- Imágenes a Color: Cada punto contiene el valor del color, el cual se especifica mediante algún sistema de representación de color.

**a. Captura y Digitalización:-** Son varios los métodos que se pueden emplear para capturar y digitalizar imágenes. Fundamentalmente existen cuatro formas de captura dependiendo del medio en el que se desee adquirir la imagen:

- Escáner.
- Programas capturadores de pantalla.
- Cámara fotográfica.

- Tarjetas digitalizadoras de video.

**b. Discretización de Imágenes:** Desde el punto de vista práctico lo más usual es discretizar los valores, es decir es el proceso de conversión de los colores de la imagen, lo que significa pasar el color real de la imagen en escalas de blanco y gris; en ciertas ocasiones hay imágenes que no precisan de este proceso porque su color real se encuentra en la escala de blanco y gris.

En la fase de procesamiento de la imagen (Nilson 2005), define este proceso como la transformación de la imagen original en otra que sea más manejable para el análisis. Mediante el procesamiento digital de imágenes es posible manipular imágenes digitales en un computador con el fin de obtener información objetiva de la escena captada por una cámara. Son dos las tareas fundamentales del procesamiento digital de imágenes:

- Mejoramiento de una imagen digital con fines interpretativos.
- Toma de decisiones de manera automática de acuerdo al contenido de la imagen digital.

Algunas de las técnicas usadas para procesamiento de la imagen son:

- Conversión a gris.
- Operaciones básicas: Operaciones aritméticas (usadas para reducir ruido, luz y corregir).
- Filtrado de imagen: Suavizado (dar a una imagen un difuminado o efecto especial y para la eliminación del ruido).
- Reforzamiento: Acentuar detalles.
- Segmentación.
- Detección de bordes.

La fase de análisis de la imagen (Nilson 2005) es una etapa que nos permite la aproximación, el examen y el conocimiento de una imagen, donde a partir de la imagen procesada, se crea un descripción de todo los detalles que se encuentren en la imagen y sean de interés. En esta fase de debe tener en cuenta, los ambientes posiciones, iluminación y que repercusión tuvieron en todo el proceso.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Diseño de la investigación

Para el desarrollo de esta tesis se hizo análisis de la situación, se conoció la problemática y luego se diseñó y aplicó una solución específica.

De acuerdo a la orientación de la tesis es una investigación aplicada, cuyo diseño de contrastación de la hipótesis, corresponde al experimental de Pre test – Pos test. A partir de ello se realiza una investigación para innovar estrategias y crear un software que se pueda probar, estimar y evaluar la eficacia de esta aplicación. El diagrama de Pre test – Pos test es el siguiente:



#### Explicación:

**O<sub>1</sub>**: Proceso de pruebas de cloración antes de la aplicación del sistema.

**X**: Sistema de visión artificial aplicado al monitoreo automatizado del proceso de cloración para mejorar la calidad del agua.

**O<sub>2</sub>**: Proceso de pruebas de cloración después de la aplicación del sistema.

#### 3.2. Población, Muestra Y Muestreo

La población está representada por el número de análisis de cloro en las plantas industriales. Para esto se ha usado una muestra por conveniencia, dado que el acceso a las plantas es limitado.

Se realizan 6 pruebas de cloro al día en cada punto de control<sup>4</sup> de la planta, se trabajó con 25 resultados de análisis de cloro de cada empresa, y se monitoreo el análisis de 1 punto de control en las mismas.

#### 3.3. Hipótesis

Con la implementación de un sistema de visión artificial aplicado al monitoreo automatizado se apoya el proceso de cloración del agua para asegurar su calidad.

#### 3.4. Variables

##### 3.4.1. Variable Independiente

Visión artificial aplicada al monitoreo automatizado.

##### 3.4.2. Variable Dependiente

Proceso de cloración del agua.

---

<sup>4</sup> Punto de control: Punto de toma de muestra de agua, en la planta.

### 3.5. Indicadores

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>
Tiempo de procesamiento	Tiempo Búsqueda /niveles de cloro por color	Son los tiempos que el sistema evalúa la calidad del agua y determina el nivel de cloro y los registra para la toma de decisiones correctivas.	Entero: Tiempo (minutos)
	Tiempo de respuesta/(reconocimiento de los niveles de cloro por el color)		
	Tiempo de proceso de decisión correctiva (Registro del nivel y generación de acción correctiva)		
Error de mediciones	Error de mediciones	Representa grado de error de las mediciones.	Entero: Cantidad Porcentual
Tiempo de registros guardados.	Tiempo de registros guardados.	El tiempo que los registros son guardados.	Entero: Tiempo (meses, años)
Nro de empleados	Nro empleados	Nro de empleados encargados de hacer las mediciones	Entero: Cantidad
Costo de las mediciones	Costo de las mediciones	Costos de las mediciones de cloro.	Entero: Cantidad

**Tabla 03. Indicadores**

### 3.6. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se trabajó por 4 Etapas:

En la Etapa 1 (E1), se desarrolló el ambiente controlado para las pruebas.

En la Etapa 2 (E2), se usó la metodología de visión artificial definida por (Kong y Nilsson 2005), cuyos pasos son:

1. **Representación de la Imagen:** Captura de imágenes, de agua clorada.
2. **Procesamiento de la Imagen:** Procedimientos y algoritmos de tratamiento de las imágenes, para poder obtener datos que posteriormente servirán para el análisis de la imagen.
3. **Análisis de la imagen:** Red Neuronal que determina qué nivel de cloro representa la imagen.

En la Etapa 3 (E3), se desarrollaron los módulos correspondientes a la obtención y publicación de resultados.

## **IV. RESULTADOS**

Los resultados que se muestran a continuación se corresponden la metodología descrita en el capítulo anterior.

La propuesta de solución al problema de la falta de precisión y control de los resultados de las pruebas de cloro en las industrias, es un sistema de visión artificial que automatiza el proceso de pruebas de cloro, y publica sus resultados en un sitio web para que estos puedan ser monitoreados por los responsables fácilmente, y así las soluciones correctivas sean acertadas.

Para el desarrollo de la solución se debió construir un conjunto de elementos, para completar la funcionalidad requerida, los cuales fueron desarrollados dentro de las siguientes etapas:

**E1: Construcción ambiente controlado.**

**E2: Identificación nivel de cloro**

- 1. Representación de la Imagen:** E2, Identificación nivel de cloro. (Captura)
- 2. Procesamiento de la Imagen:** E2, Identificación nivel de cloro. (Obtención ROI)
- 3. Análisis de la Imagen:** E2, Identificación nivel de cloro. (Extracción de datos, Análisis de datos)

**E3: Obtención y publicación de resultados.**

#### 4.1. E1: Construcción ambiente controlado

En el proceso de pruebas de cloro, se determina el nivel de cloro mediante una prueba de colorimetría: se agrega un reactivo denominado DPD al agua en un tubo de ensayo y por medio de comparación con un kit de colores se determina qué nivel de cloro está presente en el agua.

Los niveles de cloro varían desde 0.5 hasta 3, siendo los siguientes:

Nivel	Color
0.5	<b>Figura 04: Nivel 0.5 de cloro</b> 
1.0	<b>Figura 05: Nivel 1.0 de cloro</b> 

2.0	<p><b>Figura 06: Nivel 2.0 de cloro</b></p> 
3.0	<p><b>Figura 07: Nivel 3.0 de cloro</b></p> 

**Tabla 04. Niveles de cloro**

Para el desarrollo de la tesis se construyó un ambiente controlado, como se puede ver en la figura 8. Este ambiente fue construido para simular las condiciones óptimas sobre las cuales se realizan las pruebas de cloro en las plantas industriales. En las figuras: 8, 9, 10, 11 se puede observar dicho ambiente en detalle.

Figura 08: Ambiente controlado vista por fuera



**Figura 09: Ambiente controlado, vista superior.**



**Figura 10: Ambiente controlado, se puede ver el tubo de ensayo y la cámara.**



**Figura 11: Ambiente controlado, vista superior con un tubo de ensayo con DPD.**



Las características principales del ambiente controlado construido son:

- Iluminación.
- Paredes.
- Distancia.

**Iluminación:** Dado que es un sistema de visión artificial se usó iluminación de campo claro mencionada en el capítulo anterior, para evitar el efecto de parpadeo de la luz blanca se seleccionó un fluorescente blanco CFL, en la figura 12 se pueden observar los detalles de este tipo de fluorescente.

**Figura 12: Fluorescente CFL, usado en el Ambiente controlado**



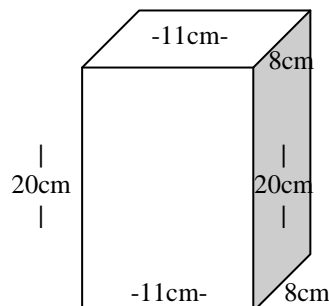
Modelo: 3U-7W  
Voltaje: 220-240 v  
50/60Hz  
Tiempo de vida:  
3000h  
Luminosidad:  
FLUX: 300Lm  
Base: E14

**Paredes.** Se cuenta con 4 paredes, Las paredes interiores son blancas por el rebote de la luz, para ayudar al sistema de visión artificial a obtener tomas claras.

Se cuenta con 4 paredes, las cuales tienen 3 agujeros 1 superior para la entrada de luz, uno inferior para el ajuste del tubo de ensayo, uno al lado derecho para la cámara.

La medida de la caja y sus paredes se puede ver en la figura 13.

**Figura 13: Medida de la caja del ambiente controlado**



**Distancia.** La distancia entre la cámara y el tubo de ensayo, fue obtenida a partir de pruebas sobre distancia óptima para el foco de la cámara, la distancia

seleccionada fue de 7.5 cm, en la figura 14 se puede observar la distancia existente entre el tubo de ensayo y la cámara dentro del ambiente controlado.

**Figura 14: Ambiente controlado, Distancia**



Las fotografías que se toman desde el ambiente controlado, están en una resolución de 1080x1024, un ejemplo de toma se puede ver en la figura 15.

