

**DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO PILOTO
EN PIEDRA
I ETAPA**

**MAXIMILIANO MIGUEL HERNÁNDEZ CUARAN
JAIRO MIGUEL RONDÓN MORA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUÁN DE PASTO
2008**

**DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO PILOTO
EN PIEDRA
I ETAPA**

**MAXIMILIANO MIGUEL HERNÁNDEZ CUARAN
JAIRO MIGUEL RONDÓN MORA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR: ING. ROBERTO SALAZAR CANO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2008**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo primero del acuerdo N° 323 de Octubre 11 de 1966, emanada del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Presidente de tesis

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Marzo de 2009

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero ROBERTO SALAZAR CANO Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, director de esta investigación, quien nos asesoró en el desarrollo de esta investigación, transmitiendo sus conocimientos, con muy buena voluntad y dedicación.

A los ingenieros y docentes vinculados de alguna manera a la Universidad de Nariño, y en particular al Programa de Ingeniería Civil

También agradecemos a los técnicos y demás personal de EMPOPASTO, por permitir adelantar este estudio.

RESUMEN

El Presente trabajo de investigación trata de la implementación de un floculador piloto en piedra en la ciudad de pasto, se hizo un dispositivo que en principio recibe el agua de la mezcla rápida de la planta luego pasa por el dispositivo de floculacion compuesto en piedra, para su posterior tratamiento. El agua que sale del floculador hidráulico piloto en piedra sale con unas características mejores a las tratadas con los floculadores convencionales de la planta, sus propiedades se las comparo con las aguas que salen de los sedimentadores de la planta.

ABSTRACT

THIS RESEARCH DEALS WITH THE IMPLEMENTATION OF A PILOT FLOCS IN STONE IN THE CITY OF GRASS, WAS A DEVICE THAT NORMALLY RECEIVES WATER FROM THE RAPID MIXING OF THE PLANT AFTER PASSING THROUGH THE DEVICE COMPOSED OF FLOCCULATION IN STONE FOR SUBSEQUENT TREATMENT. THE WATER THAT COMES FROM THE FLOC HYDRAULIC PILOT STONE COMES WITH FEATURES TO BEST TREATED WITH CONVENTIONAL PLANT FLOCS, THEIR PROPERTIES ARE COMPARED WITH THE WATER COMING OUT OF THE SEDIMENTS OF THE PLANT.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 ANTECEDENTES	16
1.1 GENERALIDADES	17
1.1.1 Título de la investigación	17
1.1.2 Problema	17
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.2.1 Objetivo general	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
1.3 ALCANCE Y DELIMITACION	22
1.3.1 alcance	22
1.3.2 delimitación	22
1.4 METODOLOGÍA	23
1.4.1 Tipo de investigación	24
1.4.2 Aspectos administrativos	25
1.5 MARCO REFERENCIAL	26
1.5.1 Marco teórico	26
1.5.2 Marco conceptual	12
2.0 TITULO	130
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	130

2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO	130
2.3 PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL FLOCULADOR	131
2.4 ETAPAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FLOCULADOR	135
2.5 OPERACIÓN DEL FLOCULADOR	137
2.6 MANTENIMIENTO DEL FLOCULADOR	138
2.7 UNIVERSO DE MUESTRAS	138
3. TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS	141
3.1 PROGRAMACIÓN	141
3.2 PUNTOS DE MUESTREO	142
3.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	142
3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	143
3.5 TURBIEDAD	143
3.6 COLOR APARENTE	143
3.7 COLOR VERDADERO	144
4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS	145
4.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS TANQUE FLOCULADOR EN PIEDRAS PILOTO	145
4.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS TANQUE CONVENCIONAL PLANTA MIJITAYO	146
4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	147
4.4 EVALUACIÓN FINAL	149

5. CONCLUSIONES	151
RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	154

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipos de coloides	29
Tabla 2 Medios de dispersión	33
Tabla 3 Floculación	59
Tabla 4 efectos de la coagulación	71
Tabla 5 Ventajas y limitaciones de los sistemas de tratamiento domésticos	91
Tabla 6 Costos de los sistemas de tratamiento domésticos	92
Tabla 7 Valores comunes del Ph	104
Tabla 8 Proceso de diseño y cálculo del floculador	126
Tabla 9 Prueba de Retención hidráulica	128
Tabla 10 Los valores de $(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2$	132
Tabla 11 Comparativa de resultados	140
Tabla 12 Comparativa de resultados	141

INDICE DE SIMBOLOS

Å = Medida microscópica

mg/l= Miligramos sobre litro

ppm = Partes por millón

m³/segundo = Metros cúbicos por segundo

V = Voltios

% = Porcentaje

Cm = centímetros

Ph = Medida Química de acides y basicidad

Rpm = Revoluciones por minuto

NTU = Unidad Nefelométrica de Turbiedad

s-1= segundos a la menos uno

G-1 = Gradiente de velocidad

T = Tiempo de floculación

mμ= Milimicra

μ= Micra

n= Número de partículas por mililitro al cabo de un tiempo de floculación *t*.

n₀= Número inicial de partículas por mililitro

a =Radio efectivo de las partículas

D= Coeficiente de difusión

°C = Grados centígrados

J = Número de contactos

n1 = Número inicial de partículas

n2 = Número final de partículas

R = Radio de las partículas

dn/dz = Gradiente de velocidad

G = Gradiente de velocidad

n_1^0 = Número inicial de partículas

n_2^n = Número final de partículas

LM = Dimensión mayor de la partícula

Lm = Dimensión menor de la partícula

To = Turbiedad inicial

Tf = Turbiedad final

DN = Diámetro nominal de la partículas

Ξ = Porosidad

Φ = Factor de forma

r = Radio de la sección de entrada

Q = Caudal

J = Perdidas de Carga en la sección determinada

Vol = Volumen

a, b = Coeficientes de Forchheimer

B = Velocidad en la sección indicada

H = Altura total del lecho rocoso

UNT = Unidad Nefelométrica de Turbiedad

UPC = Unidad platino cobalto

TRH = Tiempo de retención hidráulica

INDICE DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1 Prueba de retención hidráulica	129
Grafica No 2 Floculador Piloto	130
Grafica No 3 Floculador Piloto	131

INTRODUCCIÓN

Con base en las muy pocas investigaciones realizadas en el tratamiento de agua potable, respecto a la implementación de las nuevas tecnologías en nuestro medio. Surgió la idea de implementar un proceso alternativo en lo que se refiere al proceso de floculación, para lo cual, se implementó, un sistema de floculación en medio poroso basado en la teoría del paso de agua a través de múltiples cámaras de floculación en serie, una aplicación que combina el efecto benéfico que posibilita el tener un gran número de cámaras de floculación y el de tener un gradiente continuamente decreciente. Siendo ese número de cámaras, esos vacíos que dejan las piedras entre si, incluso su porosidad, las herramientas necesarias en los cuales las partículas solidas se aglomeran, y quedan atrapadas, para luego sedimentarse.

En la actualidad se posee muy poca información acerca de estos procesos de floculación, por lo cual resulta de gran importancia la investigación, y la implementación de estas teorías, por eso, en el presente proyecto de grado se diseño, experimentó y evaluó un floculador hidráulico piloto en piedra, buscando así la optimización del sistema tradicional de tratamiento de agua, además, también se abren nuevas líneas de investigación, y en lo posible se puede alcanzar procesos de adaptación que mejoren los procesos tradicionales, con bajo costo, fácil manejo y menor contaminación ambiental.

El sistema toma el agua con mezcla rápida, es decir agua cruda mas sulfato de aluminio, y la lleva al Floculador Hidráulico Piloto en Piedra, el agua en su interior se dispersa y penetra en los orificios dejados por la roca y sus múltiples poros, al pasar por estos las partículas sueltas se aglomeran formando el floc, el cual es retenido en esas porosidades para luego sedimentarse, permitiendo que las

impurezas de deslignen del agua, y esta salga con mejores propiedades físicas y químicas.

1. ANTECEDENTES

El abastecimiento de agua, de buena calidad, esta asociada a múltiples factores entre los cuales está el tratamiento por medios físicos, siendo éste de gran importancia, para reducir costos en el tratamiento final.

Dentro de la ingeniería sanitaria, es de vital importancia, implementar nuevas tecnologías o adaptar nuevos mecanismos a los procesos unitarios tradicionales para así alcanzar una optimización al tratamiento del agua de consumo público y porque no a bajo costo, y rangos menores de contaminación del ambiente.

Esa necesidad de incursionar en esta área de la ingeniería sanitaria, ha llevado a plantear esta investigación. La importancia radica, en la poca implementación de estas tecnologías en nuestro medio. Por tanto, son mas que una incógnita para adelantar un proceso investigativo, el solo hecho de tratar de desligarse del proceso tradicional; para flocular con piedras, establece una nueva manera de emprender nuevos procesos, implicando la obtención de nuevos resultados; que esperamos en lo posible, sirvan de puntos de referencia de posibles investigaciones o posibles mejoras en el proceso tradicional que el acueducto viene adelantando. Como se puede ver la puesta en marcha de este proceso piloto suministrará los argumentos de discusión indispensables para la implementación o no de estos nuevos procesos en un futuro próximo.

Esta investigación se la enfocará en el municipio de Pasto, exactamente en la planta de tratamiento de Mijitayo, utilizando el agua coagulada suministrada por Empopasto.

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Título de la investigación

DISEÑO Y EXPERIMENTACION DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO PILOTO EN PIEDRA I ETAPA

1.1.2 Problema

Descripción de la situación actual

Una preocupación grande de los organismos multinacionales y en especial los que se encargan de velar por el mejoramiento de la calidad de vida en los países en vía de desarrollo, es el abastecimiento del agua en condiciones aptas para el consumo humano.

Colombia a pesar de ser un país de los más ricos en recursos hídricos es a la vez uno de los más deficientes en infraestructura hidráulica, y presenta serio déficit en el suministro de agua de buena calidad, recientes estudios entregados por la Organización Mundial de la Salud dicen, que el 70% de la población colombiana recibe agua no apta para su consumo; el 30 % recibe este líquido en condiciones aceptables. ¹

¹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Informe anual de potabilización de aguas:2007 pag 78

El uso de agua previo tratamiento mejora la calidad de vida, en cambio el agua sin ningún tratamiento, es un medio eficaz para la proliferación de enfermedades de origen hídrico, causa principal de la mortalidad infantil en el país.

Desde esta perspectiva se mira la necesidad de contribuir con conocimientos a la solución de estos problemas, mediante la implementación de alternativas tecnológicas en el tratamiento de aguas para suministro, en este caso, utilizando la floculación de medio poroso, como la piedra, para el mejoramiento de la calidad físico-química del agua, que según referencias en otros países desarrollados se la ha implementado con excelentes resultados, que hace ser optimistas para investigar y posiblemente, desarrollar esta tecnología en nuestro entorno.

Un problema físico frecuente de las plantas de tratamiento de agua para suministro en este medio es el color, se dice que es debido a sustancias húmicas, hidróxidos metálicos como el del hierro, además, compuestos orgánicos desconocidos; las razones para justificar la remoción del color son entre otras: estética, sabor, demanda de cloro, nutrientes, requerimientos industriales, análisis, productividad, salud, etc.

Formulación del problema

Los sistemas tradicionales de floculación del agua tienen tiempos de retención entre 20 a 40 minutos lo que hace que la estructura, para estos tiempos sea grande, aumentando el costo de la planta de tratamiento.

El propósito de esta investigación, partiendo de la teoría de floculación en piedra, es tratar de reducir estos tiempos con la correspondiente disminución de la infraestructura y por lo tanto, disminución de costos en la planta de tratamiento.

Por lo anterior, resulta conveniente diseñar, construir y determinar el funcionamiento de un floculador que presente bajos tiempos de retención en un área menor, manejando pequeños volúmenes de agua, facilitando su operación, y pretendiendo alcanzar una mejor eficiencia.

Justificación

El diseño y construcción de un Floculador Hidráulico Piloto en Piedra, nace por la necesidad de implementar nuevas tecnologías que contribuyan a la optimización de los procesos unitarios del tratamiento del agua en este municipio, teniendo en cuenta que es una solución, que no se ha desarrollado en la región, a pesar que en otros países ya se la ha implementado y hace parte de las múltiples soluciones a este problema.

Actualmente, no se conocen estudios sobre floculadores de medio poroso, por ello se realizará en forma de un tanque piloto, puesto que es de mucha importancia que la entidad prestadora de este servicio; posea parámetros técnicos de la viabilidad de esta tecnología; para sus posteriores estudios y así generar y tener los mecanismos de discusión indispensables para la conveniencia o no de este tipo de procesos.

Por lo anterior, es importante que la Universidad de Nariño y en especial el programa de Ingeniería Civil, se constituyan en pioneros, abriendo las líneas de investigación propicias, para adelantar un proyecto como éste; puesto que cuenta con los medios físicos y humanos para realizarla, por cuanto conviene que la academia cree los espacios pertinentes; para la exploración de estas nuevas tecnologías, adecuándolas e implementándolas al medio en el que se convive, y de esta manera contribuir con un mejor desarrollo a la sociedad.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Diseñar, construir y evaluar en su etapa inicial un Sistema de Floculación Hidráulico Piloto en Piedras, como alternativa a los tratamientos convencionales de floculación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir parámetros de diseño para un floculador de medio poroso, utilizando el agua coagulada suministrada por EmpoPasto.
- Diseñar un tanque Floculador Hidráulico Piloto en Piedra.
- Construir un tanque Floculador Hidráulico Piloto en Piedra.
- Evaluar el proceso de tratamiento en forma piloto.
- Determinar la eficiencia de la estructura piloto.

1.3 ALCANCE Y DELIMITACION

1.3.1 Alcance

Diseñar, construir y evaluar en su etapa inicial un Floculador Hidráulico Piloto en Piedras para iniciar el análisis y comprobar las ventajas y desventajas de esta nueva tecnología.

Se proyecta tener suficiente conocimiento práctico sobre esta tecnología; para su posterior implementación, no en forma de muestra, sino como una parte más de un proceso unitario alternativo a la floculación con medios químicos, que se viene realizando al agua actualmente.

1.3.2 Delimitación

Esta investigación se realizó en El municipio de San Juan de Pasto en la Planta de Mijitayo y el tiempo de duración fue de 38 semanas a partir de la aprobación del anteproyecto.

En esta etapa de arranque, para la investigación en curso, se utilizará el agua tratada a través de los coagulantes que agrega la planta.

En las muestras de aguas tomadas en salientes del floculador piloto se realizará los ensayos de turbiedad, color y ph. La cantidad de muestra a tomar será de 120 ensayos y su análisis y resultados se proyecta comparar con los obtenidos en la planta, para determinar su eficiencia.

Este proyecto está delimitado al diseño, construcción y evaluación en su etapa inicial de un tanque Floculador Hidráulico Piloto en Piedras.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Tipo de investigación

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, para ingeniería, se desarrollará los tipos de investigación: experimental – aplicativo. Por cuanto se probará este Sistema de Floculación, pretendiendo obtener razones relevantes de conveniencia o no; para su uso posterior.

Fuentes de recolección de la información

Fuentes primarias

La información necesaria se obtendrá del material bibliográfico, medios magnéticos de comunicación, y principalmente con el asesoramiento del Ing. Roberto Salazar Cano, quien con su amplia y trayectoria al respecto, nos llevará a un feliz término con esta investigación.

Fuentes Secundarias

Se hará secuencialmente en toma de muestras y su posterior análisis de laboratorio, además se optará por los recursos magnéticos, videos, fotografías, entre otros, para su documentación respectiva. Se entregará informes de avance del proyecto al director para seguir sus recomendaciones respectivas.

Etapas metodológicas de la investigación

Por medio de las fuentes de recolección, se desarrollará el objetivo planteado, como también se determinará ventajas y desventajas de este sistema, su análisis e interpretación se llevará a cabo mediante el análisis de documentos, fotografías, ensayos de laboratorio, comparación con el otro sistema entre otras.

Además se tienen previstas las siguientes actividades:

- Etapa de diseño y construcción del floculador de piedras, en el cual se realizará el diseño a escala del floculador hidráulico piloto en piedra y su posterior construcción con todos los aditamentos necesarios para su funcionamiento, usando el agua coagulada por la planta de Mijitayo.
- Etapa de toma y análisis de muestras, en la cual se tomará muestras en número de 120 en la salida del floculador de piedras, posteriormente se realizará los ensayos de color, turbiedad y Ph., comparando con los resultados obtenidos por los técnicos de Empopasto, esto con el fin de estimar posibles errores e inmediatas correcciones. En lo posible se determinará tiempos de recolección de muestras, buscando cambios en la toma, ya sea por fenómenos atmosféricos o por comportamientos normales y anormales del afluente.
- Etapa de evaluación final. Se realizará durante y posterior a la toma y análisis de muestras, por cuanto es necesario reportar y corregir errores durante la anterior etapa; la evaluación final se realizará comparando estadísticamente los resultados arrojados de esta investigación.

- Etapa de Informe final, se hará durante y posterior a las etapas anteriores y se entregará informe final de esta investigación según lo acordado con la facultad.

1.4.2 Aspectos administrativos

Recursos

El estudio de esta investigación se realizará con los siguientes recursos:

Talento humano

En este proyecto se contará con el apoyo de las siguientes personas:

- Ingeniero civil, director del proyecto: Ing. Roberto Salazar Cano.
- Director del programa de Ingeniería Civil: Ing. esp. Guillermo Muñoz Ricaurte
- Empresa de obras sanitarias EmpoPasto
- Personal de laboratorios: Universidad de Nariño.
- Investigadores: Estudiantes; Jairo Miguel Rondón Mora y Maximiliano Miguel Hernández Curarán.

Recursos financieros

El estudio y sus costos estarán a cargo de los investigadores; la Universidad aportará con el director del proyecto y el uso de los laboratorios.

1.5 MARCO REFERENCIAL

1.5.1 Marco teórico

Estudios del agua

El agua es uno de los compuestos con la mayor importancia para el ser humano, éste se ve obligado a quitarle a la madre naturaleza, el precioso líquido, uno de sus frutos más valiosos, el líquido vida.

La humanidad necesita utilizar el agua para sus numerosas actividades, entre los que destacan, los usos potables. Por tanto, el hombre usa el agua existente en la naturaleza para consumirla y utilizarla, pero es evidente que debido a sus características químicas, físicas y biológicas, ésta no puede ser utilizada de forma directa; por eso requiere de una serie de correcciones y tratamientos que eliminen aquellas partículas extrañas o sustancias perjudiciales para el hombre.

De aquí, destacar la gran importancia que tiene la potabilidad del agua, ya que agua en mal estado o simplemente con sustancias nocivas para el hombre, pueden provocar, como ya se ha visto en numerosas ocasiones, varias enfermedades.

El agua es un compuesto químico de naturaleza inodora, insabora e incolora. El agua ocupa la mayor parte de la superficie del planeta (82.2%), constituyendo el compuesto químico más abundante en los organismos vivos y siendo el principal componente de su citoplasma.

Se mueve de forma imparable por la superficie de la tierra, haciendo circular muchas sustancias y modelando de esta manera el relieve de la superficie terrestre.

Está presente en todas actividades humanas tanto agrícolas como industriales y como también en aquellas actividades que conforman la vida cotidiana de cada uno de nosotros. Es en resumen, uno de los compuestos que soportan estructura de la comunidad ecológica.

Historia:

En el siglo VI A.C. Tales de Mileto, consideró al agua como uno de los elementos más importantes del Universo, junto con el aire, la tierra y el fuego. Es una sustancia que se presenta en la naturaleza en sus tres estados: sólido (formando hielo, nieve), líquido (formando mares, ríos,...) y vapor o gas (formando nubes), los cuales se relacionan entre ellos mediante el ciclo del agua. Así fue como durante más de 2.000 años el agua se consideró un cuerpo simple. Mas tarde 1781, Cavendish obtuvo agua de la combustión del hidrógeno y en 1785, Lavoisier llegó a definir su naturaleza cómo un compuesto. La determinación de la composición exacta del agua ha sido objeto de infinidad de investigaciones, tanto por métodos analíticos como sintéticos:²

En método analítico se parte de un peso conocido del compuesto, el cual se separa en sus elementos y se determinan sus pesos relativos resultantes.

En segundo caso se fijan las proporciones en las que los elementos se combinan para formar el compuesto

² JORGE ARTURO PEREZ PARRA. Manual de potabilización del agua 3ª ed. Medellín pg 52.

El agua como compuesto:

El agua es un compuesto formado por 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno cuya unión forma un compuesto que tiene por fórmula molecular H₂O.

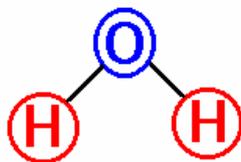
El agua es el producto de la combustión (oxidación) del hidrógeno con el oxígeno del aire:



Su gran capacidad para reaccionar entre el Hidrógeno y el Oxígeno se debe a su fuerte atracción química, que se manifiesta formando una molécula muy estable. Por otra parte, el enlace que mantiene unidas las moléculas de agua es de tipo covalente, es decir que los átomos que forman el compuesto comparten un electrón. Además, las moléculas de agua aparecen asociadas entre sí formando grupos mediante los denominados enlaces de hidrógeno, que actúan como su pegamento.

La estructura de la molécula de agua puede explicarse teniendo en cuenta que el átomo central de oxígeno está rodeado por cuatro pares de electrones, dos formando enlace y dos solitarios. La molécula tiene por tanto, forma de V, y la repulsión entre átomos de H reduce el ángulo del tetraedro H-O-H a 104'5º.

Disposición de los átomos en la molécula de agua:



Propiedades físicas:

PESO MOLECULAR	18'16 uma
PUNTO DE EBULLICIÓN A 1 atm	100°C
PUNTO DE FUSIÓN A 1 atm	0°C
DENSIDAD A 0°C SÓLIDO	0'915 g/ml
DENSIDAD A 0°C LÍQUIDO	0'99987 g/ml
DENSIDAD A 4°C LÍQUIDO	1'0000 g/ml
DENSIDAD A 100°C LÍQUIDO	0'95839 g/ml
CALOR DE VAPORIZACIÓN	40'561 KJ/mol
CALOR DE FUSIÓN	6'010 KJ/mol
CALOR ESPECÍFICO	0'999 cal/g°C
CONDUCTIVIDAD A 25°C	6.10 ⁻¹⁸ Ohm
CONDUCTIVIDAD CALORÍFERA	0'001 cal/cm.s.°C
PRESIÓN CRÍTICA	217'7 atm
TEMPERATURA CRÍTICA	374'1 °C
PRESIÓN TRIPLE	4'58 mm Hg
TEMPERATURA TRIPLE	0'0753 °C
DILATACIÓN DE LIQ. A HIELO	10 %

Como lo hemos mencionados ya anteriormente, las propiedades principales del agua se explican por su capacidad de formar enlaces intermoleculares por puentes de hidrógeno. El origen de dichos enlaces se halla en la desigual distribución de cargas; la molécula se transforma en una molécula dipolar, y la atracción entre los polos constituye los enlaces por puente de hidrógeno.

Cada molécula de agua es capaz de formar 4 enlaces, pero sólo a temperaturas bajas los forma realmente. A medida que aumenta la temperatura el número de enlaces entre moléculas va disminuyendo; a 40 °C el número de puentes de

hidrógeno existentes es menos de la mitad de los teóricamente posibles. Esta tendencia continúa a la temperatura de fusión y a temperaturas más altas hasta que tiene lugar la completa ruptura de la estructura.

En la estructura del agua al representar gráficamente la presión frente a la temperatura, las curvas que aparecen indican el distinto comportamiento de los diferentes estados del agua. Estas curvas se cortan en un punto en el que las formas sólida, líquida y vapor están en equilibrio entre sí; el punto triple es, por tanto, de especial importancia, porque en el caso del agua es un punto fijo para la escala absoluta de temperaturas (273'16 °K).

Propiedades químicas:

Como resultado del dipolo eléctrico asociado a la molécula de agua y como consecuencia de sus posibilidades de formar enlaces de hidrógeno, el agua da compuestos de adición con un gran número de sales. De tal modo, que las moléculas de agua pueden encontrarse asociadas de diferentes maneras:

Reacciones con los metales:

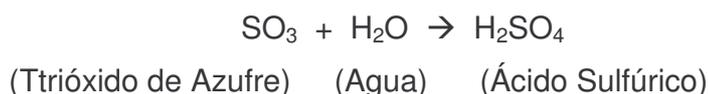
A temperatura ordinaria, el agua reacciona violentamente con los metales alcalinos y los alcalinotérreos más pesados. Metales como el Al, Mn, Zn, Fe, Sn, Pb,... reaccionan con el vapor de agua.

Reacción general:



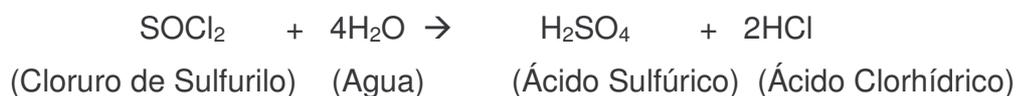
Reacciones con los óxidos:

El agua reacciona con los óxidos dando oxácidos o hidróxidos. Ejemplo:



Reacciones de hidrólisis:

El agua produce la doble descomposición de sales. Ejemplo:



Ionización del agua:

El agua está débilmente ionizada, de forma que puede actuar como un ácido o como una base. La reacción,



Se realiza en poca cantidad en el agua pura. Dado que las concentraciones de los elementos del primer miembro de la ecuación son constantes, la expresión de la Cantidad de Kw, se llama CONSTANTE DEL PRODUCTO IÓNICO DEL AGUA. Su valor es de 10^{-14} si las concentraciones se expresan en moles por litro y a 25°C La constante de equilibrio es:

$$(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot (\text{OH}^-) = K_w$$

En una solución neutra la concentración de H_3O^+ es la misma que la de OH^- .

Estados físicos del agua:

El agua se encuentra en la naturaleza en los tres estados: gas, líquido y sólido, presentando en cada estado características y propiedades diferentes, como ya hemos podido observar (v. propiedades físicas), ya que su estructura interna ha variado.

Estado gaseoso:

- El vapor de agua está formado por moléculas que se mueven casi independientemente entre sí.
- Por encima de 374 °C el vapor de agua puede ser comprimido hasta alcanzar cualquier densidad sin licuarse.
- Cuando la densidad tiene el valor de 0'4 g/cm³ el vapor puede disolver cantidades notables de sales.
- Su estabilidad a la disociación es previsible por su elevado calor de formación; sólo se halla apreciablemente disociada a temperaturas superiores a 2000° C.
- Su capacidad calorífica la hace conveniente para fines de refrigeración en procesos industriales.

Estado líquido:

- Las moléculas de agua en estado líquido, tienden a reagruparse debido a los enlaces de hidrógeno y se reorientan cada 10⁻¹⁰ s, lo que hace que la determinación de su estructura instantánea sea un problema difícil.
- Es un líquido altamente polar y su mayor densidad se presenta a 4 °C.
- El agua puede ser sobre-calentada aumentando la presión o sobre-enfriada añadiéndole sal común o compuesto ionizante.
- Su conductividad no es muy alta, pero aún así es 1 millón de veces más alta que la de la mayoría de líquidos no metálicos a temperatura ambiente.

Estado sólido:

- En el líquido anterior a medida que la temperatura baja, los grupos moleculares se unen hasta formar una estructura hexagonal compacta, el hielo.
- En el hielo, las moléculas de agua se ordenan de forma tetraédrica. Tanto Toman como Brigán, en sus estudios sobre el agua sólida, demostraron que además del hielo ordinario, aparecen otras formas sólidas a presiones elevadas. Estas distintas estructuras de los diferentes tipos de hielo, se consideran como un polimorfismo (v. esquema de propiedades físicas).

El agua como disolvente:

El agua es el disolvente universal, y aunque esta afirmación no es totalmente cierta, lo que sí es verdad es que el agua disuelve a más tipos de sustancias y en cantidades mayores que cualquier otro disolvente existente en la naturaleza.

El agua posee esta propiedad por el hecho de tener una elevada constante dieléctrica, que en consecuencia de su naturaleza dipolar de sus moléculas: en las moléculas de H₂O, el átomo de oxígeno atrae con más fuerza hacia sí las dos parejas de electrones de enlace con cada átomo de hidrógeno y debido a esto, en el átomo de oxígeno hay un exceso de carga positiva y las moléculas de agua son, por tanto, minúsculos dipolos eléctricos.

En particular, este carácter dipolar del agua la convierte en un disolvente excelente de los materiales polares o iónicos, tales como las sales, bases y ácidos, de los que se dice, por ello, que son hidrofilitos (afines al agua).³

Por otra parte, el agua no lo puede todo y por tanto, las sustancias no polares, tales como los aceites y las grasas, son virtualmente insolubles en el agua y, por

³ Tomado de www.elacuarista.com

consiguiente, se describen como sustancias hidrofóbicas (repulsión al agua). A continuación algunas reacciones que evidencian su comportamiento químico.

Disolución de sales:

Las moléculas de H₂O en presencia de partículas cargadas, forma iones positivos con el sodio formando (Na⁺) y iones negativos (Cl⁻) con el Cloro, que constituyen los cristales de Cloruro de Sodio, tienden a colocarse con la parte positiva hacia los iones negativos del cloro y con la parte negativa hacia los iones positivos del sodio. Así, crean una especie de pantalla que debilita los enlaces iónicos que mantienen unidos los iones de cloro y sodio. Lo que antes era un cristal de sal, se transforma en algo prácticamente indistinguible del agua, dado que los iones de cloro y sodio son desmontados y englobados por moléculas de agua.

Mezcla con aceite:

Ya por todos es sabido, que en verter aceite sobre agua, este no se disuelve en ella y ni tan solo se mezclan, de forma que ambos líquidos quedan perfectamente separados formando dos niveles, en el que el superior corresponde al aceite y el inferior al agua, que en pesar más, se va al fondo. Ya que la afinidad de las sustancias es evidentemente contraria, debido a su polaridad, como sabemos.

COLOIDES

En química un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico que está compuesto por dos fases: en primera instancia una fase continua, normalmente fluida, y por otra una dispersa en forma de partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula. En particular, la

comunidad científica define la escala mesoscópica como la situada entre unos 10 nanómetros y 1000 micrómetros.

El nombre coloide fue introducido por el físico escocés Thomas Graham en 1861 y proviene de la raíz griega kolas que significa que puede pegarse. Este nombre hace referencia a una de las principales propiedades de los coloides: su tendencia espontánea a agregar o formar coágulos.

Aunque el coloide por excelencia es aquel en el que la fase continua es un líquido y la fase dispersa se compone de partículas sólidas, pueden encontrarse Coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados de agregación. En la siguiente tabla se recogen los distintos tipos de Coloides según el estado de sus fases continua y dispersa:

		Fase Dispersa		
		Gas	Líquido	Sólido
Fase Continua	Gas	No es posible porque todos los gases son solubles entre sí	Aerosol líquido, Ejemplos: niebla, bruma	Aerosol sólido, Ejemplos: Humo, polvo en suspensión

	Líquido	Espuma, Ejemplos: Espuma de afeitado	Emulsión, Ejemplos: Leche, salsa mayonesa, crema de manos, sangre	Dispersión coloidal, Ejemplos: Pinturas, tinta china
	Sólido	Espuma Sólida, Ejemplos: piedra Pómez, Aerogeles	Gel, Ejemplos: Gelatina, gominola, queso	Emulsión sólida, Ejemplos: Cristal de rubí

Tabla 1 Tipos de Coloides⁴

Actualmente, y debido a sus aplicaciones industriales y biomédicas, el estudio de los Coloides ha cobrado una gran importancia dentro de la química física y de la física aplicada. Así, numerosos grupos de investigación de todo el mundo se dedican al estudio de las propiedades ópticas, acústicas, de estabilidad y de su comportamiento frente a campos externos. En particular, el comportamiento electrocinético (principalmente las medidas de movilidad electroforética) o la conductividad de la suspensión completa.

Por lo general, el estudio de los coloides es experimental, aunque también se realizan grandes esfuerzos en los estudios teóricos, así como en desarrollo de simulaciones informáticas de su comportamiento. En la mayor parte de los fenómenos coloidales, como la conductividad y la movilidad electroforética, estas

⁴ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Control de calidad y tratamiento del agua, Madrid, Instituto de estudios de administración local.1975. 256 p.

teorías tan sólo reproducen la realidad de manera cualitativa, pero el acuerdo cuantitativo sigue sin ser completamente satisfactorio.

Propiedades de soluciones coloides

- Sus partículas no pueden ser observadas a simple vista.
- Los filtros que no pueden atravesar son las membranas semipermeables, como el papel celofán y el colodión.
- Sus partículas presentan movimiento browniano
- Sus partículas presentan el efecto Tyndall
- Son opalescentes ⁵

El origen y la problemática de la presencia de los coloides en el agua

1. Las impurezas

Las impurezas presentes en el agua se encuentran como partículas en suspensión, como material coloidal, o como partículas en solución verdadera. Se pueden clasificar según su tamaño, las cuales tornan al agua con una apariencia Turbia o coloreada, o inclusive ambas.

La turbiedad presente en un cuerpo de agua es debido a diferentes compuestos y sustancias de origen orgánico e inorgánico, las cuales llegan al agua, ya sea por escorrentía superficial y/o por vertimiento directo de agua residual (doméstica e industrial).

La aparición de color en el agua es el resultado del contacto entre el agua y la materia orgánica (hojas, madera etc.) en algún estado de descomposición. Extractos vegetales como taninos, ácido húmico, ácido fúlvico, ácido

⁵ Tomado de "<http://es.wikipedia.org/wiki/Coloide>"

himatomelánico y productos de la degradación de la lignina, son considerados los principales responsables del color. Si bien la estructura molecular de estos compuestos no está bien definida, se conoce que básicamente contienen Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno en porcentajes variable.

En algunas ocasiones están presentes en el agua, hierro o magnesio que aportan un color rojizo o negro al agua, respectivamente. Por otra parte, el agua también puede ser coloreada por el vertimiento de desechos líquidos con alta concentración de colorantes. La mayor parte de esos desechos es responsabilidad de la industria textil en los procesos de coloración y la industria papelera en la transformación de la pulpa donde se producen grandes cantidades de lignina y otros materiales en solución, los cuales son altamente coloreados.

Otra definición clásica de un coloide, también llamada dispersión *coloidal*, basada en el tamaño de las partículas que lo forman, partículas llamadas micelas. Poseen un tamaño bastante pequeño, tanto que, no pueden verse; aún con los mejores microscopios ópticos, aunque son mayores que las moléculas ordinarias. Las partículas que forman los sistemas coloidales tienen un tamaño comprendido entre 50 y 2.000 Å.

En las dispersiones coloidales se distinguen dos partes:

- a) Fase dispersa: las llamadas micelas.
- b) Fase dispersante: en las que están dispersas las partículas coloidales.

Las partículas coloidales tienen un tamaño diminuto, tanto que no pueden separarse de una fase dispersante, aún por filtración. Las disoluciones son transparentes, por ejemplo: azúcar y agua.

Se tiene una dispersión cuando las partículas son del tamaño de 2.000\AA , y las partículas se pueden separar por filtración ordinaria.

2.- Tipos de sistemas coloidales:

En la actualidad se sabe que cualquier sustancia, puede alcanzar el estado coloidal, ya que la fase dispersante como la fase dispersa, pueden ser un gas, un líquido o un sólido, excepto que ambos no pueden estar en estado gaseoso, son posibles los siguientes ocho sistemas coloidales:

Medio de dispersión	Fase dispersa	Nombre	Ejemplos
Gas	Líquido	Aerosol líquido	Niebla, nubes, Polvo, humo.
	Sólido	Aerosol sólido	
Líquido	Gas	Espuma	Espumas (de jabón, cerveza, etc.), nata batida.
	Líquido	Emulsión	Leche, mahonesa.
	Sólido	Sol	Pinturas, tinta china, goma arábica, jaleas
Sólido	Gas	Espuma sólida	Piedra pómez.
	Líquido	Emulsión	Mantequilla, queso.
	Sólido	Emulsión	Algunas aleaciones, piedras

		sólida Sol sólido	preciosas coloreadas
--	--	----------------------	----------------------

Tabla 2 Medios de dispersión⁶

De todos ellos, los más relevantes son los que poseen un líquido como medio dispersivo, como las emulsiones y los soles. La morfología de las micelas, en los sistemas coloidales, es variada, y se distinguen tres tipos clásicos:

- Esféricas: cuyos coloides se llaman **globulares**, que son los más importantes, dentro de estos los de mayor importancia están formados por compuestos inorgánicos. Su grado de viscosidad es pequeño
- En forma de fibra: coloides fibrosos, formados por largas cadenas macromoleculares, de gran viscosidad.
- Laminares: coloides laminares de viscosidad intermedia.

3.- Propiedades de los sistemas coloidales:

El efecto Tyndall es el fenómeno por el que se pone de manifiesto la presencia de partículas coloidales, al parecer, como puntos luminosos debido a la luz que dispersan. Este efecto es utilizado para diferenciar las dispersiones coloidales de las disoluciones verdaderas. No pueden verse las micelas, pero si el movimiento que ellas describen, movimiento desordenado de las micelas que describen complicadas trayectorias en forma de zigzag, siendo el movimiento que describen, el movimiento Browniano, fenómeno ampliamente estudiado por Albert Einstein.

El movimiento debido a los choques de las moléculas de disolvente con las micelas coloidales, dificultando que estas se depositen en el fondo. El estudio detallado de

⁶ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Control de calidad y tratamiento del agua, Madrid, Instituto de estudios de administración local.1975. 273 p.

este movimiento permitió a Jean Perrin calcular uno de los primeros valores del número de Avogadro.

El color tan llamativo de muchos coloides, es otra característica importante y se debe a la dispersión selectiva de la luz por las micelas coloidales.

Las micelas están cargadas eléctricamente. Esta carga es debida a:

- La disociación de macromoléculas.
- La adsorción preferente por las micelas de uno de los tipos de iones presentes en el medio dispersivo.

Es por esto que todas las micelas de una dispersión coloidal, tienen cargas eléctricas del mismo signo.

Así cuando una dispersión coloidal se coloca, entre dos electrodos, los cuales están sometidos a una diferencia de potencial, todas las partículas coloidales, emigran hacia uno de los electrodos, fenómeno denominado electroforesis.

Si se ponen en contacto las micelas con el electrodo de signo opuesto, pierden su carga y se aglomeran, entonces precipitan en forma de grandes copos, a esto se denomina coagulación del coloide. Fenómeno determinante en el proceso de potabilización y purificación acuosa.

4.- Preparación de coloides:

La preparación de un sistema coloidal, se puede realizar mediante:

- Métodos de dispersión, esto es por disgregación de grandes partículas en otras más pequeñas.

- Métodos de condensación, es decir, unión de pequeñas partículas, hasta conseguir partículas de tamaño adecuado.

Los métodos de dispersión de tipo mecánico, para estos se utilizan molinos coloidales, que son molinos especiales y batidoras (Floculadores Mecánicos)

La disgregación de partículas grandes, en otras más pequeñas, también se puede obtener mediante reactivos químicos; por ejemplo, una disolución acuosa de hidróxido sódico puede disgregar los granos de arcilla hasta producir una dispersión coloidal.

Este proceso se llama peptización, y el activo químico que la produce, agente peptizante.

Los métodos de condensación, están basados normalmente, en reacciones químicas en las cuales se produce una sustancia insoluble, son las reacciones de precipitación.

Un método de condensación para preparar coloides de metales es el llamado Arco de Bredig. Consiste en hacer saltar un arco entre dos varillas del metal, sumergidas en el medio de dispersión; por ejemplo agua. Los metales primero se vaporizan en el arco después, se condensan en el agua fría y forman partículas de tamaño coloidal. Para que el coloide no precipite, se añade una sustancia estabilizadora.

5.- Estabilidad de los sistemas coloidales:

Al agitar en un vaso, una mezcla de aceite y agua, se obtiene una emulsión, pero esta inestable, ya que al dejar de agitarla, se distinguen perfectamente dos capas, una la de agua, en el fondo del vaso, y otra la del aceite, que queda en la superficie.

Los soles metálicos, también son dispersiones coloidales inestables. Estos coloides se pueden estabilizar mediante una sustancia que se llama estabilizador, impidiendo la tendencia de estas partículas a unirse entre si para formar otras mayores, coloides hidrófobos.

Hay algunas sustancias que forman directamente dispersiones coloidales estables. Estos coloides auto estables, se denominan hidrófilos.

- **Coloides hidrófilos:** Las sustancias que forman estos coloides son de naturaleza orgánica cuyas moléculas están constituidas por la larga cadena hidrocarbonada con un grupo polar en uno de los extremos.

Estas sustancias se disuelven en agua, ya que se forman enlaces de hidrógeno entre el grupo polar y las moléculas de agua, pero no son solubles cuando la parte hidrocarbonada es larga, ya que esta no es atraída por las moléculas de agua. Estas dos fuerzas opuestas, hacen que las moléculas se agrupen en pequeñas partículas, de tal forma que los grupos polares se orientan hacia la superficie y las partes hidrocarbonadas, hacia el interior de las partículas.

Las micelas están formadas por centenares de moléculas de agua que impiden que se unan entre si.

Los **Soles Hidrófilos**: Suelen ser reversibles, es decir, cuando precipitan y el líquido dispersivo se evapora, el líquido resultante se puede transformar de nuevo en una dispersión coloidal. A veces, para conseguir esta transformación es necesario un suave calentamiento.

La coagulación de algunos soles hidrófilos, da lugar a la formación de un producto que contiene gran parte del líquido dispersante y que recibe el nombre de **Gel**, por ejemplo, cuando un gel de concentración elevada, siendo este un sol hidrófilo de gelatina, y a gran temperatura, se deja enfriar cuajando entonces, formando un gel. Este gel, se emplea en la preparación de postres.

La formación del gel, se debe a dos factores principalmente:

1. El hinchamiento de las partículas coloidales.
2. La captura de gran parte del líquido de dispersión.

El gel recibe el nombre de jalea, cuando contiene una gran cantidad de componente líquido.

Los geles de algunas sustancias cuyos enrejados se forman por fuerzas débiles de **Van der Waals**, son bastante inestables y basta una leve acción mecánica para convertirlos de nuevo en soles.

Esta transformación de gel-sol, que suele ser reversible, recibe el nombre de **tixotropía**.

Son **Coloides hidrófobos**: Las dispersiones estables de coloides hidrófilos, por ejemplo jabón y agua, existe un perfecto equilibrio entre moléculas iguales y las fuerzas atractivas entre moléculas distintas. Cuando las últimas son mayores que las primeras se forma una disolución verdadera. Sin embargo, cuando las fuerzas de atracción entre moléculas iguales es mayor que entre moléculas no se forma la dispersión, a no ser, que se añada una sustancia estabilizadora.

La estabilización se consigue de dos formas:

1. Mediante los llamados Coloides Protectores: son Coloides Hidrófilos y su acción estabilizadora se debe a la formación de una capa monomolecular que rodea a las gotitas del coloide hidrófobo. La parte hidrocarbonada esta dirigida hacia dentro atraídas por las moléculas del aceite y los grupos polares, están dirigidos hacia la superficie atraídos por el conjunto de moléculas de agua.
2. Por absorción de iones; tiene lugar en Coloides Hidrófobos de naturaleza inorgánica. Al formarse las partículas coloidales, éstas, adsorben iones, presentes en el medio dispersivo. Esta adsorción es selectiva, las partículas solo adsorben una especie de iones. Como resultado de esta adsorción selectiva, las partículas coloidales, se cargan eléctricamente. Esta carga es variable de unas micelas a otras, aunque siempre del mismo signo, entonces las micelas se repelen entre si, evitando que se unan unas con otras.

Purificación de coloides

Los Coloides, en virtud de su preparación, sobre todo si es por reacciones químicas, suelen ir acompañados de iones, u otros componentes solubles de peso molecular bajo, los cuales han de eliminarse, hasta cierto punto. El principio en el que se basan en general los métodos de purificación es la considerable diferencia de tamaño entre las partículas coloidales y las moléculas en solución verdadera, por lo cual éstas pueden atravesar membranas, que en cambio son impermeables para las partículas dispersas.

Dispersión coloidal

Una dispersión coloidal es una suspensión de partículas divididas finamente en un medio continuo. Las partículas se denominan fase dispersa o coloide y el medio es el dispersante. La dispersión coloidal se diferencia de una solución ordinaria por el tamaño de las partículas.

Existen también otras dos clases generales de Coloides:

Liofílicos (gran atracción por el solvente) y **Liofóbicos** (poca atracción por el mismo) dependiendo de su naturaleza química, además, las partículas coloidales poseen una carga eléctrica neta que es la suma de la carga eléctrica de la partícula y de los anti-iones que los rodean cercanamente.

Debido a esta carga, las partículas migran en un campo eléctrico (fundamento de la electrofóresis).

La carga de las partículas coloidales puede neutralizarse añadiendo un electrolito lo que se refleja en la formación rápida de flósculos que se sedimentan rápidamente. A la concentración de electrolito a la que ocurre este fenómeno se llama valor de floculación.

Floculación de coloides

La estabilidad de un sistema es su capacidad para mantener su estado y completa homogeneidad en todo su volumen.

La sedimentación de las partículas coloidales, con la heterogeneidad consiguiente en el sistema, es tan lenta que normalmente es impedida por agitación térmica, en contraste con otras partículas más grandes que sedimentan más rápidamente.

Sin embargo hay casos en que las partículas de un sistema disperso sedimentan rápidamente, bien de forma espontánea en un tiempo corto o por adición de pequeñas cantidades de sales. Esto prueba que el tamaño de las partículas ha aumentado y se dice que el coloide ha floculado (o coagulado). Si por un cambio apropiado en el disolvente se invierte este efecto, se dice que ha habido desfloculación o precipitación.

En el caso de sistemas coloidales, la adherencia de partículas en colisión es en general la más importante de todas las posibles causas del aumento del tamaño de la partícula.

Toda agregación de partículas de un sistema, que da por resultado floculación, produce un cambio en el estado del sistema disperso y, como consecuencia una perturbación de su estabilidad. Por ello se puede hablar de estabilidad frente a agregación de sistemas dispersos, que indica que el sistema no flocula.

Un aspecto interesante en el proceso de floculación es la velocidad a la cual se produce ésta. Para que ocurra agregación de partículas, éstas han de entrar en colisión mutua y cuando todas las colisiones dan por resultado agregación, porque su energía térmica es suficiente para vencer la barrera de repulsión, hablamos de

repulsión rápida, mientras que, cuando no todas las colisiones son efectivas para producir agregación, hablamos de floculación lenta.

Sedimentación

Se entiende por sedimentación a aquellos fenómenos mediante los cuales los sólidos en suspensión cuyo peso específico es mayor que el del fluido que los contiene son separados del mismo, debido al efecto de la gravedad; para precipitarse posteriormente.

Los sólidos pueden estar presentes en el agua como ocurre naturalmente, como es el caso del limo o la arena, o en forma modificada de su estado natural, como resultado de los procesos de coagulación y floculación. Sea cual fuere el origen de las partículas, si son más densas que el agua es mayor su probabilidad de sedimentación, dando como resultado un fluido clarificado, y en el fondo de los tanques una suspensión más concentrada que se considera ha sido separada del mismo, en función de la concentración y de la tendencia de las partículas, se puede producir cuatro tipos de sedimentación.

Tipos de sedimentación:

Sedimentación de partículas discretas:

Se refiere a una sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. La deposición de arenas en los desarenadores es un ejemplo

Típico de sedimentación discreta.⁷

Sedimentación de partículas floculentas:

Se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad. En este tipo la densidad como el volumen de las partículas cambian a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante el mecanismo de la floculación y la precipitación química.

Sedimentación zonal o retardada:

En los sistemas que contienen elevadas concentraciones de sólidos, además de la sedimentación discreta y de la sedimentación floculenta, también suelen darse otras formas de sedimentación, como la sedimentación zonal y la sedimentación por compresión. La sedimentación por zonas se presenta en clarificadores con lodos coagulados químicamente, o activos con concentraciones que exceden los **500 mg/l**.

Sedimentación por compresión:

Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación sólo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.

⁷CEPIS/OPS. Centro panamericano de ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. Plantas modulares, 1996, pg. 105-108.

Procesos de tratamiento del agua:

En general las aguas son sometidas a un conjunto de operaciones y tratamientos por tal de que sean aptas para el consumo humano o para determinadas aplicaciones industriales.

El agua suministrada al público debe estar libre de impurezas, las cuales pueden ser insolubles (arcilla, sedimentos...) o solubles (contaminantes agrícolas o industriales). Todas estas impurezas deben reducirse a cantidades seguras, antes de que el agua sea enviada a las casas y fábricas. Los tratamientos empleados para reducir las impurezas pueden ser de naturaleza Física, Química o Bacteriológica:

- El tratamiento físico consistiría en someter al agua a decantación, natural o acelerada con agentes de floculación y posteriormente a filtración, mediante lechos filtrantes de arena o de carbón. Las aguas poco turbias pueden ser sometidas directamente a filtración sin la necesidad de pasar por la decantación.

- El tratamiento químico se lleva a cabo por tal de mejorar los caracteres químicos del agua y consiste en efectuar la decantación con una cantidad conveniente de calcio, por tal de reducir la dureza temporal o carbónica, seguida de un control final del PH.

- El tratamiento bacteriológico se realiza generalmente por oxidación, ya sea directa o con gas cloro debidamente regulado. La posibilidad de dejar en el agua una pequeña dosis de cloro libre, garantiza su total potabilidad bacteriológica al llegar a los consumidores, aunque en la red de distribución pueda haber puntos de

contaminación. Para evitar el gusto desagradable del cloro, hoy en día se estudia la posibilidad de la ozonización.

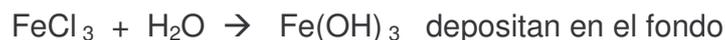
En estos tratamientos, los procesos más usados son:

1.- Filtración o filtraje:

Desde objetos tales como ramas de árbol, hasta partículas cualesquiera. Y la filtración propiamente dicha que se lleva a cabo mediante filtros de arena.

2.- Floculación:

Se realiza a fin de eliminar las partículas en suspensión coloidal. Para facilitar este proceso se añade una pequeña cantidad de sulfato de aluminio o de cloruro férrico en medio ligeramente básico. Estas sustancias provocan la precipitación de los hidróxidos correspondientes y que por sí mismas no sedimentarían:



3.- Eliminación de sales disueltas:

También llamada ablandamiento del agua y que consiste en la eliminación de los iones Ca y Mg por precipitación o por intercambio iónico, añadiendo carbonato de sodio para cambiar los iones calcio o magnesio por iones sodio. Esta reacción,



Va seguida de una filtración para separar los precipitados formados.

4.- Esterilización:

Se realiza mediante cloración, hasta alcanzar concentraciones de cloro de 0'1 a 0'2 ppm (partes por millón) ya que concentraciones superiores a 0'4 ppm comunican sabor al agua. La esterilización puede efectuarse también mediante ozono (O₃) o radiaciones ultravioletas, para eliminar bacterias o sustancias nocivas.

En la planta:

El agua turbia y con partículas grandes en suspensión se trata así:

1. Captación: El proceso comienza con la captación del agua del río, que se lleva a cabo mediante unas rejillas de captación, suficiente para que entre bastante caudal pero no tierra ni grandes cuerpos en suspensión.

2. Pre-coloración: se le añade cloro al agua para eliminar amoníaco y para evitar la formación de algas. El cloro se encuentra en unos tanques en estado líquido, mediante unas resistencias pasa a gas y entonces se le añade al agua.

3. Cámaras desarenadoras: al agrandar la sección de paso del agua, ésta pierde velocidad y esto permite que la arena y las partículas más grandes se depositen. Como el agua ya no contiene arena se puede bombear más fácilmente, llegando por su propio desnivel a:

4. Cámara de mezcla: el agua está turbia y para depositar las partículas (muy pequeñas) que le dan tono opaco, se sigue el proceso de floculación, ya comentado antes.

-adición **sulfato de aluminio**

-adición cloruro de hierro

5. Decantadores: los correspondientes hidróxidos que se han formado se sedimentan en los decantadores, quedando el agua sin turbiedad. Agua no turbia pero tampoco cristalina:

6. Filtros de Arena: después de los procesos de floculación y sedimentación, el agua acaba su proceso de aclaración pasando a través de un lecho de arena de unos 60 cm de espesor, de manera que pierda las pequeñas partículas en suspensión que le queden. No hay que olvidar, la Galería de Control de filtros, donde se encuentra una serie de controladores de la presión que sirven para saber como están los filtros de llenos.

7. Bombeamiento Intermedio: la incorporación de nuevas fases en el tratamiento del agua tales como la ozonización y la filtración con carbón activo, hacen indispensable un bombeamiento intermedio para que el agua pueda recorrer todas las nuevas fases y llegar hasta los depósitos de agua tratada.

Agua clara pero con disoluciones detergentes y orgánicas:

8. Instalación de Ozonización: en la planta no hay tanques que contengan ozono, sino que tienen que producirlo ellos: cogen aire de la atmósfera, lo secan y le transmiten una diferencia de potencial de unos 12000 V para que las moléculas de O_2 se separen y en unirse se obtengan moléculas de ozono (O_3), que se concentrará en el aire en un 4,5%. Posteriormente, este ozono se suelta en el agua donde reacciona rápidamente destruyendo los componentes orgánicos.

9. Filtros de Carbón Activo: el carbón activo, que actúa de forma parecida a los filtros del tabaco, tiene la capacidad de coger partículas de tamaños muy pequeños, tales como las sustancias orgánicas o los detergentes.

Destacar que este carbón se regenera con bastante frecuencia en los llamados hornos de regeneración, de modo que se recupera casi el 90% del carbón usado, que se renovará pasados 3 años.

10. Postcloración: el agua ya está completamente limpia, pero para su total potabilidad y sobretodo por seguridad, se hace una última cloración, de manera que llegue en perfectas condiciones a los usuarios.

A partir de aquí, el agua ya está en perfectas condiciones para su consumo en las ciudades o zonas industriales, pero antes de que podamos hacer uso de este recurso tan valioso, el agua ha de llegar hasta nosotros.

Es por eso, que al salir de la planta potabilizadora, el agua es bombeada para su posterior almacenaje en los llamados depósitos de servicio. Estos depósitos están situados a determinadas alturas, las suficientes para que el agua, llegue a todas las partes.

Después de su utilización, esta agua, antes de ser devuelta a la naturaleza debe depurarse, porque de otro modo la calidad del agua iría empobreciendo con el tiempo.

Así es como se pasa a otro de los procesos que sigue el agua, que es el que se conoce con el nombre de Depuración de aguas residuales, que se puede definir como el conjunto de operaciones a que son sometidas las aguas residuales para eliminar impurezas, antes de verterlas al medio ambiente (ríos, mares,...). Este proceso comprende:

- 1.- Eliminación de materias gruesas por rastrillado.
- 2.- Eliminación de arenas.
- 3.- Eliminación de espumas.
- 4.- Sedimentación en balsas decantadoras para la separación de los lodos.

Los lodos se degradan mediante fermentación y pueden ser empleados para elaborar abonos.

Los gases desprendidos se queman, pudiéndose utilizar como combustibles.

Posteriormente y para finalizar ya, el agua puede ser devuelta a la naturaleza, de donde el hombre volverá a abastecerse una vez más, creando así una especie de ciclo que nunca acaba.

De forma resumida, el ciclo consta de las siguientes partes:

- 1.- Captación de los recursos hidráulicos existentes en la naturaleza.
- 2.- Tratamiento del agua en función del uso posterior.
- 3.- Sistema de almacenaje y distribución de la misma a los puntos de consumo (red de distribución y depósitos).
- 4.- Uso de agua.
- 5.- Sistema de recogida del agua utilizada (red de alcantarillado).
- 6.-Depuración del agua residual en función del medio receptor y del tipo de vertidos.
- 7.- Vertido final a los cauces o masas de agua naturales.

El proceso de potabilización del agua

El proceso de potabilización se puede dividir en tres grandes etapas:

1. Coagulación - floculación - decantación
2. Filtración
3. Desinfección

1 - Coagulación - floculación - decantación

El agua presenta turbiedad y color debido a que posee partículas en suspensión y/o solución, como por ejemplo: arcillas, minerales, materias orgánicas, microorganismos, etc. Estas partículas son muy pequeñas y no pueden separarse del agua por simple sedimentación.

La Coagulación consiste en la "desestabilización" de las partículas mediante un producto químico (coagulante) y agitación brusca. El coagulante utilizado es el Sulfato de Aluminio y la agitación brusca se realiza en las canaletas **PARSHALL**. Estas canaletas tienen determinadas características en su construcción que provocan alta turbulencia de agua.

Juntamente con el sulfato se aplica cal común para corregir el pH (acidez), y ayuda en el proceso de floculación. Las partículas desestabilizadas se "aglomeran" en partículas de mayor tamaño, denominadas flocs, en cámaras conocidas como floculadores, donde el agua se agita lentamente y permanece el tiempo necesario para la formación de los flocs.

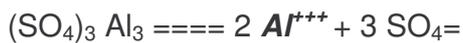
Los flocs al poseer mayor tamaño y peso que las partículas que los originan, tienen además mayor velocidad de sedimentación. Esto permite separarlos del agua en los decantadores, donde se obtiene "agua parcialmente clarificada" y "barros".

El agua parcialmente clarificada es el agua sobrenadante que sale de los decantadores por la parte superior, y es conducida a la etapa de filtración.

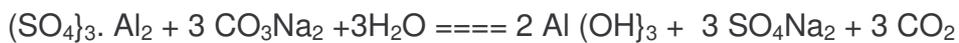
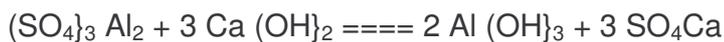
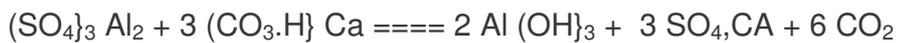
Los "barros" son recolectados en el fondo de los decantadores y devueltos al arroyo a través de un sistema de cañerías construido a tal fin.

Importancia del ph en la coagulación

Usando sulfato de alúmina como coagulante, podemos expresar la reacción de ionización en el agua así:



Al reaccionar los iones Al^{+++} con los iones hidroxilo, consecuencia de la alcalinidad del agua (bicarbonatos) o por la cal apagada o sosa añadida si era insuficiente, se formará hidróxido de aluminio:



Para cada tipo de agua hay un **Ph.** óptimo, en el que la precipitación de hidróxido de aluminio es máxima

Las anteriores reacciones son reversibles, y, por otra parte, si la dosis de álcali utilizado es insuficiente o excesiva, puede dar lugar a la formación de sales básicas o ácidas de aluminio (aluminatos) bastante complejas y, además, son solubles,

motivo este por el cual el agua filtrada puede contener indicios de aluminio, mientras que el hidróxido de aluminio formado a un Ph. determinado no es soluble, por lo que difícilmente pasará a través del filtro en la fase de filtración, subsiguiente a la coagulación, floculación y sedimentación.

La coagulación depende de una serie de características físico-químicas del agua y muy especialmente del Ph. Se sabe que para unas determinadas aguas hay una zona de Ph. en la que una dosis mínima de la sal de Al^{+++} origina una coagulación óptima, lo que dará lugar a la formación de un buen flóculo; así, vemos en la figura 5 que para un agua determinada, en el que se ha ido variando su Ph. inicial, se observa que para Ph. iniciales comprendidos entre 6,9 y 8,0, el Ph. óptimo de coagulación (potencial zeta = 0) se sitúa en la región de 6,7 a 6,9, mientras que también se ha observado que a medida que el Ph. inicial del agua se hace mayor, la dosis de coagulante requerida para la anulación del «potencial Z» también es mayor pudiendo deducirse que para los Ph. iniciales más elevados, una parte importante del sulfato de alúmina es empleada en la acidificación, por tanto, podría acidificarse previamente el agua, mediante ácidos y economizarse así parte del sulfato de alúmina.

Por otra parte, la súper dosis de sulfato de alúmina, con objeto de bajar el Ph. puede, a la vez, originar la formación de un abundante precipitado de hidróxido de aluminio, menos denso que el flóculo formando en la neutralización de los Coloides por las cantidades requeridas de sulfato de alúmina y la acidificación previa si es necesario.

La hidrólisis del sulfato de alúmina debe ser total, para asegurarse que nada pase al agua filtrada. Siendo el Ph. de hidrólisis total del sulfato de alúmina del orden de

6,5- 7,5, a Ph inferiores o superiores, puede quedar en solución y encontrarse por tanto en el agua filtrada.

De los anteriores conceptos se deduce que para obtener una buena coagulación se debe trabajar a un Ph comprendido entre el de hidrólisis y el de coagulación, y, por otra parte, para que la coagulación origine una buena floculación se deberá usar la menor dosis posible de sulfato de alúmina. .

Estos tres factores de hidrólisis, coagulación y floculación se deben controlar continuamente, podemos decir entonces que de la naturaleza del agua dependerá el Ph con el cual se produce la mejor coagulación, y para que el agua filtrada contenga los menores indicios posibles de Al^{+++} se deberá operar a un Ph comprendido en el de hidrólisis total.

Lógicamente, por la hidrólisis del sulfato de alúmina el Ph del agua disminuye, pudiendo llegar a ser agresiva, y entonces es posible que sea necesario incorporar un reactivo que eleve este Ph, generalmente, se suele utilizar hidróxido cálcico, esta elevación del Ph se debe realizar después de adicionado el coagulante, pues en, caso contrario puede dar lugar a la disolución de algunas materias sólidas, generalmente orgánicas, con lo que podrían escapar a la filtración y pasar al agua filtrada.

También es posible que el Ph óptimo para una buena coagulación comunique al agua ya decantada un cierto carácter agresivo, por lo que se debe aumentar, posteriormente, este Ph.

Como la coagulación resulta de la neutralización de las cargas eléctricas de los Coloides y del hidróxido de aluminio (usando sulfato de alúmina como coagulante),

puede ocurrir que si después de coagulada el agua, se eleva el Ph, la carga eléctrica de los hidróxidos se invierte, originándose una repulsión entre los hidróxidos y los hidróxidos-Coloides, al cargarse negativamente ambos, con lo cual los flóculos formados se deshacen pasando todo a su primitivo estado de coloide. Para evitar este inconveniente, el Ph de un agua coagulada no se debe elevar antes de haberle eliminado los flóculos.

En la coagulación se están empleando actualmente coadyuvantes para favorecer la coagulación con el sulfato de alúmina, al formar flóculos más cohesionados y densos.

El sulfato de alúmina da lugar, por hidrólisis, a un precipitado de hidróxido de aluminio, que tiene una carga eléctrica positiva (en la zona de Ph bajo a que se trabaja), que, como ya se indica, neutraliza a las partículas de signo opuesto que existen en el agua, pero al ser adsorbidas estas partículas del agua por el coagulante suele quedar una carga eléctrica positiva residual en la superficie de los agregados formados entre coagulante y partícula, que origina una repulsión entre estos agregados (flóculos), que puede ser superior a las fuerzas de cohesión, con lo cual se impide que la aglomeración continúe.

Otros ayudantes de la coagulación, que también se emplean en el tratamiento del agua, son los poli electrolitos. Un poli electrolito es un polímero que puede disociarse dando iones cargados eléctricamente, estos polímeros son de alto peso molecular, un ejemplo de estos productos son las poliacrilamidas.

Cuando el agua se trata únicamente con sulfato de alúmina, sólo se consume una parte del sulfato de alúmina para realizar la precipitación de color y de la materia coloidal, actuando el resto como floculante de una eficacia relativamente baja,

formando un gel de hidróxido de aluminio que va englobando a los coágulos formados, originando la coprecipitación.

El uso de los coadyuvantes de floculación permite reducir la dosis de sulfato de alúmina hasta la cantidad suficiente para eliminar la materia coloidal y el color, ya que el poder floculante del coadyuvante es superior al del sulfato de alúmina.

En ensayos realizados con objeto de observar la reducción en la turbiedad del agua, después de floculada y decantada, sin el empleo de coadyuvante alguno y con el empleo de alguno de ellos, se ha llegado a obtener una reducción en la turbiedad de hasta el 60 % más que en los ensayos en que se empleó sólo sulfato de alúmina sin coadyuvante alguno.

Cinética de la floculación

La velocidad de floculación de una dispersión coloidal o sol, depende de la frecuencia del choque de las partículas entre sí y de la probabilidad de que su energía térmica sea lo suficientemente grande como para superar a la energía potencial de repulsión para la floculación cuando los encuentros entre las partículas tienen lugar.

Considerando que no haya barrera de energía potencial y que cada choque entre las partículas dé lugar a un contacto permanente, **Smoluchowski** desarrolló una teoría de floculación rápida. Supone que la floculación sólo está controlada por la difusión, en el caso de un sol mono-disperso en que las partículas sean esféricas se tendrá:

$$n = \frac{n_0}{(1 + A\pi D a n_0 t)}$$

Donde:

n = el número de partículas por mililitro al cabo de un tiempo de floculación.

t = Tiempo de floculación.

n_0 = el número inicial de partículas por mililitro.

a = el radio efectivo de las partículas.

D = el coeficiente de difusión.

Conociendo el valor del coeficiente D , resulta posible, por medio de la anterior ecuación, calcular, por ejemplo, el tiempo necesario para que el número de partículas llegue a ser la mitad, un tercio, etc., del número inicial de partículas.

La cinética de la floculación se puede estudiar al estabilizar la dispersión coloidal por medio de gelatina en un momento dado ya ciertos intervalos de tiempo y contar entonces las partículas con la ayuda de un ultramicroscopio.

En el caso de existir una barrera de energía potencial de repulsión, sólo algunos de los choques entre las partículas darán lugar a contactos permanentes, no pudiéndose, por tanto, aplicar las fórmulas anteriores, es decir, la energía potencial retrasa la velocidad de floculación.

Debido a la complejidad de las reacciones entre las sustancias del agua y los reactivos añadidos, la influencia del Ph, temperatura, grado de agitación, etc., es difícil hallar la dosis de reactivos exacta, necesaria para obtener una buena coagulación, aún cuando se conozcan las sustancias presentes en el agua.

En la práctica, para conocer la dosis óptima de sulfato de alúmina, hidróxido cálcico u otro reactivo, así como el Ph óptimo, se recurre a los ensayos de floculación en laboratorio, con los cuales, y mediante tanteos, llegamos a conocer las dosis óptimas de reactivo, según el período y grado de agitación escogido.

Para realizar estos ensayos de floculación, se utiliza un floculador, que en esencia es un agitador formado por una serie de vasos, en cada uno de los cuales se introduce una paleta agitadora, accionada por un motor eléctrico, que comunica las mismas revoluciones a todas las paletas. En los vasos, generalmente de un litro de capacidad, se introduce el agua con los reactivos correspondientes. Para que los resultados de los vasos sean comparables, la velocidad de rotación de cada paleta, como ya hemos dicho, deberá ser igual. Las paletas deberán poder girar entre 20 y 200 rpm.

El modo de proceder es el siguiente:

-Se toma un litro de agua a ensayar en cada uno de los vasos del agitador, habiéndose determinado previamente algunas de las características más importantes del agua, tales como turbiedad, color, Ph y alguna otra que también interese, según el tratamiento al que posteriormente se va a someter.

-Puesta en marcha la agitación, se van añadiendo a cada vaso las dosis de los reactivos a emplear que, como primera aproximación, se hayan escogido.

A mayor escala, dentro ya de la Estación de Tratamiento, generalmente el coagulante se suele introducir antes que el álcali, de igual modo que el cloro usado en precloración puede ser más eficaz adicionándolo antes que el coagulante, de todas formas, los ensayos de laboratorio son los que permiten ver el orden en la dosificación.

-La agitación se mantendrá durante 20 minutos, siendo conveniente los dos primeros minutos agitar a la máxima velocidad y los restantes, a la velocidad que se haya escogido, generalmente 50 rpm.

-Se anota el momento en que en cada vaso aparece el primer flóculo visible, de igual modo, al final de la agitación se anota el aspecto, cantidad y tamaño de los copos y cualquier observación que, posteriormente, nos pueda servir para diferenciar un vaso de otro.

-Finalizada la agitación se dejan en reposo todos los vasos un determinado tiempo, generalmente 10 minutos, para que sedimenten los flóculos formados

-A continuación se decanta una porción de agua de las partes superiores de cada vaso, midiendo en estas muestras de agua decantada el color, turbiedad y Ph principalmente. También puede hacerse más completo el ensayo pasando una parte del agua decantada de cada vaso por un filtro de papel y medir después el color y turbiedad del agua filtrada.

-Por último, se interpretan los resultados obtenidos, de forma tal que las dosis de reactivos añadidos a la muestra en la cual la reducción del color y turbiedad del agua decantada sea mayor las consideremos como las dosis óptimas.

Generalmente, estos ensayos deben realizarse manteniendo constante, ya sea el p H, y variando las dosis de coagulante y coadyuvante o a la inversa. También deben ensayarse diversos períodos y velocidades de agitación.

Se resumen los resultados de un ensayo de coagulación-floculación en vaso, en el que el Ph óptimo de coagulación la dosis de coadyuvante poli electrolito se ha comprobado por ensayos anteriores de tanteo, que eran 6, 9 y 0,1 respectivamente. Se trata ahora de conocer la dosis óptima mínima de coagulante y la del álcali.

A la vista del resultado visual y el análisis del agua decantada, vemos que una dosis de 20 ppm es, en este caso, la más óptima para 0,1 ppm de poli electro y un Ph de coagulación de 6,9.

Las dosis de reactivos vienen dadas en ppm (partes de millón), equivalente a mg de reactivo por litro de agua. La unidad de medida usada para el color es la unidad Allen.Hazen (cloroplatinato potásico-cloruro de cobalto) y la unidad de medida para la turbiedad la NTU (Unidad Nefelométrica de Turbiedad).

Obtenida la dosis óptima aproximada del coagulante, se tratará por medio de otro ensayo ajustar más esta dosis, realizando otra serie con dosis, por ejemplo, de 18, 19, 20, 21 y 22 ppm de sulfato de alúmina.

Otro medio de conocer y controlar el proceso de coagulación, muy practico, es el del filtro piloto, consistente en tomar una muestra de agua, y siguiendo el mismo proceso de adición de reactivos que el de la propia planta, filtrar a continuación por un filtro piloto en las mismas condiciones, controlando diversas características del efluente, principalmente el color, la turbiedad y el contenido de aluminio.

Para que las partículas que se encuentran en el agua y las del coagulante puedan coagular, será preciso que estén en contacto unas con otras, por lo tanto será necesaria una agitación del líquido para mantener este contacto. Esta agitación deberá ser rápida durante un breve período inicial para dispersar bien la coagulación y favorecer las reacciones de coagulación, y más lenta durante el período de floculación.

El contacto entre las partículas se verá aumentado a medida que aumenta su concentración en el agua, con este objeto es conveniente que en el liquido se

conservar una determinada cantidad de flóculos que anteriormente se han formado. Durante la floculación la agitación deberá ser lo suficientemente lenta para no deshacer los flóculos formados, dando entonces nuevamente lugar a una suspensión coloidal.

Las instalaciones de floculación son actualmente muy variadas, abarcando desde sencillos depósitos de floculación, con placas deflectoras, hasta las instalaciones provistas de agitadores mecánicos de paletas, manteniéndose en parte de estas instalaciones, el contacto entre las partículas formadas en tratamientos anteriores y las que se están formando en cualquier momento. Existen instalaciones en las que en una misma instalación se realiza la mezcla, coagulación, floculación, sedimentación y eliminación de los precipitados, son estos en general los floculadores-decantadores.⁸

2 - Filtración

El filtro está formado por una capa de canto rodado grueso, utilizado como soporte; otra capa de canto rodado fino, una capa de arena gruesa y por último una capa de arena fina.

⁸Caracterización y concentración del aluminio en el tratamiento del agua: Publicado en la página de Walter Research Commission

Coagulation and Flocculation Process Fundamentals : Página en inglés, de Minnesota Rural Water Association, con descripciones y esquemas de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

Coagulantes inorgánicos de uso frecuente en el tratamiento del agua. Publicación del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.

Coagulación y floculación de contaminantes del agua. Publicación en la página de "Ciencia Abierta" de la Universidad de Chile.

El agua ingresa por la parte superior de los filtros y es recolectada en el fondo por aspiración utilizando una bomba centrífuga que la recolecta y la conduce a través de un sistema de cañerías. Estos filtros se van atascando y deben ser lavados, operación que se realiza con agua potable a contracorriente. Para ello cada unidad filtrante de la planta cuenta con válvulas y dispositivos adecuados. En la etapa de filtración quedan retenidas las partículas que han logrado superar la decantación y que permanecen en el agua parcialmente clarificada.

3 - Desinfección

El agua filtrada, a pesar de ser un agua completamente clarificada, puede contener microorganismos. La desinfección se realiza con el fin de obtener desde el punto de vista microbiológico un agua apta para el consumo humano. La desinfección se realiza mediante el agregado de cloro que asegure la eliminación de bacterias nocivas. En estas condiciones el agua ya es potable y es conducida a los tanques de reserva, desde donde se distribuye a la ciudad mediante bombas adecuadas.

Proceso continuo de floculación-coagulación

La **floculación** es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior remoción. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

Los compuestos que están presentes en el agua pueden ser:

- Sólidos en suspensión;
- Partículas coloidales (menos de 1 micra), gobernadas por el movimiento browniano; y, Sustancias disueltas (menos que varios nanómetros).

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso muchas veces se habla de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado **coagulante** el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre si; La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores. Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

La solución floculante más adaptada a la naturaleza de las materias en suspensión con el fin de conseguir aguas decantadas limpias y la formación de lodos espesos se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación por formación de puentes inter- partículas

Antecedentes teóricos de la floculación

El propósito del proceso de floculación es promover el crecimiento y agrupación de las partículas contenidas en el agua, aumentando su tamaño y peso, para

conseguir una fase más efectiva de separación en los procesos unitarios subsiguientes.

El proceso consiste en someter al agua a un período de agitación lenta (floculación o mezcla lenta) para promover la formación de flóculos más grandes y sedimentables.

Las variables más importantes del proceso de floculación son: la concentración de coagulante (D), la intensidad de agitación con que la suspensión es mezclada en el tanque de floculación, expresada como gradiente de velocidad (G) y el tiempo de retención (T).

La cantidad de coagulante requerida para obtener una concentración residual dada de sólidos suspendidos después de la floculación y sedimentación, es una función de numerosos factores que incluyen: características químicas del agua, tipo y concentración de las partículas suspendidas, duración e intensidad de la agitación (G), entre otros factores.

La floculación es ortocinética y pericinética, siendo la primera producida por la energía disensada al agua por fuerzas externas (energía mecánica y/o hidráulica), y la segunda, por el movimiento normal de las partículas (movimiento Browniano y gravedad).

La teoría inicial de la floculación ortocinética fue desarrollada por Von Smowluwchowski,⁹ quien expresa la frecuencia de colisiones en función del número de partículas, radio y energía.

⁹ CEPIS/OPS. Centro panamericano de ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. Plantas modulares, 1996, pg. 125-140.

$$J = \left(\frac{4}{3}\right) * n_1 * (n_2)^2 R \left(\frac{dn}{dz}\right)$$

Ecuación que es modificada por Camp y Stein

$$J = \left(\frac{4}{3}\right) * n_1 * (n_2)^2 R G$$

Donde:

J = Número de contactos
n1 = Número inicial de partículas
n2 = Número final de partículas
R = Radio de las partículas
dn/dz = diferencial de velocidad
G = Gradiente de velocidad

Estas ecuaciones, a pesar de presentar deficiencias teóricas apreciables, tienen amplia aplicación práctica.

Diversos autores, tales como Hudson, Fair y otros, han tratado de integrar, con algún éxito, la primera de las ecuaciones, Harris y Kaufman obtienen expresiones como:

$$\frac{n_1^0}{n_2^m} = \frac{(1 + K\phi GT)^m}{m}$$

Donde:

n_1^0 = Número inicial de partículas

n_2^m = Número final de partículas

K = Coeficiente

ϕ = Diámetro

G = Gradiente de velocidad

T = Tiempo de floculación

m = Número de compartimentos

En el cual se llega a definir la eficiencia del proceso en función de las características de la suspensión, del tamaño del floculo, del tiempo de retención, gradiente de velocidad y del número de compartimentos.

En estudios realizados, Aargaman y Kaufman incorporaron las constantes de aglomeración y ruptura en el mecanismo de floculación y desarrollaron la siguiente expresión:

$$\frac{n_1^0}{n_2^m} = \frac{(1 + K\phi GT)^m}{1 + K_B G^2 \frac{T}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \left(1 + K_A G \frac{T}{M}\right)^i}$$

Donde:

K_A = Constante de aglomeración que depende de la característica de la agitación.

y, aparentemente, también del tipo de floculador usado (es a dimensional).

K_B = Constante de ruptura. La ruptura o erosión de los flóculos formados ha sido observada por muchos Investigadores.

T = Tiempo de retención (s)

G = Gradiente de velocidad (s-1)

m = Número de compartimentos (U)

Para sustrato de arcilla y coagulación con sulfato de alúmina, las constantes de floculación tienen aproximadamente los siguientes valores:

$$K_A = 10^{-4.3}$$

$$K_B = 10^{-7s}$$

Dos importantes condiciones se extrajeron del trabajo ejecutado por Argaman y Kaufman:

La existencia de un período de tiempo antes del cual no hay floculación, cualquiera que sea el valor de g.

Que la compartimentalización reduce significativamente el tiempo total de retención para el mismo grado de tratamiento. Esta segunda conclusión ha sido confirmada por muchos investigadores y la práctica de diseño recomendable es de número de tres compartimentos.

El concepto de "aglomeración" y "ruptura" de las partículas floculadas es actualmente aceptado y muchos estudios recientes, han incorporado estos conceptos. El mecanismo de ruptura del flóculo en procesos de floculación turbulenta ha sido estudiado por Parker, Kaufman y Jenkis. En estudios realizados Andreu - Villegas y Letterman se demuestra que los de K_A y K_B no son constantes sino que varían exponencialmente en función de G y que para cada calidad de agua y un gradiente de velocidad específico hay un tiempo de retención óptimo.

Con valores bajos de G, el coeficiente de ruptura tiende a disminuir hasta obtener un valor asintótico KB/KA.

Andreu - Villegas y Letterman realizan un importante aporte en el área de la floculación y en su reciente estudio indicaron la existencia de valores óptimos para el tiempo de floculación T y el gradiente de velocidad G.

Al incrementarse la concentración de la alúmina, las rectas tienden hacia las abscisas. Las líneas rectas de mejor ajuste de todas las series tienen esencialmente las mismas pendientes.

Del análisis de estas curvas se obtuvo la expresión matemática siguiente:

$$(G^*)^{2.8} T = K$$

Siendo los valores de $K=4.9 \times 10^5$, 1.9×10^5 y 0.7×10^5 para concentraciones de alúmina de 10 mg/l, 25 mg/l y 50 mg/l respectivamente.

El hecho de que K es directamente proporcional a $(G^*)^{2.8}$, cuando t permanece constante y decrece cuando se incrementa la concentración de alúmina, indica que el valor de G óptimo disminuye al aumentar la concentración de alúmina. Esto concuerda con los resultados de Ames y Kawamura.