**Figura 15: Ambiente controlado, toma**



Las tomas han son generadas desde Matlab, haciendo uso de la toolbox: Image acquisition.

Un ejemplo de cómo se visualizan las imágenes, al ejecutar la función “captura” es la figura 16, estás imágenes luego se guardan, con un nombre predeterminado “imagen” en un directorio predeterminado como se puede observar en la figura 17.

La función de captura ha sido creada pensada en el trabajo de una planta industrial, por lo tanto no para por 10 años, tiempo que puede ser modificado.

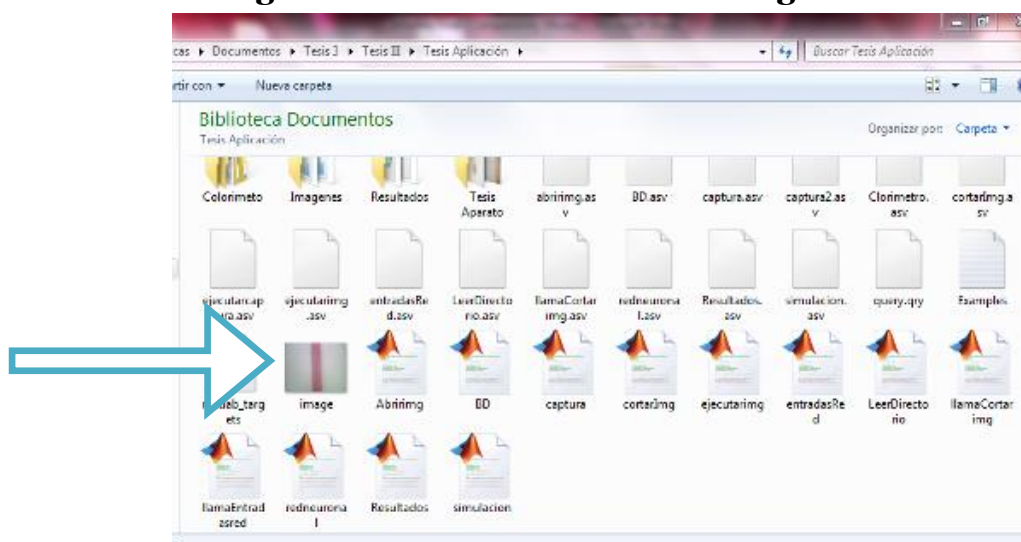
En base al levantamiento de datos, se sabe que la mayoría de plantas toma sus muestras cada 4 horas los 365 días del año, por ello La imagen generada es remplazada cada 4 horas.

```
function captura()
for c=1:21900; %correrá por 10 años haciendo tomas cada 4
horas
vid = videoinput('winvideo', 1, 'YUY2_1280x1024');
vid.ReturnedColorspace = 'rgb';
vid.FramesPerTrigger = 1;
start(vid);
  rgbImage = getdata(vid);
  fullImageFileName = fullfile(pwd, 'image.jpg');
  imwrite(rgbImage,fullImageFileName);
  stop(vid);
  pause(240.0); %pausa la ejecución por 4 horas
end
end
```

**Figura 16: Ejemplo toma de la función captura**



**Figura 17: Vista del directorio predeterminado donde se guarda la toma de nombre “imagen”**



## 4.2. E2: Identificación nivel de cloro.

Esta parte de la Etapa 2, de acuerdo con la metodología es donde se construyó el sistema de visión artificial. Para ello previamente se tienen las imágenes almacenadas, y aquí iniciaremos con el procesamiento la extracción de datos y la creación de una red neuronal para identificar el nivel de cloro.

**Procesar directorios de tomas: Se lee las imágenes en cada directorio:**



Dentro de cada directorio se tienen 200 tomas de los 4 niveles de cloro, como se observa en la figura 18, las cuales fueron procesadas para generar el aprendizaje de la red neuronal.

Se leyó cada directorio, y se extrajo la información de las 200 fotografías que tiene cada uno.

### Obtención del ROI

Una vez desarrollada la función para la lectura de directorios, se debió ejecutar otra función para determinar el ROI (Region of interest) de cada fotografía y extraer solo aquella parte útil para la determinación del nivel de cloro, figura 19.

Para esto se creó la función `cortarImg`, la cual uso un uri como argumento para poder obtener el ROI de una imagen, para realizar el cortado respectivo se usó la función “`imcrop`” de Matlab.

Por ejemplo el uri de la imagen 1 del directorio 3.0 es

```
uri = "C:\Colorimeto\3.0\1.JPG"
```

Función `cortarImg`:

```
function section = cortarImg(uri)
img = imread(uri);
rect = [610.5,269.5,144,249];
section = imcrop(img,rect);...
```

Este proceso se debe para cada imagen en el directorio, por ello se anido el llamado a la función `cortarImg` dentro de la función que lee los directorios:

```
LeerDirectorio.m :
lsim = dir('C:\Colorimeto\3.0\*.jpg');...
```

Luego se desarrolló un bucle el cual recorre todo el contenido de lsim, variable que contiene el directorio seleccionado, después concatenamos la ubicación general de la carpeta + el nombre de cada elemento dentro del directorio.

Finalmente se llama a la función “CortarImg” y se envía la ruta exacta de la imagen que deseamos cortar, guardando su resultado en una variable llamada “A”.

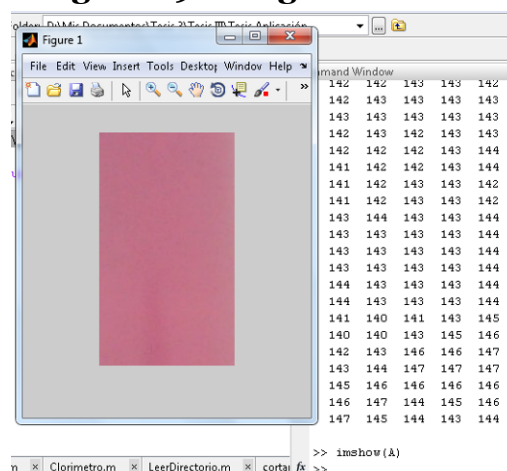
El ROI de cada imagen luce como la figura 19.

```

... for i = 1:length(lsim)
uri =strcat('C:\Colorimeto\3.0\',lsim(i).name);
A= CortarImg(uri);
...
end
...

```

**Figura 19: Imagen cortada**



Donde podemos observar una área de la imagen cortada, esta área será la que será analizada para extraer información que luego servirá para entrenar a la red neuronal, a su vez al lado derecho se puede ver la matriz de la imagen.

### Extraer datos

Una vez que se tiene la imagen cortada, es necesario determinar las características que se extraerán de dicha imagen para poder clasificar que nivel de cloro representa, dichas características o datos se pueden observar en la tabla 05.

Para empezar a extraer los datos de la imagen previamente cortada, se debió ejecutar algunas instrucciones dentro del bucle donde cortamos las imágenes por lotes, es decir: primero cortamos cada imagen y luego extraemos los datos de cada imagen, tabla 05.

Dato
media R
media G
media B
Desv. Estándar R

Desv. Estándar G
Desv. Estándar B
Min R
Min G
Min B
Max R
Max G
Max B
Significancia
Significancia1
Significancia2
Significancia3

**Tabla 05. Datos que se extraen de cada imagen**

Primero como se explicó en la fase de cortado se lee el directorio y se almacena en la variable lsim, luego de esto se definieron 3 variables “sig” , “sig1” , “sig2” , “sig3”, con valores entre 0 y 1.

```
lsim = dir('C:\Users\Vicky\Documents\Tesis
3\Colorimeto\3.0\*.jpg');
sig=0;
sig1=1;
sig2=1;
sig3=1;...
```

Los valores de cada una de las variables “sig” depende del directorio que se esté leyendo, es decir del nivel de cloro con el cual se esté trabajando, como se puede ver en la tabla 06:

Nivel	Sig	Sig1	Sig2	Sig3
0.5	0	0	0	0
1.0	0	0	0	1
2.0	0	0	1	1
3.0	0	1	1	1

**Tabla 06. Valores variable sig en correlación a los niveles de cloro**

Posteriormente se definió una estructura de datos, para cada dato que extraeremos de la imagen cortada:

```
...s = struct('media1', {}, 'media2', {}, 'media3', {}, 'std1',
 {}, 'std2', {}, 'std3', {}, 'min1', {}, 'min2', {}, 'min3',
 {}, 'max1', {}, 'max2', {}, 'max3',
 {}, 'significancia', {}, 'significancia1', {}, 'significancia2',
 {}, 'significancia3', {});...
```

Ahora como se explicó en la parte de cortado, se recorre el directorio y se va cortando cada imagen:

```

...for i = 1:length(lsim)
    uri = strcat('C:\Colorimeto\3.0\'',lsim(i).name);
    A= CortarImg(uri); ...

```

Una vez hecho esto, se inicia la extracción de datos, utilizando cada dato de la estructura para guardar los resultados.

Los valores se obtienen utilizando instrucciones reservadas de Matlab para obtener las medias (mean2), las desviaciones estándar (std), los mínimos (min), los máximos (max), y por ultimo asignamos las variables “sig”.

```

...s(i).media1 = mean2(A(:,:,1));
s(i).media2 = mean2(A(:,:,2));
s(i).media3 = mean2(A(:,:,3));
s(i).std1 = std2(A(:,:,1));
s(i).std2 = std2(A(:,:,2));
s(i).std3 = std2(A(:,:,3));
s(i).min1 = min(min(A(:,:,1)));
s(i).min2 = min(min(A(:,:,2)));
s(i).min3 = min(min(A(:,:,3)));
s(i).max1 = max(max(A(:,:,1)));
s(i).max2 = max(max(A(:,:,1)));
s(i).max3 = max(max(A(:,:,1)));
s(i).significancia = sig;
s(i).significancia1 = sig1;
s(i).significancia2 = sig2;
s(i).significancia3 = sig3;
end

```

Cuando este proceso culminó, el directorio fue recorrido por completo y la estructura s contenía los datos de cada imagen que había sido cortada, ahora se procede a recorrer la estructura y a guardar sus datos de manera ordenada en columnas en una matriz llamada “M”:

```

...for i = 1:length(s)
    M(i,1) = s(i).media1;
    M(i,2) = s(i).media2;
    M(i,3) = s(i).media3;
    M(i,4) = s(i).std1;
    M(i,5) = s(i).std2;
    M(i,6) = s(i).std3;
    M(i,7) = s(i).min1;
    M(i,8) = s(i).min2;
    M(i,9) = s(i).min3;
    M(i,10) = s(i).max1;
    M(i,11) = s(i).max2;
    M(i,12) = s(i).max3;
    M(i,13) = s(i).significancia;
    M(i,14) = s(i).significancia1;
    M(i,15) = s(i).significancia2;
    M(i,16) = s(i).significancia3;

```

End...