Los proyectos realizados en el Perú y Costa Rica con la colaboración del CEPIS, permiten generalizar la anterior ecuación a la siguiente forma:

$$(G^n) \times T = K$$

Variando los valores de "n" y "K" en función de calidad de cada agua.

De acuerdo a las características del material contenido en el agua, se recurre a la elección de uno o de varios procesos para su eliminación. Mientras que el material en suspensión siempre se separa por medios mecánicos, por medio o no de la gravedad, el material coloidal requiere un tratamiento fisicoquímico preliminar. Las partículas coloidales poseen cargas superficiales electrostáticas lo que da origen a fuerzas de repulsión entre ellas que les impida aglomerarse para posteriormente sedimentar. Por consiguiente, se hace necesario recurrir al proceso de coagulación-floculación como mecanismo de tratamiento para su eliminación. La coagulación se refiere a la desestabilización de las partículas suspendidas, que consiste en la eliminación de las fuerzas o neutralización de las cargas que las mantienen separadas, lo cual se consigue con la adición adecuada de una sustancia coagulante (electrolito) al agua, generándose una serie de reacciones físicas y químicas entre el coagulante, la alcalinidad, el agua y la superficie de las partículas, proceso que dura fracciones de segundo, mientras que la floculación se refiere al transporte de las partículas ya desestabilizadas dentro del líquido para que haga contacto y formen pequeñas masas llamadas floc o flóculos, las cuales posteriormente son removidos por diferentes procesos como sedimentación, filtración, flotación, o una combinación de ellos.

Factores que influyen en la floculación

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.

La coagulación se consigue mediante una difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua objeto del tratamiento, empleando medios de agitación rápida. Tras la neutralización de las partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en disposición de aglomerarse, esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudadas ahora por una agitación lenta, es el objetivo de la floculación.

Un mezclador rápido

La floculación tiene lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, esta debería estar clara, si esto no ocurre, lo más probable, es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.

En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el Ph. y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para

conseguir una óptima coagulación. El tiempo de esta mezcla rápida, en la correspondiente cámara de mezcla, suele ser del orden de 1 a 3 minutos.

A continuación de la etapa de coagulación tiene lugar un segundo proceso llamado floculación, este tiene lugar tras someter a los microfloculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores o floculos visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los floculos ya formados. Los floculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial.

En el siguiente cuadro se resume la reducción que puede conseguir, de determinados parámetros o sustancias presentes en el agua mediante la coagulación

EFECTOS DE LA COAGULACION SOBRE LAS SUSTANCIAS CONTENIDAS EN EL AGUA			
PARAMETROS	REDUCCION MAXIMA OBTENIDA MEDIANTE LA COAGULACION (*)	PARAMETROS	REDUCCION MAXIMA OBTENIDA MEDIANTE LA COAGULACION (*)
MINERALES		ORGANICOS	
TURBIEDAD	+++	COLOR	+++
MATERIAS EN	+++	OLOR	0, +
FOSFATOS	+++	DQO	+++
NITRATOS	0	COT	+++
AMONIO	0	DBO	+++
CLORUROS	0, +	N KJENDHAL	+++
SULFATOS	0, +	FENOLES	0
FLUORUROS	++	HIDROC. AROMATICOS POLICLINICOS	++
HIERRO	+++		
ALUMINIO	+++	PESTICIDAS	+++
MANGANESO	+	AGENTES DE SUPERFICIE	0, +
COBRE	+++		
ZINC	++		

COBALTO	0		
NIQUEL	0		
ARSENICO	+++ As ⁺⁵ ,		
CADMIO	++, +++	MICROORGANISM	
CROMO	+ Cr ⁺⁶ , +++ Cr ⁺³	VIRUS	+++
PLOMO	+++	BACTERIAS	+++
MECURIO	++	ALGAS	++
CIANUROS	0		

Tabla 3 efectos de la coagulación¹⁰

REDUCCION MAXIMA OBTENIDA MEDIANTE LA COAGULACION:

- 0 Nada de reducción
- + 0 a 20% de reducción
- ++ 20 a 60% de reducción
- +++ > 60% de reducción

Coagulación - floculación

El proceso de tratamiento del agua para su potabilización comprende diversas fases fundamentales que son, principalmente: la precloración, coagulación, floculación, filtración y desinfección. El comportamiento del agua ante cada una de estas fases o ante el conjunto de todas ellas difiere según las características del agua a tratar, o si el tratamiento se dirige a la producción y acondicionamiento del agua para usos industriales específicos, o bien el tratamiento se aplica sobre aguas residuales urbanas, industriales, etc., los procesos, aunque en algunas

¹⁰ Tomado de PÉREZ CARRIÓN, José; CÁNEPA DE VARGAS, Lidia; CEPIS (Lima, PE). Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado. Guía para diseño de plantas de potabilización En: Manual DTIAPA, C-3. Lima (PE), CEPIS-DTIAPA, 1984

fases son bastante análogos, no pueden en cambio considerarse totalmente iguales.

Una de las fases principales en las instalaciones para el tratamiento del agua, es la eliminación de suspensiones coloidales y partículas de impurezas suspendidas en el agua.

Las operaciones mediante las cuales se facilita la sedimentación de estas suspensiones y partículas para su posterior eliminación se conocen con el nombre de coagulación y floculación. El control de la coagulación y floculación, en una planta de tratamiento de agua, es una de las fases más importantes y difíciles del proceso general.

Para llegar a un mejor conocimiento de las operaciones de coagulación y floculación, es conveniente recordar previamente lo que se conoce con el nombre de estado coloidal.

En primera aproximación, se pueden considerar como moléculas o partículas coloidales aquéllas que tienen una dimensión comprendida entre $1 \text{ m}\mu$ y $0,2 \mu$.

Dentro de los sistemas coloidales, los que más nos interesa conocer ahora son los sistemas dispersos, en los cuales hay dos fases bien diferenciadas, la fase dispersa y el medio de dispersión.

Dentro de los procesos unitarios que se le realiza al agua para su potabilización esta la llamada floculación, que es en sí la transformación de las impurezas que se encuentran en estado coloidal o en solución en partículas de mayor tamaño, con el fin de poder ser retenidas en los procesos posteriores como la sedimentación y filtración.

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad tal que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de un tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y formación de una partícula más pesada y poder así sedimentar. Estas partículas, con una dimensión que suele estar comprendida entre $1\text{m}\mu$ y $0,2\mu$, son verdaderas partículas coloidales. Que están es disposición de aglomerarse, ayudadas ahora por un medio hidráulico, que es el objetivo de la floculación.

En primera aproximación, se pueden considerar como moléculas o partículas coloidales aquellas que tienen una dimensión comprendida entre $1\text{m}\mu$ y $0,2\mu$.(*) Dentro de los sistemas coloidales, los que más nos interesa conocer ahora son los sistemas dispersos, en los cuales hay dos fases bien diferenciadas, la fase dispersa y el medio de dispersión.

Entre los tipos de dispersiones coloidales, el que va a ocupar la atención, al estudiar la Floculación, es aquel en que la fase dispersa es un sólido y el medio de dispersión un líquido.¹¹

En la interfase entre la fase dispersa y el medio de dispersión hay que considerar propiedades superficiales muy importantes, tales como la adsorción y los efectos de doble capa eléctrica.

¹¹ ROBERTO SALAZAR CANO. Conferencias Sanitaria II Floculación 2001 75 p.

Los sólidos que se encuentran en el agua, tales como arcilla, materias de origen vegetal, algas y otras materias orgánicas e inorgánicas presentan diferentes tamaños, que van, generalmente, desde las partículas gruesas, que se depositan fácilmente, hasta las que por su pequeño tamaño se encuentran en suspensión en estado coloidal.

Son a estas últimas partículas a las que hay que someter al proceso de floculación. Además de las características que se ha indicado de las partículas coloidales, de ofrecer una gran superficie, mayor que el total de otras partículas no coloidales del mismo peso, ofrecen otra muy importante, consistente en que están provistas de carga eléctrica.

La carga eléctrica del mismo signo de las partículas coloidales (generalmente en el agua las partículas de arcilla y otros Coloides tienen carga negativa) originan una repulsión entre ellas, impidiendo así su unión y separación del líquido, de aquí la necesidad de adicionar un electrolito que neutralice la carga eléctrica del coloide para eliminarle por decantación.

La neutralización de las cargas eléctricas de los Coloides en suspensión en las aguas, es la condición primordial para una buena depuración por floculación, aun cuando en el fenómeno de la floculación influyen también otros factores muy importantes.

La floculación consiste en la reunión de los coágulos formados, venciendo las fuerzas de repulsión y consiguiendo la precipitación de los hidróxidos. Este proceso requiere un cierto período de tiempo.

Al poner en contacto las partículas coloidales con el medio poroso, que en nuestro caso es el floculador de piedras, los iones de signo opuesto al de la partícula coloidal, que quedan en exceso en la disolución y que rodean a la partícula, forman con ésta una «doble capa eléctrica. Parte de estos iones quedan fijados al sólido por fuerzas electrostáticas de adsorción y los demás constituyen una zona de difusión, hasta llegar a una distribución iónica uniforme en el líquido. La diferencia de potencial de esta capa difusa se conoce como «potencial electrocinético o potencial Z.

La mayor parte de las sustancias que se ponen en contacto con un medio polar, como el agua, adquieren una carga eléctrica superficial por ionización o adsorción de iones, o ambas cosas a la vez.

En un sistema en el que están dispersas moléculas o partículas coloidales cargadas, ha de haber iones con carga contraria para que exista una electro neutralidad, a estos iones se les llama contra-iones, también puede haber iones del mismo signo que la partícula coloidal, a los que se llama co-iones.

La teoría de la doble capa eléctrica se ocupa de la distribución de los co-iones y contra-iones en la proximidad de la superficie de una partícula que se encuentra en un medio polar y, como consecuencia, se ocupa, a la vez, de los potenciales eléctricos que existen en esta zona.

Por una parte, los contra-iones tienden a unirse a la superficie de la partícula para neutralizar su carga, pero, por otra, la agitación térmica impide que se forme una doble capa eléctrica compacta, o sea que en las proximidades de la superficie de una partícula coloidal cargada hay un equilibrio entre las fuerzas eléctricas de

atracción de contra-iones y repulsión de co-iones y la agitación térmica que tiende a producir una distribución de los contra-iones en el seno del líquido.

Al haber un exceso de estos contra-iones próximos a la superficie de la partícula cargada, originan un apantallamiento que debilita la atracción electrostática hacia los contra-iones que se encuentran más alejados de ella y, por tanto, si se observa el potencial eléctrico, se notará que al principio disminuye rápidamente y después muy lentamente, al ir siendo mayor la distancia a la partícula, hasta llegar a un potencial teóricamente nulo, a la distancia infinita de la superficie de la partícula, donde ya la distribución de las cargas es uniforme, es decir, se crea una "doble capa" eléctrica difusa, debido al efecto combinado de las fuerzas eléctricas y la agitación térmica. Esta doble capa es llamada también de Gouy Chapman.

Sobre esta teoría, Stern consideró la posibilidad de que una adsorción iónica específica originará una capa compacta de contra-iones adheridos a la superficie por fuerzas electrostáticas y de Van der Waals, con la suficiente fuerza como para compensar la agitación térmica, considerando, en este caso, a la doble capa dividida en dos partes que están en equilibrio, una capa compacta (de Stern) en la cual el potencial disminuye de Y_0 a Y_s y una capa difusa en la que el potencial disminuye de Y_s a cero. Si se aumenta la concentración de electrolito, es decir, de los contra-iones, se aumenta también el apantallamiento, y, por tanto, la doble capa difusa se hace más compacta y el potencial cae más rápidamente. De igual modo influye el aumento de valencia de los contra-iones.

Se sabe que la electrofóresis es el movimiento de las partículas cargadas en el seno de un líquido cuando se aplica un gradiente de potencial. Si la partícula colocada en un campo eléctrico no experimenta movimiento hacia el cátodo o ánodo, es porque el potencial Z vale cero, a este punto se conoce con el nombre

de "Punto Isoeléctrico" y es aquí, en este punto, donde se produce la mejor floculación, al evitarse el equilibrio de fuerzas que impiden que estas partículas coloidales continúen en suspensión.

El potencial Z de los Coloides depende también de un factor muy importante, como es el ph del agua. El ph óptimo de floculación será el existente cuando se alcanza el punto Isoeléctrico.

Existen dos fundamentos teóricos para que se dé la floculación; La primera es hacer que las partículas se unan en forma espontánea mediante el movimiento continuo de ellas (movimiento Browniano), esta situación aumenta al elevarse la temperatura del líquido; y la segunda que es debida a cambios de velocidad del agua y en diferentes direcciones producida por agentes mecánicos o hidráulicos, que facilitan la probabilidad de colisión, aumentando así su tamaño.

Las partículas que se encuentran en el agua están cargadas eléctricamente, por lo que si son de sentido opuesto, se atraerán, y si son de igual sentido se repelerán, aumentando su velocidad (fuerzas Coulumbicas y de Vander Waals).

En el proceso de la floculación existen diferentes factores que se deben considerar, como son:

Interacción entre las variables, como, dosis del coagulante, intensidad de mezcla, y tiempo de floculación.

Influencia de la calidad del agua, es más fácil flocular agua con alta turbiedad y que presente una amplia distribución de tamaños.

Influencia del tiempo de floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de retención.

Influencia del gradiente de velocidad: Cuanto mayor sea, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas, teniendo en cuenta que el coeficiente de ruptura es mayor en este caso, y puede producir cizallamiento hidrodinámico.

Los floculadores se clasifican dependiendo del tipo de energía usada para producir la agitación, es así, que se pueden clasificar en mecánicos, hidromecánicos e hidráulicos, estos últimos dependiendo del sentido del flujo serán de flujo horizontal o de flujo vertical, De igual manera, los mecánicos e hidromecánicos se clasifican en reciprocantes y rotatorios; y están los floculadores hidráulicos de medio poroso, o llamados floculadores de piedra, que actualmente son de carácter experimental y que son objeto de éste estudio. ¹²

Floculadores hidráulicos de medios porosos o floculadores de piedras: Son dispositivos que utilizan la energía hidráulica disponible a través de la pérdida de carga en su propia estructura, es una aplicación que combina el efecto benéfico de tener un gran número de cámaras de floculación conformados por los poros y vacíos que dejan las piedras y el gradiente continuamente decreciente, donde el tiempo de floculación necesario para obtener un resultado preestablecido tiende al valor límite. En este caso nos interesa saber cual es el tiempo necesario de floculación para obtener una eficiencia determinada, lo cual, lo podemos obtener mediante pruebas de laboratorio (Ensayo de Jarras).

¹² JORGE ARTURO PEREZ PARRA. Manual de Potabilización del agua. 3ª edición Medellín 2002 pg. 100-108

Con este tipo de floculación se puede conseguir una gran economía en los proyectos, puesto que se elimina el uso de equipos electromecánicos, dando así una mayor operabilidad, y por consiguiente ahorro sustancial en una planta.

La floculación en medios porosos se está aplicando principalmente en pequeñas instalaciones, debido a su elevada eficiencia y bajo costo. Se distinguen dos tipos básicos: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en medio granular) y floculación en un medio poroso expandido (floculación en lechos de arena expandida). Ambos fueron utilizados inicialmente en la India. La floculación en medio granular ha sido recientemente estudiado con cierta profundidad en América Latina, en colaboración con el CEPIS/OPS y ya es aplicada con éxito en algunas instalaciones. Consiste en hacer pasar el agua, después de haberle aplicado los coagulantes, a través de un medio granular continuo en un tanque, la eficiencia es extraordinaria y puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos.

Dentro de las características físicas que posee el agua hacemos énfasis en el color, que a pesar de estar ligado a la turbiedad, puede presentarse como una característica independiente, incidiendo sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia.

Los colores más comunes se presentan en el agua cruda, y son el amarillo y el café, se dice que sus moléculas son tan pequeñas que entran en el rango del focus (entre 3.5 y 10 μ) lo que se acerca bastante al límite entre dispersión coloidal y solución verdadera. Se mencionan como causas del color los taninos, la lignina, el ácido húmico, los polisacáridos, y los ácidos grasos, entre otros; sin embargo se dice que el color proviene de la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal vivo, de la solución de compuestos resultantes de la descomposición de la madera, de la solución de la materia orgánica del suelo, de la presencia del hierro y de otros compuestos como el manganeso, por esto desde

el punto de vista de su naturaleza existen dos clases de colores; el orgánico y el inorgánico.

Además se reconocen dos tipos de color: El color verdadero, es decir, el que presenta después de remover turbiedad, y que es resultado de la presencia de sustancias orgánicas, disueltas coloidales; y el color aparente, debido a materia suspendida.

La velocidad de floculación de una dispersión coloidal o sol, depende de la frecuencia del choque de las partículas entre sí y de la probabilidad de que su energía térmica sea lo suficientemente grande como para superar a la energía potencial de repulsión para la floculación cuando los encuentros entre las partículas tienen lugar.

Tecnologías alternativas para el tratamiento del agua

Se dispone de distintos métodos de tratamiento del agua que emplean tecnología simple, de bajo costo. Estos métodos incluyen tamizado; aireación;

Almacenamiento y sedimentación; desinfección mediante ebullición, productos químicos, radiación solar y filtración; coagulación y floculación; y desalinización. La clasificación siguiente se basa en la Skinner y Shaw. Los diferentes métodos se presentan alfabéticamente.

La aeración puede lograrse agitando vigorosamente un recipiente lleno de agua hasta la mitad o permitiendo al agua gotear a través de una o más bandejas perforadas que contienen pequeñas piedras. La aeración aumenta el contenido de aire del agua, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno,

que afectan al olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración.

Coagulación y floculación. Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El alumbre (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua. Los coagulantes naturales incluyen semillas en polvo del árbol Moringa olera y tipos de arcilla tales como la bentonita.

Desalinización. Las sales químicas excesivas en el agua le dan mal sabor. La desalinización mediante destilación produce agua sin sales químicas y pueden utilizarse varios métodos al nivel de familia, por ejemplo, para tratar el agua de mar. La desalinización también es eficaz para eliminar otros productos químicos tales como el fluoruro, el arsénico y el hierro.

La desinfección es una forma de asegurar que el agua está libre de patógenos. La eficacia de la desinfección química y solar, y en menor grado, la ebullición, es reducida por la presencia de materia orgánica y sólidos en suspensión.

Desinfección por ebullición. Una recomendación típica para desinfectar el agua mediante desinfección es la de hacer que el agua hierba vigorosamente por 10 a 12 minutos. En realidad, un minuto a 100°C. Destruirá la mayoría de los patógenos, incluidos los del cólera y muchos mueren a 70°C. Las desventajas principales de hervir el agua son las de utilizar combustible y es una labor que consume mucho tiempo.

Desinfección química. La clorinación es el método más ampliamente utilizado para desinfectar el agua. La fuente de cloro puede ser el hipoclorito de sodio (tal como blanqueador casero o electrolíticamente generado a partir de una solución de sal y agua), la cal clorinada o el hipoclorito hiperconcentrado (comprimidos de cloro). El yodo es otro desinfectante químico excelente que se utiliza a veces. El yodo no debería utilizarse por períodos prolongados (más de unas cuantas semanas). Tanto el cloro como el yodo deben agregarse en cantidades suficientes para destruir todos los patógenos pero no tanto que el sabor se vea adversamente afectado. Puede ser difícil decidir cuál es la cantidad apropiada debido a que las sustancias en el agua reaccionarán con el desinfectante y la potencia del desinfectante puede reducirse con el tiempo según la forma en que se almacene.

La desinfección solar utiliza la radiación solar para inactivar y destruir a los patógenos que se hallan presentes en el agua. El tratamiento consiste en llenar recipientes transparentes de agua y exponerlos a plena luz solar por unas cinco horas (dos días consecutivos bajo un cielo que está 100 por ciento nublado). La desinfección ocurre por una combinación de radiación y tratamiento térmico (la temperatura del agua no necesita subir muy por encima de 50°C). La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbiedad inferior a 30 NTU). Puede obtenerse más información visitando al sitio web www.sodis.ch.

La filtración incluye el tamizado mecánico, la absorción y la adsorción y, en particular, en filtros de arena lentos, los procesos bioquímicos. Según el tamaño, el tipo y la profundidad del filtro, y la tasa de flujo y las características físicas del agua sin tratar, los filtros pueden extraer los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores. El tamizado y la sedimentación son métodos de tratamiento que preceden útilmente a la filtración para reducir la cantidad de sólidos en suspensión que entran en la fase de filtración. Esto aumenta el período en el cual el filtro puede operar antes de que necesite limpieza y sustitución. La coagulación y la floculación también son tratamientos útiles antes de la sedimentación y mejoran aún más la eliminación de sólidos antes de la filtración.

Almacenamiento y sedimentación. Al almacenar el agua en condiciones no contaminantes por un día se puede conseguir la eliminación de más del 50% de la mayoría de las bacterias. Los períodos más largos de almacenamiento conducirán a reducciones aún mayores. Durante el almacenamiento, los sólidos en suspensión y algunos de los patógenos se depositarán en el fondo del recipiente. El agua sacada de la parte superior del recipiente será relativamente clara (a menos que los sólidos sean muy pequeños, tales como partículas de arcilla) y tendrá menos patógenos. El sistema de tratamiento de tres ollas en las que se echa agua sin tratar a la primera olla, donde se decanta en la segunda olla después de 24 horas y se echa en la tercera olla después de 24 horas adicionales, aprovecha los beneficios del almacenamiento y la sedimentación.

Tamizado. Echar el agua a través de un paño de algodón limpio eliminará una cierta cantidad de sólidos en suspensión o turbiedad. Se han construido telas de filtro de monofilamento especial para uso en las zonas en las que prevalece la enfermedad del nematodo de Guinea. Las telas filtran los copépodos que son los huéspedes intermedios de las larvas del nematodo de Guinea.

Los sistemas actualmente promovidos para el tratamiento domiciliario en los países en desarrollo, las ventajas y desventajas de cada sistema y los costos. Los informes publicados de pruebas de laboratorio o de ensayos de campo de aplicaciones familiares se publican en la literatura epidemiológica y ambiental. La promoción y la educación son elementos esenciales para la eficaz implantación de cualquiera de estos sistemas. Los costos no incluyen, los costos de promoción y educación conducentes a un cambio de comportamiento ya que la principal determinante de estos costos será con toda probabilidad el contexto o marco en el que están siendo promovidos los sistemas de tratamiento. La promoción de un sistema de tratamiento a domicilio en un marco en el que hay agentes de extensión capacitados y promotores de salud de la comunidad difiere mucho de trabajar en comunidades y vecindades en las que no existe una capacidad adicional.

Esterilizadores Ultravioleta para agua (lámparas Ultravioleta)

La desinfección de agua por radiación ultravioleta (U.V.) es un procedimiento físico, que no altera la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. La seguridad de la desinfección U.V. está probada científicamente y constituye una alternativa segura, eficaz, económica y ecológica frente a otros métodos de desinfección del agua, como por ejemplo la cloración.¹³

La radiación U.V. constituye una de las franjas del espectro electromagnético y posee mayor energía que la luz visible. La irradiación de los gérmenes presentes en el agua con rayos U.V. provoca una serie de daños en su molécula de ADN, que impiden la división celular y causan su muerte.

La luz ultravioleta, a la onda germicida de 253.7 nanómetros, altera el material genético (DNA) en las células para que los microbios, virus, mojo, alga y otros

¹³ CEPIS (LIMA, PERU) Programa regional HEP/OPS/CEPIS de alternativas y nuevas tecnologías en el tratamiento de agua para consumo humano. Serie desinfección UV, 2007 78 p.

microorganismos no puedan reproducirse. Los microorganismos están considerados muertos y se les elimina el riesgo de enfermedad.

La principal aplicación de los equipos U.V. es la desinfección de agua. Cualquier industria que utilice agua en su proceso industrial es susceptible de usar estos equipos. Los equipos U.V. también están indicados para tratamientos de superficies y aire.

Los esterilizadores U.V están compuestos por

- Cámara de Irradiación
- Tubo de cuarzo
- Lámpara germicida
- Cuadro eléctrico constituido por:
 - Interruptor/ piloto de funcionamiento
 - Indicador visual de avería de cada lámpara
 - Medidor de horas de uso.

Nuestra amplia gama de caudales, desde 500 l/h en adelante, y la gran versatilidad de los equipos, que pueden ser montados en línea o en paralelo, vertical u horizontalmente, equipos compactos o modulares, hacen muy fácil su incorporación y montaje en cualquier tipo de industria.

Ventajas:

- A diferencia del cloro y el ozono, el UV no genera subproductos de desinfección como trihalometanos (THM) y bromato, que son considerados cancerígenos.
- El UV no altera el sabor, olor, color y pH del agua.

- El UV no requiere la adición de productos químicos. El UV es un equipo compacto, fácil de instalar y casi no requiere mantenimiento
- Por otro lado, los sistemas de desinfección domésticos de bajo costo que ofrecemos, solucionan con éxito los problemas de agua del
- Provee desinfección sin el uso de químicos
- Reduce bacteria, virus y protozoos en un 99.99%
- Arranques electrónicos proveen un voltaje estable
- Avisa cuando requiere mantenimiento
- Fabricado en acero inoxidable 304 pulido
- Fácil de operar y mantener

Esterilizadores Ultravioleta en el tratamiento de agua

Las aplicaciones a las que están destinadas nuestros equipos se enumeran a continuación:

Aplicaciones

- Agua de pozo
- Agua superficial
- Agua municipal
- Procesamiento de alimentos
- Hospitales
- Acuicultura
- Electrónicos
- Farmacéuticos
- Hoteles
- Embotelladoras de agua

Tratamiento de piscinas. Mediante equipos de radiación UV se consigue desinfectar la piscina con el consiguiente ahorro de cloro químico. Además, mediante procesos fotoquímicos, la radiación ultravioleta elimina las cloraminas, compuestos organoclorados responsables del típico olor a piscina. Combinando el ozono con un equipo ultravioleta se genera un efecto sinérgico entre ambos que potencia la eliminación de microorganismos y favorece ciertas reacciones fotolíticas, que combinadas con el poder oxidante del ozono mejora enormemente la calidad del agua.

Tratamiento de aguas sanitarias o aguas residuales con carga biológica. Elimina cualquier tipo de problema sanitario o biológico que el efluente pudiese originar como la propagación de la legionella. Combinado con otros tratamientos supone una operación eficaz de desinfección y adecuación de un efluente sanitario o industrial.

Tratamientos terciarios de aguas residuales para riego. Mediante la radiación ultravioleta se reduce la carga biológica de efluentes industriales provenientes de una EDAR hasta límites admisibles para riego de jardines, reutilización de aguas para riego de campos de golf y agricultura en general lo cual favorece un aprovechamiento favorable de los recursos hídricos.

Tratamiento de agua potable. Nuestros equipos consiguen una rápida desinfección del agua de consumo sin necesidad de depósitos de mezcla ni del uso de otro tipo de desinfectantes químicos como el cloro. Este sistema posee una instalación sencilla y eficaz, a la vez que segura.

Sistemas gwtg-uv:

Los sistemas GWTG-UV utilizan balastos electrónicos avanzados de output variable, desarrollados específicamente para operar las lámparas Philips®. Ofrece

multitud de prestaciones únicas para un máximo rendimiento y fiabilidad del sistema..

La intensidad UV a la que es expuesto un organismo depende de la potencia de la lámpara, la claridad del tubo de cuarzo y la transmitancia del efluente. Utilizando sensores UV dedicados montados dentro de las disposiciones de las lámparas y el medidor de horas de uso le permitirán evitar operar el equipo sin alguna lámpara funcionando o fuera de su periodo de vida.

El tiempo de exposición se deriva de la relación del volumen del "reactor" del sistema UV con el caudal del efluente. La dosis UV resultante puede calcularse por el sistema de control como producto la intensidad UV medida y el tiempo de exposición.

Producción uv-c

La fuente de ultravioleta es básicamente una fusión de un tubo de silicio cuarzo, típicamente con un diámetro comprendido entre 15mm y 25mm y con una longitud que va desde 100mm hasta 1200mm. El gas inerte con el cual el tubo es llenado proporciona la descarga primaria y la acción necesaria para excitar y vaporizar los minúsculos depósitos de mercurio.

Dosis ultravioleta

La dosis UV es el producto de la intensidad de UV (expresado como energía por unidad de área)

Por lo que:- $DOSIS = I \times T$

Esto es comúnmente expresado como $1\text{mJ/cm} = 2 \text{ micro vatio segundo/ cm}^2$

La mínima dosis recomendada expresada por Willand da al usuario el aseguramiento garantizado del éxito del proceso. Las dosis medias y acumulativas son ofrecidas por otros dependiendo de las características de turbulencia del flujo las cuales pueden desaparecer cuando el flujo es variable.

Willand recomendará la dosis de UV apropiada para cada aplicación dentro de la calidad del agua, envejeciendo tubos de arco, Standard industriales y desafíos microbiológicos.

Proceso de filtración

La filtración es un proceso físico, químico y (en algunos casos) biológico para separar del agua, mediante el paso a través de un medio poroso, las impurezas suspendidas cuyo tamaño varía desde flocúlos relativamente grandes, del orden de algunos milímetros, hasta coloides, bacterias y virus con tamaños alrededor de una micra, encontrándose partículas electronegativas., electropositivas y neutras.

El agua que se somete a un proceso de filtración debe ser acondicionada mediante uno o varios procesos unitarios, en algunos casos el agua recibe coagulantes y posteriormente se efectúa la mezcla rápida para luego conducirla directamente hacia los filtros, en otros casos como la filtración ascendente y la filtración ascendente y descendente, previamente se efectúa la coagulación y floculación, y la filtración rápida, entendida como el tratamiento convencional. En la filtración lenta se hace la excepción ya que el agua entra a los filtros sin ningún tratamiento.

A pesar que la filtración es ampliamente empleada en el tratamiento para la potabilización del agua, hoy en día, la filtración es utilizada, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamiento biológico y químico.

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión (agua a filtrar) y del lecho filtrante, con la hidráulica de filtración y con la calidad del efluente. Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño de las partículas y la consistencia de los flóculos.

En general, un aumento de la temperatura conduce a una mayor eficiencia en el proceso de filtración, debido al aumento de la energía termodinámica de las moléculas del agua y con ello la difusión se convierte en un mecanismo importante de remoción de partículas pequeñas.

La filtración se considera como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios; el transporte de las partículas dentro de los poros y la adherencia a los granos del medio filtrante.

Flotación

La flotación es una operación unitaria empleada en la separación de partículas sólidas y líquidas de una fase líquida. La separación es facilitada por la presencia de burbujas finas que resultan de la introducción de una fase gaseosa, generalmente aire, al sistema. Las burbujas presentes se adhieren a las partículas incrementando de esta forma la flotabilidad (fuerza ascensional) de la misma, lo que origina que el conjunto partícula-burbuja suba hasta la superficie del líquido incluso partículas con una densidad mayor a la de la fase líquida pueden ser separadas por medio de esta operación. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en

menor tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya disposición es lenta.

Dos métodos de flotación son generalmente usados: en la flotación por dispersión de aire las burbujas se introducen directamente en la fase por medio de turbinas o difusores sumergidos, este tipo de sistema es ampliamente utilizado en la industria metalúrgica. En la flotación por aire disuelto, el aire se disuelve en el agua a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera; a presión hasta alcanzar la atmósfera lo que favorece la formación de pequeñas burbujas de aire que se decrecen de la solución.

Este método encuentra amplia aplicación en el tratamiento de desperdicios industriales como la papelera. En todos los sistemas, es posible mejorar el grado de remoción mediante la introducción de aditivos químicos. Por lo general, estos productos químicos proporcionan una estructura que permite absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire, los reactivos químicos inorgánicos (sales de hierro o de aluminio) y diversos polímeros orgánicos son generalmente usados para tal fin.

La separación de partículas por flotación no depende tanto del tamaño y la densidad relativa de las partículas como loas propiedades de sus estructura y superficie, y la cantidad de aire utilizada en su flotación. Por esta razón, las operaciones de flotación no pueden ser diseñadas sobre la base de ecuaciones matemáticas, y deberá recurrirse a pruebas de laboratorio para un criterio de diseño preliminar.

La superficie requerida para el sistema de flotación se determina considerando la velocidad ascensional de los sólidos, la cual depende de la concentración y la eficiencia del proceso.

Coagulantes

La desestabilización de un coloide se provoca mediante la adición de un electrolito de carga opuesta a la de las partículas coloidales, y además el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas que lleva el electrolito. De esta manera para material coloidal con cargas negativas, los iones bario y magnesio, bivalentes, son aproximadamente treinta veces más efectivos que el sodio, monovalente; y a su vez, el hierro y el aluminio, trivalentes, unas treinta veces más efectivos a los bivalentes.

Para los coloides con carga positiva, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro (monovalente), el sulfato (bivalente) y el fosfato (trivalente). Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: Los polielectrolitos o ayudantes de coagulación (sustancias que producen poco o ningún floc al ser utilizados solos) y los coagulantes metálicos (capaces de formar floc). Ambos grupos actúan básicamente como polímeros).

Los polielectrolitos de importancia en el tratamiento del agua son derivados de productos naturales o sintetizados por fabricantes de productos químicos. Un polímero puede tener o no carga eléctrica. Los que no tienen se llaman no iónicos los que la tienen, a menudo se clasifican por el tipo de carga que portan. Así, los polielectrolitos que poseen carga negativa son aniónicos; los que poseen carga positiva, catiónicos y los que aportan ambas cargas son anfóteros.

En la actualidad existe una gran variedad de coagulantes metálicos que los podemos clasificar en tres tipos; sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Los coagulantes primarios basados en aluminio y hierro, se utilizan casi exclusivamente en el proceso de coagulación la elección del coagulante se debe determinar en condiciones de laboratorio (test de jarras), dependiendo la elección final de las consideraciones económicas.

Las sales de aluminio de mayor uso en el tratamiento de aguas son: el sulfato de aluminio hidratado ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio, se encuentran comercialmente en forma de terrones, molido o líquido.

pH

En 1909 el químico danés Sørensen definió el **potencial hidrógeno** (pH) como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{aH}^+]$$

Desde entonces, el término pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso, evitando así el manejo de cifras largas y complejas.

En disoluciones diluidas en lugar de utilizar la actividad del Ion hidrógeno, se le puede aproximar utilizando la concentración molar del Ion hidrógeno. Por ejemplo, una concentración de $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ (0,0000001) es simplemente El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7.

El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (siendo el disolvente agua). Se considera que p es un operador logarítmico sobre la concentración de una solución: $p = -\log[\dots]$, también se define el **pOH**, que mide la concentración de iones OH^- .

Puesto que el agua está disociada en una pequeña extensión en iones OH^- y H^+ , tenemos que:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

En donde $[H^+]$ es la concentración de iones de hidrógeno, $[OH^-]$ la de iones hidróxido, y K_w es una constante conocida como *producto iónico del agua*.

Por lo tanto,

$$\log K_w = \log [H^+] + \log [OH^-]$$

$$-14 = \log [H^+] + \log [OH^-]$$

$$14 = -\log [H^+] - \log [OH^-]$$

$$\mathbf{pH + pOH = 14}$$

Algunos valores comunes del pH	
Sustancia/Disolución	pH
Disolución de HCl 1 M	0,0
Jugo gástrico	1,5
Zumo de limón	2,4
Refresco de cola	2,5
Vinagre	2,9
Zumo de naranja o manzana	3,0
Cerveza	4,5
Café	5,0
Té	5,5
Lluvia ácida	< 5,6
Saliva (pacientes con cáncer)	4,5 a 5,7
Leche	6,5
Agua pura	7,0
Saliva humana	6,5 a 7,4
Sangre	7,35 a 7,45
Orina	8,0
Agua de mar	8,0
Jabón de manos	9,0 a 10,0
Amoníaco	11,5
Hipoclorito de sodio	12,5
Hidróxido sódico	13,5

Tabla 4 Valores comunes del pH¹⁴

¹⁴ PÉREZ CARRIÓN, José; CÁNEPA DE VARGAS, Lidia; CEPIS (Lima, PE). Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado. Guía para diseño de plantas de potabilización En: Manual DTIAPA, C-3. Lima (PE), CEPIS-DTIAPA, 1984.

Medida del pH

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un pHmetro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion hidrógeno.

También se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando *indicadores*, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea *papel indicador*, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores.

- A pesar de que muchos potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH pueden ser menores que 1 y mayores que 14.
- Un pH igual a 7 es neutro, menor que 7 es ácido y mayor que 7 es básico
- El pH de disoluciones concentradas de ácidos sí puede ser negativo. Por ejemplo, el pH de una disolución 2,0M de HCl es $-0,30$.

Cálculo del pH de soluciones acuosas

Cuando se trabaja con ácidos y bases fuertes el cálculo del pH se reduce a simples expresiones considerando que estos se disocian al 100% (los ácidos y bases fuertes se definen por esto). De esta forma una solución 0,1 M de HCl (ác. clorhídrico, un ácido fuerte) tendrá una concentración 0,1 M de protones y por lo tanto un pH igual al logaritmo negativo de 0,1, es decir, 1 (muy ácido). Mientras

que una solución 0,1 M de NaOH (hidróxido de sodio, una base fuerte) tendrá una concentración 0,1 M de OH⁻, por lo tanto un pOH = 1, y como es sabido que la suma de pH y pOH es igual a 14 se llega a la respuesta de que el pH es igual a 13.

No todos los ácidos y bases se disocian totalmente. Algunos son *débiles*, ya que se disocian parcialmente. En este caso el valor de pH puede calcularse fácilmente conociendo la estequiometria de la reacción química y su naturaleza. Supongamos el caso general de un ácido AH que se disocia en un solvente (agua) según el siguiente equilibrio:



Con A⁻ como la base conjugada del ácido y H₃O⁺ el ácido conjugado de la base (este par de conceptos deben de estar claros para hacer más sencillo y lógico el desarrollo). La ecuación anterior expresada de acuerdo con la constante de acidez Ka, la cual es solo la constante de equilibrio de la reacción, sería:

$$K_c = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[AH][H_2O]} \quad K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[AH]}$$

Ahora solo basta conocer la constante de equilibrio del ácido AH y las concentraciones de las especies en el equilibrio para poder calcular la concentración de H₃O⁺ (también conocida como [H⁺]). Observando la estequiometria de la reacción se deduce que la [A⁻] es igual a [H₃O⁺] y la concentración de [AH] será la concentración inicial del ácido AH sin disociar menos la concentración que se disoció de este en el equilibrio, en otras palabras, [A⁻]. De lo anterior se llega a:

$$K_a = \frac{X^2}{A H_i - X}$$

Recordando que la $[H_2O]$ es siempre considerada como 1 en las ecuaciones de equilibrio.

De forma similar a la anterior se puede decir que en el caso de una base fuerte B^+ , que se comporta en una reacción de la siguiente forma:



Si se conoce la concentración de la base fuerte en solución y la constante de basicidad de la base se puede llegar a calcular $[OH^-]$ o el pOH y de esto calcular el pH (recordar que la suma de pH y pOH es igual a 14 y que el producto de sus concentraciones es igual a K_w , es decir, 10^{-14}).

No siempre es obligatorio resolver la ecuación de segundo grado para estimar el pH en presencia de un ácido o base débil, ya que pueden asumirse ciertas condiciones que permiten simplificar los cálculos. Esto no siempre es correcto. Si se está trabajando con un ácido débil con una K_a muy pequeña, de esto se podría decir que el ácido se disocia muy poco, quizás tan poco como para poder desprejarse en la ecuación de equilibrio, si así lo fuera se puede calcular el pH como:

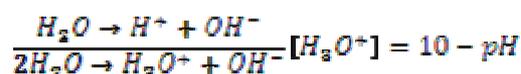
$$K_a = \frac{X^2}{A H_i}$$

Ya que la concentración de AH en el equilibrio es muy similar a la inicial, ya que es muy poco lo que se disocia (y en una resta de algo muy grande menos algo muy chico el resultado es muy similar al valor más grande. Parecería que se están asumiendo muchas condiciones pero en realidad no, siempre y cuando estemos

trabajando con ácidos o bases débiles que se disocian muy poco (constantes de equilibrio muy pequeñas, del orden de los 10^{-3} y menores, con concentraciones iniciales del ácido o la base débiles razonablemente grandes como 0.1. Para estar más seguros también se puede realizar el siguiente cálculo:

$$\frac{AH_i}{100\%} = \frac{H(\text{supuesto})}{X}$$

Si resulta ser mayor que el 5% entonces el supuesto (calculado despreciando la disociación) es falso y es necesario desarrollar la ecuación de segundo grado.



A 25 °C, $k_w = [OH^-][H_3O^+] = 10^{-14}$ constante de ionización.

$$pH = \frac{\log 1}{[H^+]} = \log 1 - \log[H^+] = -\log[10^{-1} a 10^{-14}] = -\log[10^{-1}] = 1$$

$$\frac{10^{-7} \text{ hidrogeniones}}{10^{-7} \text{ hidroxilos}} \rightarrow pH_{\text{neutro}} = -\log[10^{-7}] = 7 = -\log[10^{-14}] = 14$$

Cuando menor sea el pH más hidrogeniones hay y más ácida es la disolución.

El pH lo que mide en realidad es la concentración en protones (hidrogeniones e hidroxilos). Se puede medir con el pHímetro, es un aparato electrónico que requiere un ajuste. Y se puede también determinar con papel indicador de pH, es un papel tornasolado, Si tiende al rojo es ácido, si tiende al azul es básico.

Phmetro Indicador de Ph.

Instrumento para la medición del pH. ¹⁵



Un **indicador de pH** es un instrumento que permite medir el pH de un medio. Habitualmente, se utiliza como indicador sustancias químicas que cambia su color al cambiar el pH de la disolución. El cambio de color se debe a un cambio estructural inducido por la protonación o desprotonación de la especie. Los indicadores ácido-base tienen un intervalo de viraje de unas dos unidades de pH, en la que cambian la disolución en la que se encuentran de un color a otro, o de una disolución incolora, a una coloreada.

¹⁵ De Wikipedia, la enciclopedia libre

Uso de sustancias

Su uso es amplio: se utilizan sobre todo para valoraciones ácido / base en química analítica, y para medir el pH de una disolución, aunque de forma cualitativa, ya que es impreciso.

Los más conocidos son el naranja de metilo, que vira en el intervalo de 3,1 - 4,4, de un color rojo a uno naranja, y la fenolftaleína, que vira desde un pH 8 hasta un pH 10, transformando disoluciones incoloras en disoluciones con colores rosados / violetas. Además, se pueden usar indicadores caseros como la sustancia resultante de hervir con agua repollo colorado, pétalos de rosa roja, raíces de cúrcuma a partir de las cuales se obtiene curcumina.

Los indicadores de pH tienen una constante de protonación, K , que informa sobre el desplazamiento de la reacción de protonación de la forma básica del indicador.

$$K = \frac{[HI]}{[H^+][I^-]}$$

Se dice que el cambio de color de un indicador es apreciable cuando la concentración de la forma ácida o de la forma básica es superior o igual a 10 veces la concentración de la forma básica o la forma ácida respectivamente.

$$\frac{[HI]}{[I^-]} \geq 10, \geq 10 \frac{[I^-]}{[HI]}$$

Cuando la concentración de la especie ácida del indicador es igual a la concentración de la forma básica del indicador, la constante de protonación es igual a la inversa de la concentración de protones.

$$K = \frac{[HI]}{[H^+][I^-]} \rightarrow [HI] = [I^-] \rightarrow K = \frac{[HI]}{[H^+][HI]} = \frac{1}{H^+}$$

En este punto del pH, el color del indicador es una mezcla entre el color de la forma ácida y el color de la forma básica. Para obtener solamente el color de la forma básica, se debería aumentar 10 veces la concentración de la forma básica respecto a la de la ácida, según lo dicho antes, y para obtener el color de la forma ácida, se debería aumentar 10 veces la concentración de la forma ácida respecto a la de la básica. Con esto se tiene que el cambio de color de una forma a otra equivale a un factor de 100. Hablando en términos logarítmicos, equivale a 2 unidades de pH. Por tanto, la zona de viraje de un indicador suele estar entre una unidad por arriba y una por abajo de su $\log K$.

Color y colorímetro

Un **colorímetro** es cualquier herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color.

El colorímetro también es un instrumento que permite la absorbancia de una solución en una específica frecuencia de luz a ser determinada. Es por eso, que hacen posible descubrir la concentración de un soluto conocido que sea proporcional a la absorbancia.

Diferentes sustancias químicas absorben diferentes frecuencias de luz. Los colorímetros se basan en el principio de que la absorbancia de una sustancia es proporcional a su concentración, y es por eso que las sustancias más concentradas muestran una lectura más elevada de absorbancia. Se usa un filtro en el colorímetro para elegir el color de luz que más absorberá el soluto, para maximizar la precisión de la lectura. Note que el color de luz absorbida es lo opuesto del color del espécimen, por lo tanto un filtro azul sería apropiado para una sustancia naranja.

Los sensores miden la cantidad de luz que atravesó la solución, comparando la cantidad entrante y la lectura de la cantidad absorbida.

Se realiza una serie de soluciones de concentraciones conocidas de la sustancia química en estudio y se mide la absorbancia para cada concentración, así se obtiene una gráfica de absorbancia respecto a concentración. Por extrapolación de la absorbancia en la gráfica se puede encontrar el valor de la concentración desconocida de la muestra.

Otras aplicaciones de los colorímetros son para cualificar y corregir reacciones de color en los monitores, o para calibrar los colores de la impresión fotográfica. Los colorímetros también se utilizan en personas con déficit visual (ceguera o daltonismo), donde los nombres de los colores son anunciados en medidas de parámetros de color (por ejemplo, saturación y luminiscencia)

El color se expresa en unidades de color (UC). La unidad de color es la que se obtiene agregando 1 mg de platino como cloroplatino de potasio a 1 litro de agua destilada.

Aunque no exista ninguna correlación entre el color y la contaminación, el usuario asocia su presencia con ella. Adicionalmente muchas industrias, como las textiles, requieren agua libre de color.

Otro aspecto muy importante es el hecho que recientes estudios han llegado a comprobar que la aplicación de cloro como desinfectante, hecha en presencia de color orgánico, originado por ácidos húmicos particularmente, dan origen a la formación de trihalometanos, compuestos que han tenido efectos cancerígenos en animales. El cloroformo, es el mas común de estos compuestos, ha ocasionado este efecto en animales de experimentación, por lo que existe cierta preocupación y muchas investigaciones sobre el problema se están realizando actualmente, por esta razón, la aplicación del cloro como agente esterilizante se debe hacer

después de que el color haya sido removido, para evitar la posible formación de trihalometanos.

Turbiedad

La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

Cuanto más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbiedad.

La turbiedad es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Factores que influyen en la turbiedad

Hay varios parámetros que influyen en la turbiedad del agua. Algunos de estos son:

- Fitoplancton
- Sedimentos procedentes de la erosión
- Sedimentos resuspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo, como la carpa)
- Descarga de efluentes
- Crecimiento de las algas
- Escorrentía urbana

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbiedad del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

Consecuencias de poseer alta turbiedad

Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y así reduciendo la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Además algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente.

Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún.

Como consecuencia de la sedimentación de las partículas en el fondo, los lagos poco profundos se colmatan más rápido, los huevos de peces y las larvas de los insectos son cubiertas y sofocadas, las agallas se tupen o dañan...

El principal impacto es meramente estético: a nadie le gusta el aspecto del agua sucia.

Pero además, es esencial eliminar la turbiedad para desinfectar efectivamente el agua que desea ser bebida. Esto añade costes extra para el tratamiento de las aguas superficiales.

Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas.

Medición de la turbiedad

La turbiedad se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbiedad. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Una medición de la turbiedad puede ser usada para proporcionar una estimación de la concentración de TSS (Sólidos Totales en Suspensión), lo que de otra forma es un parámetro tedioso y difícil de medir.

Antecedentes

La turbiedad se refiere a cuán clara o cuán turbia está el agua. El agua clara tiene un nivel de turbiedad bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbiedad. Los niveles altos de turbiedad pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua.

Si la turbiedad del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más.

Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente (vea temperatura). El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie.

Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macro invertebrados que se encuentran en el agua. Pueden obstruir las branquias de los peces e interferir con su habilidad para encontrar alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos. Las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua.

Procedimiento de la prueba

Hay varias maneras de medir la turbiedad. Si se usa un disco Secchi para examinar este parámetro, por favor envíe los resultados usando unidades de metros. Si usa un equipo para la prueba de turbiedad, envíe los resultados en UTJs y si usa un medidor, por favor reporte los resultados en UTNs. Desafortunadamente, no hay una manera fácil de convertir estas unidades.

A. Disco secchi:

Una manera de medir la turbiedad es usando un disco Secchi y meterlo lentamente en el agua hasta que ya no sea visible y luego sacarlo hasta que apenas sea visible y volver a bajarlo hasta que no sea visible. La profundidad a la cual el disco Secchi ya no es visible la segunda vez se registra en metros. Un disco Secchi generalmente es más apropiado para las aguas profundas de lagos, pozas y ríos.

B. Equipo para la prueba de turbiedad:

Para aguas poco profundas, puede usarse un equipo para la prueba de turbiedad que tiene una imagen en el fondo de un tubo transparente. Este es el método que recomendamos para este proyecto. La muestra de agua que se recoge se puede agregar al tubo para determinar el nivel de turbiedad. El nivel de turbiedad se mide en Unidades de Turbiedad Jackson (UTJ). Este método no requiere que los estudiantes se metan en aguas profundas.

C. Metro:

Si usa un medidor para medir la turbiedad, el medidor probablemente utilice Unidades de Turbiedad Nefelométrica (UTNs). Las UTNs y las UFN (Unidades de Formazina Nefelométricas) son las unidades designadas por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) de medición turbidimétrica. Se basan en el uso de un detector (medidor) colocado a 90° del rayo de incidencia para detectar la luz dispersada y son unidades intercambiables.

Un riachuelo de montaña claro podría tener una turbiedad de aproximadamente 1 UTN, mientras que un río largo como el Mississippi podría tener una turbiedad cuando el clima está seco de casi 10 UTNs. Estos valores pueden saltar a cientos de UTN durante eventos de escorrentía. Por lo tanto, el medidor de la turbiedad a usarse debe ser confiable en todo rango en el cual va a trabajar.

1.5.2 MARCO CONCEPTUAL

- **COLOIDES:** suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico que está compuesto por dos fases: una *continua*, normalmente fluida, y otra *dispersa* en forma de partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico).
- **COLOR:** Propiedad física del agua producida por partículas que se encuentran en la frontera de dispersión coloidal y solución verdadera.
- **COLORIMETRO:** Es cualquier herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color
- **DIFUSIÓN:** se presenta cuando las partículas coloidales se dispersan por todo el disolvente, en este caso el agua.
- **EFEECTO TYNDALL:** describe el efecto de dispersión de la luz al pasar a través de una dispersión coloidal.
- **ELECTROFORESIS:** Se presenta cuando las partículas son atraídas a los electrodos positivo o negativo al pasar corriente directa a través de una dispersión coloidal.
- **ESTABILIDAD DE LA DISPERSIÓN COLOIDAL:** Es la propiedad inherente de las partículas coloidales de permanecer en suspensión en el transcurso del tiempo.
- **ESTADO COLOIDAL:** Se presenta cuando partículas muy pequeñas se encuentran dispersas en el agua.

- **FUERZAS DE VAN DER WAALS:** Es una fuerza atractiva de origen eléctrico por lo general siempre de atracción debida al movimiento continuo de electrones de la materia circundante.
- **GRADO DE FLOCULACIÓN:** Es la relación entre la concentración de partículas primarias en el influente de la primera cámara y la concentración de partículas primarias en el efluente de la enésima cámara.
- **INESTABILIDAD DE LAS DISPERSIONES COLOIDALES:** Es la tendencia de las partículas coloidales a aglomerarse, siempre que entren en contacto entre sí.
- **FLOC:** se dice que sus moléculas son tan pequeñas que entran en el rango del flocus (entre 3.5 y 10 μ) lo que se acerca bastante al límite entre dispersión coloidal y solución verdadera
- **FLOCULACIÓN:** Proceso unitario de tratamiento de aguas consistente en la unión de partículas sólidas en una dispersión coloidal, en general por la adición de algún agente, o por medios hidráulicos.
- **FLOCULACIÓN PERI CINÉTICA:** Tipo de floculación que se presenta en forma espontánea debido al desplazamiento continuo de las moléculas de agua producido por el movimiento browniano y por el peso propio que al caer tienden a aglomerarse.
- **FLOCULACIÓN ORTOCINÉTICA:** Tipo de floculación que es debida a cambios de velocidad de las partículas inducidos en el líquido por energía

mecánica o hidráulica, causando el movimiento de estas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión.

- **MOVIMIENTO BROWNIANO:** Consiste en el movimiento constante e irregular de las partículas coloidales dentro de la fase líquida.

- **pH:** Medida del grado de acidez o basicidad de una sustancia química

- **PHMETRO:** Indicador de pH

- **POTENCIAL Z:** Es el potencial existente en el plano de deslizamiento entre la superficie cargada y la disolución de electrolito, o más concretamente es la diferencia de potencial que existe entre la superficie de separación de las partes fija y móvil y el seno del líquido.

- **PRESIÓN OSMÓTICA:** Es la presión balanceante entre dos líquidos con mayor y menor concentración de partículas por medio de una membrana llamada plasmática.

- **SOLUCIÓN:** Cuando una molécula de una sustancia está disgregada dentro del agua.

- **SUSPENSIÓN:** Cuando partículas relativamente grandes se encuentran flotando dentro del agua.

- **SUPERFICIE ESPECÍFICA:** Es la relación entre el área superficial y la masa de una partícula.

- **TURBIEDAD:** Es el conjunto de partículas finas presentes en el agua.

- **TURBIEDAD:** La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbiedad. La turbiedad es considerada una buena medida de la calidad del agua.

- **TURBIDIMETRO:** instrumento utilizado para medir la turbiedad de los líquidos. Mide la dispersión de un haz de luz en un ángulo de 90°

2. TITULO

DISEÑO Y EXPERIMENTACION DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO PILOTO EN PIEDRA I ETAPA

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Con el objeto de adelantar la investigación en curso, “**El Floculador Piloto en Piedra**”, se localizó en la sede del acueducto Mijitayo, en la ciudad de **San Juan de Pasto**, localizado en la zona nor-occidental de la ciudad, a una altura aproximada de 2.670 m.s.n.m y cuya función es procesar el agua de las quebradas Mijitayo y San Felipe, para el suministro de agua potable para la región central y nor-occidental de esta ciudad.

2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

Esta sede del Acueducto Municipal de la ciudad de San Juan de Pasto, como se había mencionado, utiliza el agua de las quebradas Mijitayo y San Felipe; agua que una vez potabilizada por procesos tradicionales de des-arenación, floculación, sedimentación y filtración, mediante el uso de químicos para flocular y para filtrar; satisface así, las especificaciones que se deben tener en cuenta para el suministro de agua potable a la ciudad.

2.3 PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL FLOCULADOR

Paso	Datos	Cantidad	Und	Criterios	Cálculos	Resultados	Und
1	- Dimensión mayor de la partícula - Dimensión menor de la partícula	LM =5.08 Lm = 3.81	Cms Cms	$DN = \frac{1.24}{\left(\frac{1.19}{LM}\right) + \left(\frac{0.35}{Lm}\right)}$	$DN = \frac{1.24}{\left(\frac{1.19}{5.08}\right) + \left(\frac{0.35}{3.81}\right)}$ $DN = 3.8$	Diámetro Nominal de las partículas	cms
2	- Turbiedad inicial - Turbiedad final - Tiempo óptimo de floculación	To =29.35 Tf =9.28 $\theta = 20$	UPC UPC min	$T = \frac{\theta \ln\left(\frac{T_o}{T_f}\right)}{\left(\frac{T_o}{T_f}\right) - 1}$	$T = \frac{20 \ln\left(\frac{29.35}{9.28}\right)}{\left(\frac{29.35}{9.28}\right) - 1}$ $T = 10.64$	Tiempo de detención en el floculador	Min
3			min	$G = \left(\frac{(2.10 \cdot 10^3)}{(V) \cdot 60}\right)^{\frac{1}{2.1}}$	$G = \left(\frac{(2.10 \cdot 10^3)}{(20) \cdot 60}\right)^{\frac{1}{2.1}}$ $G = 53$	Gradiente de velocidad	S ⁻¹
4	- Diámetro nominal de las partículas - Porosidad - Factor de forma	DN =3.8 $\epsilon = 0.38$ $\varphi = 0.98$	Cms — —	$a = \frac{(0.162 \cdot (1-\epsilon)^2)}{(\varphi^2 \cdot DN^2 \epsilon^2)}$ $b = \frac{(0.018 \cdot \epsilon)}{(\varphi \cdot DN \cdot \epsilon^2)}$	$a = \frac{(0.162 \cdot (1 - 0.38)^2)}{(0.98^2 \cdot 3.8^2 \cdot 0.38^2)}$ $a = 3.1 \times 10^{-2}$ $b = \frac{(0.018 \cdot 0.38)}{(0.98 \cdot 3.8 \cdot 0.38^2)}$ $b = 3.34 \times 10^{-2}$	Coefficientes de la fórmula de Forchheimer	
5	- Radio de la sección de entrada - caudal	r = 0.225 Q = 0.010	mts m ³ /s	$V_1 = \frac{Q}{(\pi r^2)}$	$V_1 = \frac{0.010}{(\pi \cdot 0.225^2)}$ $V_1 = 6.28 \times 10^{-2}$	Velocidad en la sección de entrada	m/s
6	- Radio de la sección media	r = 0.24	mts			Velocidad en la sección de entrada	m/s

Paso	Datos	Cantidad	Und	Criterios	Cálculos	Resultados	Und
				$V_2 = \frac{Q}{(\pi * r^2)}$	$V_2 = \frac{0.010}{(\pi * 0.24^2)}$ $V_2 = 5.52 * 10^{-2}$		
7	- Radio de la sección máxima	r = 0.26	mts	$V_2 = \frac{Q}{(\pi * r^2)}$	$V_2 = \frac{0.010}{(\pi * 0.26^2)}$ $V_2 = 4.07 * 10^{-2}$	Velocidad en la sección de entrada	m/s
8	-			$J = aV_1 + bV_1^2$	$J_1 = 3.1 * 10^{-2} + 6.28 * 10^{-2}$ $3.34 * 10^{-2} + (6.28 * 10^{-2})^2$ $J_1 = 2.07 * 10^{-2}$	Perdida de carga unitaria en la sección de entrada	m/m
9	- Peso específico del agua -Viscosidad absoluta.	$\gamma = 998.97$ $\mu = 1.14 * 10^{-4}$	Kgf/m ³ kgf.s/m ²	$G_1 = \sqrt{\left(\frac{\gamma}{\mu}\right) * \sqrt{\left(\frac{V_1 * J_1}{\epsilon}\right)}}$	$G_1 = \sqrt{\left(\frac{998.97}{1.14 * 10^{-4}}\right)}$ $* \sqrt{\left(\frac{6.28 * 10^{-2} + 2.07 * 10^{-2}}{0.38}\right)}$ $G_1 = 54.7$	Gradiente en la sección de entrada	S ⁻¹
10	-			$J_2 = aV_2 + bV_2^2$	$J_2 = 3.1 * 10^{-2} + 5.52 * 10^{-2}$ $3.34 * 10^{-2} + (5.52 * 10^{-2})^2$ $J_2 = 1.81 * 10^{-2}$	Perdida de carga unitaria en la sección media	m/m
11	- Peso específico del agua -Viscosidad absoluta.	$\gamma = 998.97$ $\mu = 1.14 * 10^{-4}$	Kgf/m ³ kgf.s/m ²	$G_2 = \sqrt{\left(\frac{\gamma}{\mu}\right) * \sqrt{\left(\frac{V_2 * J_2}{\epsilon}\right)}}$	$G_2 = \sqrt{\left(\frac{998.97}{1.14 * 10^{-4}}\right)}$	Gradiente en la sección media	S ⁻¹

					$G_s = \sqrt{\left(\frac{(5.52 \cdot 10^{-2} \cdot 1.81 \cdot 10^4)}{0.38}\right)}$ $G_s = 48$		
12				$j_s = aV_s + bV_s^2$	$j_s = 3.1 \cdot 10^{-2} \cdot 4.7 \cdot 10^{-2} + 3.34 \cdot 10^{-2} \cdot (4.7 \cdot 10^{-2})^2$ $j_s = 1.53 \cdot 10^{-2}$	Perdida de carga unitaria en la sección de salida	m/m
13	- Peso específico del agua - Viscosidad absoluta.	$\gamma = 998.97$ $\mu = 1.14 \cdot 10^{-4}$	Kgf/m ³ kgf.s/m ²	$G_s = \sqrt{\left(\frac{\gamma}{\mu}\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{V_s \cdot j_s}{\epsilon}\right)}$	$G_s = \sqrt{\left(\frac{998.97}{1.14 \cdot 10^{-4}}\right)}$ $\cdot \sqrt{\left(\frac{(4.7 \cdot 10^{-2} + 1.53 \cdot 10^{-2})}{0.38}\right)}$ $G_s = 41$	Gradiente en la sección de entrada	S ⁻¹
14				$Vol = 60 \cdot Q \cdot T \cdot \epsilon$	$Vol = 60 \cdot 0.010 \cdot 5 \cdot 0.38$ $Vol = 1.14$	Volumen Teórico Total del floculador de piedra	M ³
15	-Tiempo real de detención	Tr = 3.42	seg	$Vol = 60 \cdot Q \cdot T \cdot \epsilon$	$Vol = 60 \cdot 0.010 \cdot 3.42 \cdot 0.38$ $Vol = 0.77$	Volumen real Total del floculador de piedra	M ³
16	- Radio de la sección media - Radio de la sección de entrada	$r_2 = 0.24$ $r_1 = 0.225$	Mts Mts	$Tan\phi = \frac{\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{3 \cdot 60 \cdot Q \cdot T \cdot \epsilon}$	$Tan\phi = \frac{\pi \cdot (0.24^2 - 0.225^2)}{3 \cdot 60 \cdot 0.010 \cdot 3.42}$ $Tan\phi = 2.7 \cdot 10^{-2}$ $\phi = 1^\circ 37'$	Angulo de inclinación del floculador hidráulico (interno)	DEG
17					$H_1 = \frac{ 0.24 - 0.225 }{2.7 \cdot 10^{-2}}$	Altura comprendida entre la sección de entrada y la	M

				$H_1 = \frac{ r_2 - r_1 }{\tan \theta}$	$H_1 = 0.55$	sección media		
18	-Radio de la sección de salida	$R_3 = 0.26$	Mts	$H_2 = \frac{ r_2 - r_1 }{\tan \theta}$	$H_2 = \frac{ 0.26 - 0.24 }{2.7 \cdot 10^{-2}}$ $H_2 = 0.74$	Altura comprendida entre la sección media y la sección de salida	M	
19				$H = H_1 + H_2$	$H = 0.55 + 0.74$ $H = 1.29$	Altura total del medio poroso	M	
	Paso	Datos	Cantidad	Und	Criterios	Cálculos	Resultados	Und
20					$i_o = J_2 \cdot H$	$J_2 = 1.81 \cdot 10^{-3} \cdot 1.29$ $i_o = 0.0023$	Pérdida de carga inicial	m

Tabla 5 Proceso de diseño y cálculo del floculador.

2.4 ETAPAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FLOCULADOR

El proceso de construcción se realizó ensamblando dos tanques de plástico, uniéndolos con un anillo metálico, hecho que permitió el sello hidráulico entre las mismas; luego se prosiguió a instalar los aditamentos por los cuales iba a entrar y salir el agua, junto con su respectiva tubería externa e interna, en el interior del tanque posee dos flautas repartidoras de fluido, la primera flauta permite distribuir el líquido en el interior del floculador; para llevar a cabo el proceso ascendente del agua entre las piedras, la segunda facilita el auto lavado del floculador. El floculador como puede verse en los planos; presenta válvulas de control de la entrada y salida de agua; ya sea para su auto lavado o para su funcionamiento como veremos más adelante.

Para controlar el tiempo de floculación hidráulica se realizó un ensayo llamado prueba de retención hidráulica que es como sigue:

Prueba de Retención Hidráulica

Objetivo General

- Determinar el tiempo de retención hidráulica del floculador piloto en piedras.

Objetivos específicos

- Determinar tiempos probables de retención hidráulica
- Evaluar el floculador hidráulico con sustancias saturadas en color (Trazas).

Procedimiento

Se utilizó un dispositivo por medio del cual se inyecta una sustancia llamada traza, para este caso se utilizó tinte de tipo orgánico, que va conectado a la entrada principal del floculador mediante una T con el fin de que esta se difunda en las mismas condiciones de velocidad y caudal hacia el interior del floculador, el tiempo que tarde en recorrer la tinta en el floculador contados a partir de la inyección de la traza y la salida del floculador será el tiempo de retención hidráulica de este sistema. Se toman diferentes datos de color a diferentes tiempos en intervalos de 15 segundos, se grafica y el tiempo que tenga el mayor valor en cuanto a color será entonces el tiempo de retención hidráulica del floculador hidráulico piloto en piedras.

Toma de Datos

Los datos obtenidos están en la siguiente tabla, en la cual nos damos cuenta que el tiempo de retención hidráulica es de 3 minutos con 45 segundos, valor que se obtuvo al tener el valor más alto de color de 226.3 UPC, dato plenamente confiado pues anteriormente se le hizo pruebas similares obteniendo un tiempo de retención hidráulica de 3 minutos 42 segundos, con el cual se verifico el diseño del floculador hidráulico piloto en piedras.

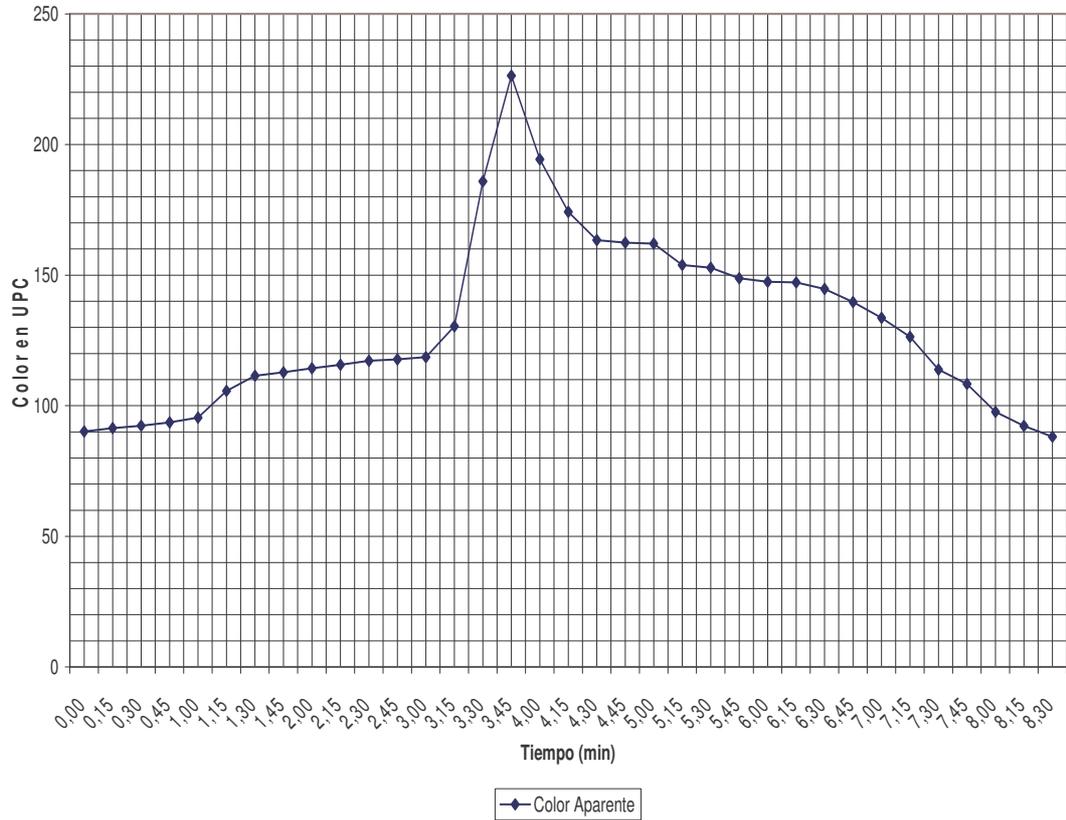
Minutos	Segundos	Color aparente
2,45		117,8
3,00		180,6
3,45		226,3
4,00		194,8
4,45		194,8
5,00		158,4
5,45		102,7
6,00		116,4
6,45		152,9
7,00		152,8
7,45		146,81
8,00		117,8

Tabla N 6

6,15	147,2
6,30	144,7
6,45	139,7
7,00	133,7
7,15	126,4
7,30	113,8
7,45	108,4
8,00	97,6
8,15	92,3
8,30	88,16

Prueba de retención Hidraulica

Prueba de retención Hidraulica



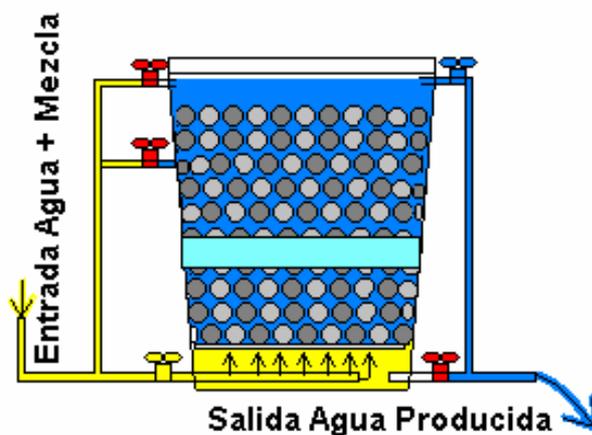
Grafica 1 Prueba de retención hidráulica.

Para el anterior ensayo se determinó experimentalmente que el tiempo de retención hidráulica del floculador piloto es de 3 minutos 42 segundos como se mira en la grafica, tiempo que nos deja muy satisfechos, pues el tiempo teórico de retención con el que se obtuvo su diseño fue de 5 minutos, con lo cual su baja es notablemente considerable; En cuanto al comportamiento con las trazas, se observó que el floculador funciona perfectamente para casos de aguas totalmente turbias.

2.5 OPERACIÓN DEL FLOCULADOR

Como podemos ver en la grafica, la función del dispositivo comienza; cuando el agua con mezcla mixta, se toma a la salida de la canaleta Parshall , una vez está dentro del tubo de entrada del floculador experimental, se lleva a la parte inferior del dispositivo, y al abrir la llave de paso entra al floculador, por presión hidráulica, así llega, hasta la flauta inferior de distribución del fluido, donde comienza a propagarse, en el interior del floculador, de esta manera comienza a ascender; para alcanzar la malla de soporte de las piedras; donde penetra entre sus rejillas y entra en contacto con ellas, al fluir entre las piedras, continua ascendiendo formando el floc; el cual es retenido en las porosidades de las rocas. De esta manera se puede observar; como un agua turbia afluyente, al entrar en contacto con las piedras fruto de su ascenso y del depósito del floc en las piedras; sale como agua cristalina y de mejor calidad.

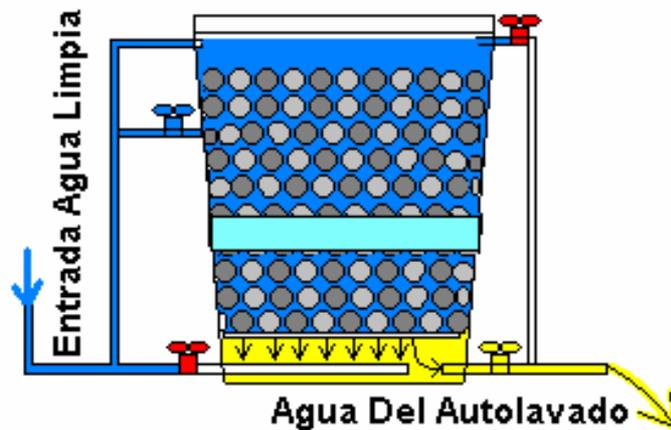
Cuando el nivel del agua a ascendido tanto, que ha llegado alcanzar la altura de 1.65 m, notamos una agua limpia y cristalina que comienza a evacuarse, a través del control del la válvula de salida que presenta el conducto de externo de evacuación.



Grafica No 2 Floculador Piloto

2.6 MANTENIMIENTO DEL FLOCULADOR

El proceso de auto lavado se realiza de manera inversa a la entrada del agua limpia, en este caso entra al dispositivo por la parte superior y media del floculador el liquido al descender arrastra el floc retenido en las piedras, llevándolo por gravedad hacia la parte inferior del dispositivo, el cual lo evacua al abrir la válvula de salida.



Grafica No 3 Floculador Piloto

2.7 UNIVERSO DE MUESTRAS

El número total de muestras se determino empleando la siguiente formula:

$$R = 2 * (\sigma / \delta)^2 (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2$$

Donde:

R: Numero de ensayos

σ = Desviación Standard

δ = Diferencia real por la que el experimento tiene o no una alta probabilidad de mostrar una diferencia estadística entre las medidas de cada ensayo (0.15 tomado de ensayos piloto).

α = Valor de significación

$1 - \beta$ = Probabilidad

Los valores de $(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2$ se obtienen de la siguiente tabla para algunos valores de α y de β .

$1 - \beta$	B	σ		
		0.01	0.05	0.10
0.80	0.20	11.63	7.84	6.15
0.90	0.10	14.82	10.50	8.53
0.95	0.05	17.72	12.96	10.76

¹⁶

Tabla 8 Los valores de $(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2$

Para encontrar el número de ensayos asumimos el error del 5 % con una desviación estándar de 0.10 tenemos $(Z_{\alpha} + Z_{\beta}) = 10.76$

Entonces.

$$R = 2 * (0.10 / 0.15)^2 (10.76)^2 = 102.91$$

Para asegurar el tamaño de la muestra hicimos un total de 120, pues si estadísticamente funciona la anterior fórmula, no tiene en cuenta variables de tipo determinístico en las cuales se ve afectada la etapa de experimentación como por ejemplo el cambio de factores atmosféricos, y variaciones de caudal entre otros.

¹⁶ Fuente, Jiménez Luisa, Probabilidad y estadística aplicada a procesos, 4ª edición 1997 63p

3 TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Una vez tomadas las muestras, registradas y documentadas, se llevaron al laboratorio de la Universidad de Nariño, para su correspondiente análisis, en lo que respecta a su Ph, Temperatura, Turbiedad, Color Aparente y Color verdadero.

Al comparar los datos que tiene el acueducto en esos puntos y los datos que tenemos entre la entrada y la salida del floculador; con el objeto de establecer así, en primer lugar la eficiencia del floculador con los datos de entrada y salida del mismo. Los otros puntos permiten establecer la eficiencia del acueducto en esos puntos(es decir Muestras M1,M4 y M5) al compararlos con obtenidos con el Floculador Piloto; como se verá más adelante. A continuación un ejemplo

Prueba	Muestra	Fecha	Ph	Temp.	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
61	1	09/04/07	7.2	17.40	16.86	205.11	102.32

En los anexos de los datos Se encuentran mejor especificados.

3.1 PROGRAMACIÓN

Para realizar la etapa de experimentación, que consistía en la toma de muestras, transporte de ellas y ensayos de laboratorio para determinar los diferentes parámetros, se programó durante los meses de enero – junio del 2007 realizando una por día teniendo en cuenta la disponibilidad del laboratorio y realizándolas en diferentes horas del día.

3.2 PUNTOS DE MUESTREO

El proceso de toma de muestras se realizara en cinco puntos claves, con el objeto de establecer un posterior análisis, como ya se había comentado, Los puntos a tomar las muestras son:

- **Muestra Número Uno:** Es la realizada antes de la acción del dosificador, es decir antes de llegar a la Canaleta Parshall.
- **Muestra Número Dos:** Es la que se toma inmediatamente después de la canaleta Parshall, es decir donde, colocamos nuestro tubo de entrada de la mezcla mixta para el floculador experimental.
- **Muestra Número Tres:** Es la que se realiza inmediatamente después de la salida de nuestro Floculador Hidráulico Experimental Piloto de Piedra.
- **Muestra Número Cuatro:** Se realiza en la salida de los floculadores de paleta que tiene el acueducto.
- **Muestra Número Cinco:** Se realiza en la entrada de los filtros.

Los puntos anteriormente descritos se encuentran muy detallados, en los planos anexos.

3.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Una vez tomada las muestras, se procede a rotularlas y una vez así, se llevan al laboratorio, ya sea al de la Universidad de Nariño o a las instalaciones del laboratorio del Acueducto, con el objeto de proceder a realizarles sus respectivos análisis.

3.4 DESCRIPCION DEL PROCESO DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio, posterior análisis y descarte de valores incongruentes, se realizó la sistematización de los datos, para lo cual se empleo una hoja de cálculo, que ayudó de manera significativa a la realización del análisis estadístico, en el cual se determinan parámetros en un principio estadísticos, y diferencias claras del sistema que está actualmente y el proceso investigativo que se hizo, por lo cual se lo clasificó de acuerdo a los parámetros obtenidos.

3.5 TURBIEDAD

Según el análisis realizado se observa que los datos obtenidos en cuanto a turbiedad se encuentran concentrados teniendo como desviación estándar en promedio de **8.72** unidades nefelométricas de turbidez, con valores promedios máximos de **61.60** UNT, y valores promedios mínimos de **3.05** UNT, también se observa que el valor mas común en los ensayos está en promedio de **7.60** UNT. (Ver anexo análisis estadístico).

3.6 COLOR APARENTE

Los datos estadísticos del color aparente se encuentran medianamente dispersos, teniendo una desviación estándar en promedio de **80.2** unidades de platino cobalto, con valores máximos y mínimos en promedio de **567.4** y **26.5** UPC respectivamente con el valor más común en promedio de **103.6** UPC. (Ver anexo análisis estadístico).

3.7 COLOR VERDADERO

En cuanto a Color verdadero se observa que los datos son más concentrados, teniendo una desviación estándar en promedio de **29.10** UPC, con un valor máximo en promedio de **182.82** UPC y un valor mínimo en promedio de **3.93** UPC,

teniendo como valor más común en promedio de **38.89** UPC. (Ver anexo análisis estadístico).

4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Realizado el análisis estadístico completo y revisado sus diferentes valores se determina claramente que es un buen soporte de tipo investigativo por lo que se puede obtener varias conclusiones de tipo estadístico y por ende algunas que nos indiquen el comportamiento claro de nuestro experimento. Se mira que dentro de los parámetros estadísticos de desviación estándar que es en sí la dispersión de datos dentro del universo muestral, estos en general se encuentran moderadamente concentrados a su valor promedio, lo que hace que se pueda obtener unas curvas que reflejan esta situación. En cuanto a los demás parámetros estadísticos, como son, promedios, máximos, mínimos, varianza, moda, y desviación media, nos da una explicación clara estadística, que por ser este un análisis de tipo investigativo – experimental se debe tener más en cuenta los valores promedios y su desviación estándar, que es en sí la parte del análisis estadístico que se tendrá más en cuenta en la posterior evaluación sin despreciar los parámetros anteriores.