## **Genera matriz de datos en Excel**

El siguiente paso, después de haber extraído los datos de las imágenes, fue la generación de la matriz de datos, los cuales están almacenados en M.

Para ello se utilizó el comando “xlswrite”:

```
xlswrite('C:\matriz30.xls', M);
```

Donde el primer argumento es la ubicación donde guardará la hoja de cálculo con los datos, y el segundo atributo es la matriz “M” de la que se habló en la parte de extracción, donde tenemos todos los datos guardados de manera ordenada.

Las matrices de datos para los cuatro niveles de cloro se pueden observar en las tablas 6, 7, 8,9.

Así mismo en la figura 20 se ve una captura de los 4 niveles de cloro generados y almacenados en un directorio.

	Media1	Media2	Media3	Std1	Std2	Std3	Min1	Min2	Min3	Max1	Max2	Max3	Sig	Sig1	Sig2	Sig3
imagen 1	198.5139	166.5033	176.0549	2.216094	2.183315	2.521866	189	158	164	209	209	209	0	0	0	0
imagen 2	198.3282	166.4249	175.8447	2.193596	2.202147	2.445399	188	158	166	207	207	207	0	0	0	0
imagen 3	198.0037	165.9664	175.5344	2.290308	2.240857	2.564598	188	157	163	206	206	206	0	0	0	0
imagen 4	197.7191	166.1438	175.4156	2.371396	2.217756	2.574329	188	156	164	206	206	206	0	0	0	0
imagen 5	197.7191	166.1438	175.4156	2.371396	2.217756	2.574329	188	156	164	206	206	206	0	0	0	0
imagen 6	197.7191	166.1438	175.4156	2.371396	2.217756	2.574329	188	156	164	206	206	206	0	0	0	0
...	197.7191	166.1438	175.4156	2.371396	2.217756	2.574329	188	156	164	206	206	206	0	0	0	0
Imagen 200	197.7191	166.1438	175.4156	2.371396	2.217756	2.574329	188	156	164	206	206	206	0	0	0	0

**Tabla 07. La matriz de datos para el nivel 0.5**

	Media1	Media2	Media3	Std1	Std2	Std3	Min1	Min2	Min3	Max1	Max2	Max3	Sig	Sig1	Sig2	Sig3
imagen 1	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
imagen 2	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
imagen 3	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
imagen 4	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
imagen 5	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
imagen 6	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
...	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1
Imagen 200	180.5013	138.0387	148.8963	3.494771	4.240155	3.530919	167	129	135	191	191	191	0	0	0	1

**Tabla 08. La matriz de datos para el nivel 1.0**

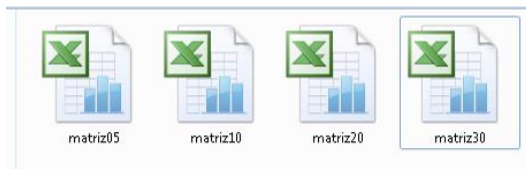
	Media1	Media2	Media3	Std1	Std2	Std3	Min1	Min2	Min3	Max1	Max2	Max3	Sig	Sig1	Sig2	Sig3
imagen 1	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
imagen 2	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
imagen 3	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
imagen 4	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
imagen 5	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
imagen 6	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
...	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542
Imagen 200	175.4542	125.7129	140.2301	2.469358	4.321524	3.170312	166	115	128	184	184	184	0	0	1	175.4542

**Tabla 09. La matriz de datos para el nivel 2.0**

	Media1	Media2	Media3	Std1	Std2	Std3	Min1	Min2	Min3	Max1	Max2	Max3	Sig	Sig1	Sig2	Sig3
imagen 1	193.9791	115.0305	136.5122	3.162763	5.364974	3.449342	182	97	123	205	205	205	0	1	1	1
imagen 2	193.9357	115.0334	136.4732	3.191957	5.322761	3.561996	182	97	120	205	205	205	0	1	1	1
imagen 3	190.563	116.7086	137.3362	2.181208	5.415342	3.723727	181	98	122	198	198	198	0	1	1	1
imagen 4	190.2548	116.2237	136.9441	2.192033	5.560243	3.762904	179	97	120	197	197	197	0	1	1	1
imagen 5	193.9791	115.0305	136.5122	3.162763	5.364974	3.449342	182	97	123	205	205	205	0	1	1	1
imagen 6	190.563	116.7086	137.3362	2.181208	5.415342	3.723727	181	98	122	198	198	198	0	1	1	1
...	190.3129	116.3931	137.1359	2.194074	5.483514	3.765426	182	99	117	197	197	197	0	1	1	1
Imagen 200	190.3129	116.3931	137.1359	2.194074	5.483514	3.765426	182	99	117	197	197	197	0	1	1	1

**Tabla 10. La matriz de datos para el nivel 3.0**

**Figura 20: Matrices de datos de cada nivel de cloro**



## Leer matriz de datos

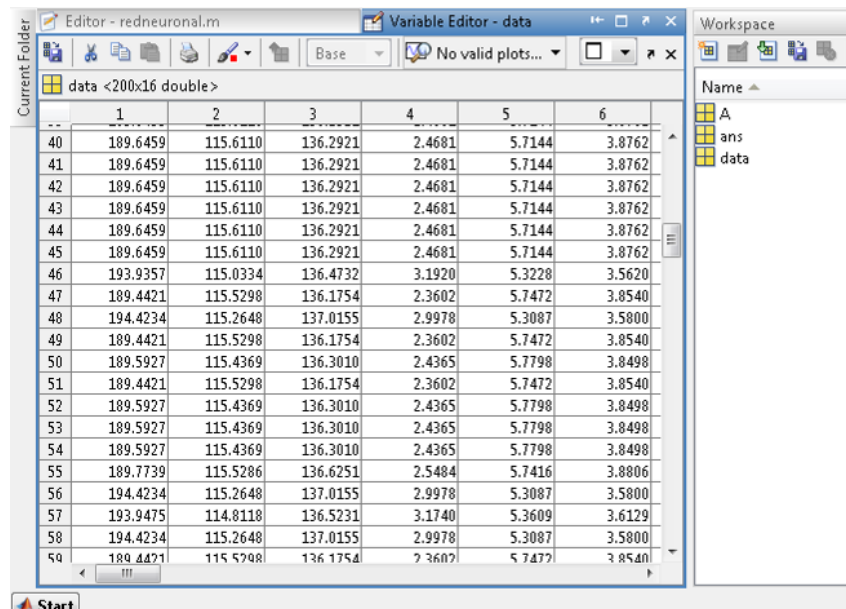
Las matrices de datos generadas hasta este paso, deben de ser importadas a Matlab, para poder usarlas y determinar el nivel de cloro, esto se logró ejecutando el comando “xlsread”.

Previamente se combinaron las 4 hojas de cálculo existentes, y se generó solo una con todos los datos, la cual se guardó en la variable “data”:

```
data = xlsread('C:\Red.xls');
```

Luego de esto, “data” aparece en el workspace de Matlab como se puede observar en la figura 21 y tiene todos los datos, de las 200 imágenes por nivel, es decir contiene 800 filas.