4.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS TANQUE FLOCULADOR EN PIEDRAS PILOTO

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron se puede afirmar:

Estadísticamente se observa que la desviación estándar obtenida a la salida del floculador experimental esta en **5.15** UNT, lo que refleja claramente la concentración de los datos, siendo de total confiabilidad.

En cuanto a turbiedad se observa una baja significativa en nuestro floculador, puesto que el agua a la entrada del tanque entra con **22.81** UNT en promedio,

luego del paso por el medio poroso sale con una turbiedad de **7.62** en promedio, reduciéndose en **15.19** UNT lo que significa una reducción en turbiedad del **66.59%**, una reducción muy considerable y satisfactoria para los resultados esperados.

En el análisis estadístico se observa que el color aparente tiene una desviación estándar de **18.2** UPC observándose así una concentración de datos inferior a la turbiedad, con la salvedad que sus valores máximos a la salida del floculador está en **98.5** UPC lo que explicaría su valor.

El color aparente se mira reducido en **136.8** UPC entrando con **206.0** UPC al floculador experimental, y saliendo con **69.2** UPC en promedio, lo que da una reducción del **66.40%** en color.

Estadísticamente se mira que el color verdadero a la salida del floculador tiene una desviación estándar de **12.4** UPC reflejando que sus datos no están dispersos, razón por la cual son totalmente confiables.

El color verdadero en nuestro floculador entra con promedio de **38.8** UPC y sale con **26.6** UPC con una reducción de **12.2** UPC que representa el **31.44** % menos.

4.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS TANQUE CONVENCIONAL PLANTA MIJITAYO

La turbiedad posee una desviación estándar de **9.74** UNT con un máximo de **79.40** UNT siendo unos datos totalmente confiables por su baja dispersión.

En el floculador existente en la planta de Mijitayo el agua entró con una turbiedad de **22.81** y salió con **14.03** UNT en promedio, reduciéndose en **8.78** UNT que representa el **38.4%** de turbiedad.

En cuanto a Color aparente tenemos una desviación estándar de **102.4** UPC con máximo de **788.9** UPC que refleja la amplitud de los datos y su dispersión.

El agua entra al floculador con **206** UPC y sale con **143.4** UPC existiendo una reducción **62.6** UPC que representa el **30.38** % de color.

El color verdadero tiene una desviación estándar de 23.3 UPC a la salida del floculador con un máximo de **188.6** UPC, siendo datos confiables estadísticamente.

El agua entra con un color verdadero de **38.8** UPC y sale con **36.0** UPC con una reducción de **2.8** UPC que representa el **7.21** % de color.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS:

Comparando estos dos procesos de floculación, el uno por parte del tratamiento que se le hace al agua con mezcla rápida en Empopasto y el segundo el tratamiento que se le hace en el floculador experimental piloto se pueden extraer las siguientes comparaciones.

Aunque los dos son procesos de floculación, son totalmente diferentes, pues el uno se basa en la energía mecánica inducida mediante el movimiento de paletas para la agitación del agua con mezcla rápida, el otro utiliza simplemente la energía hidráulica, basándose en el paso del agua por infinitas cámaras para la formación del floc. Los dos procesos tienden a un solo objetivo de allí que se mira sus resultados.

En cuanto a turbiedad se mira que el floculador convencional remueve un **38.4%** de NTU y el floculador experimental remueve una turbiedad del **66.59%** una diferencia considerable en lo que respecta a este parámetro entre estos dos floculadores.

En cuanto a color aparente se observa que el floculador convencional remueve un **30.38%** de UPC mientras que el floculador experimental hace una remoción del color en un **66.4%**.

El color verdadero se ve removido en el floculador convencional en un **7.21%** en tanto que en el floculador experimental se remueve en un **31.44%**.(Ver graficas comparativas).

Los anteriores resultados se ven mejor expresados en las siguientes tablas:

Parámetro	Entrada a los sistemas	Floculador hidráulico Piloto		Floculador acueducto	
		unidades	Porcentaje	unidades	Porcentaje
Turbiedad (NTU)	22.81	7.62	66.59	14.03	38.4
Color Aparente (UPC)	206.0	69.2	66.40	143.4	30.38
Color verdadero (UPC)	38.8	26.6	31.44	36	7.21

Tabla 8 comparativa de resultados

Parámetro	Entrada a los sistemas	Floculador hidráulico Piloto		sedimentadores acueducto	
		unidades	Porcentaje	unidades	Porcentaje

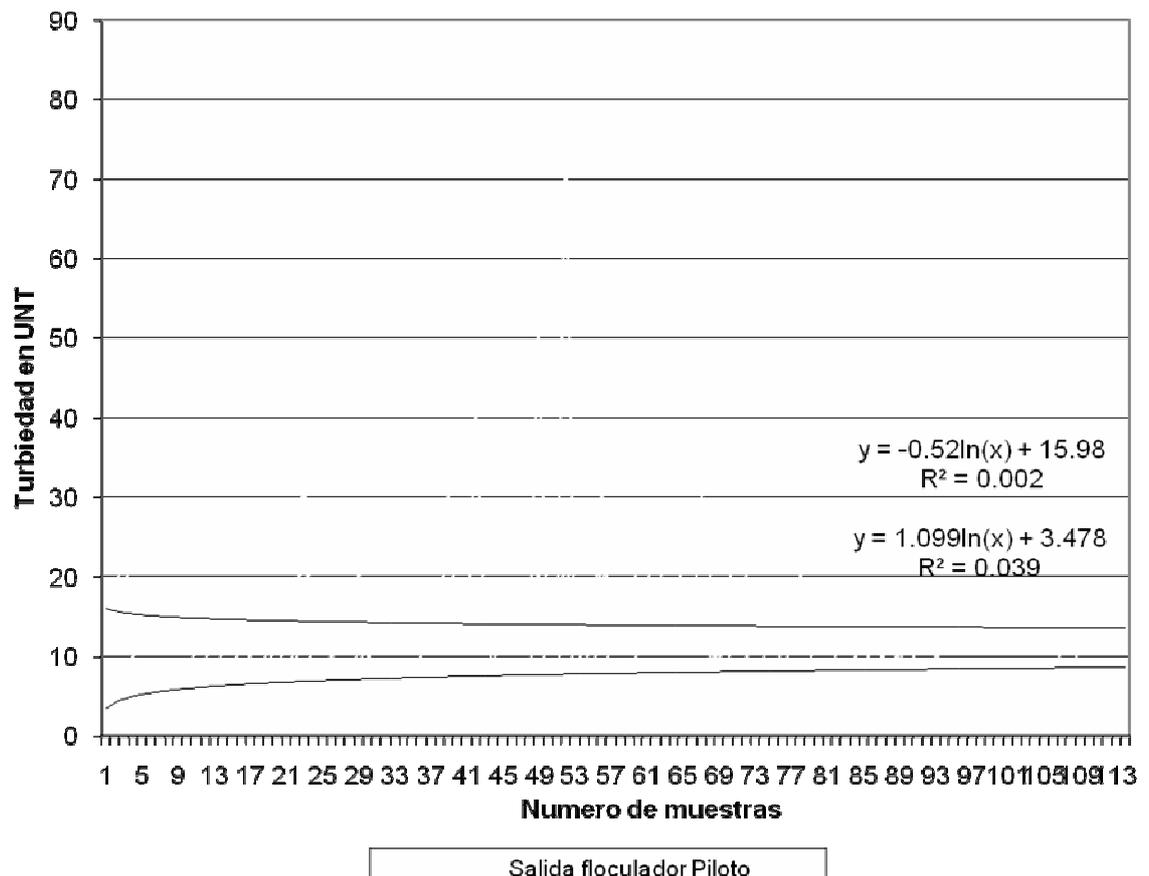
Turbiedad (NTU)	22.81	7.62	66.59	4.58	79.9
Color Aparente (UPC)	206.0	69.2	66.40	51.5	75
Color verdadero (UPC)	38.8	26.6	31.44	19.8	48.96

Tabla 9 comparativa de resultados

CURVAS DE REGRESION COMPARATIVA

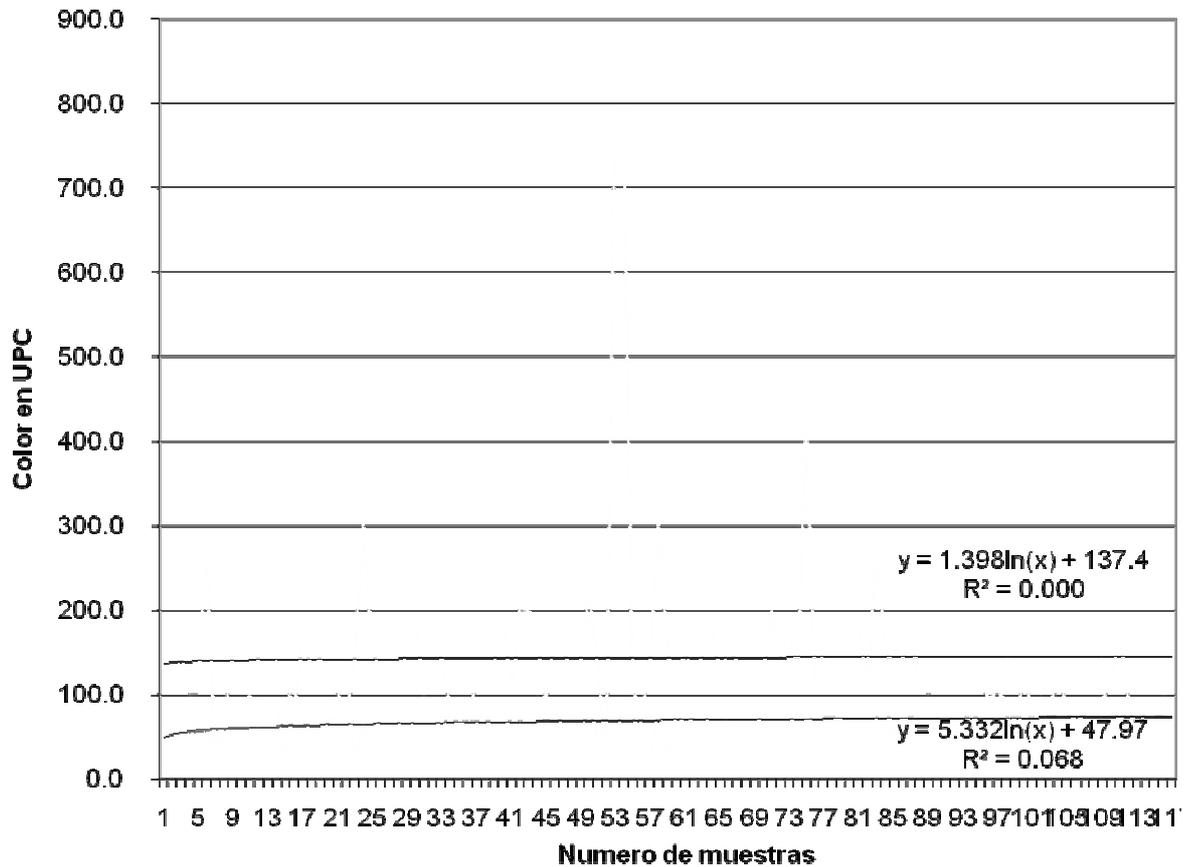
Las siguientes curvas de regresión nos muestran, las líneas de tendencia que toman los valores tanto en la salida del floculador piloto y el floculador del acueducto, en ellas se puede determinar la amplia diferencia, en cuanto a la calidad en turbiedad, color aparente y color verdadero.

**Curvas de regresion Turbiedad salida floculador piloto vs
Salida floculador acueducto**



En la gráfica anterior se puede observar que las dos curvas tienden a tener un punto de intersección a pesar que su comportamiento es análogo (la curva de salida del floculador piloto es positiva y la salida del floculador del acueducto es negativa). Sin embargo, se detalla que los valores de turbiedad obtenidos son siempre inferiores a los que registra la salida del floculador del acueducto, con lo cual concluimos que la eficiencia del floculador piloto es mayor que la registrada por la salida del floculador del acueducto.

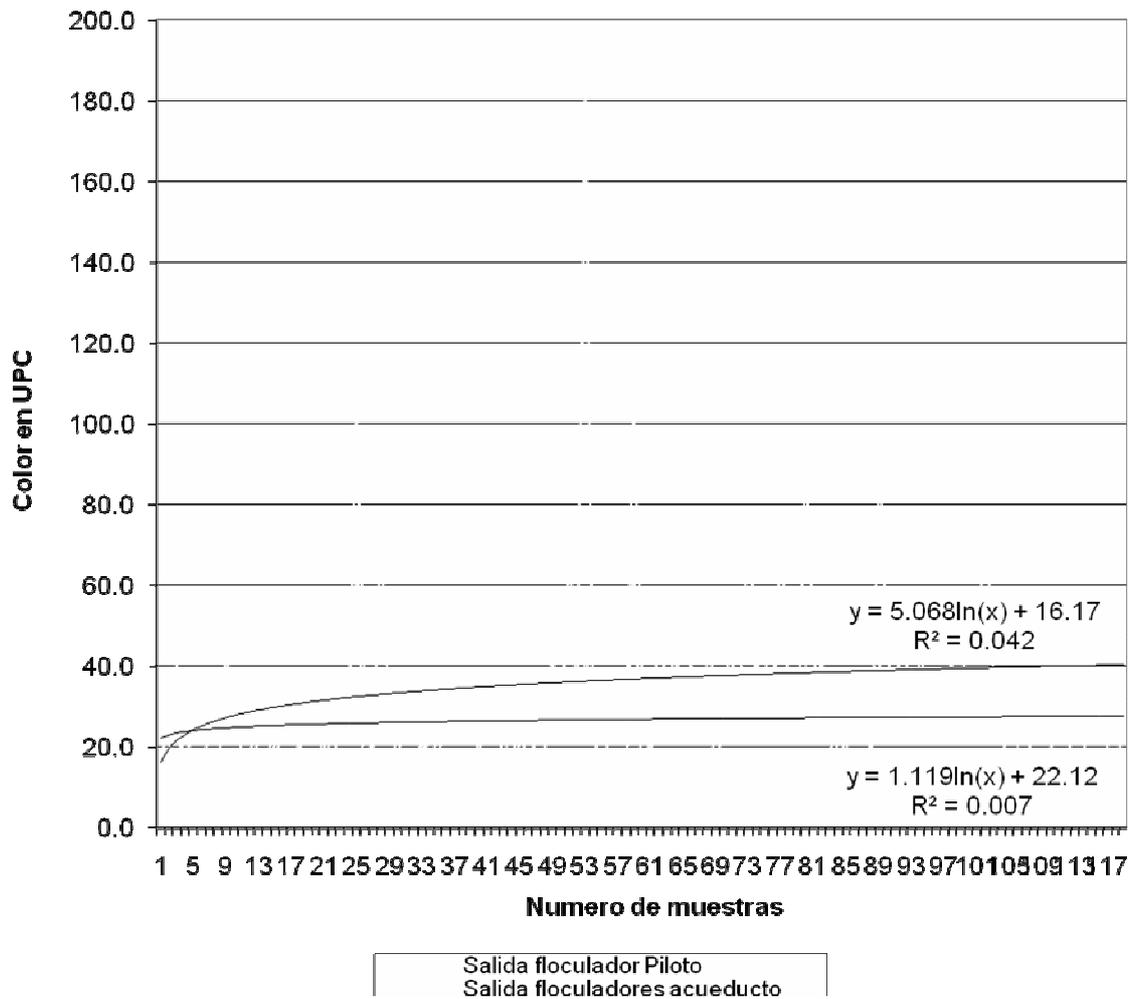
Curvas de regresion Color Aparente Salida Floculador Piloto Vs Salida Floculadores Acueducto



Salida floculador Piloto
Salida floculadores acueducto

En la gráfica anterior se evidencia de manera marcada el comportamiento del floculador piloto en cuanto a la remoción del color aparente, respecto a la misma remoción que muestra el floculador del acueducto, la cual es superior en el floculador piloto, ya que en él, además de la formación del floc se presenta también un proceso de filtración, lo cual lo habilita para evidenciar una mejor remoción.

Curvas de regresion Color Verdadero Salida Floculador Piloto Vs Salida Floculadores Acueducto



Las curvas en cuanto a color verdadero indican el mismo comportamiento que evidencias las anteriormente analizadas, respecto a este proceso podemos decir que la remoción respecto se evidencia mayor en el floculador piloto que en la del acueducto.

4.4 EVALUACIÓN FINAL

Por lo analizado anteriormente se mira que el floculador experimental funciona muy bien en cuanto esta aglomerando y removiendo partículas del agua a tratar, por lo que su capacidad es mas amplia de la que se pretendía en un comienzo, de ahí que se lo evaluó también con los datos obtenidos a la salida del sedimentador, mirando una leve diferencia entre el floculador y el sedimentador, podríamos decir que el floculador casi hace las funciones de sedimentador, ala vez que cumple sus funciones de floculación, con la aclaración que los dos procesos son totalmente diferentes pero que buscan en si la reducción notable en cuanto a Turbiedad, y color.

También se comparó los tiempos de retención hidráulica de los dos procesos, por una parte el del floculador experimental que tiene un TRH real de 3.42 min. Y el TRH del Floculador del acueducto de 15 min. Con la diferencia en áreas que en el floculador convencional es muy grande al igual que su caudal (150 Lps). (Ver anexo Prueba de Retención Hidráulica).

5. CONCLUSIONES

- Para las condiciones, y características del agua empleada en Empopasto, los parámetros de diseño obtenidos fueron:
Caudal empleado: $0.010 \text{ m}^3/\text{s}$.
Diámetro nominal del lecho rocoso: 3.8 cms: 1.5 plg.
Diámetro en la base del floculador: 0.45 mts
Diámetro en la sección media del floculador: 0.48 mts.
Diámetro en la sección máxima del floculador: 0.52 mts.
Altura total del lecho rocoso: 1.28 mts.
Volumen real total del floculador de piedra: 5.84 m^3
Altura total del floculador: 1.70 mts
Tiempo real de detención en el floculador: 3,42 min.
Velocidad media de la sección: 5.52 cms/seg
Pérdida de carga unitaria: 1.18 m/m
Gradiente de velocidad media: 1.20 s^{-1} .
Angulo de inclinación de las paredes del floculador: $89^\circ, 27'$.
- Respecto a la geometría del floculador se observa que es una estructura, relativamente pequeña, de fácil ensamble y mantenimiento, en cuanto a las condiciones hidráulicas, su velocidad es menor a 0.10 m/s lo que hace que ayude en el proceso de sedimentación del floc.
- El floculador experimental piloto reporta una amplia eficiencia en formar y remover el floc presente en el agua a tratar, esto lo evidencia removiendo en un 66.59% de impurezas.

- En cuanto al color aparente, el floculador experimental piloto reporta una reducción del 66.40 % de UPC, siendo un valor muy significativo, puesto que este parámetro, es muy difícil de remover, con nuestra aplicación.
- El floculador experimental piloto en lo referente al color verdadero, se muestra una reducción de un 31.44 % de UPC, lo cual explica, claramente la eficiencia del equipo.
- El color se reduce mas en el sistema tradicional con sedimentadores, pues, por poseer varias unidades de sedimentación, sus tiempos de retención hidráulicas con mayores que en el floculador hidráulico piloto en piedras, con la obvia diferencia que son dos procesos totalmente diferentes.
- Los parámetros obtenidos en el floculador hidráulico piloto en piedras no difieren mucho de los obtenidos en la planta de tratamiento después del proceso de sedimentación lo que nos permite afirmar que además de cumplir su función, casi cumple las funciones de sedimentación.
- Al aglomerar las partículas del agua, las filtra, y esa función doble posibilita al equipo, una gran medida de reducción considerable en cuanto a los parámetros antes obtenidos, por tanto se está comportando cómo un floculador y filtro, bajo las características y condiciones del agua.
- Los resultados obtenidos evidencian que el floculador experimental por poseer múltiples cámaras, presenta una gran eficiencia al momento de aglomerar las partículas, por tanto su capacidad de remoción es evidente, pero la misma hace que dicho equipo se sature de impurezas en muy corto tiempo lo cual obliga a un constante y continuo lavado del sistema bajo las condiciones hidráulicas de este.

- La alta eficiencia del equipo para remover las partículas coaguladas permite que los resultados obtenidos en cuanto a turbiedad, sean de un 66.59% en remoción, a diferencia de un 79.9 % que la planta remueve empleando sedimentadores, estos resultados evidencian que el floculador experimental piloto logro un porcentaje cercano al de la planta sin necesidad de un sedimentador.
- Los análisis anteriores nos permiten concluir, que la eficiencia del equipo permite obviar la función que adelanta el sedimentador, pensamos que para mejorar a un mas la tecnología, la adaptación al sistema de un filtro proyectara la función total de los sedimentadores que presenta la planta.

RECOMENDACIONES

- Evaluar las condiciones dimensionales del sistema, si existe una posterior evaluación, puesto que los datos obtenidos y las conclusiones en este experimento son válidos en las condiciones, dimensiones y caudal empleados para esta investigación
- Lavar periódicamente el sistema, por su alta capacidad de remoción de sólidos, es posible que se llegase a saturar del mismo.
- Seguir con la implementación este tipo de investigaciones en el acueducto de la ciudad, ya que los resultados que surgen, posibilitan más actividades de investigación, tanto de la universidad como del acueducto.
- Continuar con esta línea investigativa, proyectando desde la asignatura de Hidráulica la implementación de futuros proyectos de investigación al respecto.
- Acompañar al proceso investigativo todos los estamentos que están involucrados con esta rama de la investigación.
- Implementar el floculador hidráulico piloto en piedras en pequeños acueductos donde los volúmenes a tratar no sean elevados, siempre y cuando se diseñe teniendo en cuenta las características físicas del agua a tratar.

BIBLIOGRAFÍA

CÁNEPA DE VARGAS, Lidia; CEPIS (Lima, PE). Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado. Tecnologías en acueductos rurales; investigación No. 10. Lima (PE), CEPIS-DTIAPA, 1982.

Caracterización y concentración del aluminio en el tratamiento del agua: Publicado en la página de Walter Research Commission, CEPIS/OPS. Centro panamericano de ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. Plantas modulares, 1996.

CEPIS (Lima, PE). Plantas modulares de tratamiento de agua. En: CEPIS documentos técnicos No. 8. Lima, CEPIS, 1982. (Actualizado en 1990).

CEPIS (Lima, PE). Programa Regional HEP/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Serie floculación; Manual II: Teoría y Evaluación; Manual III: Diseño. Lima (PE), CEPIS, 1992.

CEPIS (Lima, PE). Programa Regional HEP/OPS/CEPIS Coagulación y floculación de contaminantes del agua. Publicación en la página de "Ciencia Abierta" de la Universidad de Chile.

CEPIS (Lima, PE). Programa Regional HEP/OPS/CEPIS Los proyectos realizados en el Perú y Costa Rica con la colaboración del CEPIS,

Coagulantes inorgánicos de uso frecuente en el tratamiento del agua. Publicación del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.

COAGULATION AND FLOCCULATION PROCESS FUNDAMENTALS : Página en inglés, de Minnesota Rural Water Association, con descripciones y esquemas de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

JORGE ARTURO PEREZ PARRA. Manual de Potabilización del agua.3ª edición
Medellín 2002.

PÉREZ CARRIÓN, José; CÁNEPA DE VARGAS, Lidia; CEPIS (Lima, PE).
Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Abastecimiento de Agua
Potable y Alcantarillado. Guía para diseño de plantas de potabilización En: Manual
DTIAPA, C-3. Lima (PE), CEPIS-DTIAPA, 1984.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Informe anual de potabilización de
aguas: 2007.

RITCHER, C.A. Sistemas Simplificados de floculación. Compañía de saneamiento
de Paraná. Brasil 1987.

ROBERTO SALAZAR CANO. Conferencias Sanitaria II Floculación 2001.

ANEXOS

LISTA DE TABLAS ANEXAS

1. Muestras generales.
2. Turbiedad
 - 2.1 Análisis estadístico de turbiedad
 - 2.2 Análisis percentil de datos turbiedad
 - 2.3 Percentiles en porcentajes turbiedad
 - 2.4 Rango de percentiles turbiedad
3. Color Aparente
 - 3.1 Análisis estadístico de color aparente
 - 3.2 Análisis percentil de datos color aparente
 - 3.3 Percentiles en porcentajes color aparente
 - 3.4 Rango de percentiles color aparente
4. Color verdadero
 - 3.1 Análisis estadístico de color verdadero
 - 3.2 Análisis percentil de datos color verdadero
 - 3.3 Percentiles en porcentajes color verdadero
 - 3.4 Rango de percentiles color verdadero

LISTA DE GRAFICAS

1. Grafico general de turbiedad.

Grafico de turbiedad entrada acueducto

Grafico de turbiedad entrada del floculador piloto

Grafico de turbiedad salida del floculador piloto

Grafico de turbiedad salida floculador acueducto

Grafico de turbiedad salida sedimentador acueducto

1.2.1 Turbiedad entrada acueducto Vs salida del floculador Piloto

1.2.2 Turbiedad entrada floculador piloto Vs salida del floculador piloto

1.2.3 Turbiedad salida del floculador piloto Vs salida floculador acueducto

1.2.4 Turbiedad salida del floculador piloto Vs salida sedimentadotes
acueducto.

1.2.5 Concentración de datos turbiedad

2. Grafico general de color Aparente

Color aparente entrada acueducto

Color aparente entrada floculador piloto

Color aparente salida floculador piloto

Color aparente salida flocladores acueducto

Color aparente salida sedimentadores acueducto

2.2.1 Color aparente entrada acueducto Vs salida floclador piloto

2.2.2 Color aparente entrada floclador piloto Vs salida floclador piloto

2.2.3 Color aparente salida floclador piloto Vs salida floclador acueducto

2.2.4 Color aparente salida floclador piloto Vs salida sedimentador
acueducto.

2.2.5 Concentración de datos color aparente

3. Grafico general de color Verdadero

Color verdadero entrada acueducto

Color verdadero entrada floclador piloto

Color verdadero salida floclador piloto

Color verdadero salida flocladores acueducto

Color verdadero salida sedimentadores acueducto

3.2.1 Color verdadero entrada acueducto Vs salida floclador piloto

3.2.2 Color verdadero entrada floclador piloto Vs salida floclador piloto

3.2.3 Color verdadero salida floclador piloto Vs salida floclador
acueducto

3.2.4 Color verdadero salida floclador piloto Vs salida sedimentador
acueducto.

3.2.5 Concentración de datos color verdadero

Tabla N 1 Muestras generales

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
1	1	15-01-07	7,36	16,20	8,32	95,30	29,20
	2	15-01-07	7,50	16,10	13,52	106,36	12,50
	3	15-01-07	7,45	16,30	2,06	29,30	16,50
	4	15-01-07	7,62	16,20	15,60	107,80	22,60
	5	15-01-07	7,63	16,20	1,89		
2	1	16-01-07	8,16	16,00	7,76	87,63	30,73
	2	16-01-07	7,59	15,80	11,35	107,82	10,53
	3	16-01-07	7,52	16,20	1,88	25,22	17,88
	4	16-01-07	7,42	16,10	11,27	105,99	16,04
	5	16-01-07	7,32	17,60	1,25		
3	1	17-01-07	8,02	18,00	12,59	124,34	45,41
	2	17-01-07	7,68	17,00	13,97	150,04	28,89
	3	17-01-07	7,66	17,40	1,78	38,07	28,89
	4	17-01-07	7,53	17,90	28,35	146,37	41,74
	5	17-01-07			1,27		
4	1	18-01-07	7,40	15,90	13,61	175,74	60,00
	2	18-01-07	7,44	15,50	16,32	105,99	8,70
	3	18-01-07	7,18	17,10	3,05	38,07	8,70
	4	18-01-07	7,26	16,60	9,60	100,48	10,53
	5	18-01-07			1,35		
5	1	19-01-07	7,83	14,50	7,80	117,00	94,97
	2	19-01-07	7,15	14,50	14,20	168,00	36,23
	3	19-01-07	7,28	14,90	7,24	89,00	30,73
	4	19-01-07	7,32	14,80	7,92	102,00	27,05
	5	19-01-07					
6	1	22-01-07	7,35	16,40	15,60	209,00	76,62
	2	22-01-07	7,31	16,40	17,91	225,00	34,40
	3	22-01-07	7,30	17,00	9,21	126,00	27,05
	4	22-01-07	7,25	16,90	17,10	279,00	23,38
	5	22-01-07					
7	1	23-01-07	7,36	16,50	7,33	49,00	44,00
	2	23-01-07	7,37	16,50	11,25	34,00	16,00
	3	23-01-07	7,47	16,50	7,86	38,00	37,00
	4	23-01-07	7,41	16,50	11,23	23,00	18,00
	5	23-01-07					

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
8	1	24-01-07	7,63	14,80	8,28	130,00	44,00
	2	24-01-07	7,51	14,80	11,35	115,00	18,00
	3	24-01-07	7,39	15,00	2,03	113,00	21,00
	4	24-01-07	7,41	15,00	10,39	64,00	7,00
	5	24-01-07	7,22	14,80	2,00	44,00	18,00
9	1	25-01-07	7,76	15,00	8,51	117,00	44,00
	2	25-01-07	7,52	14,70	11,64	155,00	19,00
	3	25-01-07	7,31	15,00	7,19	105,00	30,00
	4	25-01-07	7,16	15,00	11,50	144,00	44,00
	5	25-01-07	7,01	14,90	6,16	75,00	27,00
10	1	26-01-07	7,71	14,70	8,08	1802,00	280,00
	2	26-01-07	6,74	14,60	16,80	1859,00	212,00
	3	26-01-07	6,39	14,60	7,75	820,00	27,00
	4	26-01-07	6,59	14,60	15,50	796,00	28,00
	5	26-01-07	6,64	14,60	3,05	65,00	12,00
11	1	29-01-07	7,77	19,60	8,02	128,00	63,00
	2	29-01-07	7,18	19,00	11,46	265,00	18,00
	3	29-01-07	6,83	19,00	7,11	80,00	19,00
	4	29-01-07	6,80	18,50	8,53	146,00	30,00
	5	29-01-07	6,70	18,40	4,27	36,00	27,00
12	1	30-01-07	7,83	17,70	4,77	111,50	51,00
	2	30-01-07	7,21	17,10	12,10	195,00	14,00
	3	30-01-07	6,96	17,10	8,16	111,00	19,00
	4	30-01-07	6,95	17,30	9,05	183,00	33,00
	5	30-01-07	6,93	16,80	3,50	33,00	13,00
13	1	31-01-07	7,56	18,10	9,05	104,00	69,00
	2	31-01-07	7,13	17,70	15,30	170,00	116,00
	3	31-01-07	6,88	18,60	5,32	85,00	28,00
	4	31-01-07	6,99	18,60	14,80	139,00	17,00
	5	31-01-07	6,95	17,60	4,20	82,00	34,00
14	1	05-02-07	7,69	19,40	5,59	87,64	52,76
	2	05-02-07	7,25	19,40	10,25	118,84	30,73
	3	05-02-07	6,98	21,90	1,40	23,38	21,55
	4	05-02-07	7,14	19,80	8,73	115,17	27,06
	5	05-02-07	7,13	19,30	2,45	43,58	30,73
15	1	06-02-07	7,91	18,40	6,14	83,96	50,92
	2	06-02-07	7,45	17,80	10,43	126,18	27,05
	3	06-02-07	7,10	17,90	7,05	89,47	36,23
	4	06-02-07	7,23	18,20	9,03	78,46	27,05
	5	06-02-07	6,83	18,00	8,35	54,59	28,89

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
16	1	07-02-07	7,55	20,50	12,36	129,85	67,44
	2	07-02-07	7,33	20,40	23,60	188,60	3,19
	3	07-02-07	7,22	19,60	5,08	104,16	17,88
	4	07-02-07	7,26	19,90	11,06	175,00	28,89
	5	07-02-07	7,30	19,60	4,72	63,77	21,55
17	1	08-02-07	7,10	19,30	7,23	91,30	58,26
	2	08-02-07	7,31	19,40	19,41	131,69	8,70
	3	08-02-07	7,28	19,40	2,30	52,76	28,89
	4	08-02-07	7,24	19,40	9,83	126,18	28,89
	5	08-02-07	7,28	19,40	2,77	36,23	5,04
18	1	09-02-07	7,13	18,80	13,34	105,99	39,90
	2	09-02-07	7,32	18,70	20,70	172,07	34,40
	3	09-02-07	7,34	18,50	3,80	30,73	30,73
	4	09-02-07	7,38	18,90	12,40	142,70	38,07
	5	09-02-07	7,30	19,00	2,58	39,90	21,55
19	1	12-02-07	7,64	17,40	6,72	105,90	76,62
	2	12-02-07	7,36	17,20	29,00	522,68	21,55
	3	12-02-07	7,15	17,10	5,43	72,95	21,55
	4	12-02-07	7,13	17,10	9,08	109,63	12,37
	5	12-02-07	7,15	16,60	4,52	32,57	12,37
20	1	13-02-07	7,66	19,70	6,02	94,97	56,43
	2	13-02-07	7,47	19,90	32,10	225,30	16,04
	3	13-02-07	7,31	20,00	2,68	72,95	10,53
	4	13-02-07	7,38	20,00	11,68	105,99	25,22
	5	13-02-07	7,28	19,80	1,96	43,57	12,37
21	1	14-02-07	7,75	18,20	7,20	111,49	87,64
	2	14-02-07	7,46	17,80	34,20	218,58	14,20
	3	14-02-07	7,20	17,70	6,63	91,30	28,90
	4	14-02-07	7,20	17,19	8,01	71,11	25,22
	5	14-02-07	7,14	17,70	1,67	27,06	27,05
22	1	15-02-07	7,55	19,30	12,36	105,99	58,26
	2	15-02-07	7,33	19,40	23,60	172,07	8,70
	3	15-02-07	7,22	19,40	5,08	30,73	28,89
	4	15-02-07	7,26	19,40	11,06	142,70	28,89
	5	15-02-07	7,30	19,40	4,72	39,90	5,04
23	1	16-02-07	7,77	14,70	35,90	445,58	230,00
	2	16-02-07	7,42	14,40	44,40	427,23	122,51
	3	16-02-07	7,40	14,40	30,00	416,00	168,40
	4	16-02-07	7,24	14,50	35,10	300,79	104,15
	5	16-02-07	7,27	14,60	7,53	83,96	1,36

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
24	1	19-02-07	7,59	18,20	7,50	120,67	76,62
	2	19-02-07	7,53	18,40	12,72	175,74	35,56
	3	19-02-07	7,16	18,50	2,67	30,73	6,86
	4	19-02-07	7,35	18,50	10,28	151,88	34,40
	5	19-02-07	7,40	18,50	2,57	71,11	38,07
25	1	20-02-07	7,52	17,60	6,16	100,48	71,11
	2	20-02-07	7,50	17,20	9,79	117,00	14,20
	3	20-02-07	7,38	17,60	4,63	78,45	25,22
	4	20-02-07	7,37	17,60	10,53	126,18	16,04
	5	20-02-07	7,25	17,50	2,86	50,92	21,55
26	1	21-02-07	8,00	15,90	6,54	91,30	72,95
	2	21-02-07	7,60	15,60	11,05	139,03	50,92
	3	21-02-07	7,61	15,60	5,08	76,62	36,23
	4	21-02-07	7,32	15,60	10,03	107,82	72,95
	5	21-02-07	7,58	15,90	2,49	65,60	47,25
27	1	22-02-07	7,74	15,30	6,62	85,79	50,92
	2	22-02-07	7,47	15,30	13,40	150,04	34,40
	3	22-02-07	7,46	15,10	7,87	109,66	27,50
	4	22-02-07	7,25	15,00	10,35	104,15	28,89
	5	22-02-07	7,37	15,60	3,87	71,11	3,19
28	1	23-02-07	7,59	18,20	6,16	120,67	71,11
	2	23-02-07	7,53	18,40	9,79	175,74	14,20
	3	23-02-07	7,16	18,50	4,63	30,73	25,22
	4	23-02-07	7,35	18,50	10,53	151,88	16,04
	5	23-02-07	7,40	18,50	2,86	71,11	21,55
29	1	26-02-07	7,89	14,40	20,80	247,33	47,25
	2	26-02-07	7,66	14,30	30,20	232,65	32,56
	3	26-02-07	7,18	14,30	11,58	140,86	23,38
	4	26-02-07	7,41	14,30	21,06	190,43	28,89
	5	26-02-07	7,37	14,30	4,08	28,89	14,20
30	1	27-02-07	7,66	14,80	7,45	107,82	80,29
	2	27-02-07	7,59	14,80	58,70	832,90	21,55
	3	27-02-07	7,55	15,00	7,91	94,97	34,40

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
	4	27-02-07	7,33	15,10	10,24	102,32	21,55
	5	27-02-07	7,35	15,30	2,54	43,57	21,55
31	1	28-02-07	7,51	16,60	6,15	102,32	71,11
	2	28-02-07	7,50	16,50	11,39	132,03	25,22
	3	28-02-07	7,29	16,40	4,83	93,14	16,04
	4	28-02-07	7,27	16,40	9,13	105,99	19,71
	5	28-02-07	7,30	16,10	3,57	58,26	28,89
32	1	01-03-07	7,74	9,00	5,28	87,63	67,44
	2	01-03-07	7,56	8,70	8,62	93,14	27,06
	3	01-03-07	7,38	9,10	2,70	54,50	23,38
	4	01-03-07	7,33	9,20	9,25	144,50	21,50
	5	01-03-07	7,33	9,30	2,43	28,90	14,21
33	1	02-03-07	7,26	16,90	4,60	96,81	78,45
	2	02-03-07	7,27	17,11	8,14	102,32	25,22
	3	02-03-07	7,26	16,70	4,55	82,12	17,88
	4	02-03-07	7,22	16,90	5,90	89,47	25,22
	5	02-03-07	7,19	16,80	2,76	32,56	23,38
34	1	03-03-07	7,21	15,80	5,65	88,60	72,60
	2	03-03-07	7,23	15,90	8,53	95,40	23,40
	3	03-03-07	7,22	15,90	4,20	43,20	14,30
	4	03-03-07	7,21	15,90	5,74	88,50	22,80
	5	03-03-07	7,20	16,00	2,35	40,12	23,10
35	1	05-03-07	7,26	16,70	6,32	73,60	45,65
	2	05-03-07	7,21	16,80	9,65	125,25	40,23
	3	05-03-07	7,12	16,50	3,50	72,50	25,30
	4	05-03-07	7,80	16,60	5,60	83,50	35,80
	5	05-03-07	7,65	16,60	3,20	65,30	26,30
36	1	06-03-07	7,86	18,20	5,31	83,96	76,62
	2	06-03-07	7,69	18,20	12,41	157,39	30,73
	3	06-03-07	7,55	17,90	5,39	109,66	23,38
	4	06-03-07	7,56	17,80	10,25	109,63	36,23
	5	06-03-07	7,50	17,50	2,47	39,90	39,90
37	1	07-03-07	7,75	16,10	6,50	89,30	45,30
	2	07-03-07	7,46	16,20	14,60	146,20	37,40
	3	07-03-07	7,45	16,20	6,23	85,30	27,30
	4	07-03-07	7,26	16,00	11,26	106,30	29,63
	5	07-03-07	7,36	16,30	4,06	79,25	4,65
38	1	08-03-07	7,58	17,60	6,25	120,50	68,90
	2	08-03-07	7,63	17,60	12,36	175,60	15,60
	3	08-03-07	7,21	16,50	3,65	28,45	22,40
	4	08-03-07	7,34	16,50	12,35	139,60	17,80
	5	08-03-07	7,00	16,60	3,84	75,60	20,50

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
39	1	09-03-07	7,38	14,30	21,60	250,60	45,60
	2	09-03-07	7,41	14,40	31,50	263,20	33,60
	3	09-03-07	7,19	14,50	9,34	123,40	20,80
	4	09-03-07	7,35	14,50	31,25	186,20	29,83
	5	09-03-07	7,36	14,80	4,85	35,80	15,90
40	1	12-03-07	7,65	14,90	7,95	108,50	63,17
	2	12-03-07	7,57	15,00	56,30	231,60	25,15
	3	12-03-07	7,54	15,10	6,45	74,60	33,40
	4	12-03-07	7,35	15,20	11,30	102,60	22,64
	5	12-03-07	7,39	15,30	3,24	53,80	23,14
41	1	13-03-07	7,53	18,50	9,73	139,03	91,30
	2	13-03-07	7,26	18,50	18,02	197,77	27,06
	3	13-03-07	7,33	19,00	7,38	120,67	14,20
	4	13-03-07	7,42	19,10	10,97	201,44	36,22
	5	13-03-07	7,48	18,70	2,47	45,41	25,22
42	1	14-03-07	7,78	17,20	20,40	300,57	144,54
	2	14-03-07	7,81	16,60	23,90	309,75	72,95
	3	14-03-07	7,37	16,50	6,67	128,01	28,89
	4	14-03-07	7,40	16,70	41,30	199,61	32,56
	5	14-03-07	6,90	16,80	3,40	50,92	23,38
43	1	15-03-07	7,73	17,40	9,45	131,69	76,62
	2	15-03-07	7,36	17,50	26,70	214,29	21,55
	3	15-03-07	7,08	17,40	6,07	94,97	6,86
	4	15-03-07	7,22	17,30	13,93	161,06	17,88
	5	15-03-07	7,24	17,10	2,60	50,92	14,21
44	1	16-03-07	7,34	17,40	6,23	89,47	56,43
	2	16-03-07	7,44	17,40	18,54	150,04	8,70
	3	16-03-07	7,30	17,50	4,52	69,27	6,86
	4	16-03-07	7,27	17,50	8,39	93,14	21,55
	5	16-03-07	7,24	17,40	3,03	43,57	12,37
45	1	19-03-07	7,23	17,90	14,37	164,80	94,30
	2	19-03-07	7,45	17,60	44,00	354,50	66,50
	3	19-03-07	7,28	17,60	9,83	86,50	18,90
	4	19-03-07	7,36	17,50	17,76	165,20	19,63
	5	19-03-07	7,55	17,30	3,28	46,78	29,70
46	1	20-03-07	7,53	17,70	14,82	168,40	93,14
	2	20-03-07	7,60	17,70	44,83	342,79	65,60
	3	20-03-07	7,30	17,40	9,62	105,90	19,71
	4	20-03-07	7,33	17,40	18,80	157,39	17,88
	5	20-03-07	7,44	17,50	3,98	39,90	28,89

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
47	1	21-03-07	7,85	15,70	9,94	131,69	89,47
	2	21-03-07	7,56	15,40	22,50	221,64	32,56
	3	21-03-07	7,40	15,80	8,56	105,99	39,90
	4	21-03-07	7,34	15,70	13,67	113,34	43,57
	5	21-03-07	7,28	15,70	3,35	63,77	36,23
48	1	22-03-07	7,57	17,70	8,14	105,99	67,44
	2	22-03-07	7,46	17,80	14,40	190,43	25,22
	3	22-03-07	7,39	17,80	7,02	115,16	26,23
	4	22-03-07	7,58	17,80	11,27	133,52	21,55
	5	22-03-07	7,56	17,80	2,42	54,59	32,57
49	1	23-03-07	7,99	15,80	34,40	403,36	203,28
	2	23-03-07	7,67	15,70	54,40	531,86	179,42
	3	23-03-07	7,06	15,70	21,20	208,78	21,55
	4	23-03-07	7,53	15,60	50,80	219,80	71,11
	5	23-03-07	7,33	15,50	6,03	58,26	23,38
50	1	26-03-07	7,83	18,60	11,58	143,20	100,20
	2	26-03-07	7,59	18,50	15,45	129,30	33,60
	3	26-03-07	7,52	18,60	2,04	45,60	25,40
	4	26-03-07	7,25	18,60	10,53	133,20	26,40
	5	26-03-07	7,25	18,70	5,27	59,80	24,30
51	1	27-03-07	8,03	19,10	12,10	104,15	146,37
	2	27-03-07	7,58	19,10	15,96	32,56	133,52
	3	27-03-07	7,44	19,10	1,97	28,89	43,58
	4	27-03-07	7,33	19,40	11,05	27,06	188,59
	5	27-03-07	7,37	19,40	5,47	25,22	56,43
52	1	28-03-07	7,93	17,40	71,90	632,82	337,28
	2	28-03-07	7,07	17,40	90,60	919,19	17,88
	3	28-03-07	7,17	17,12	28,60	205,11	28,89
	4	28-03-07	7,13	17,00	79,40	787,01	25,22
	5	28-03-07	7,08	17,10	17,80	104,15	25,22
53	1	30-03-07	7,65	19,80	6,20	95,64	65,34
	2	30-03-07	7,55	18,60	31,20	263,50	15,32
	3	30-03-07	7,53	19,90	3,51	73,54	8,62
	4	30-03-07	7,51	19,80	11,85	115,60	24,30
	5	30-03-07	7,49	19,70	3,65	45,32	11,30
54	1	02-04-07	7,76	18,70	7,25	125,60	23,60
	2	02-04-07	7,38	17,60	35,80	210,30	12,50
	3	02-04-07	7,25	17,50	6,69	56,30	18,50
	4	02-04-07	7,26	17,40	8,65	67,80	28,35
	5	02-04-07	7,63	17,60	5,46	29,50	29,45

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
55	1	03-04-07	7,85	19,30	15,60	95,30	59,21
	2	03-04-07	7,35	19,50	23,80	127,30	8,46
	3	03-04-07	7,44	19,40	5,01	23,50	12,34
	4	03-04-07	7,62	19,50	12,86	132,50	27,64
	5	03-04-07	7,03	19,40	5,86	36,50	7,68
56	1	04-04-07	7,64	14,50	36,80	467,20	265,31
	2	04-04-07	7,24	14,60	47,65	456,80	122,51
	3	04-04-07	7,54	14,40	25,40	381,50	168,40
	4	04-04-07	7,24	14,50	31,70	298,10	104,15
	5	04-04-07	7,62	14,50	7,53	168,40	1,36
57	1	05-04-07	7,35	18,30	16,80	134,60	76,62
	2	05-04-07	7,64	18,40	12,70	132,40	35,56
	3	05-04-07	7,61	18,50	2,54	22,10	6,86
	4	05-04-07	7,53	18,60	11,23	142,70	34,40
	5	05-04-07	7,65	18,60	4,56	69,40	38,07
58	1	06-04-07	7,25	17,60	5,64	121,40	71,11
	2	06-04-07	7,15	17,60	24,60	119,30	14,20
	3	06-04-07	7,83	17,80	3,24	79,50	25,22
	4	06-04-07	7,73	17,50	11,54	125,30	16,04
	5	06-04-07	7,52	17,90	5,42	51,92	21,55
59	1	09-04-07	7,91	17,40	16,83	205,11	102,32
	2	09-04-07	7,62	17,50	19,51	221,63	61,93
	3	09-04-07	6,69	18,50	4,71	60,10	23,38
	4	09-04-07	7,48	17,60	14,09	146,37	50,92
	5	09-04-07	7,62	18,20	2,87	69,27	1,73
60	1	10-04-07	7,84	16,20	26,90	329,94	146,37
	2	10-04-07	7,63	16,30	33,60	243,66	25,22
	3	10-04-07	7,53	16,40	11,80	175,74	28,89
	4	10-04-07	7,47	16,40	22,80	126,18	32,56
	5	10-04-07	7,58	16,50	10,02	118,84	30,73
61	1	11-04-07	7,80	16,60	14,70	195,94	98,65
	2	11-04-07	7,43	16,50	43,90	309,75	23,38
	3	11-04-07	7,43	16,50	12,80	164,73	28,89
	4	11-04-07	7,43	16,50	21,80	146,37	43,58
	5	11-04-07	7,43	16,20	2,23	86,01	34,40
62	1	13-04-07	7,91	18,10	11,94	153,71	105,99
	2	13-04-07	7,44	18,00	107,50	1266,12	32,56
	3	13-04-07	7,44	18,10	10,10	140,87	58,89
	4	13-04-07	7,30	17,70	13,60	128,02	27,06
	5	13-04-07	7,37	17,50	3,75	49,08	41,74

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
63	1	16-04-07	7,59	19,30	30,80	329,94	190,43
	2	16-04-07	7,42	19,30	42,60	183,09	34,40
	3	16-04-07	7,37	19,00	18,60	205,11	38,07
	4	16-04-07	7,38	18,70	26,90	186,76	43,57
	5	16-04-07	7,33	18,60	5,81	58,26	23,38
64	1	17-04-07	7,36	18,30	32,60	254,30	112,30
	2	17-04-07	7,25	18,40	47,20	102,30	45,60
	3	17-04-07	7,12	18,50	16,30	52,50	32,50
	4	17-04-07	7,32	18,30	29,70	116,80	53,40
	5	17-04-07	7,43	18,30	7,86	47,23	28,60
65	1	18-04-07	7,82	17,50	12,81	161,06	87,63
	2	18-04-07	7,45	17,30	22,30	239,99	47,25
	3	18-04-07	7,48	17,30	10,03	133,53	36,23
	4	18-04-07	7,43	16,50	15,35	157,39	38,07
	5	18-04-07	7,41	16,50	1,44	43,58	21,55
66	1	19-04-07	7,88	14,10	11,08	161,06	83,96
	2	19-04-07	7,68	14,20	20,90	227,17	32,56
	3	19-04-07	7,46	14,20	10,50	102,32	14,20
	4	19-04-07	7,24	14,20	13,20	135,36	41,74
	5	19-04-07	7,45	14,10	3,36	71,11	17,88
67	1	20-04-07	7,25	17,30	33,50	263,20	114,60
	2	20-04-07	7,14	17,30	49,50	105,40	36,50
	3	20-04-07	7,12	17,20	14,20	38,40	25,60
	4	20-04-07	7,21	17,20	30,20	126,50	52,40
	5	20-04-07	7,32	17,20	9,76	49,60	29,50
68	1	23-04-07	7,54	16,70	14,72	159,60	98,40
	2	23-04-07	7,58	16,80	40,10	187,40	84,50
	3	23-04-07	7,23	16,70	9,86	115,30	39,40
	4	23-04-07	7,26	16,70	19,60	123,50	24,50
	5	23-04-07	7,35	16,50	8,65	87,60	18,60
69	1	24-04-07	7,73	17,70	14,97	168,40	107,83
	2	24-04-07	7,41	18,30	40,60	197,93	30,73
	3	24-04-07	7,26	18,10	10,20	128,01	58,26
	4	24-04-07	7,35	18,10	18,70	115,17	34,40
	5	24-04-07	7,38	18,10	10,30	45,41	36,23
70	1	26-04-07	8,04	15,00	18,50	208,80	129,85
	2	26-04-07	7,70	14,90	40,70	214,30	36,23
	3	26-04-07	7,41	14,80	8,74	118,80	32,56
	4	26-04-07	7,46	14,70	18,06	144,54	39,90
	5	26-04-07	7,03	14,90	5,63	72,95	30,73

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
71	1	27-04-07	7,89	14,80	30,90	329,94	190,45
	2	27-04-07	7,74	14,70	42,60	183,90	34,47
	3	27-04-07	7,26	14,80	18,70	205,18	38,08
	4	27-04-07	7,56	14,80	26,70	186,78	43,57
	5	27-04-07	7,26	14,90	5,88	58,29	23,39
72	1	30-04-07	7,45	16,60	14,82	156,61	97,41
	2	30-04-07	7,81	16,70	40,11	186,45	83,52
	3	30-04-07	7,27	16,70	9,87	114,32	38,42
	4	30-04-07	7,26	16,70	19,70	122,59	23,52
	5	30-04-07	7,54	16,60	8,74	86,69	18,62
73	1	02-05-07	7,96	18,50	14,16	164,73	89,17
	2	02-05-07	7,63	19,10	41,40	139,03	21,55
	3	02-05-07	7,44	19,30	13,10	72,95	32,56
	4	02-05-07	7,47	17,90	14,20	104,16	28,19
	5	02-05-07	7,51	18,10	4,32	60,10	23,38
74	1	03-05-07	8,12	15,60	11,99	155,55	89,47
	2	03-05-07	7,61	15,60	22,20	230,81	10,53
	3	03-05-07	7,01	15,50	10,10	137,19	28,89
	4	03-05-07	7,41	15,20	13,46	153,71	21,55
	5	03-05-07	7,53	14,90	4,15	50,92	7,86
75	1	04-05-07	8,11	14,80	12,23	183,08	91,30
	2	04-05-07	7,77	14,80	37,03	331,77	50,92
	3	04-05-07	7,73	14,80	12,35	172,07	39,90
	4	04-05-07	7,72	14,70	13,56	174,92	94,97
	5	04-05-07	7,53	14,70	3,47	60,10	41,75
76	1	07-05-07	7,80	17,60	10,35	144,54	93,14
	2	07-05-07	7,56	17,40	26,20	282,21	34,40
	3	07-05-07	7,54	17,40	8,65	131,69	32,56
	4	07-05-07	7,48	17,40	17,86	172,07	41,75
	5	07-05-07	7,37	17,40	3,39	52,75	32,57
77	1	08-05-07	7,84	18,90	12,35	148,21	82,12
	2	08-05-07	7,36	18,70	29,10	285,28	19,72
	3	08-05-07	7,53	19,80	11,22	137,19	41,74
	4	08-05-07	7,36	18,70	13,35	170,24	21,55
	5	08-05-07	7,43	18,70	3,09	52,75	17,88
78	1	09-05-07	7,82	14,70	11,30	139,03	8,70
	2	09-05-07	7,33	14,80	64,80	346,46	34,40
	3	09-05-07	7,22	15,00	10,80	133,52	23,38
	4	09-05-07	7,27	14,50	20,30	181,25	27,05
	5	09-05-07	7,24	14,50	4,25	50,92	16,04
79	1	10-05-07	8,03	4,00	13,45	159,22	32,56

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
	2	10-05-07	7,59	15,90	52,60	662,19	8,70
	3	10-05-07	7,40	15,70	10,91	115,17	1,36
	4	10-05-07	7,41	15,70	16,72	118,84	17,88
	5	10-05-07	7,34	15,50	3,55	78,46	8,70
80	1	14-05-07	7,85	18,80	11,73	126,18	36,23
	2	14-05-07	7,45	18,80	10,69	150,04	12,37
	3	14-05-07	7,23	18,90	1,84	117,88	6,86
	4	14-05-07	7,28	18,60	14,37	161,06	5,03
	5	14-05-07	7,33	18,20	2,18	27,05	6,86
81	1	15-05-07	7,9	18,30	10,87	105,99	16,04
	2	15-05-07	7,64	18,20	9,75	115,17	5,03
	3	15-05-07	7,41	18,60	3,29	50,92	3,19
	4	15-05-07	7,49	18,20	14,06	122,51	5,03
	5	15-05-07	7,45	17,90	2,97	39,9	3,19
82	1	16-05-07	7,89	16,10	10,3	126,18	27,06
	2	16-05-07	7,46	15,80	45,2	392,35	16,04
	3	16-05-07	7,61	15,80	11,04	124,34	23,38
	4	16-05-07	7,63	15,60	16,68	140,87	10,54
	5	16-05-07	7,51	15,80	3,27	21,55	23,38
83	1	17-05-07	8,12	15,60	12,10	155,55	89,47
	2	17-05-07	7,61	15,60	23,50	230,81	10,53
	3	17-05-07	7,01	15,50	11,10	137,19	28,89
	4	17-05-07	7,41	15,20	15,60	153,71	21,55
	5	17-05-07	7,53	14,90	5,30	50,92	7,86
84	1	18-05-07	8,11	13,80	12,35	183,08	91,30
	2	18-05-07	7,77	13,80	36,89	331,77	50,92
	3	18-05-07	7,73	13,70	10,15	172,07	39,90
	4	18-05-07	7,72	14,00	14,25	174,92	94,97
	5	18-05-07	7,53	14,20	4,67	60,10	41,75
85	1	09-07-07	7,59	17,50	8	71	33
	2	09-07-07	7,45	17,40	4	33	10
	3	09-07-07	7,32	17,30	9	106	47
	4	09-07-07	7,39	17,30	11	105	42
	5	09-07-07	7,12	17,20	2	8	3
86	1	10-07-07	7,62	16,50	8	102	40
	2	10-07-07	7,36	16,80	4	102	41
	3	10-07-07	7,14	16,70	4	89	22
	4	10-07-07	7,22	16,60	9	101	41
	5	10-07-07	7,15	16,40	3	9	6

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
87	1	11-07-07	7,33	17,20	9	98	38
	2	11-07-07	7,32	17,40	6	128	32
	3	11-07-07	7,25	17,30	11	121	33
	4	11-07-07	7,2	17,20	9	112	38
	5	11-07-07	7,16	17,00	3	30	6
88	1	12-07-07	7,58	17,20	8	103	41
	2	12-07-07	7,52	16,80	9	104	40
	3	12-07-07	7,13	16,60	2	87	22
	4	12-07-07	7,29	16,40	9	114	44
	5	12-07-07	7,13	15,10	3	52	31
89	1	13-07-07	7,42	14,70	11	107	41
	2	13-07-07	7,35	14,60	13	134	43
	3	13-07-07	7,18	14,70	12	133	44
	4	13-07-07	7,2	14,50	11	113	41
	5	13-07-07	7,15	14,60	3	12	5
90	1	14-07-07	7,63	16,20	8	101	40
	2	14-07-07	7,65	16,30	8	102	38
	3	14-07-07	7,19	16,30	2	82	31
	4	14-07-07	7,33	16,50	11	113	41
	5	14-07-07	7,1	15,90	3	5	9
91	1	15-07-07	7,64	15,80	8	77	41
	2	15-07-07	7,55	15,50	9	133	40
	3	15-07-07	7,18	15,70	2	104	21
	4	15-07-07	7,15	15,60	9	114	43
	5	15-07-07	7,36	15,10	3	32	7
92	1	16-07-07	7,52	15,40	8	105	42
	2	16-07-07	7,63	14,70	9	104	39
	3	16-07-07	7,28	14,70	2	87	21
	4	16-07-07	7,15	14,50	9	112	41
	5	16-07-07	7,1	14,50	4	52	32
93	1	17-07-07	7,44	14,50	11	85	45
	2	17-07-07	7,45	14,20	8	118	42
	3	17-07-07	7,23	14,30	11	75	23
	4	17-07-07	7,53	14,40	9	95	40
	5	17-07-07	7,25	14,50	6	59	9
94	1	18-07-07	7,65	14,70	8	93	43
	2	18-07-07	7,58	14,90	10	126	42
	3	18-07-07	7,45	14,80	6	83	28
	4	18-07-07	7,39	15,10	9	102	36
	5	18-07-07	7,32	15,20	6	38	12

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
95	1	19-07-07	7,55	17,60	11	112	56
	2	19-07-07	7,24	17,80	10	135	50
	3	19-07-07	7,36	17,60	6	77	29
	4	19-07-07	7,44	17,40	9	92	47
	5	19-07-07	7,51	17,30	4	63	16
96	1	21-07-07	7,81	16,80	11	86	46
	2	21-07-07	7,86	16,60	8	98	44
	3	21-07-07	7,23	16,50	5	52	29
	4	21-07-07	7,45	16,40	5	67	45
	5	21-07-07	6,62	16,80	4	31	16
97	1	23-07-07	7,78	17,20	16	129	85
	2	23-07-07	7,38	17,20	11	139	71
	3	23-07-07	7,18	17,30	8	85	35
	4	23-07-07	7,23	17,40	9	115	77
	5	23-07-07	7,31	17,50	5	63	21
98	1	24-07-07	7,33	17,50	12	113	45
	2	24-07-07	7,38	17,40	11	118	46
	3	24-07-07	7,30	17,60	8	73	24
	4	24-07-07	7,29	17,60	8	88	38
	5	24-07-07	7,28	17,40	4	38	16
99	1	25-07-07	7,31	17,50	11	109	39
	2	25-07-07	7,40	17,60	7	123	35
	3	25-07-07	7,26	17,60	5	83	21
	4	25-07-07	7,24	17,40	6	95	33
	5	25-07-07	7,64	17,50	5	49	8
100	1	26-07-07	7,45	17,80	12	116	43
	2	26-07-07	7,63	17,80	9	129	40
	3	26-07-07	7,30	17,30	6	76	18
	4	26-07-07	7,25	17,20	8	85	29
	5	26-07-07	7,28	17,20	5	51	12
101	1	27-07-07	7,72	16,80	11	125	51
	2	27-07-07	7,59	16,70	10	134	45
	3	27-07-07	7,39	16,40	7	77	20
	4	27-07-07	7,35	16,50	9	115	33
	5	27-07-07	7,29	16,70	4	46	15
102	1	28-07-07	7,63	17,80	9	100	40
	2	28-07-07	7,58	17,50	6	103	37
	3	28-07-07	7,42	17,80	4	78	17
	4	28-07-07	7,64	17,60	4	89	35
	5	28-07-07	7,52	17,50	3	37	8

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
103	1	29-07-07	7,88	16,20	8	102	43
	2	29-07-07	7,66	15,80	10	109	39
	3	29-07-07	7,32	15,60	6	68	24
	4	29-07-07	7,53	15,70	7	86	33
	5	29-07-07	7,23	15,40	4	33	7
104	1	30-07-07	7,83	17,60	8	95	45
	2	30-07-07	7,58	17,50	11	106	39
	3	30-07-07	7,56	17,60	5	77	28
	4	30-07-07	7,29	18,20	7	94	35
	5	30-07-07	7,26	18,20	5	12	12
105	1	31-07-07	7,65	18,60	9	98	49
	2	31-07-07	7,54	18,90	10	110	44
	3	31-07-07	7,33	18,80	7	78	20
	4	31-07-07	7,24	18,50	6	89	35
	5	31-07-07	7,39	18,30	4	28	12
106	1	01-08-07	6,14	17,50	9	105	44
	2	01-08-07	7,15	17,60	12	125	39
	3	01-08-07	7,19	17,70	7	79	26
	4	01-08-07	7,15	17,00	8	95	32
	5	01-08-07	7,16	17,20	5	45	15
107	1	02-08-07	7,55	18,80	12	116	53
	2	02-08-07	7,46	18,90	13	135	48
	3	02-08-07	7,41	18,80	8	86	21
	4	02-08-07	7,39	17,60	11	110	36
	5	02-08-07	7,37	17,40	5	50	19
108	1	03-08-07	7,59	17,50	14	187	55
	2	03-08-07	7,26	17,40	15	235	46
	3	03-08-07	7,35	17,50	9	115	18
	4	03-08-07	7,58	17,30	12	169	25
	5	03-08-07	7,60	17,50	5	79	16
109	1	04-08-07	7,51	18,50	12	112	48
	2	04-08-07	7,38	18,60	14	118	45
	3	04-08-07	7,42	18,40	7	81	19
	4	04-08-07	7,63	18,20	8	93	36
	5	04-08-07	7,15	18,60	3	58	11
110	1	06-08-07	7,35	15,90	7	88	41
	2	06-08-07	7,29	16,40	11	106	40
	3	06-08-07	7,46	16,50	5	63	27
	4	06-08-07	7,34	16,50	6	76	36
	5	06-08-07	7,62	16,70	4	35	8

Prueba No	Muestra	Fecha	Ph	Temperatura	Turbiedad	Color Aparente	Color Verdadero
111	1	08-08-07	7,35	18,40	8	109	44
	2	08-08-07	7,66	18,50	12	115	40
	3	08-08-07	7,62	18,60	6	78	31
	4	08-08-07	7,51	18,20	6	84	39
	5	08-08-07	7,69	18,30	5	32	7
112	1	09-08-07	7,23	18,60	9	118	48
	2	09-08-07	7,25	17,80	11	135	44
	3	09-08-07	7,35	17,90	7	77	19
	4	09-08-07	7,76	17,90	8	89	38
	5	09-08-07	7,56	17,50	4	49	8
113	1	10-08-07	7,54	18,20	8	102	38
	2	10-08-07	7,36	18,40	9	116	37
	3	10-08-07	6,98	18,60	8	75	16
	4	10-08-07	6,84	18,40	7	96	33
	5	10-08-07	7,06	18,60	4	30	5
114	1	11-08-07	7,14	17,50	11	115	43
	2	11-08-07	7,65	17,40	11	129	42
	3	11-08-07	7,58	17,60	7	85	24
	4	11-08-07	7,44	17,80	9	93	38
	5	11-08-07	7,61	16,50	3	35	6

Tabla N. 2
Turbiedad

Numero	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	8,32	13,52	2,06	15,6	1,86
2	7,76	11,35	1,88	11,27	1,25
3	12,59	13,97	1,78	28,35	1,27
4	13,61	16,32	3,05	9,6	1,35
5	15,6	17,91	9,21	17,1	1,57
6	7,33	11,25	7,86	11,23	1,84
7	8,28	11,35	2,03	10,39	2
8	8,51	11,64	7,19	11,5	6,16
9	9,47	23,5	7,7	15,99	3,5
10	8,08	16,8	7,75	15,5	3,05
11	8,02	11,46	7,11	8,53	4,27
12	4,77	12,1	8,16	9,05	3,5
13	9,05	15,3	5,32	14,8	4,2
14	5,59	10,25	1,4	8,73	2,45
15	6,14	10,43	7,05	9,03	8,35
16	12,36	23,6	5,18	11,06	4,72
17	7,23	19,41	2,3	9,83	2,77
18	13,34	20,7	3,8	12,4	2,58
19	6,72	29	5,43	9,08	4,52
20	6,02	32,1	2,68	11,68	1,96
21	7,2	34,2	6,63	8,01	1,67
22	12,36	23,6	5,12	11,06	4,72
23	35,9	44,4	31,4	35,1	7,53
24	7,5	12,72	2,67	10,28	2,57
25	6,16	9,79	4,63	10,53	2,86
26	6,54	11,05	5,11	10,03	2,49
27	6,62	13,4	7,87	10,35	3,87
28	6,16	9,79	4,63	10,53	2,86
29	20,8	30,2	11,58	21,06	4,08
30	7,45	58,7	7,91	10,24	2,54
31	6,15	11,39	4,83	9,13	3,57
32	5,28	8,62	2,7	9,25	2,43
33	4,6	8,14	4,55	5,9	2,76
34	5,65	8,53	4,2	5,74	2,35
35	6,32	9,65	3,5	5,6	3,2
36	5,31	12,41	5,39	10,25	2,47
37	6,5	14,6	6,23	11,26	4,06
38	6,25	12,36	3,65	12,35	3,84

39	21,6	31,5	9,34	31,25	4,85
40	7,95	56,3	6,45	11,3	3,24
41	9,73	18,02	7,38	10,97	2,47
42	20,4	23,9	6,67	41,3	3,4
43	9,45	26,7	6,07	13,93	5,8
44	6,23	18,54	4,52	8,39	3,03
45	14,37	44	9,83	17,76	3,28
46	14,82	44,83	9,62	18,8	3,98
47	9,94	22,5	8,56	13,67	3,35
48	8,14	14,4	7,02	11,27	2,42
49	34,4	54,4	21,2	50,8	6,03
50	11,58	15,45	2,04	10,53	5,27
51	12,1	15,96	1,97	11,05	5,47
52	71,9	90,6	28,6	79,4	17,8
53	6,2	31,2	3,51	11,85	3,65
54	7,25	35,8	6,69	8,65	5,46
55	15,6	23,8	4,65	12,86	5,86
56	36,8	47,65	25,4	31,7	7,53
57	16,8	12,7	2,54	11,23	4,56
58	5,64	24,6	3,24	11,54	5,42
59	16,83	19,51	4,71	14,09	2,87
60	26,9	33,6	11,8	22,8	10,85
61	14,7	43,9	12,8	21,8	2,23
62	11,94	107,5	10,25	13,6	3,75
63	30,8	42,6	18,6	26,9	5,81
64	32,6	47,2	16,3	29,7	7,86
65	12,81	22,3	10,3	15,35	1,44
66	11,08	20,9	10,5	13,2	3,36
67	33,5	49,5	14,2	30,2	9,76
68	14,72	40,1	9,86	19,6	8,65
69	14,97	40,6	10,2	18,7	10,93
70	18,5	40,7	8,74	18,06	5,63
71	30,9	42,6	18,7	26,7	5,88
72	14,82	40,11	9,87	19,7	8,74
73	14,16	41,4	13,1	14,2	4,32
74	11,99	22,2	10,1	13,46	4,15
75	12,23	37,03	12,35	13,56	3,47
76	10,35	26,2	8,65	17,86	3,39
77	12,35	29,1	11,22	13,35	3,09
78	11,3	64,8	10,8	20,3	4,25
79	13,45	52,6	10,91	16,72	3,55
80	11,73	10,69	1,84	14,37	2,18
81	10,87	9,75	3,29	14,06	2,97
82	10,3	45,2	11,04	16,68	3,27

83	12,1	23,5	11,1	15,6	5,8
84	12,35	36,89	10,15	14,25	4,67
85	8	4	9	11	2
86	8	4	4	9	3
87	9	6	11	9	3
88	8	9	2	9	3
89	11	13	12	11	3
90	8	8	2	11	3
91	8	9	2	9	3
92	8	9	2	9	4
93	11	8	11	9	6
94	8	10	6	9	6
95	11	10	6	9	4
96	11	8	6	5	4
97	16	11	8	9	6
98	12	11	8	8	4
99	11	7	4	6	6
100	12	9	6	8	6
101	11	10	7	9	4
102	9	6	4	4	3
103	8	10	6	7	4
104	8	11	4	7	6
105	9	10	7	6	4
106	9	12	7	8	6
107	12	13	8	11	6
108	14	15	9	12	6
109	12	14	7	8	3
110	7	11	4	6	4
111	8	12	6	6	6
112	9	11	7	8	4
113	8	9	8	7	4
114	11	11	7	9	3

Tabla N 2,1
Analisis
estadistico
de
turbiedad

Parametro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
contador	114,00	114,00	114,00	114,00	114,00
Sumatoria	1519,69	2713,84	982,22	1713,45	601,78
Desv. Estándar	8,82	17,59	5,15	9,74	2,32
Promedio	12,33	22,81	7,62	14,03	4,28
Maximo	71,90	107,50	31,40	79,40	17,80
minimo	4,60	4,00	1,40	4,00	1,25
Varianza	77,87	309,47	26,51	94,87	5,38
MODA	8,00	11,00	6,00	9,00	4,00
Desv. Media	5,19	13,37	3,54	5,91	1,62

Tabla N 2,2
Analisis
Percentil
de Datos
Turbiedad

Percentil	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
>100	0	1	0	0	0
<=100>95	1	2	1	1	1
<=95>90	0	2	0	0	0
<=90>85	0	2	0	0	0
<=85>80	0	2	0	0	0
<=80>75	0	2	0	1	0
<=75>70	1	2	0	1	0
<=70>65	1	2	0	1	0
<=65>60	1	3	0	1	0
<=60>55	1	5	0	1	0
<=55>50	1	7	0	2	0
<=50>45	1	11	0	2	0
<=45>40	1	22	0	3	0
<=40>35	3	25	0	4	0

<=35>30	8	31	1	7	0
<=30>25	9	35	3	11	0
<=25>20	12	47	4	15	0
<=20>15	18	57	7	30	1
<=15>10	58	89	27	74	3
<=10>5	112	112	77	112	32
<=5>0	2	2	37	1	82

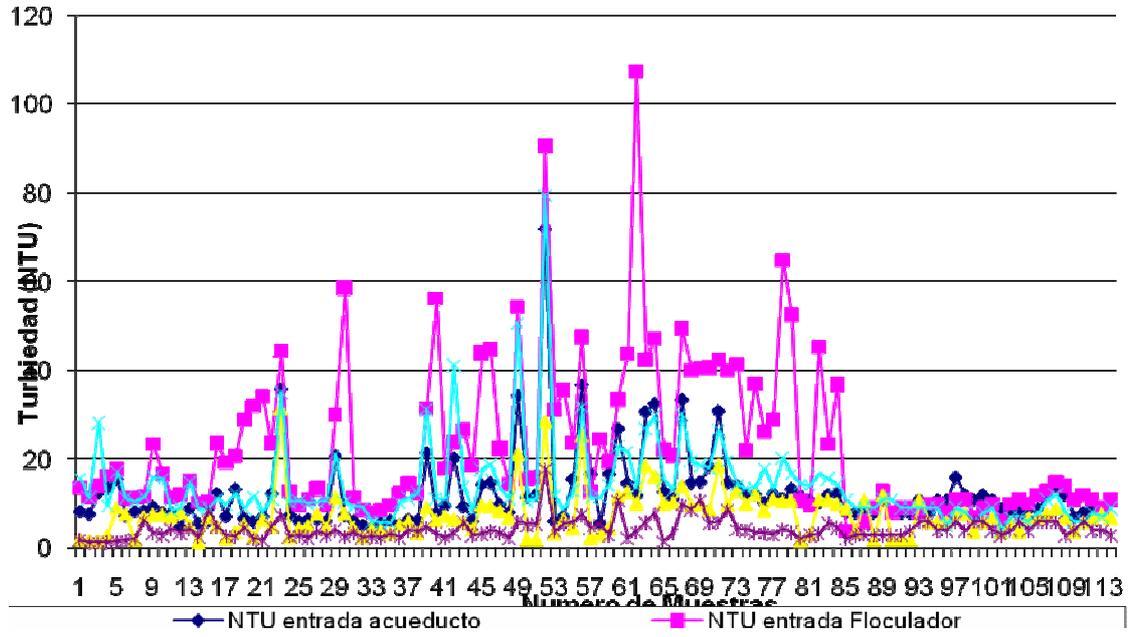
Tabla N 2,3 Tabla Percentiles en Porcentajes Turbiedad

Percentil	Muestra 1	Porcentaje 1	muestra 2	Porcentaje 2
>100	0	0,0	1	0,9
<=100>95	1	0,9	1	0,9
<=95>90	0	0,0	0	0,0
<=90>85	0	0,0	0	0,0
<=85>80	0	0,0	0	0,0
<=80>75	0	0,0	0	0,0
<=75>70	0	0,0	0	0,0
<=70>65	0	0,0	0	0,0
<=65>60	0	0,0	1	0,9
<=60>55	0	0,0	2	1,8
<=55>50	0	0,0	2	1,8
<=50>45	0	0,0	4	3,5
<=45>40	0	0,0	11	9,6
<=40>35	2	1,8	3	2,6
<=35>30	5	4,4	6	5,3
<=30>25	1	0,9	4	3,5
<=25>20	3	2,6	12	10,5
<=20>15	6	5,3	10	8,8
<=15>10	40	35,1	32	28,1
<=10>5	54	47,4	23	20,2
<=5>0	2	1,8	2	1,8

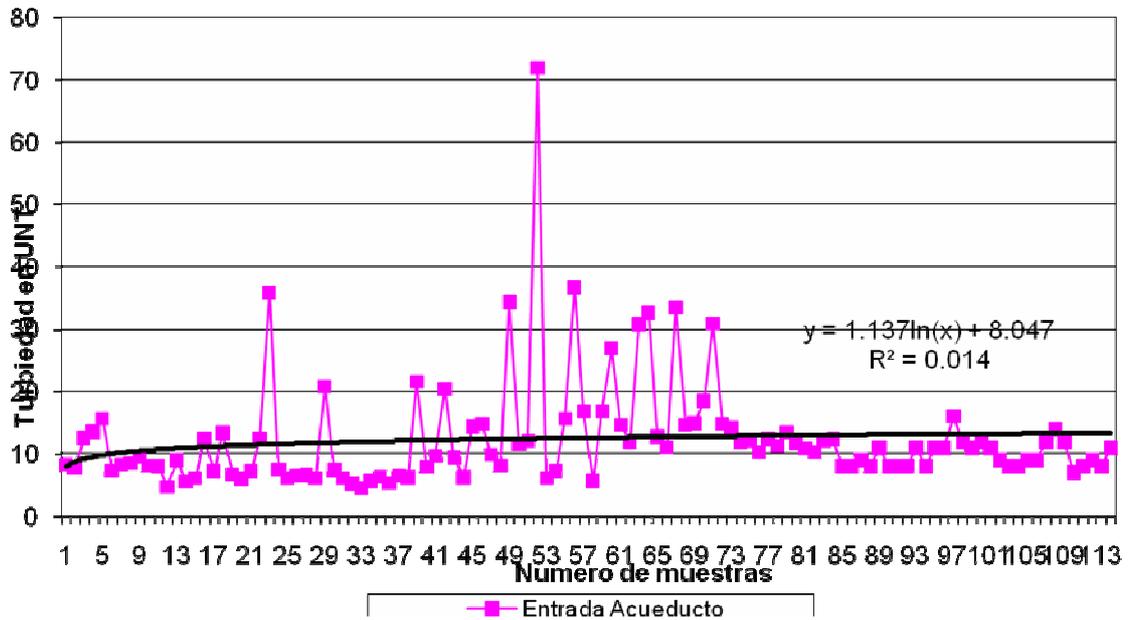
Tabla N 2,4 Rango de percentiles Turbiedad

Rangos percentiles	Muestra 1	%Entada Acueducto	muestra 2	% Entrada floculador Pi
>100	0	0	1	0,9
<=100<75	1	0,9	1	0,9
<=75>45	0	0	9	7,9
<=45>20	11	9,6	36	31,6
<=20>0	102	89,5	67	58,8

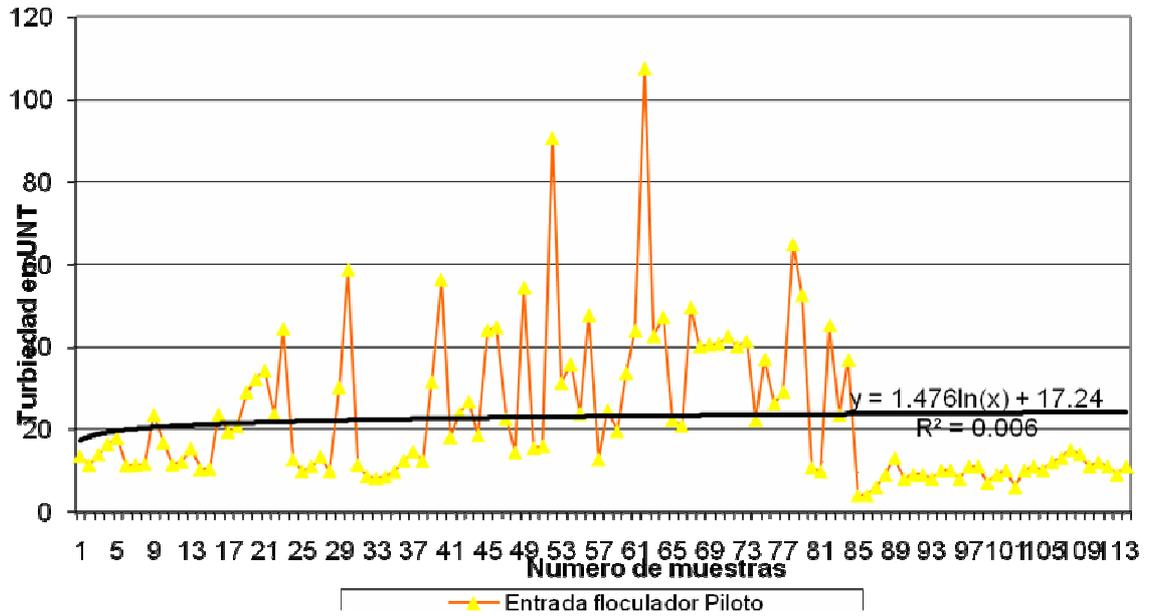
Grafica N, 1 Grafico General de Turbiedad