**Figura 21: Matriz de datos en el Workspace de Matlab**



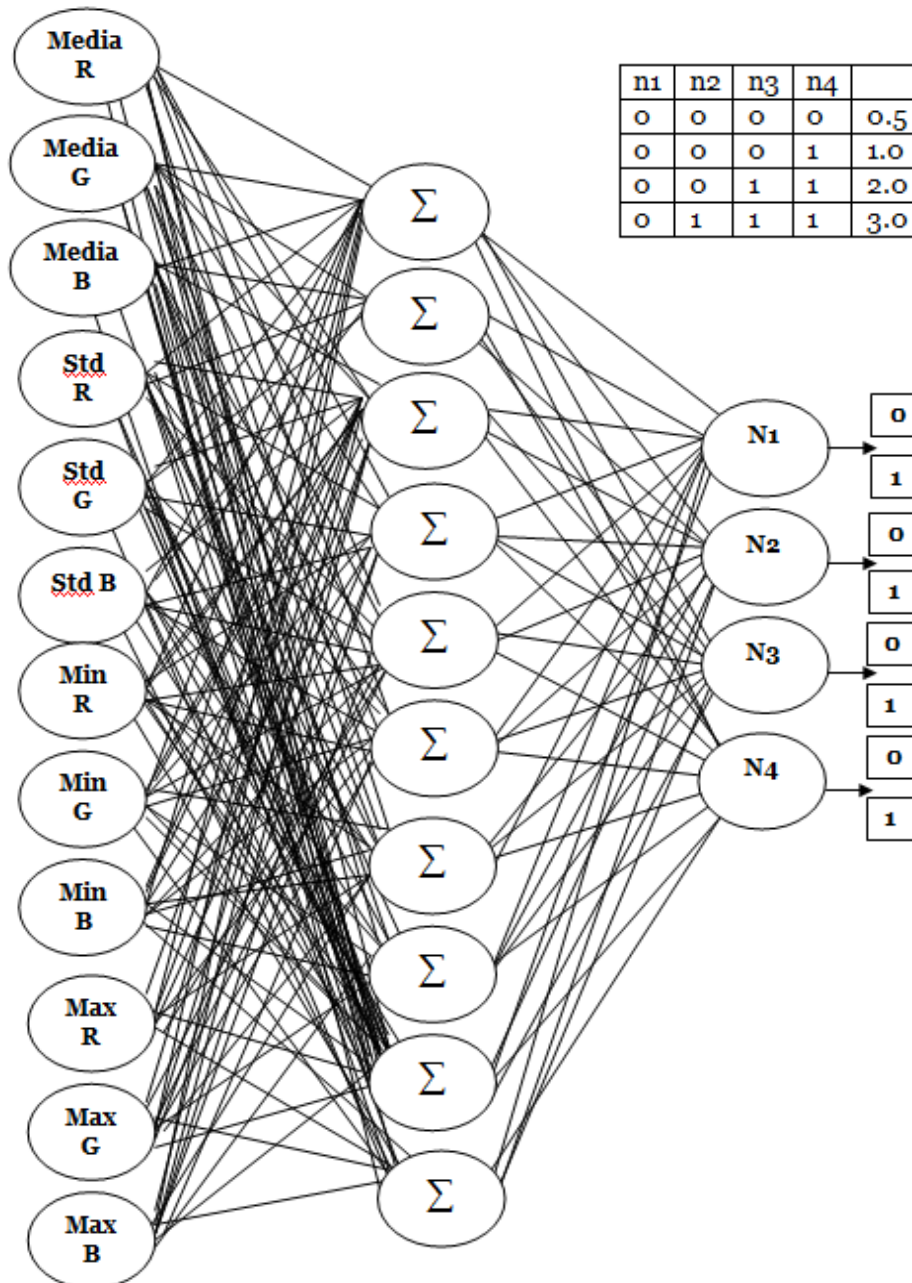
	1	2	3	4	5	6
40	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
41	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
42	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
43	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
44	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
45	189.6459	115.6110	136.2921	2.4681	5.7144	3.8762
46	193.9357	115.0334	136.4732	3.1920	5.3228	3.5620
47	189.4421	115.5298	136.1754	2.3602	5.7472	3.8540
48	194.4234	115.2648	137.0155	2.9978	5.3087	3.5800
49	189.4421	115.5298	136.1754	2.3602	5.7472	3.8540
50	189.5927	115.4369	136.3010	2.4365	5.7798	3.8498
51	189.4421	115.5298	136.1754	2.3602	5.7472	3.8540
52	189.5927	115.4369	136.3010	2.4365	5.7798	3.8498
53	189.5927	115.4369	136.3010	2.4365	5.7798	3.8498
54	189.5927	115.4369	136.3010	2.4365	5.7798	3.8498
55	189.7739	115.5286	136.6251	2.5484	5.7416	3.8806
56	194.4234	115.2648	137.0155	2.9978	5.3087	3.5800
57	193.9475	114.8118	136.5231	3.1740	5.3609	3.6129
58	194.4234	115.2648	137.0155	2.9978	5.3087	3.5800
59	189.4421	115.5298	136.1754	2.3602	5.7472	3.8540

Una vez cargada nuestra data en Matlab se debió definir que herramienta utilizaríamos para lograr determinar el nivel de cloro, de las imágenes. Se seleccionó usar redes neuronales para este problema.

## Diseñar y crear la red neuronal

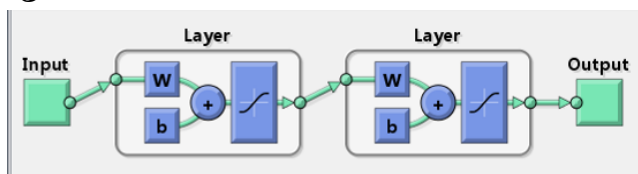
La red neuronal que se cómo se puede observar en la figura 22, tiene como entradas los 12 datos que se extrajeron de la imagen, 10 neuronas ocultas y 4 neuronas de salida, que vienen a ser los 4 niveles de cloro existentes, en la tabla de la figura 22, se puede observar los niveles de cloro de acuerdo a las salida.

**Figura 22: Diseño de la red neuronal**



La red neuronal a creada utiliza dos funciones sigmoideas como funciones de transferencia.

**Figura 23: Funciones de transferencia de la red neuronal**



### Crear entradas y salidas de la red neuronal a partir de la matriz

La creación de la red se realizó con el siguiente procedimiento:

Una vez realizada la lectura de datos, tenemos todos los datos guardados en la matriz “data”, ahora seleccionaremos las entradas y salidas de nuestra red neuronal para proceder a su creación:

```
...P = [data(:,1),data(:,2),data(:,3),data(:,4),data(:,5),
data(:,6),data(:,7),data(:,8),data(:,9),data(:,10),data(:,1
1),data(:,12)];
T = [data(:,13),data(:,14),data(:,15),data(:,16)];...
```

Es decir las variables P y T almacenan la siguiente información:

**Figura 24: Ejemplo de matriz de entradas y salidas**

P													T			
	MEDIA R	MEDIA G	MEDIA B	STD R	STD G	STD B	MIN R	MIN G	MIN B	MAX G	MAX R	MAX B	SIG	SIG 1	SIG 2	SIG 3
1	175.4542	125.7129	140.2301	2.4699358	4.321524	3.170812	166	115	128	184	184	184	0	0	0	1
2																

Luego mediante el comando newff creamos una red neuronal entregándole como argumentos “P” y “T”, e indicándole el número de neuronas en su capa oculta “10”.

```
net = newff(P',T',10);
```

### Entrenar red neuronal

Mediante el comando “train” se definieron los parámetros de entrenamiento, para generar el aprendizaje de la red neuronal. La red es entrenada con el 80% de los datos, el 10% es usado para validación y el otro 10% para testeo, de esta manera se disminuye el error y se asegura la confiabilidad del sistema. La pantalla durante el entrenamiento de la red neuronal puede ser vista en la figura 25.

Donde el algoritmo de entrenamiento usado es el de: Levenber-Marquardt, Para la comprobación de la red neuronal se utiliza: Mean Squared Error

La performance de la red neuronal, una vez creada y entrenada se puede ver en la figura 26, el grado de error es de 1.6968e-012 en la iteración 14 de entrenamiento, validación y testeo.

```
net.divideParam.trainRatio = 80/100;
```

```

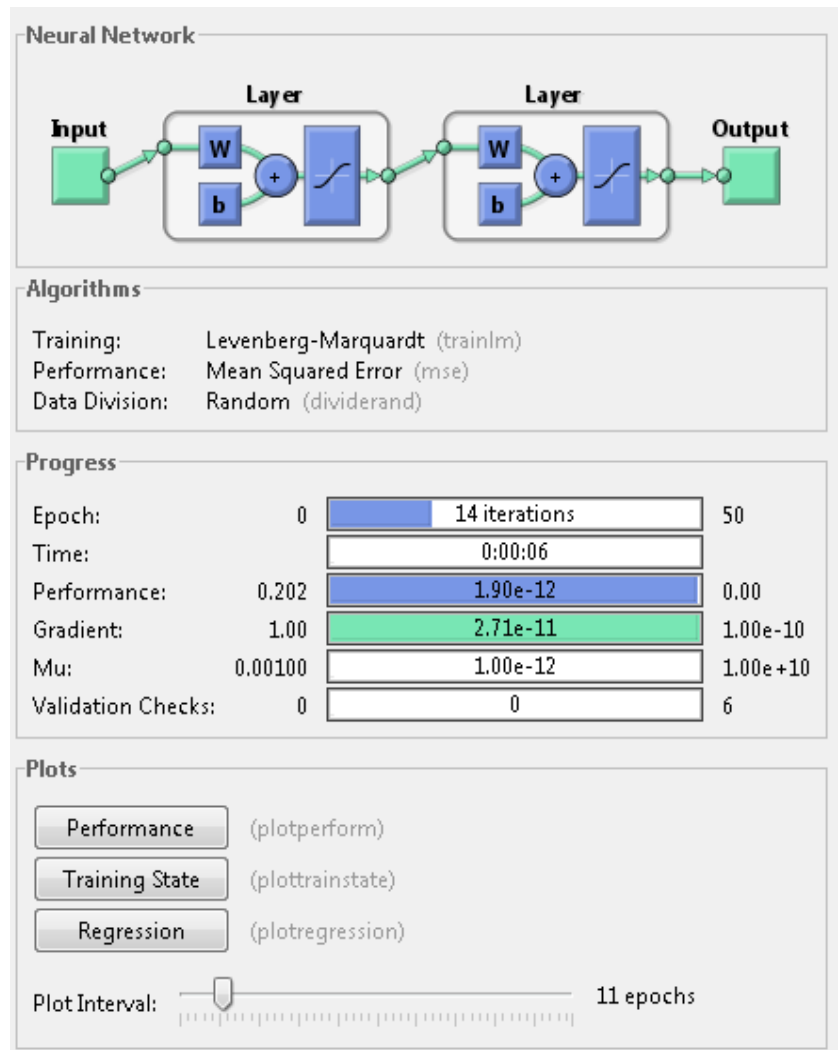
net.divideParam.valRatio = 10/100;
net.divideParam.testRatio = 10/100;

[net,tr] = train(net,P',T');

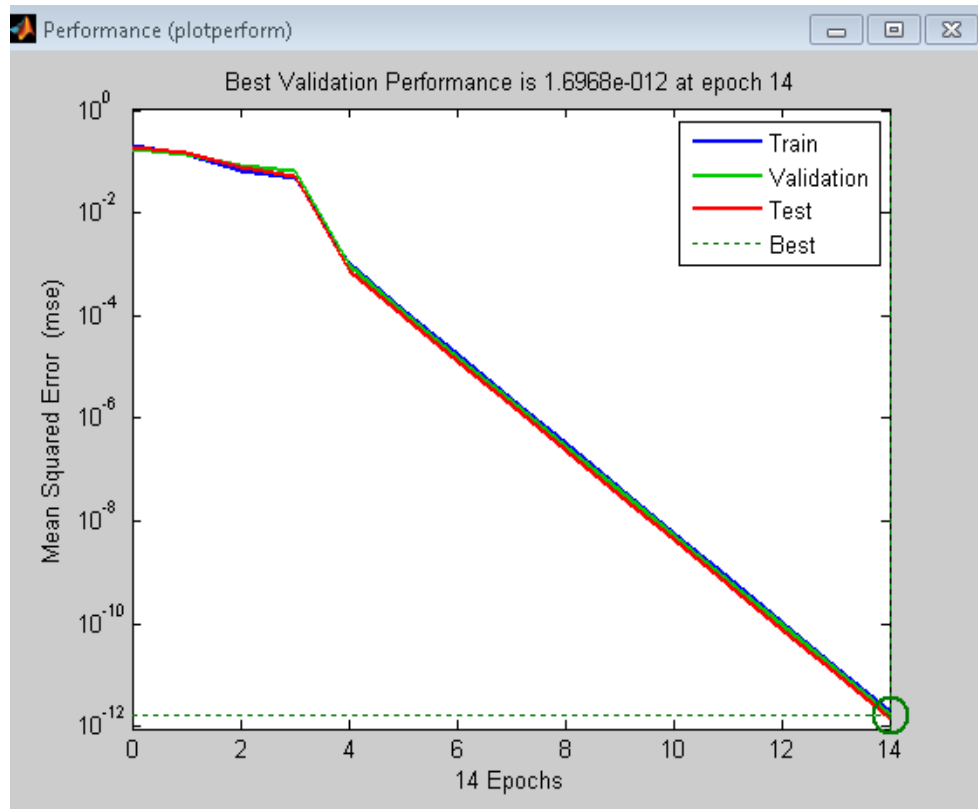
```