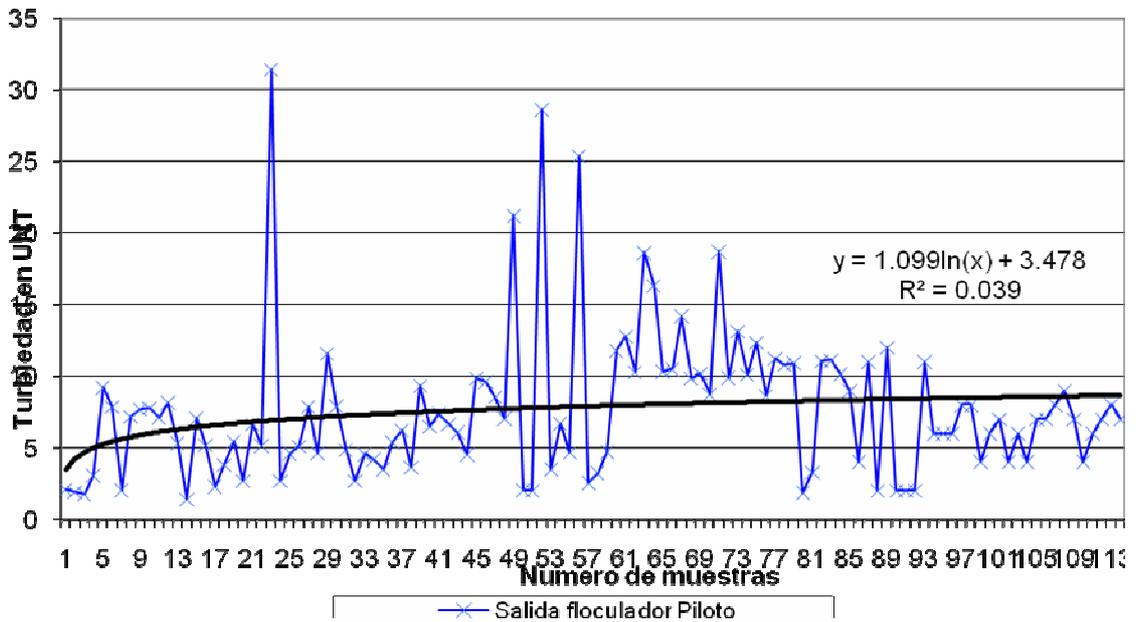
Grafica N 1,1,1 Turbiedad entrada del Acueducto



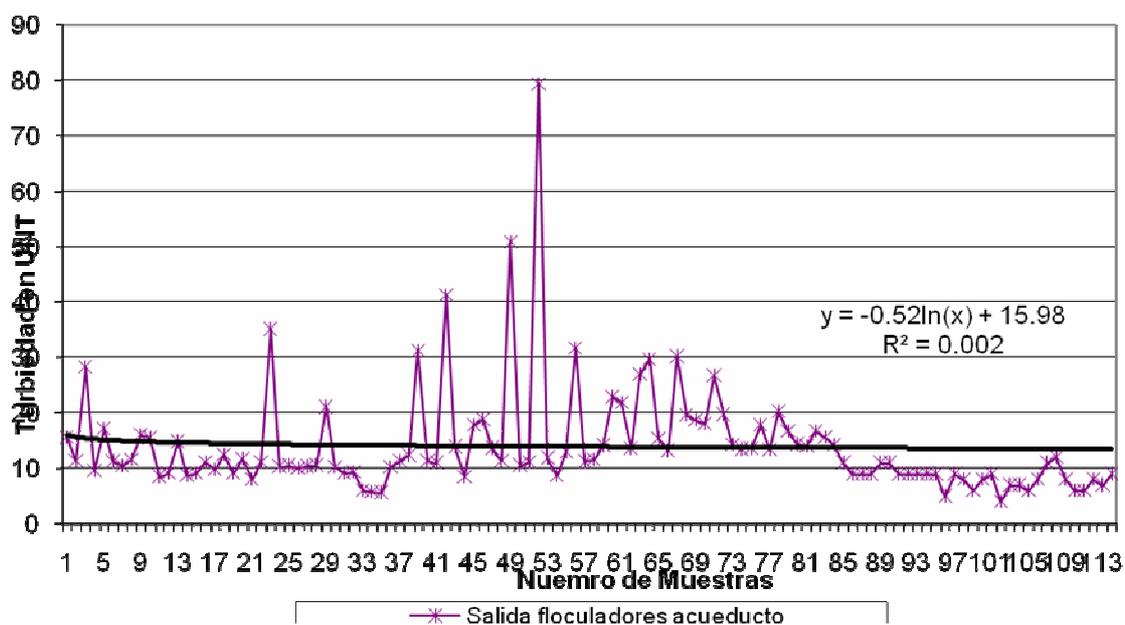
Grafica N 1,1,2 Entrada floculador Piloto



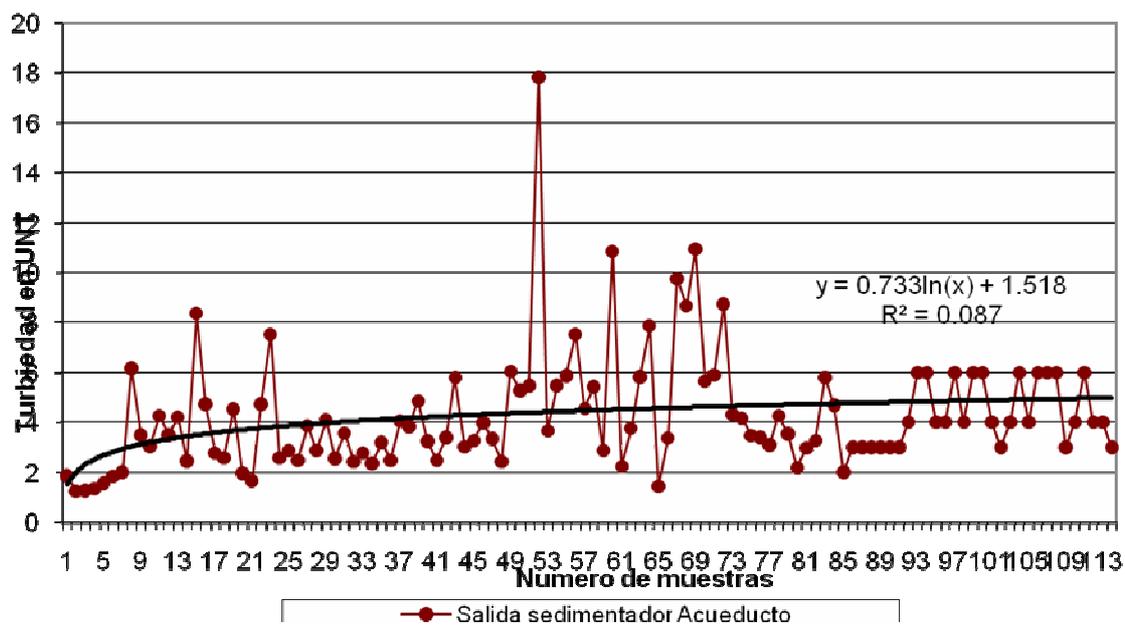
Grafica N 1,1,3 Turbiedad Salida floculador Piloto



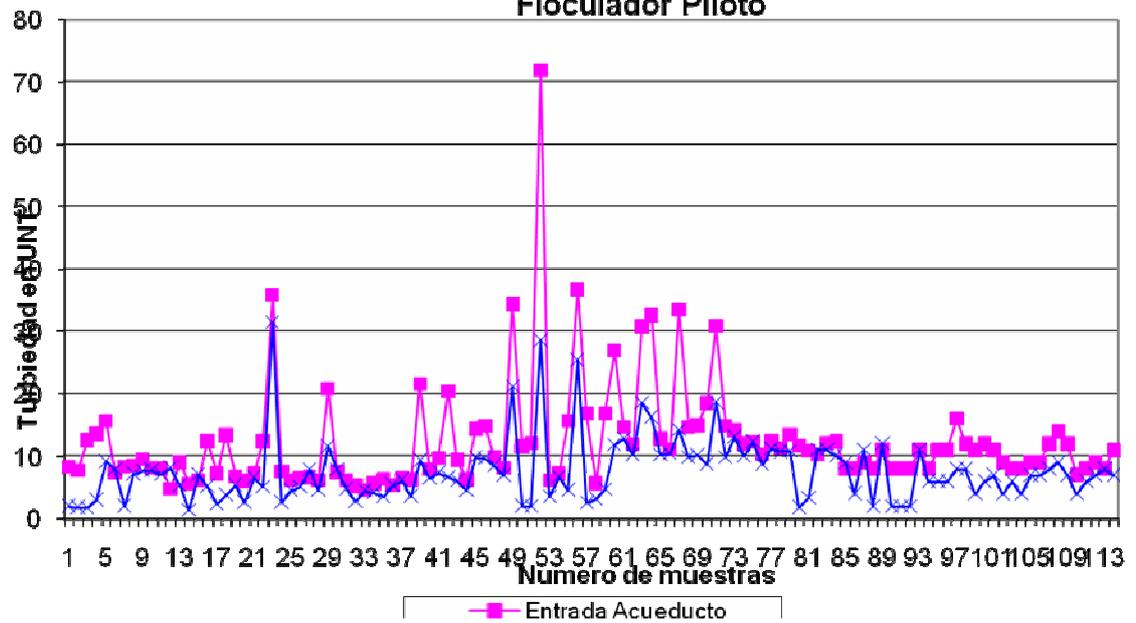
Grafica N 1,1,4 Turbiedad Salida floculadores acueducto



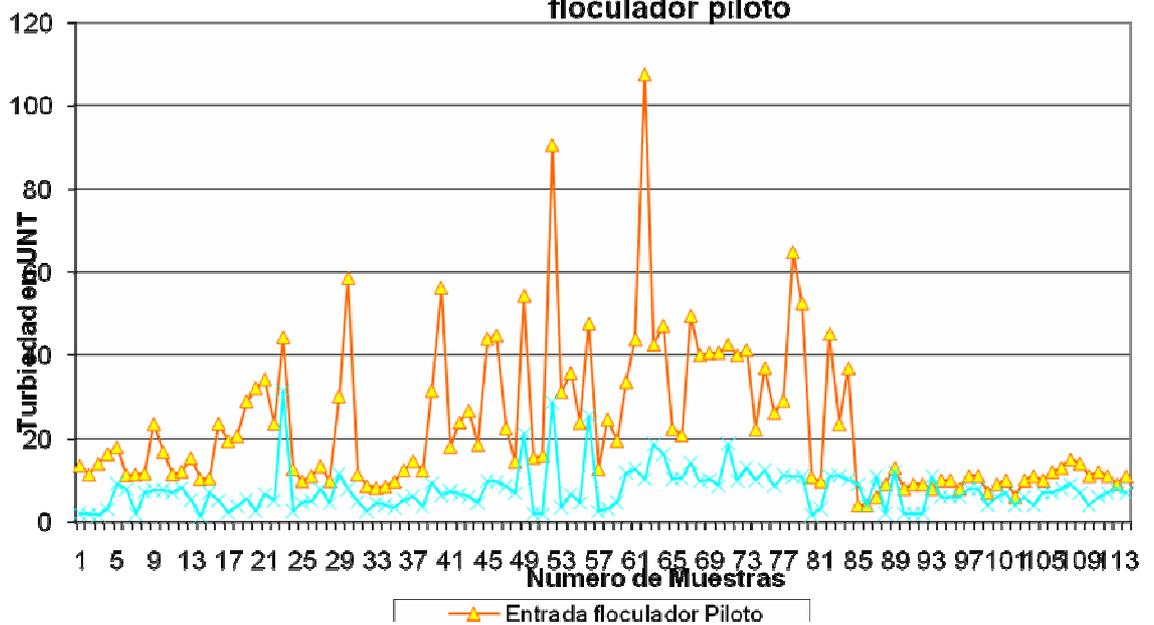
Grafica N 1,1,5 turbiedad Salida sedimentador Acueducto



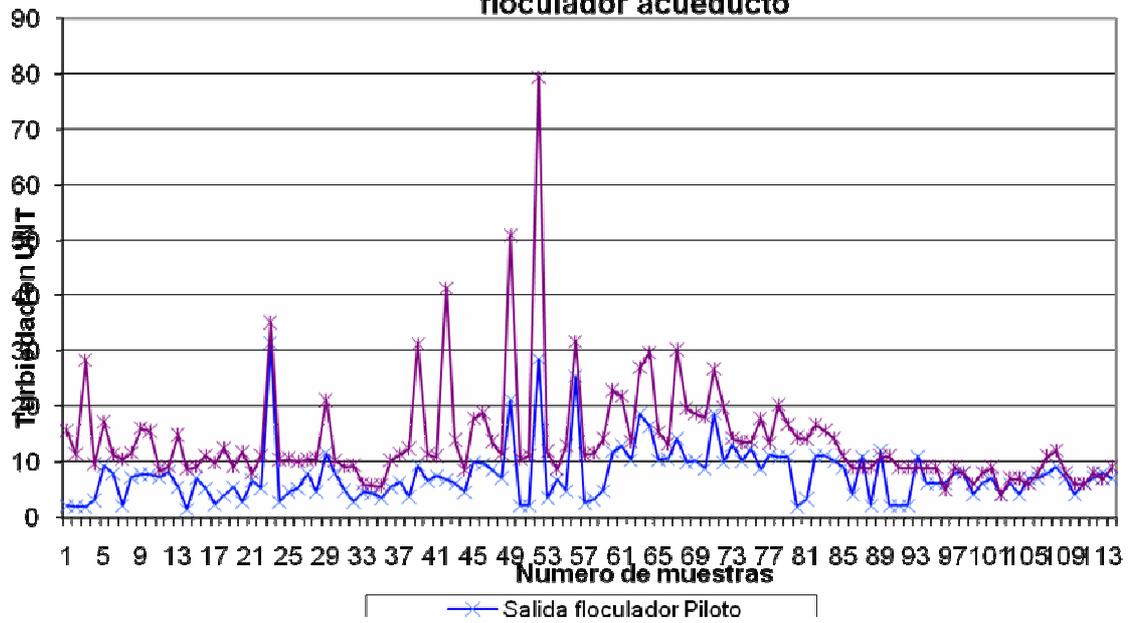
Grafica N 1,2,1 Turbiedad Entada acueducto Vs Salida Floculador Piloto



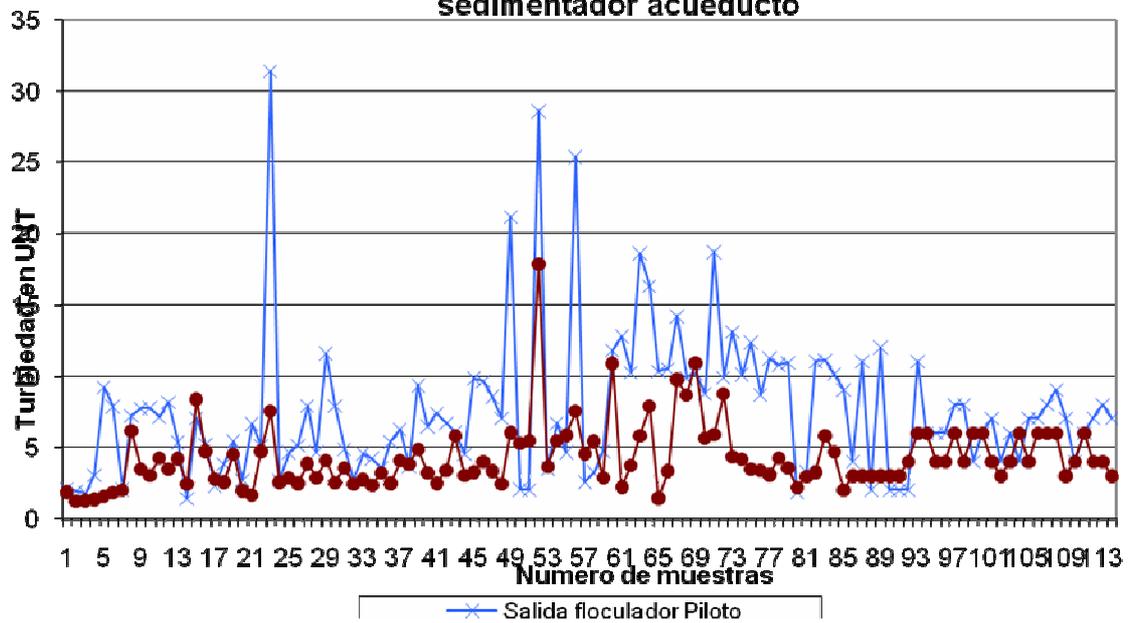
Grafica N 1,2,2 Turbiedad entrada floculador piloto Vs salida floculador piloto



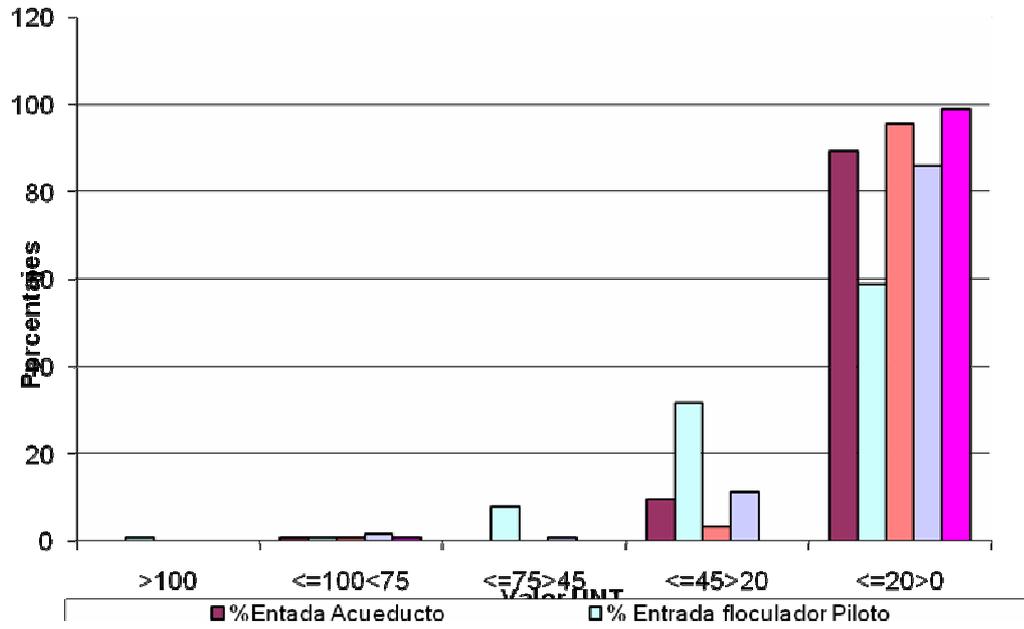
Grafica N 1,2,3 turbiedad salida floculador piloto vs Salida floculador acueducto



Grafica N 1,2,4 turbiedad salida floculador piloto Vs salida sedimentador acueducto



Grafica N 1,2,5 CONCENTRACION DE DATOSTURBIEDAD



**Tabla N 3 Color
Aparente**

Numero	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	95,3	106,4	29,3	107,8	42,0
2	87,6	107,8	25,2	106,0	65,0
3	124,3	150,0	38,1	146,4	39,0
4	175,7	106,0	38,1	100,5	35,0
5	117,0	168,0	89,0	102,0	29,0
6	209,0	225,0	56,4	279,0	45,0
7	49,0	34,0	38,0	23,0	43,0
8	130,0	115,0	79,5	64,0	44,0
9	117,0	155,0	87,6	144,0	75,0
10	128,0	265,0	80,0	146,0	36,0
11	111,5	195,0	98,5	183,0	33,0
12	104,0	170,0	85,0	139,0	82,0
13	67,4	91,3	92,3	111,5	38,0
14	104,0	170,0	85,0	139,0	82,0
15	87,6	118,8	23,4	115,2	43,6
16	84,0	126,2	89,5	78,5	54,6
17	129,9	188,6	75,2	175,0	63,8
18	91,3	131,7	52,8	126,2	36,2
19	106,0	172,1	30,7	142,7	39,9
20	105,9	522,7	73,0	109,6	32,6
21	95,0	225,3	73,0	106,0	43,6
22	111,5	218,6	91,3	71,1	27,1
23	106,0	172,1	30,7	142,7	39,9
24	445,6	427,2	61,4	300,8	84,0
25	120,7	175,7	30,7	151,9	71,1
26	100,5	117,0	78,5	126,2	50,9
27	91,3	139,0	76,6	107,8	65,6
28	85,8	150,0	69,6	104,2	71,1
29	120,7	175,7	30,7	151,9	71,1
30	247,3	232,7	86,3	190,4	28,9
31	107,8	832,9	95,0	102,3	43,6
32	102,3	132,0	93,1	106,0	58,3
33	87,6	93,1	54,5	144,5	28,9
34	96,8	102,3	82,1	89,5	32,6
35	73,0	117,0	61,9	76,6	50,9
36	73,6	125,3	72,5	83,5	65,3
37	83,9	157,4	67,2	109,6	39,9
38	89,3	146,2	85,3	106,3	79,3
39	120,5	175,6	28,5	139,6	75,6

40	250,6	263,2	54,3	186,2	35,8
41	108,5	231,6	74,6	102,6	53,8
42	139,0	197,8	69,8	201,4	45,4
43	300,6	309,8	82,1	199,6	50,9
44	131,7	214,3	95,0	161,1	50,9
45	89,5	150,0	69,3	93,1	43,6
46	164,8	354,5	86,5	165,2	46,8
47	168,4	342,8	59,6	157,4	39,9
48	131,7	221,6	59,9	113,3	63,8
49	106,0	190,4	51,6	133,5	54,6
50	403,4	531,9	87,8	219,8	58,3
51	143,2	129,3	45,6	133,2	59,8
52	104,2	32,6	28,9	27,1	25,2
53	632,8	919,2	51,1	787,0	104,2
54	372,2	629,2	85,4	788,9	43,6
55	95,6	263,5	73,5	115,6	45,3
56	125,6	210,3	56,3	67,8	29,5
57	95,3	127,3	23,5	132,5	36,5
58	467,2	456,8	81,5	298,1	168,4
59	134,6	132,4	22,1	142,7	69,4
60	121,4	119,3	79,5	125,3	51,9
61	205,1	221,6	60,1	146,4	69,3
62	329,9	243,7	75,7	126,2	118,8
63	195,9	309,8	89,1	146,4	86,0
64	359,9	183,1	53,2	186,8	58,3
65	254,3	102,3	52,5	116,8	47,2
66	161,1	240,0	53,3	157,4	43,6
67	161,1	227,2	52,1	135,4	71,1
68	263,2	105,4	38,4	126,5	49,6
69	159,6	187,4	51,5	123,5	87,6
70	168,4	197,9	82,1	115,2	45,4
71	165,4	261,3	75,1	198,3	87,6
72	208,8	214,3	81,8	144,5	73,0
73	329,9	183,9	81,7	186,8	58,3
74	156,6	186,5	47,4	122,6	86,7
75	862,1	384,1	68,3	431,9	86,6
76	164,7	139,0	73,0	104,2	60,1
77	155,6	230,8	73,2	153,7	50,9
78	183,1	331,8	72,1	174,9	60,1
79	144,5	282,2	69,3	172,1	52,8
80	148,2	285,3	61,4	170,2	52,8
81	139,0	346,5	52,2	181,3	50,9
82	159,2	662,2	51,2	118,8	78,5
83	173,9	463,6	72,1	265,7	19,7

84	126,2	150,0	88,7	161,1	27,1
85	106,0	115,2	50,9	122,5	39,9
86	126,2	392,4	71,6	140,9	21,6
87	183,1	331,8	72,1	174,9	60,1
88	71,0	33,0	85,0	105,0	8,0
89	102,0	102,0	89,0	101,0	9,0
90	98,0	128,0	88,0	112,0	30,0
91	103,0	104,0	87,0	114,0	52,0
92	107,0	134,0	79,0	113,0	12,0
93	101,0	102,0	82,0	113,0	6,0
94	77,0	133,0	63,0	114,0	32,0
95	105,0	104,0	87,0	112,0	52,0
96	85,0	118,0	75,0	95,0	59,0
97	93,0	126,0	83,0	102,0	38,0
98	112,0	135,0	77,0	92,0	63,0
99	86,0	98,0	52,0	67,0	31,0
100	129,0	139,0	85,0	115,0	63,0
101	113,0	118,0	73,0	88,0	38,0
102	109,0	123,0	83,0	95,0	49,0
103	116,0	129,0	76,0	85,0	51,0
104	125,0	134,0	77,0	115,0	46,0
105	100,0	103,0	78,0	89,0	37,0
106	102,0	109,0	68,0	86,0	33,0
107	95,0	106,0	77,0	94,0	12,0
108	98,0	110,0	78,0	89,0	28,0
109	105,0	125,0	79,0	95,0	45,0
110	116,0	135,0	86,0	110,0	50,0
111	187,0	235,0	69,0	169,0	79,0
112	112,0	118,0	81,0	93,0	58,0
113	88,0	106,0	63,0	76,0	35,0
114	109,0	115,0	78,0	84,0	32,0
115	118,0	135,0	77,0	89,0	49,0
116	102,0	116,0	75,0	96,0	30,0
117	115,0	129,0	85,0	93,0	35,0

Tabla N 3,1
Analisis
estadistico Color
Aparente

Parametro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
contadores	117	117	117	117	117
Desvest	111,9	145,3	18,2	102,4	23,1
Promedio	153,8	206,0	69,2	143,4	51,1
Maximo	862,1	919,2	98,5	788,9	168,4
minimo	49,0	32,6	22,1	23,0	6,0
Varianza	12519,7	21121,8	332,9	10478,0	535,0
MODA	106,0	150,0	85,0	126,2	50,9
desv media	66,6	97,0	14,7	51,7	16,8

Tabla N 3,2
Analisis Percentil
de Datos Color
Aparente

Percentil	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
<=100>95	95,0	112,0	1,0	91,0	3,0
<=95>90	100,0	114,0	6,0	99,0	3,0
<=90>85	108,0	114,0	21,0	105,0	8,0
<=85>80	111,0	114,0	36,0	108,0	11,0
<=80>75	112,0	114,0	54,0	111,0	15,0
<=75>70	115,0	114,0	68,0	112,0	21,0
<=70>65	116,0	114,0	76,0	114,0	25,0
<=65>60	116,0	114,0	82,0	115,0	33,0
<=60>55	116,0	114,0	86,0	115,0	40,0
<=55>50	116,0	114,0	100,0	115,0	55,0
<=50>45	117,0	114,0	102,0	115,0	65,0
<=45>40	117,0	114,0	102,0	115,0	76,0
<=40>35	117,0	114,0	106,0	115,0	90,0
<=35>30	117,0	117,0	110,0	115,0	100,0
<=30>25	117,0	117,0	114,0	116,0	110,0
<=25>20	117,0	117,0	117,0	117,0	111,0
<=20>15	117,0	117,0	117,0	117,0	112,0

<=15>10	117,0	117,0	117,0	117,0	114,0
<=10>5	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0
<=5>0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

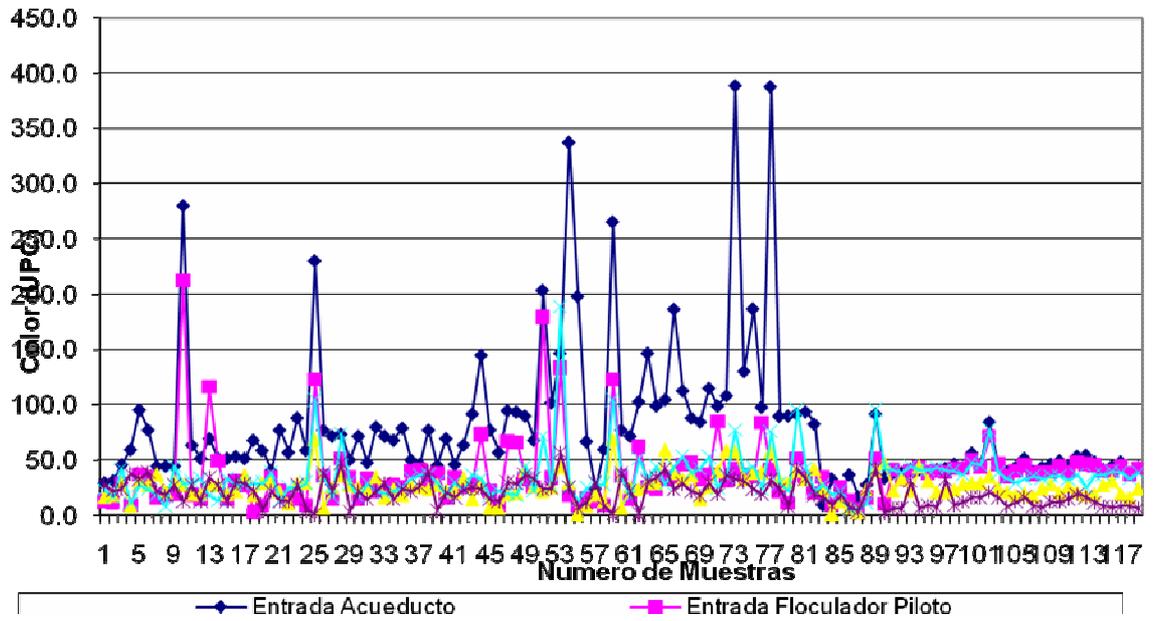
**Tabla N 3,3 Tabla Percentiles en Porcentajes
Color Aparente**

Percentil	Muestra 1	Porcentaje 1	muestra 2	Porcentaje 2
>100	95,0	81,2	112,0	95,0
<=100>95	5,0	4,3	2,0	5,0
<=95>90	8,0	6,8	0,0	8,0
<=90>85	3,0	2,6	0,0	3,0
<=85>80	1,0	0,9	0,0	1,0
<=80>75	3,0	2,6	0,0	3,0
<=75>70	1,0	0,9	0,0	1,0
<=70>65	0,0	0,0	0,0	0,0
<=65>60	0,0	0,0	0,0	0,0
<=60>55	0,0	0,0	0,0	0,0
<=55>50	1,0	0,9	0,0	1,0
<=50>45	0,0	0,0	0,0	0,0
<=45>40	0,0	0,0	0,0	0,0
<=40>35	0,0	0,0	3,0	0,0
<=35>30	0,0	0,0	0,0	0,0
<=30>25	0,0	0,0	0,0	0,0
<=25>20	0,0	0,0	0,0	0,0
<=20>15	0,0	0,0	0,0	0,0
<=15>10	0,0	0,0	0,0	0,0
<=10>5	0,0	0,0	0,0	0,0
<=5>0	0,0	0,0	0,0	0,0

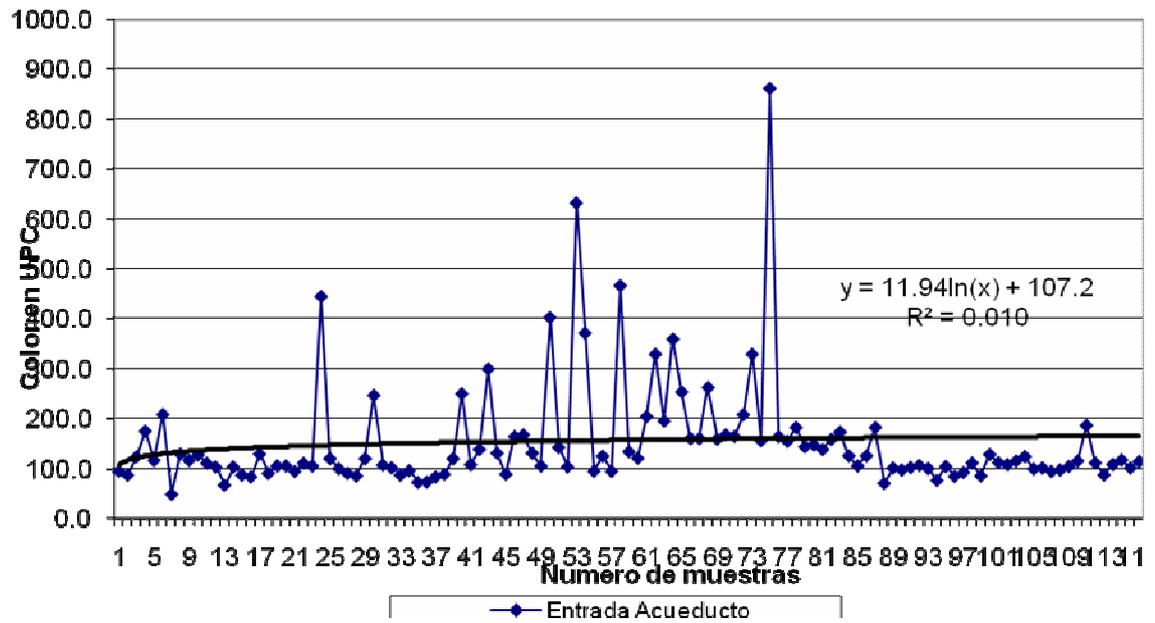
**Tabla N 3,4 Rango de percentiles Color
Aparente**

Rangos percentiles	Muestra 1	%Entrada Acueducto	muestra 2	%Entrada Acueducto
>100	88,0	75,2	111,0	88,0
<=100<45	29,0	24,8	3,0	29,0
<=45>20	0,0	0,0	3,0	0,0
<=20>0	0,0	0,0	0,0	0,0

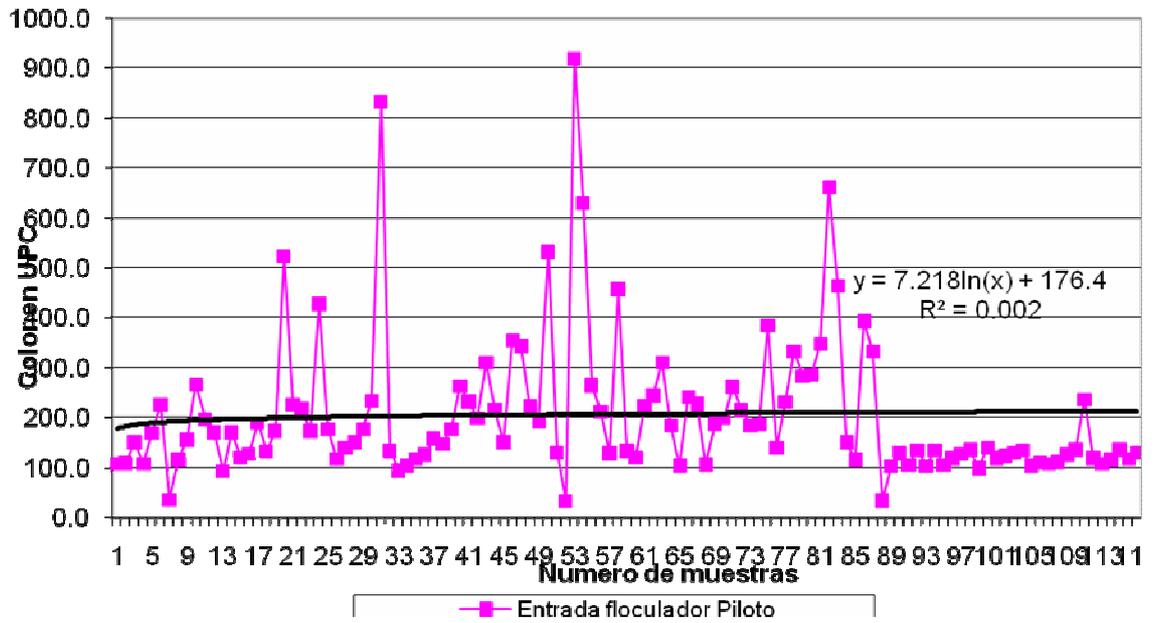
Grafica N 3 Grafico General de Color Verdadero



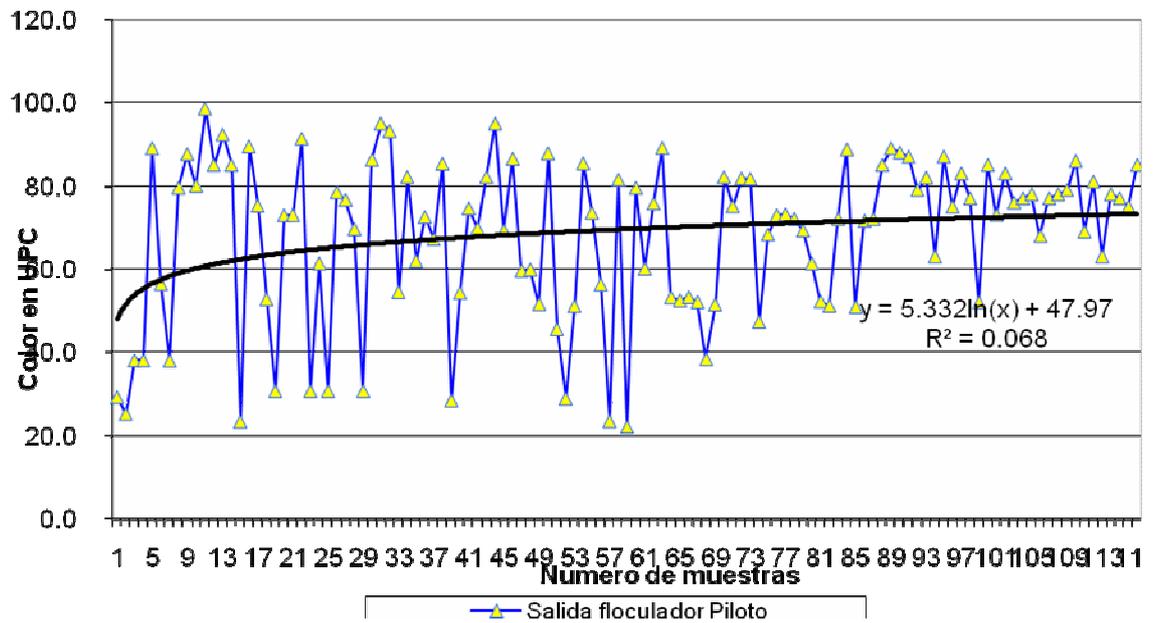
Grafica N 2,1,1 Color Aparente Entrada Acueducto



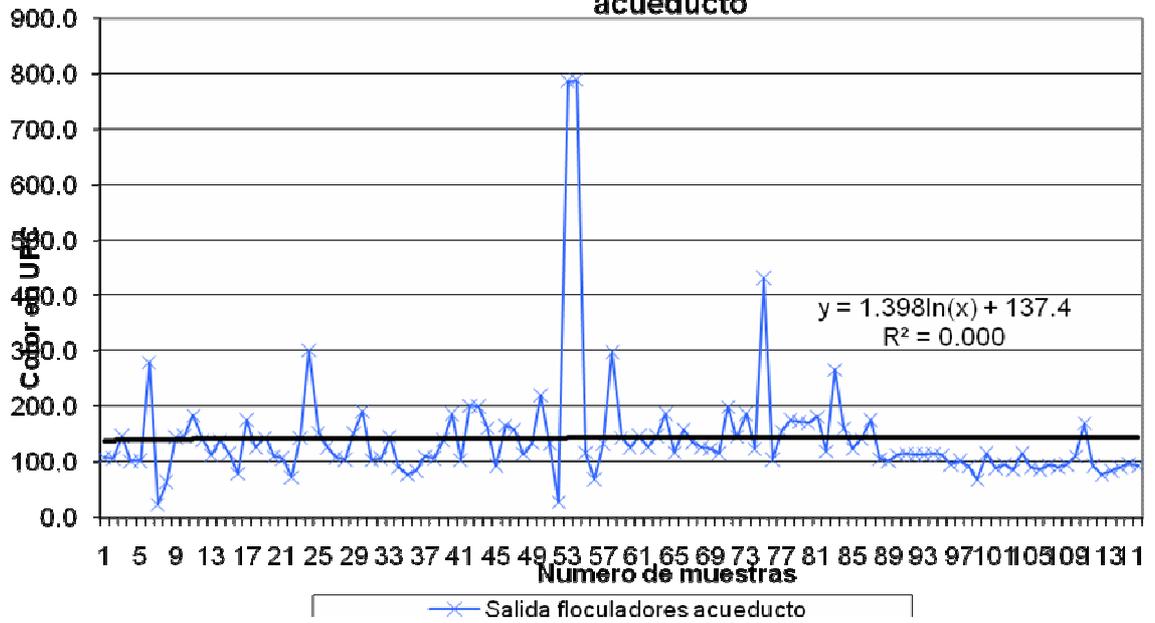
Grafica N 2,1,2 Color Aparente Entrada floculador Piloto