Luego de seguir este procedimiento se puede ver en el workspace de Matlab la red neuronal ya cread, figura 27.

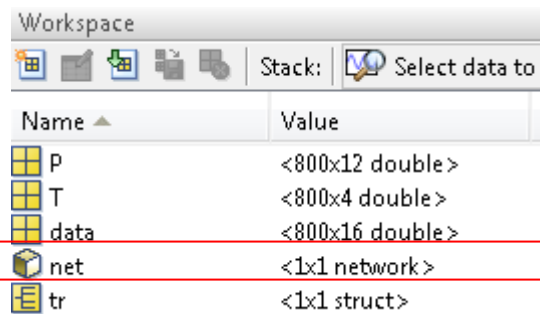
**Figura 25: Pantalla entrenamiento de la red neuronal**



**Figura 26: Performance de la red neuronal**



**Figura 27: Workspace con red neuronal creada**



Los detalles de la red neuronal se pueden observar accediendo a ella:

```
val =  
  
Neural Network object:  
architecture:  
  
    numInputs: 1  
    numLayers: 2  
    biasConnect: [1; 1]  
    inputConnect: [1; 0]
```

```

    layerConnect: [0 0; 1 0]
    outputConnect: [0 1]

    numOutputs: 1 (read-only)
    numInputDelays: 0 (read-only)
    numLayerDelays: 0 (read-only)

subobject structures:

    inputs: {1x1 cell} of inputs
    layers: {2x1 cell} of layers
    outputs: {1x2 cell} containing 1 output
    biases: {2x1 cell} containing 2 biases
    inputWeights: {2x1 cell} containing 1 input weight
    layerWeights: {2x2 cell} containing 1 layer weight

functions:

    adaptFcn: 'trains'
    divideFcn: 'dividerand'
    gradientFcn: 'gdefaults'
    initFcn: 'initlay'
    performFcn: 'mse'
    plotFcns:
{'plotperform','plottrainstate','plotregression'}
    trainFcn: 'trainlm'

parameters:

    adaptParam: .passes
    divideParam: .trainRatio, .valRatio, .testRatio
    gradientParam: (none)
    initParam: (none)
    performParam: (none)
    trainParam: .show, .showWindow, .showCommandLine,
    .epochs,
                .time, .goal, .max_fail, .mem_reduc,
                .min_grad, .mu, .mu_dec, .mu_inc,
                .mu_max

weight and bias values:

IW: {2x1 cell} containing 1 input weight matrix
LW: {2x2 cell} containing 1 layer weight matrix
    b: {2x1 cell} containing 2 bias vectors

other:

    name: ''
    userdata: (user information)

```

## Usar red neuronal (simular)

La simulación es usada para comprobar que la red neuronal está generando los resultados correctos.

Para la simulación de la red neuronal, usamos el comando “sim”, al cual le ingresamos como atributos, el nombre de la red neuronal, la matriz de números de datos de una imagen.

Por ejemplo, creamos una matriz denominada “ex3”:

```
ex3=[  
175.4542345;125.7129379;140.2301241;2.469357994;4.321524341  
;3.170312093;166;115;128;184;184;184];
```

Los datos que ex3 guarda, son datos de una imagen de 2.0 de nivel de cloro, al ejecutar sim como se observa en la figura 28, el resultado obtenido es:

```
0  
0.0000  
1.0000  
1.0000
```

El nivel 2.0 es representado por 0, 0, 1, 1, es decir la red neuronal ya identifica los niveles de cloro, de una imagen de manera correcta.

**Figura 28: Simulación red neuronal**

```
>> ex3=[ 175.4542345;125.7129379;140.2301  
>> sim(net,ex3)  
  
ans =  
  
      0  
  0.0000  
  1.0000  
  1.0000  
  
>>
```

Para que la red pueda ser usada como aplicación industrial, existe un script de llamado a las funciones de captura y ejecutarimg y resultados, a continuación se explica que hace cada una de estas funciones:

Captura: Es el script que toma una fotografía cada 4 horas y la guarda.

Ejecutarimg: Lee la imagen almacenada en captura, y extrae la información necesaria de la imagen, es decir procesa la imagen.

```
function  
[M1,M2,M3,std1,std22,std3,min1,min2,min3,max1,max2,max3] =  
ejecutarimg()
```

```

uri = ('C:\imagen.JPG');
A= cortarImg(uri);

M1 = mean2(A(:,:,1));
M2 = mean2(A(:,:,2));
M3 = mean2(A(:,:,3));
std1 = std2(A(:,:,1));
std22 = std2(A(:,:,2));
std3 = std2(A(:,:,3));
min1 = min(min(A(:,:,1)));
min2 = min(min(A(:,:,2)));
min3 = min(min(A(:,:,3)));
max1 = max(max(A(:,:,1)));
max2 = max(max(A(:,:,1)));
max3 = max(max(A(:,:,1)));
end

```

**Resultados:** Recibe los datos de la imagen procesada en ejecutarimg y simula la red neuronal para obtener el nivel de cloro, a su vez clasifica los 4 ceros y unos en un resultado comparable con los niveles de cloro: 0.5, 1.0, 2.0 3.0, y guarda esto en una base de datos en Mysql.

En cuanto a la clasificación de estos ceros y unos, esto se da mediante una secuencia de “if” en donde se comprobando a que nivel de cloro el cual representa, y a su vez asigna una variable llamada “bandera” el valor de esa combinación de ceros y unos la cual posteriormente es publicada en una web.

En el ejemplo anterior de la figura 28, el resultado fue 0,0,1,1, el algoritmo trata este resultado como una matriz la cual va recorriendo por posiciones donde se tiene que:

```

Resultado(1,1)=0;
Resultado(2,1)=0;
Resultado(3,1)=1;
Resultado(4,1)=1;

```

Cada posición del resultado se va evaluando en los condicionales, de acuerdo al orden de ceros y unos, de esta manera determina qué nivel de cloro es. En el caso de este ejemplo el condicional donde termina es el 3ro, correspondiente al nivel 2.0.

Los comandos tic y toc son usados para determinar la demora de la aplicación, esto será analizado en el siguiente capítulo.

```

tic
[M1,M2,M3,std1,std22,std3,min1,min2,min3,max1,max2,max3]=ej
ecutarimg();
f =
[M1,M2,M3,std1,std22,std3,min1,min2,min3,max1,max2,max3]';

res = sim(net,double(f));

```

```

if res(1,1) == 0 && res(2,1) < 0.9 && res(3,1) < 0.9 &&
res(4,1) < 0.9
    bandera= 0.5;
elseif res(1,1) == 0 && res(2,1) < 0.9 && res(3,1) < 0.9&&
res(4,1) >=0.9
    bandera= 1.0;
elseif res(1,1) == 0 && res(2,1) < 0.9 && res(3,1) >=0.9 &&
res(4,1) >=0.9
    bandera= 2.0;
elseif res(1,1) == 0 && res(2,1) >=0.9 && res(3,1) >=0.9 &&
res(4,1) >=0.9
    bandera= 3.0;
end
% Set preferences with setdbprefs.
s.DataReturnFormat = 'cellarray';
s.ErrorHandling = 'store';
s.NullNumberRead = 'NaN';
s.NullNumberWrite = 'NaN';
s.NullStringRead = 'null';
s.NullStringWrite = 'null';
s.JDBCDataSourceFile = '';
s.UseRegistryForSources = 'yes';
s.TempDirForRegistryOutput =
'C:\Users\Vicky\AppData\Local\Temp';
s.DefaultRowPreFetch = '10000';
setdbprefs(s)
% Make connection to database. Note that the password has
been omitted.
% Using ODBC driver.
conn = database('localhost','','password');
% Write data to database.
insert(conn,'nivelcloro',{'NivelCloro'},bandera)
% Close database connection.
close(conn)
time= datestr(now);
toc
demora=toc;

```

### 4.3. E3: Obtención y publicación de resultados.

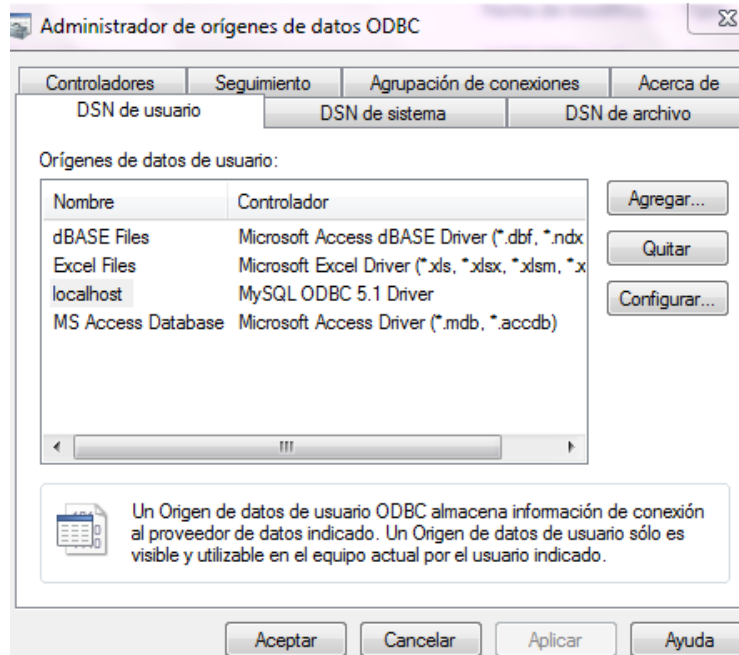
Para esta etapa, previamente se debe tener la red neuronal entrenada y lista para ser usada, se siguen los siguientes pasos:

#### **Conectar con ODBC**

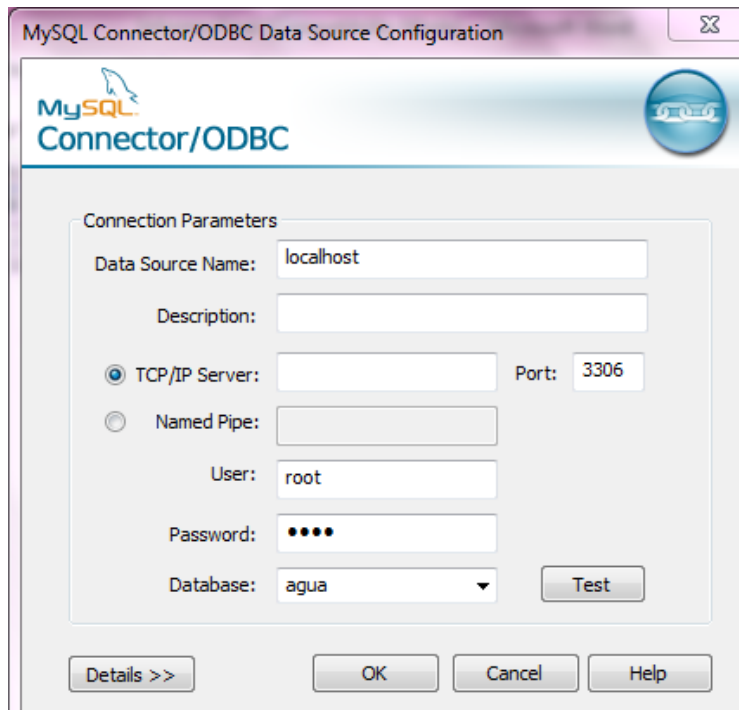
Para poder guardar los resultados de las pruebas, se trabajó con la toolbox de data acquisition, en las figuras 29, 30, 31, se pudo observar el proceso de que se siguió.

Primero se generó una conexión ODBC con nuestro servidor local y con la base de datos que el presente trabajo utiliza (figuras 29 y 30). Posteriormente, se accedió a esto desde Matlab por medio de la instrucción: querybuilder figura 31.

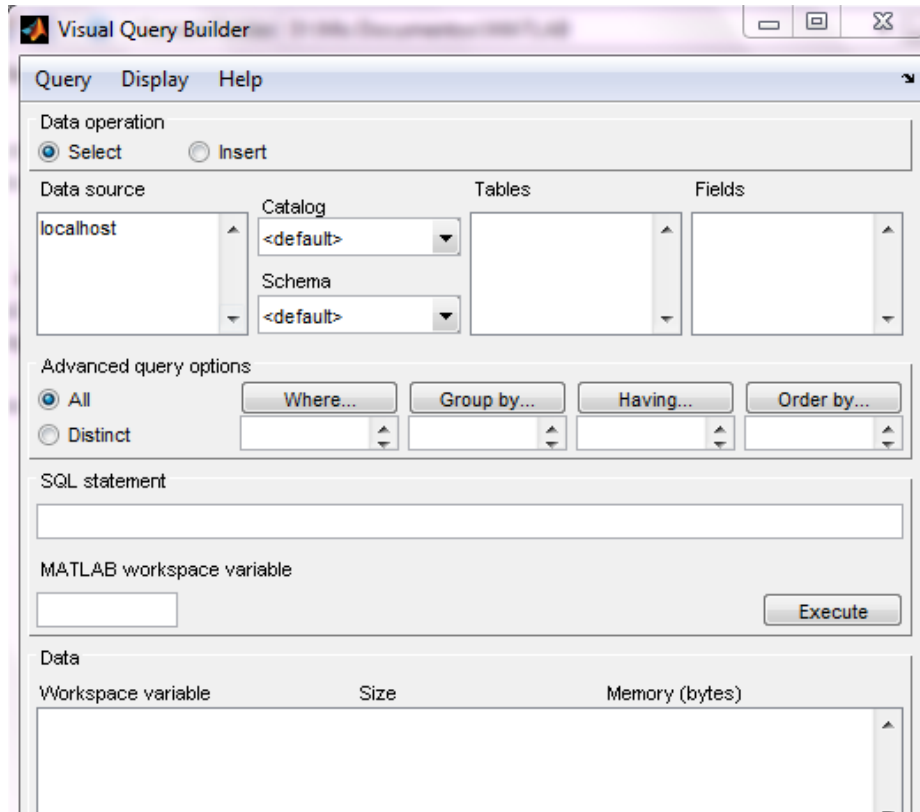
**Figura 29: Conexión ODBC**



**Figura 30: Configuración de Origen de Datos**



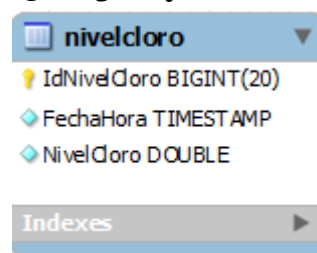
**Figura 31: QueryBuilder de Matlab**



## Diseñar y crear Base de datos en MySQL

Para almacenar registros sobre los niveles de cloro que son detectados mediante el uso de la red neuronal, se diseñó una tabla para almacenar la información pertinente como se muestra en la figura 32, el script de creación de esta tabla en MySQL, se puede encontrar líneas abajo.

**Figura 32: QueryBuilder de Matlab**



```
SET SQL_MODE="NO_AUTO_VALUE_ON_ZERO";
/*!40101 SET
@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT=@@CHARACTER_SET_CLIENT */;
/*!40101 SET
@OLD_CHARACTER_SET_RESULTS=@@CHARACTER_SET_RESULTS */;
/*!40101 SET
@OLD_COLLATION_CONNECTION=@@COLLATION_CONNECTION */;
/*!40101 SET NAMES utf8 */;
--
-- Base de datos: `agua`
```

```

--
CREATE DATABASE `agua` DEFAULT CHARACTER SET latin1 COLLATE
latin1_swedish_ci;
USE `agua`;

-----

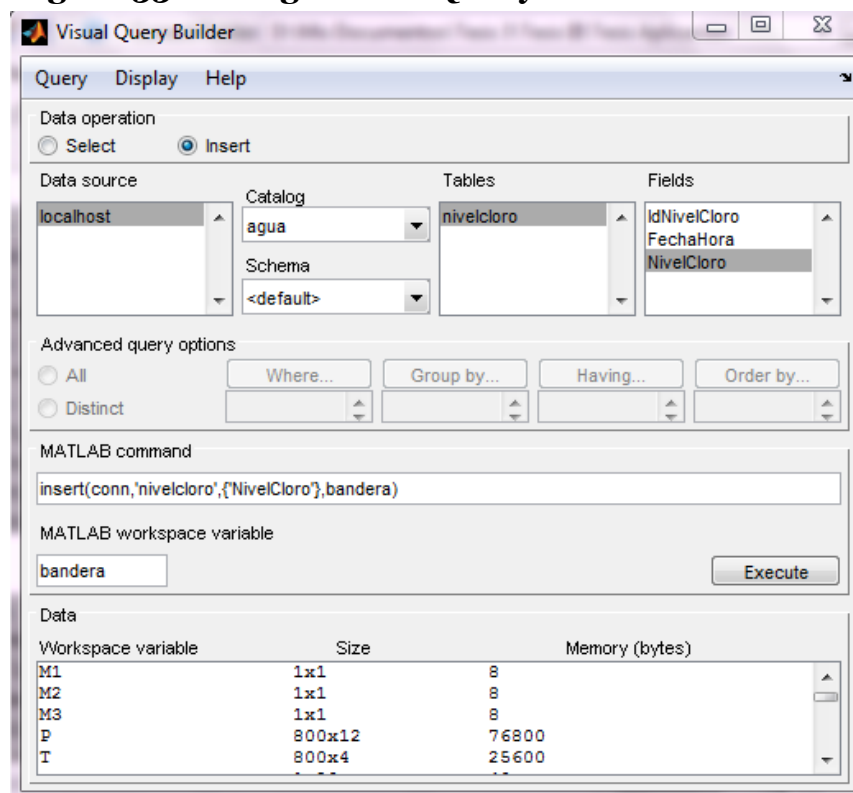
--
-- Estructura de tabla para la tabla `nivelcloro`
--
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `nivelcloro` (
  `IdNivelCloro` bigint(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `FechaHora` timestamp NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `NivelCloro` double NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`IdNivelCloro`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1 AUTO_INCREMENT=9 ;

```

### Guardar resultado de uso de red neuronal en MySQL

Como se mostró anteriormente por medio de la herramienta QueryBuilder se guardan los datos de resultado obtenidos en Matlab para ser publicados en una web. En la figura 33 se puede ver de manera gráfica como se configura una conexión se llama una tabla y a sus atributos, se realiza una consulta, posterior a la figura 33 se puede observar el código fuente de esta consulta.

**Figura 33: Configuración QueryBuilder de Matlab**



```

% Set preferences with setdbprefs.
s.DataReturnFormat = 'cellarray';
s.ErrorHandling = 'store';
s.NullNumberRead = 'NaN';

```

```

s.NullNumberWrite = 'NaN';
s.NullStringRead = 'null';
s.NullStringWrite = 'null';
s.JDBCDataSourceFile = '';
s.UseRegistryForSources = 'yes';
s.TempDirForRegistryOutput = 'C:\Users\Vicky\AppData\Local\Temp';
s.DefaultRowPreFetch = '10000';
setdbprefs(s)

```

```

% Make connection to database. Note that the password has been omitted.
% Using ODBC driver.
conn = database('localhost','password');
% Write data to database.
insert(conn,'nivelcloro',{'NivelCloro'},bandera)
% Close database connection.
close(conn)

```

Una vez hecha la conexión se puede ejecutar el script de resultados que lee la imagen del archivo y por medio del aprendizaje de la red neuronal determina qué nivel tiene esa imagen, la cual es guardada en la base de datos automáticamente como se puede observar en la figura 34, de dos registros.

**Figura 34: Registros guardados en MySQL**

<input type="checkbox"/>			7	2011-11-13 23:01:29	0.5
<input type="checkbox"/>			8	2011-11-13 23:04:23	1

## Diseñar página web para mostrar resultados

Para poder publicar los resultados primero, se debió determinar qué acciones se deben tomar, para cada nivel de cloro. Para ello se debe tener en cuenta que cada empresa industrial procede diferente pero en un 100% coordinan con el departamento de mantenimiento, para que este aumente o disminuya el flujo de cloro líquido o gaseoso.

Sin embargo no existe una medida exacta de cuanto cloro es dispensado por minuto, dado que es un proceso constante (24 horas) con todo el flujo de agua que vaya pasando, por ello generamos una tabla en la base de datos, que guarde las posibles acciones que se deben realizar en caso el nivel de cloro este muy bajo o muy alto, como se muestra en la tabla 10.

<b>0.5</b>	Nivel de cloro bajo, se requiere intervención en la entrada del dispensador de cloro de la cisterna, para aumentar su flujo por segundo, hasta llegar al nivel 2.
<b>1.0</b>	Nivel de cloro bajo, se requiere intervención en la entrada del dispensador de cloro de la cisterna, para aumentar su flujo por segundo, hasta llegar al nivel 2.
<b>2.0</b>	Nivel de cloro correcto.
<b>3.0</b>	Nivel de cloro alto, disminuir la dosificación de

cloro, hasta llegar al nivel 2.
---------------------------------

**Tabla 11. Interpretaciones a niveles de cloro**

Estas interpretaciones por cada nivel de cloro, ayudan al operario a decidir qué hacer cuando ocurre un problema de alza o baja del nivel de cloro, es por ello que estos se muestran en un portal web.

Adicionalmente en caso el nivel de cloro sea extremadamente alto o una imagen haya sido tomada en condiciones incorrectas y esto provoque una lectura errónea, existe un mensaje de ayuda al operario para que contacte con el encargado de mantenimiento del sistema.

Se diseñó un portal para mostrar los resultados figura 35, que son guardados en la base de datos de MySQL, el diseño es simple y tiene como fin principal un fin informativo, brindando una interpretación del nivel de cloro, la cual permitirá al operario tomar las acciones correctivas del caso.

**Figura 35: Página web de publicación de resultados**

#	Fecha / Hora	Nivel de Cloro	Interpretación
43	2011-11-23 19:52:03	2	Nivel de cloro correcto.
42	2011-11-23 19:51:55	2	Nivel de cloro correcto.
41	2011-11-21 19:51:34	3	Nivel de cloro alto, disminuir la dosificación de cloro, hasta llegar al nivel 2.
40	2011-11-21 19:51:26	2	Nivel de cloro correcto.
39	2011-11-21 19:51:08	1	Nivel de cloro bajo, se requiere aumentar la dosificación de cloro, hasta llegar al nivel 2.
38	2011-11-21 19:50:47	0.5	Nivel de cloro bajo, se requiere aumentar la dosificación de cloro, hasta llegar al nivel 2.
37	2011-11-14 16:51:51	0.5	Nivel de cloro bajo, se requiere aumentar la dosificación de cloro, hasta llegar al nivel 2.
36	2011-11-14 16:51:28	2	Nivel de cloro correcto.
35	2011-11-14 04:44:19	2	Nivel de cloro correcto.
34	2011-11-14 04:42:49	2	Nivel de cloro correcto.

## V. DISCUSIÓN

En este capítulo se hará un análisis de los resultados de la aplicación del sistema desarrollado, el análisis estará enfocado a evaluar los indicadores planteados en el Capítulo III: Materiales y Métodos, los cuales se pueden observar en la tabla 11.

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Tiempo de procesamiento	Tiempo Búsqueda /niveles de cloro por color	Son los tiempo que el sistema evalúa la calidad del agua y determina el nivel de cloro y los registra para la toma de decisiones correctivas.
	Tiempo de respuesta/(reconocimiento de los niveles de cloro por el color)	
	Tiempo de proceso de decisión correctiva (Registro del nivel y generación de acción correctiva)	
Error de mediciones	Error de mediciones	Representa grado de error de las mediciones.
Tiempo de registros guardados.	Tiempo de registros guardados.	El tiempo que los registros son guardados.
Nro de empleados	Nro empleados	Nro de empleados encargados de hacer las mediciones
Costo de las mediciones	Costo de las mediciones	Costos de las mediciones de cloro.

**Tabla 12. Indicadores evaluados**

Para ello se visitó tres empresas del rubro industrial las cuales realizan pruebas en sus niveles de cloro: Gandules Inc, Aib, Backus.

De acuerdo a los tipos de métodos de (The American Water Works Ass Inc). En Gandules Inc. Y AiB se realizan pruebas de cloro mediante el método DPD, sin embargo en Backus se realizan pruebas mediante el método de Ortotoluidina o Titulación. Dado que el sistema está basado en el método DPD se trabajó este capítulo basados en los datos recolectados en Gandules Inc. y AiB.

Se han analizado 25 registros reales de las mediciones de niveles de cloro, en cada empresa. En la figura 36 se puede ver un retazo de la página de AiB.

**Figura 36: Página de Registro de niveles de cloro AiB**

HA	TURNO	HORA	Cl <sub>2</sub> ppm			REALIZADO POR	OBSERVACIONES / ACCIONES CORRECTIVAS
			1	2	3		
21	B	08:00	0.6	0.6	-	P.S.V	-
	B	12:00	1.0	1.0	-	P.S.V	-
	C	16:00	0.3	0.3	-	P.S.V	-
21	B	08:00	0.3	0.3	-	P.S.V	Se coordina con mantenimiento
	B	12:00	0.6	0.6	-	P.S.V	Se coordina con mantenimiento
	C	16:00	0.3	0.3	-	P.S.V	-
	B	08:00	0.3	0.3	-	P.S.V	Se coordina con mantenimiento
	B	12:00	1.0	1.0	-	P.S.V	-
	C	16:00	1.0	1.0	-	P.S.V	-
	B	08:00	0.3	0.3	-	P.S.V	Se coordina con mantenimiento
	B	12:00	1.0	1.0	-	K.G.H	-
	C	16:00	1.0	1.0	-	K.G.H	-

Además se analizó el proceso de pruebas de cloro en cada empresa, basándonos en los indicadores ya mencionados.

El análisis comparativo resultante es el siguiente:

Gandules Inc:

GANDULES INC							
	Tiempo de procesamiento			Error de mediciones	Reportes	Nro de empleados	Costo de las mediciones
	Tiempo Búsqueda	Tiempo de respuesta	Tiempo de proceso de decisión correctiva	Error de mediciones	Tiempo de registros guardados.	Nro empleados	Costo de las mediciones
	12 minutos 12 segundos	20 segundos	15 minutos	80%	6 meses	3	S/. 131,064.48
<b>SISTEMA VA</b>	1 minuto	1 segundo	8 minutos	0	Siempre	0	S/. 87,061.92

**Tabla 13. Resumen Comparativo del proceso de pruebas de cloro Gandules Inc.**

AiB:

	<b>AiB</b>						
	<b>Tiempo de procesamiento</b>			<b>Reportes</b>	<b>Error de mediciones</b>	<b>Nro de empleados</b>	<b>Costo de las mediciones</b>
	Tiempo Búsqueda	Tiempo de respuesta	Tiempo de proceso de decisión correctiva	Error de mediciones	Tiempo de registros guardados.	Nro empleados	Costo de las mediciones
	7 minutos 30 segundos	30 segundos	12 minutos	38%	1 año	3	S/. 131,064.48
<b>Sistema VA</b>	1 minuto	1 segundo	6 minutos	0%	Siempre	0	S/. 87,061.92

**Tabla 14. Resumen Comparativo del proceso de pruebas de cloro AiB.**

## **A. Tiempo de procesamiento**

Se puede observar que el tiempo de procesamiento necesario para realizar una prueba de cloro es considerablemente mayor que el utilizado por el sistema. Esto es debido a que el tiempo con el sistema se reduce al mínimo necesario.

## **B. Reportes**

Los resultados de las pruebas de cloro son registrados en cada empresa, y guardados por un periodo de tiempo. Luego estos son eliminados, con el sistema esto no ocurre dado que son guardados en una base de datos.

Se debe tener en cuenta que según el SUNASS, todas las empresas que realizan el proceso de cloración, deben tener un registro mínimo de los dos últimos años de pruebas.

## **C. Error de mediciones**

La confiabilidad de las pruebas manualmente se ve disminuida por múltiples factores como: Luz, hora del día, vista del operario, es por ello que el error es mayor manualmente. Sin embargo con el sistema este error disminuye considerablemente, debido a que los factores que interferían en las pruebas están controlados, por medio de un ambiente especial controlado.

## **D. Número de Empleados**

El número de empleados que requiere el proceso en ambas empresas es 3, los cuales trabajan en 3 turnos.

El sistema de visión artificial al ser un sistema automático no requiere personal para el proceso, sin embargo si se considera en el mantenimiento del sistema con 2 personas en dos turnos. Los cuales monitorean el funcionamiento del sistema esporádicamente.

Por lo tanto el número de operarios requeridos para las mediciones manualmente es disminuido a 0.

## E. Costos de mediciones

Los costos del proceso de pruebas de cloro incluyen dos factores: los reactivos y el personal operario para el proceso, como se puede observar en la tabla 14.

Producto	Costo unitario (S/)	Consumo Dia	Costo Dia (S/.)	Consumo Mes	Costo mensual (S/.)	Costo anual(S/.)
<b>Pastillas DPD (5ml)</b>	1.04	120.00	125.17	3600.00	3755.16	45061.92
<b>Horas Hombre</b>	3.16	64.8	204.77	1944	6143.04	86002.56
- N° Operarios / dia	---	3	---	---	---	---
- Total horas trabajas / turno	---	7.2	---	---	---	---
- Turno de trabajo	---	3	---	---	---	---
<b>Total</b>			<b>329.94</b>		<b>9898.20</b>	<b>131064.48</b>

**Tabla 15. Costo de pruebas de cloro en agua**  
**Fuente: Gandules Inc.**

Los datos son tomados como costos promedio del proceso dado que la paga a los operarios y costo de reactivos es similar por ser dos empresas ubicadas en la misma zona y en el mismo rubro.

El costo del proceso de pruebas con el sistema de visión artificial, se puede observar en la tabla 15, el ahorro en costos representa S/. 44,002.56.

Producto	Costo unitario (S/)	Consumo Dia	Costo Dia (S/.)	Consumo Mes	Costo mensual (S/.)	Costo anual
<b>Pastillas DPD (5ml)</b>	1.04	120.00	125.17	3600.00	3755.16	45061.92
<b>Horas Hombre</b>	-	-	-	-	3000	42000
- N° Operarios / dia	---	2	---	---	---	---
- Total horas trabajas / turno	---	2	---	---	---	---
- Turno de trabajo	---	2	---	---	---	---
<b>Total</b>					<b>6755.16</b>	<b>87061.92</b>

**Tabla 16. Costo de pruebas de cloro en agua, con el sistema de VA.**

Luego de haber analizado los indicadores propuestos en el presente trabajo, se puede afirmar que los objetivos han sido cumplidos.

## VI. PROPUESTA

Después de haber analizado el funcionamiento de las mediciones de cloro manualmente y con el uso del sistema de visión artificial, debido a los múltiples factores de mejora que el sistema de visión artificial incluye y que fueron explicados en el capítulo anterior. Se propone que este sea implementado en las empresas industriales que realicen el proceso de cloración y pruebas de agua.

Entre las ventajas que ofrece el sistema desarrollado para automatizar el proceso de pruebas de cloro en el agua de las plantas industriales, destacan:

- El ahorro de tiempo que el sistema provee es significativo, reduciendo la duración del proceso de 20 minutos a 7 minutos y 1 segundo.
- Este sistema, provee pruebas automatizadas en todas las cisternas sin necesidad de que ningún operario vaya.
- Está basado en el método DPD y el error es de 1E-12, lo cual demuestra que es un sistema confiable.
- Los resultados son publicados en una web, la cual se puede acceder desde mantenimiento y desde laboratorio, para que ambas áreas monitoreen el proceso.
- El sistema lanza alertas visuales para identificar y monitorear el nivel de cloro.
- Los gastos por mantenimiento de este sistema, se traducirán en el sueldo de 2 personas encargadas de reparar y monitorear el funcionamiento del sistema. Este costo está valorizado en 42 000 mil soles, lo cual es 51.16% menos que el costo actual por 3 operarios.

Se realizó un estimado del precio del sistema el cual se puede observar en la tabla 16 y el costo de mantenimiento en la tabla 17.

Producto	Costo unitario (S/)	Cantidad	Total
CPU	1000.00	4	4000.00
Servidor	2000.00	1	2000.00
Ups	150.00	4	600.00
Instalación Red Datos	8000.00	1	8000.00
Instalación Sistema Eléctrico	8000.00	1	8000.00
Instalación Sistema Mecánico	10000.00	1	10000.00
Proyector para resultados	1500.00	2	3000.00
Licencias Matlab	900.00	5	4500.00
Licencia Sistema de IA	100000.00	1	100000.00
<b>Total</b>			<b>140100.00</b>

**Tabla 17. Costo de pruebas de instalación del sistema de Visión Artificial**

Descripción	Pago mensual	Cantidad	Total	Costo Anual
-------------	--------------	----------	-------	-------------

<b>Mantenimiento del Sistema</b>	S/. 1,500.00	2	S/. 3,000.00	S/. 42,000.00
----------------------------------	--------------	---	--------------	---------------

**Tabla 18. Costo de mantenimiento del sistema de Visión Artificial**

En base a los costos mencionados con anterioridad, el retorno de la inversión para la empresa se daría a partir del cuarto año, como se puede observar en la tabla 30.

<b>Costo sistema IA</b>	<b>SISTEMA DE PRUEBAS</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Mantenimiento sistema por año: 42 000	<b>MANUAL</b>	86,002.56	86,002.56	86,002.56	86,002.56
<b>S/. 143,100.00</b>	<b>IA</b>	185,100.00	42,000.00	42,000.00	42,000.00
<b>ACUMULADO</b>	<b>MANUAL</b>	<b>86,002.56</b>	<b>172,005.12</b>	<b>258,007.68</b>	<b>344,010.24</b>
	<b>IA</b>	<b>185,100.00</b>	<b>227,100.00</b>	<b>269,100.00</b>	<b>311,100.00</b>

**Tabla 19. Recuperación de la inversión**

La aplicación por ser de naturaleza de automatización, estará activa todo el día todos los días realizando las pruebas constantemente y publicándolas.

## **VII. CONCLUSIONES**

Mediante las pruebas realizadas durante el desarrollo de este trabajo se concluye que:

El sistema reduce el tiempo en un 65.5% del desarrollo del proceso de cloración.

Los resultados obtenidos mediante el uso del sistema son mucho más confiables que los manuales, teniendo un grado de error de 0%.

A su vez el sistema permite tener un registro de todas las pruebas del nivel de cloro en la planta, asegurando así que las acciones correctivas de ser necesarias se den rápido. A su vez asegura que haya un control según las regulaciones de ley de la antigüedad de los registros de niveles de cloro.

El esfuerzo humano, se reduce hasta en un 100% puesto que el sistema no necesita más operarios para realizar las pruebas, pero si requiere personas de mantenimiento que podrían estar integradas al área de sistemas de la empresa.

Los costos del proceso de mediciones de nivel de cloro con el uso del sistema, producen un ahorro de S/. 44,002.56, en comparación con las pruebas manuales por año, siendo un sistema rentable.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amiclor. Amiclor. Retrieved Septiembre 13, 2011, from Un avance en Salud Publica:  
[http://www.amiclor.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=150&Itemid=189](http://www.amiclor.org/index.php?option=com_content&view=article&id=150&Itemid=189)
- Aquamarket.2011.Cloración de Agua.
- Baroni,Cenci,Tettamanti, y Berati.2006. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. European Journal of Clinical Nutrition. 2006.
- Bien Guillermo , Krein Diego , Rambo Alice. 2008. Redes Neuronales. Reconocimiento de Imágenes.
- Braun Charles, Sergei.1993. WHY IS WATER BLUE? Hanover: J. Chem. Educ.
- CIA CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. 2009. THE WORLD FACTBOOK.
- Domingo Mery . 2002. Departamento de Ingenieria informatica Universidad Santiago de Chile.
- EPSEL. 2009. Informe del Segundo Trimestre.
- Esteves Pablo. 2005. Las Redes Neuronales Supervisadas.
- Gestal Marcos.2011. Introducción a la Redes de Neuronas Artificiales. España.
- Hinrichsen Ulmha. 2008. Rumo a Uma Revolução Azul ii. Artículo, Brazil.
- HOLDING. 2009. Agua y Salud. Artículo.
- Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente. 2000. El agua. Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente.
- Kong y Nilsson. 2005. Metodología de Visión Artificial.
- Laboratorio Tecnológico de Uruguay. 2008. Cloración de Agua en la industria alimentaria. Monografía, Ministerio de Industria y Energía. Uruguay.
- Lengomín Fer y Caballero Torres.2002. Causas más frecuentes de problemas sanitarios en alimentos. Paper, Cuba: Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos.
- Milán, Pedro.2002.Industria y Agua.
- Ocaris y Fernandez. 2007. LAS REDES NEURONALES Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO. Rev. ing. univ. Medellin vol.6 no.10 Medellín.

ONU. 2008. 2º Informe de Naciones Unidas sobre Desarrollo Recursos Hídricos en el Mundo. New York. UNITED NATIONS.

ONU. 2008. The Millennium Development Goals Report. Informe situacional. New York: UNITED NATIONS.

Porras Paolo. 2006. Previsión de la evolución de precios de los mayoristas de gasolina de 95, en el Perú, mediante redes neuronales.

Rodriguez Jorge. 2011. Introducción a los sistemas de visión artificial.

Survey.2009. Distribution, Earth's water. USGS- Science for a changing wold. Estados Unidos de America.

The American Water Works Ass Inc . Water Quality Treatment. McGraw Hill Book Co.

Universidad Nacional de Quilmes. 2005. Efectos de Iluminación de visión artificial.

Yurina, Masahiro, y Tomoko. 2008. Attempt to Establish an Industrial Water Consumption Distribution Model. Journal of Water and Environment Technology.