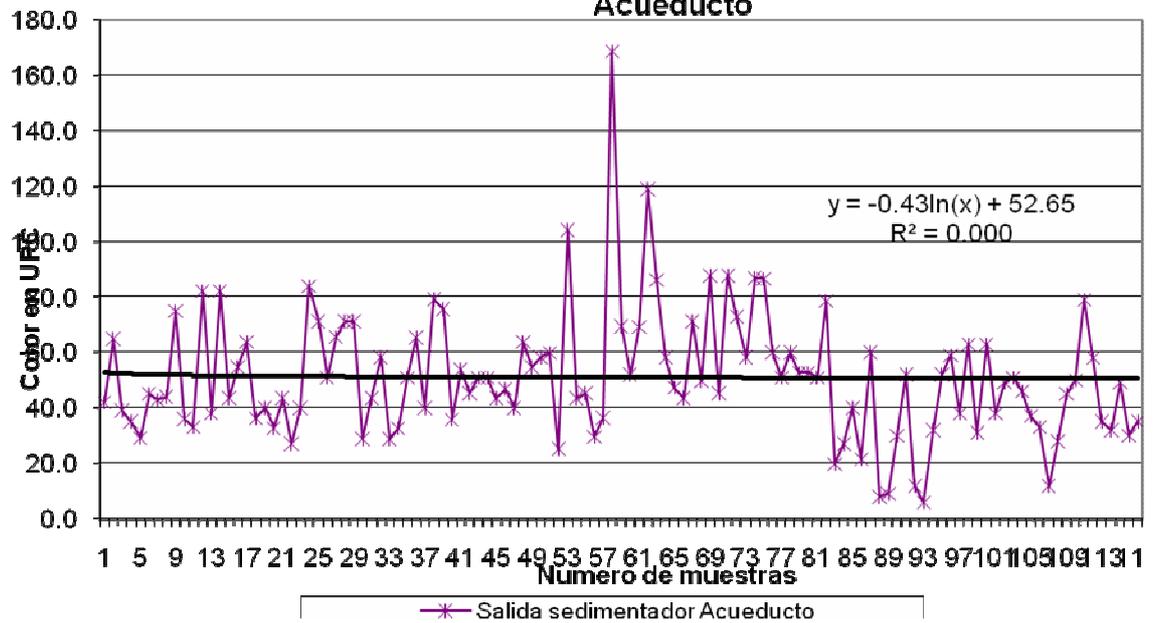
Grafica N 2,1,3 Color aparente Salida floculador Piloto



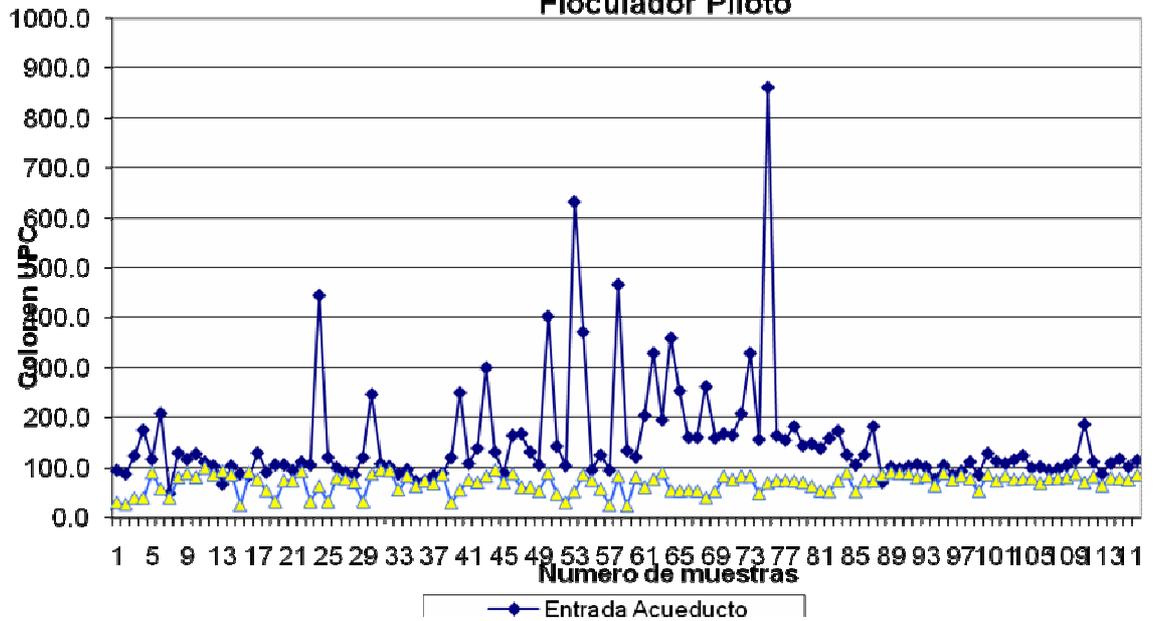
Grafica N 2,1,4 Color Aparente Salida floculadores acueducto



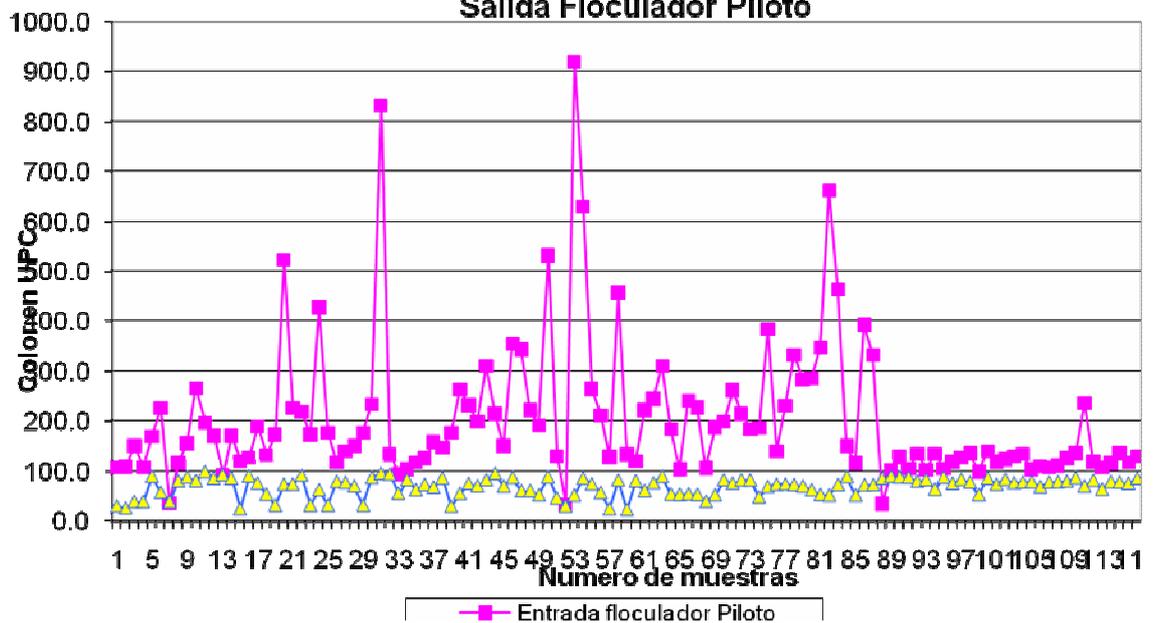
Grafica N 2,1,5 Color Aparente Salida sedimentador Acueducto



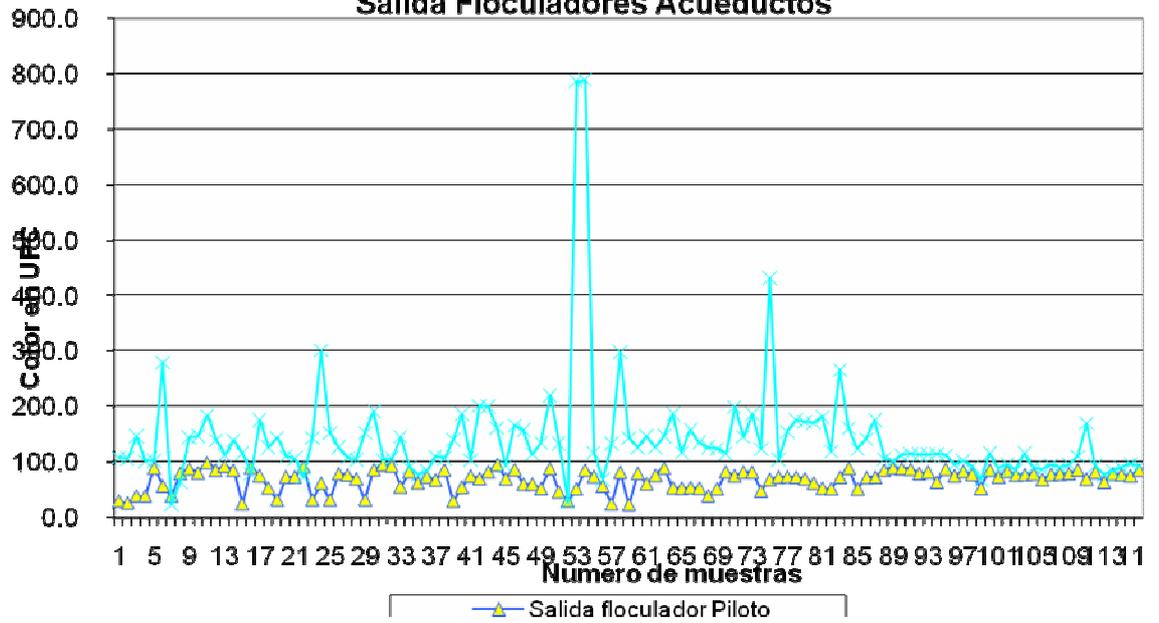
Grafica N 2,2,1 Color Aparente Entrada Acueducto Vs salida Floculador Piloto



Grafica N 2,2,2 Color Aparente Entrada Floculador Piloto Vs Salida Floculador Piloto



Grafica N 2,2,3 Color Aparente Salida Floculador Piloto Vs Salida Floculadores Acueductos



Grafica N 2,2,5 CONCENTRACION DE DATOS COLOR APARENTE

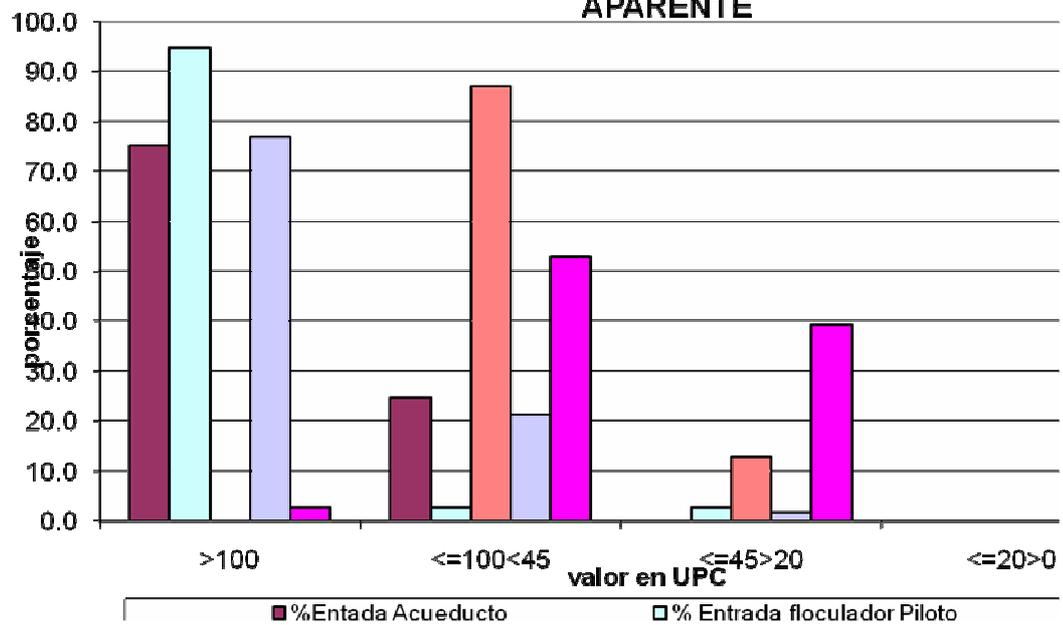


Tabla N 4 Color Verdadero

Numero	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	29,2	12,5	16,5	22,6	27,0
2	30,7	10,5	17,9	16,0	22,0
3	45,4	28,9	28,9	41,7	24,0
4	58,9	8,7	8,7	10,5	37,0
5	95,0	36,2	30,7	27,1	33,0
6	76,6	34,4	27,1	23,4	39,0
7	44,0	16,0	37,0	18,0	22,0
8	44,0	18,0	21,0	7,0	18,0
9	44,0	19,0	30,0	44,0	27,0
10	280,0	212,0	27,0	28,0	12,0
11	63,0	18,0	19,0	30,0	27,0
12	51,0	14,0	19,0	33,0	13,0
13	69,0	116,0	28,0	17,0	34,0
14	51,0	49,1	27,1	12,4	27,1
15	51,0	14,0	19,0	33,0	13,0
16	52,8	30,7	21,6	27,1	30,7
17	50,9	27,1	36,2	27,1	28,9
18	67,4	3,2	17,9	28,9	21,6
19	58,3	8,7	28,9	28,9	5,1
20	39,9	34,4	30,7	38,1	21,6
21	76,6	21,6	21,6	12,4	12,4
22	56,4	16,0	10,5	25,2	12,4
23	87,6	14,2	28,9	25,2	27,1
24	58,3	8,7	28,9	28,9	5,3
25	230,0	122,5	68,4	104,2	1,4
26	76,6	35,6	6,9	34,4	38,1
27	71,1	14,2	25,2	16,0	21,6
28	73,0	50,9	36,2	73,0	47,3
29	49,8	34,4	27,5	28,9	3,2
30	71,1	14,2	25,2	16,0	21,6
31	47,3	32,6	23,3	28,9	14,2
32	79,5	21,6	34,4	21,6	21,6
33	71,1	25,2	16,0	19,7	28,9
34	67,4	27,1	23,4	21,5	14,2
35	78,5	25,2	17,9	25,2	23,4
36	49,6	39,9	27,1	32,6	21,6
37	45,7	40,2	25,3	35,8	26,3
38	76,6	30,7	23,4	36,2	39,9
39	44,9	37,4	27,3	29,6	4,7

40	68,9	15,6	22,4	17,8	20,5
41	45,6	33,6	20,8	29,8	15,9
42	63,2	25,1	33,4	22,6	23,1
43	91,3	27,1	14,2	36,2	25,2
44	144,5	73,0	28,9	32,6	23,4
45	76,6	21,6	6,9	17,9	14,2
46	56,4	8,7	6,9	21,6	12,4
47	94,3	66,5	18,9	19,6	29,7
48	93,1	65,6	19,7	17,9	28,9
49	89,5	32,6	39,9	43,6	36,2
50	67,4	25,2	26,2	21,6	32,6
51	203,3	179,4	21,6	71,1	23,4
52	101,3	33,6	25,4	26,4	24,3
53	146,4	133,5	43,6	188,6	56,4
54	337,3	17,9	28,9	25,2	25,2
55	197,8	8,7	1,4	12,4	6,9
56	66,3	15,3	8,6	24,3	11,3
57	23,6	12,5	18,5	28,4	29,5
58	59,2	8,5	12,3	27,6	7,7
59	265,3	122,5	68,4	104,2	1,4
60	76,6	35,6	6,9	34,4	38,1
61	71,1	14,2	25,2	16,0	21,6
62	102,3	61,9	23,4	50,9	1,7
63	146,4	25,6	28,9	32,6	30,7
64	98,7	23,4	28,9	43,6	34,4
65	104,2	32,6	58,9	27,1	41,7
66	186,2	34,4	38,1	43,6	23,4
67	112,3	45,6	32,5	53,4	28,6
68	87,6	47,3	36,2	38,1	21,6
69	84,0	32,6	14,2	41,7	17,9
70	114,6	36,5	25,6	52,4	29,5
71	98,4	84,5	39,4	24,5	18,6
72	107,8	30,7	58,3	34,4	36,2
73	388,7	41,7	57,3	76,6	32,6
74	129,9	36,2	32,6	39,9	30,7
75	186,5	34,5	38,1	43,6	23,4
76	97,4	83,5	38,4	23,5	18,6
77	387,7	40,7	57,3	75,6	31,6
78	89,2	21,6	32,6	28,2	23,4
79	89,5	10,5	28,9	21,6	7,9
80	91,3	50,9	39,9	95,0	41,8
81	93,1	34,4	32,6	41,8	32,6
82	82,1	19,7	41,7	21,6	17,9
83	8,7	34,4	23,4	27,1	16,0

84	32,6	8,7	1,4	17,9	8,7
85	23,4	25,2	12,4	21,6	17,9
86	36,2	12,4	6,9	5,0	6,9
87	16,0	5,0	3,2	5,0	3,2
88	27,1	16,0	23,4	10,5	23,4
89	91,3	50,9	39,9	95,0	41,8
90	33,0	10,0	47,0	42,0	3,0
91	38,0	41,0	22,0	41,0	6,0
92	38,0	32,0	33,0	38,0	6,0
93	41,0	40,0	22,0	44,0	31,0
94	41,0	43,0	44,0	41,0	6,0
95	39,0	38,0	31,0	41,0	9,0
96	41,0	40,0	21,0	43,0	7,0
97	42,0	39,0	21,0	41,0	32,0
98	46,0	42,0	23,0	40,0	9,0
99	43,0	42,0	28,0	36,0	12,0
100	56,0	50,0	29,0	47,0	16,0
101	46,0	44,0	29,0	45,0	16,0
102	84,0	71,0	35,0	77,0	21,0
103	44,0	46,0	24,0	38,0	16,0
104	39,0	35,0	21,0	33,0	8,0
105	43,0	40,0	18,0	29,0	12,0
106	51,0	45,0	20,0	33,0	16,0
107	39,0	37,0	17,0	35,0	8,0
108	43,0	39,0	24,0	33,0	7,0
109	46,0	39,0	28,0	35,0	12,0
110	49,0	44,0	20,0	35,0	12,0
111	44,0	39,0	26,0	32,0	15,0
112	53,0	48,0	21,0	36,0	19,0
113	54,0	46,0	18,0	25,0	16,0
114	48,0	45,0	19,0	36,0	11,0
115	41,0	40,0	27,0	36,0	8,0
116	44,0	40,0	31,0	39,0	7,0
117	48,0	44,0	19,0	38,0	8,0
118	38,0	37,0	16,0	33,0	8,0
119	43,0	42,0	24,0	38,0	6,0

Tabla N 4,1
Análisis
estadístico
Color
Verdadero

Parametro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
contadores	119,0	119,0	119,0	119,0	119,0
sumx	9480,0	4541,3	3156,6	4221,2	2376,7
Desvest	67,1	31,4	12,4	23,3	11,4
Promedio	82,1	38,8	26,6	36,0	19,8
Maximo	388,7	212,0	68,4	188,6	56,4
minimo	8,7	3,2	1,4	5,0	1,4
Varianza	4498,0	982,8	153,1	544,4	129,6
MODA	76,6	34,4	28,9	33,0	21,6
desv media	41,7	18,3	8,8	13,8	9,4

Tabla N 4,2
Análisis
Percentil de
Datos Color
Verdadero

Percentil	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
>100	20,0	6,0	0,0	3,0	0,0
<=100>95	23,0	6,0	0,0	3,0	0,0
<=95>90	30,0	6,0	0,0	5,0	0,0
<=90>85	35,0	6,0	0,0	5,0	0,0
<=85>80	38,0	8,0	0,0	5,0	0,0
<=80>75	46,0	8,0	0,0	8,0	0,0
<=75>70	51,0	10,0	0,0	10,0	0,0
<=70>65	57,0	12,0	2,0	10,0	0,0
<=65>60	59,0	13,0	2,0	10,0	0,0
<=60>55	66,0	13,0	6,0	10,0	1,0
<=55>50	74,0	16,0	6,0	13,0	1,0
<=50>45	86,0	23,0	7,0	14,0	2,0
<=45>40	102,0	36,0	10,0	30,0	5,0
<=40>35	110,0	55,0	21,0	46,0	12,0

<=35>30	113,0	73,0	33,0	62,0	24,0
<=30>25	115,0	83,0	63,0	85,0	39,0
<=25>20	117,0	88,0	85,0	99,0	61,0
<=20>15	118,0	98,0	104,0	111,0	75,0
<=15>10	118,0	109,0	109,0	116,0	91,0
<=10>5	119,0	118,0	116,0	119,0	112,0
<=5>0	0,0	1,0	3,0	0,0	7,0

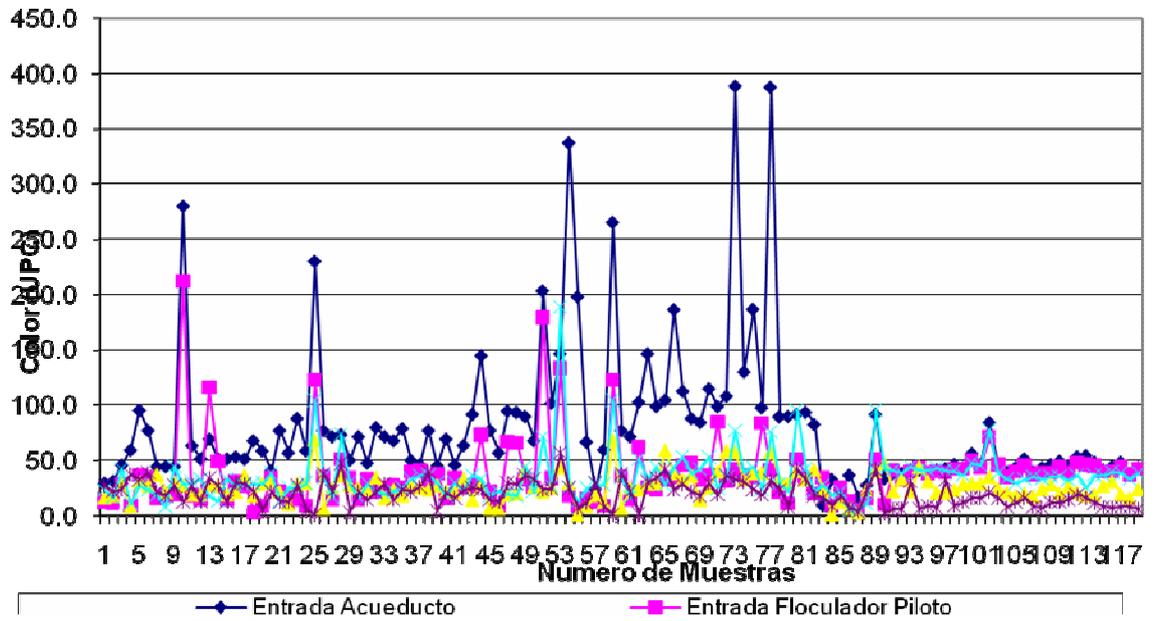
**Tabla N 4,2,1 Tabla Percentiles en Porcentajes
Color Verdadero**

Percentil	Muestra 1	Porcentaje 1	muestra 2	P
>100	20,0	16,8	6,0	
<=100>95	3,0	2,5	0,0	
<=95>90	7,0	5,9	0,0	
<=90>85	5,0	4,2	0,0	
<=85>80	3,0	2,5	2,0	
<=80>75	8,0	6,7	0,0	
<=75>70	5,0	4,2	2,0	
<=70>65	6,0	5,0	2,0	
<=65>60	2,0	1,7	1,0	
<=60>55	7,0	5,9	0,0	
<=55>50	8,0	6,7	3,0	
<=50>45	12,0	10,1	7,0	
<=45>40	16,0	13,4	13,0	
<=40>35	8,0	6,7	19,0	
<=35>30	3,0	2,5	18,0	
<=30>25	2,0	1,7	10,0	
<=25>20	2,0	1,7	5,0	
<=20>15	1,0	0,8	10,0	
<=15>10	0,0	0,0	11,0	
<=10>5	1,0	0,8	9,0	
<=5>0	0,0	0,0	1,0	

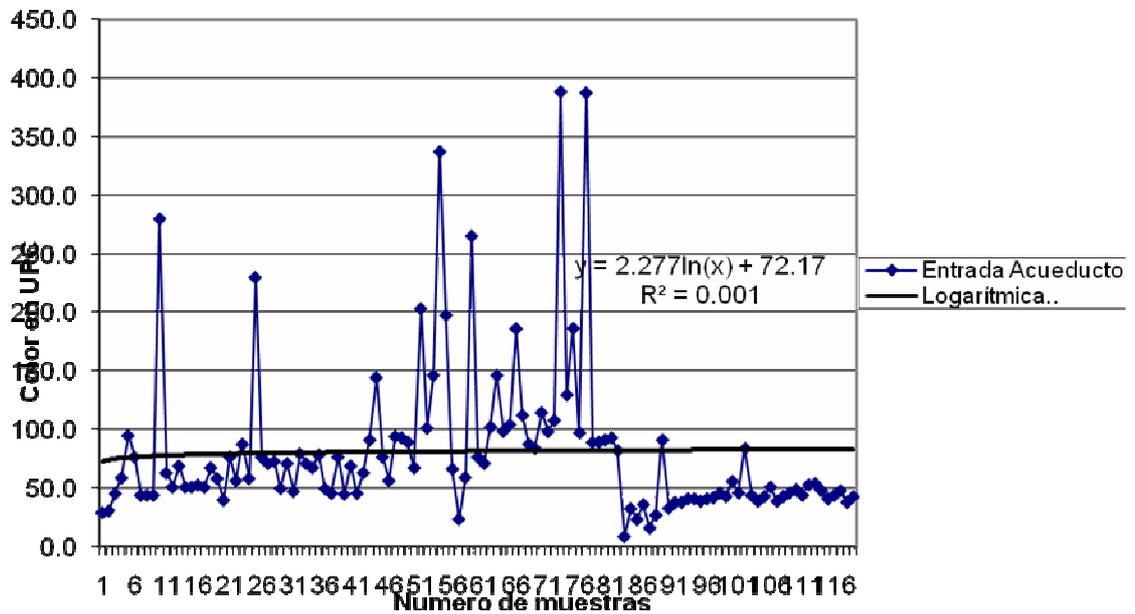
Tabla N 4,2,2 Rango de pecentiles Color Verdadero

Rangos percentiles	Muestra 1	%Entada Acueducto	Muestra 2	% Ent
>100	20,0	16,8	16,8	
<=100>70	51,0	42,9	10,0	
<=70>35	59,0	49,6	45,0	
<=35>15	8,0	6,7	43,0	
<=15>0	1,0	0,8	21,0	

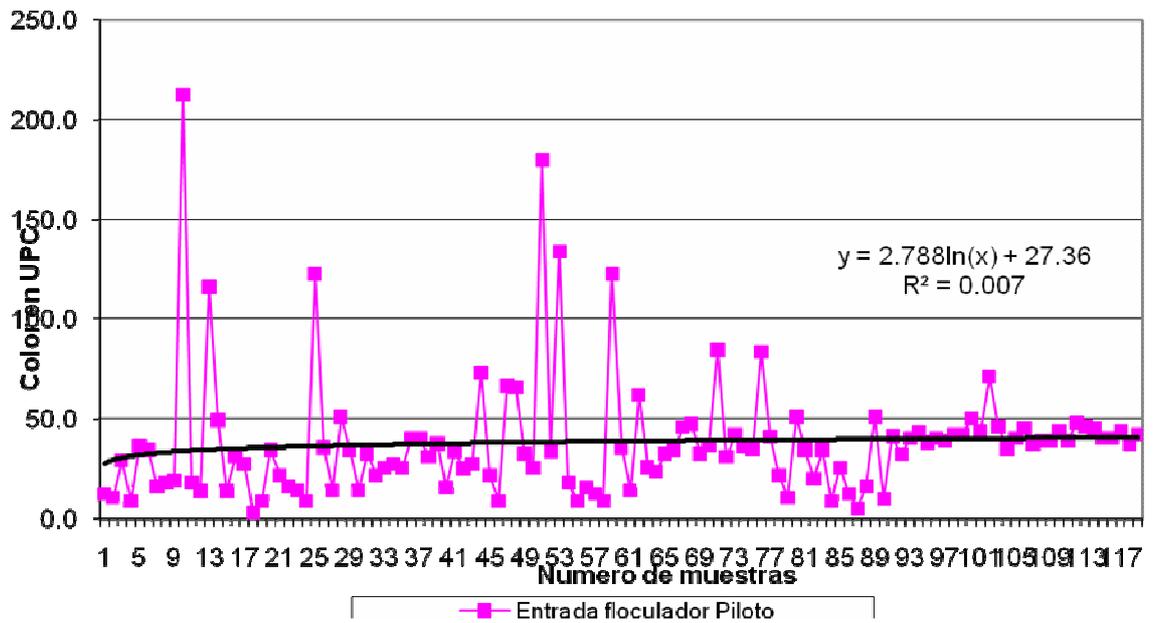
Grafica N 3 Grafico General de Color Verdadero



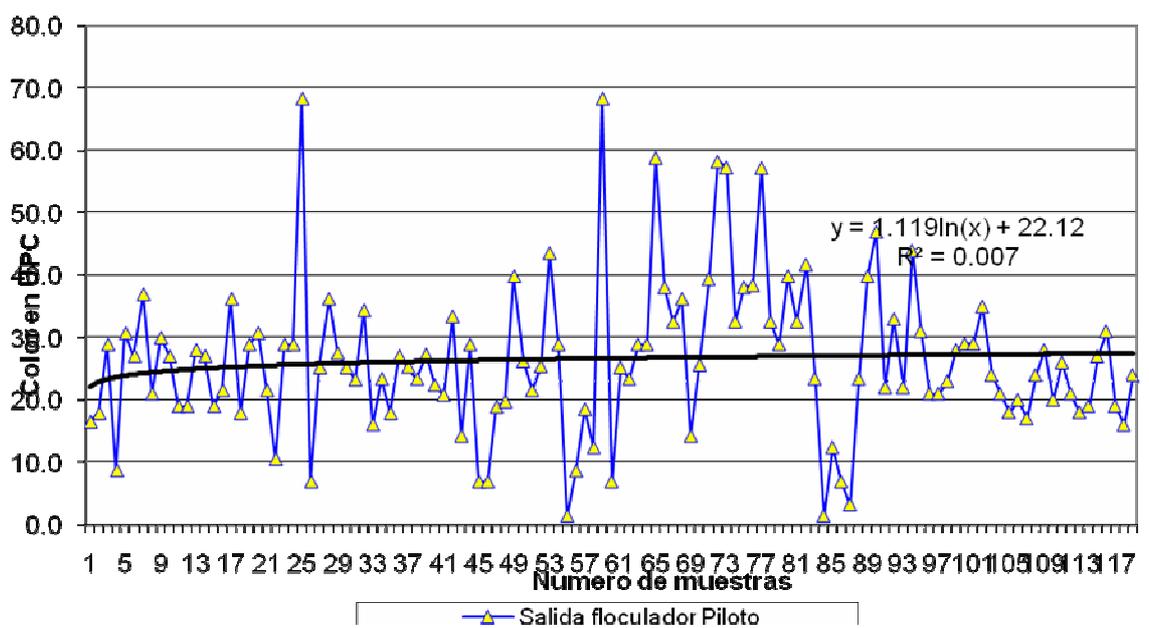
Grafica N 3,1,1 Color Verdadero Entrada Acueducto



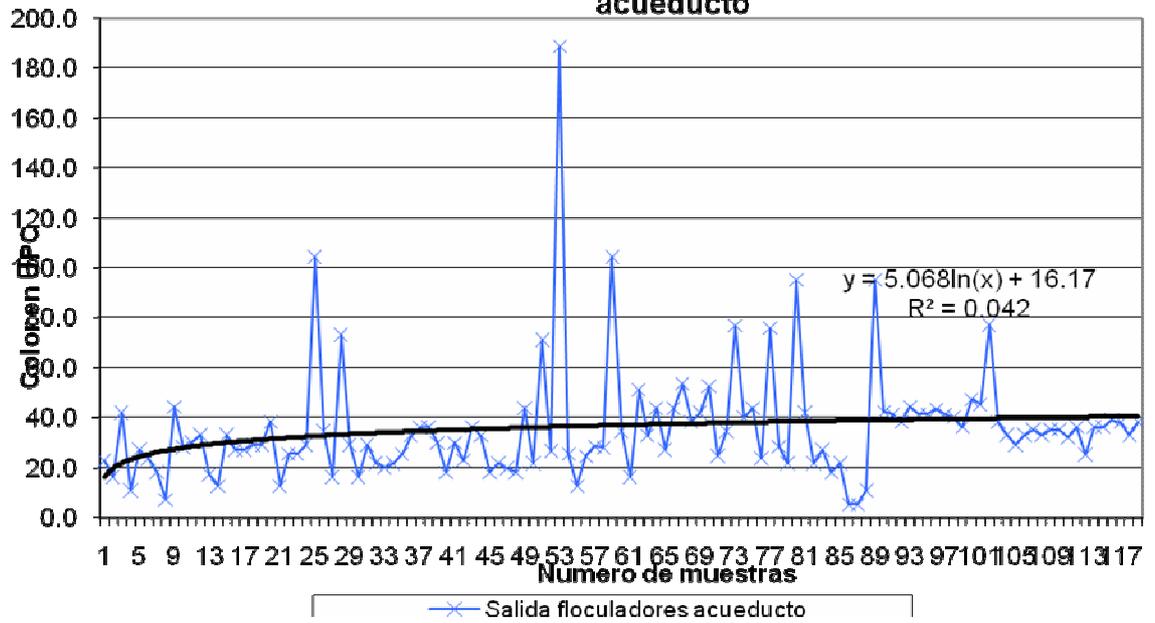
Grafica N 3,1,2 Color Verdadero Entrada floculador Piloto



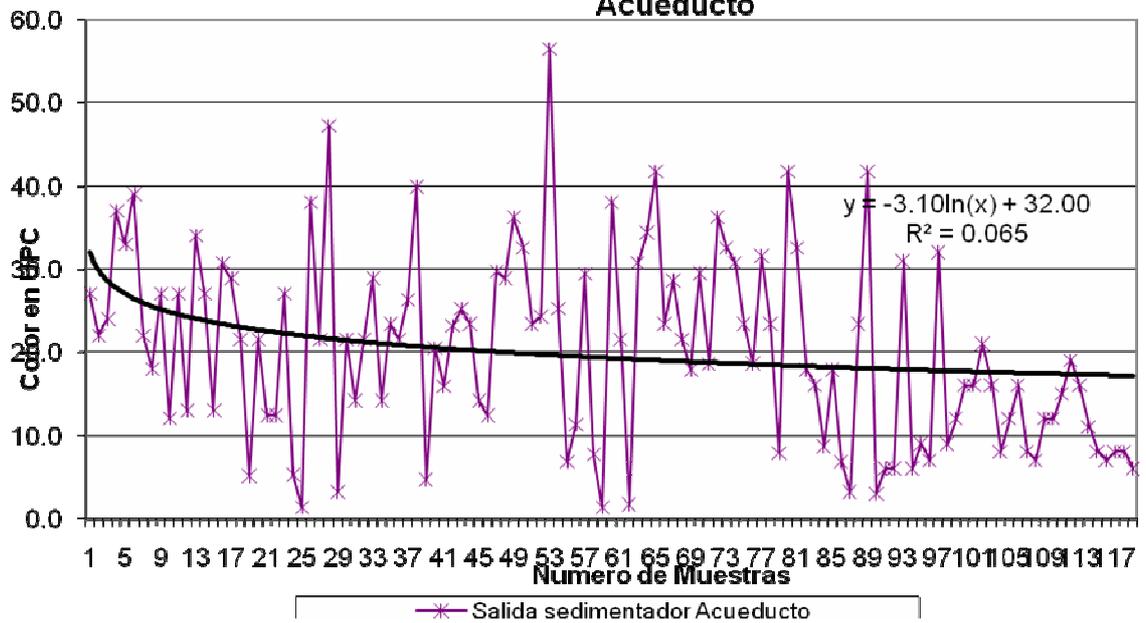
Grafica N 3,1,3 Color Verdadero Salida floculador Piloto



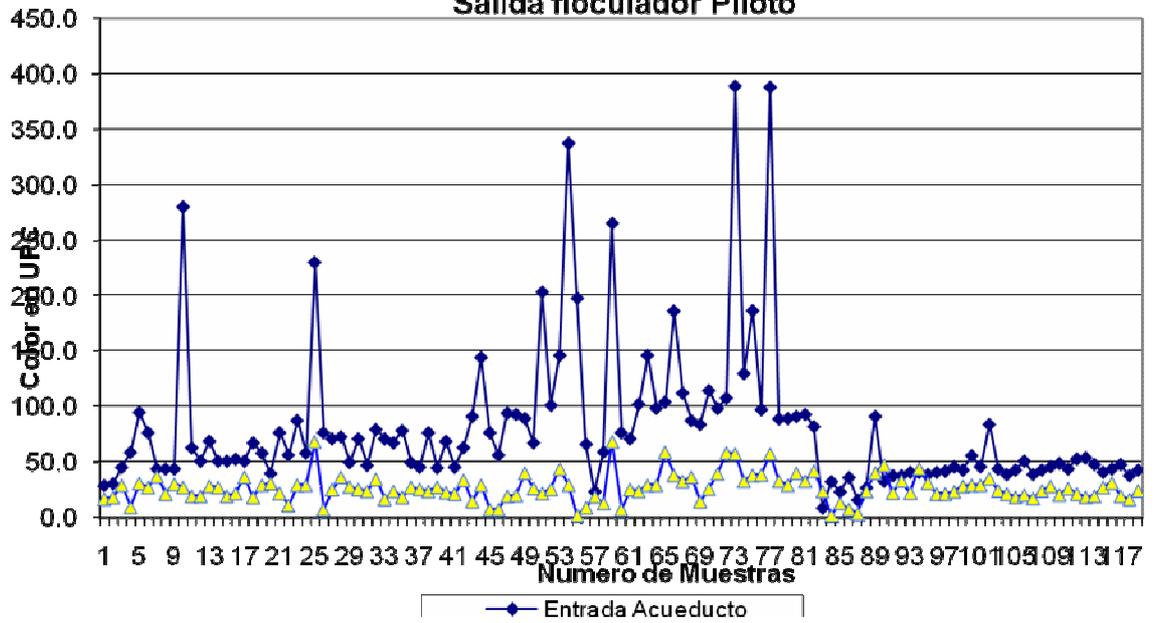
Grafica N 3,1,4 Color Verdadero Salida floculadores acueducto



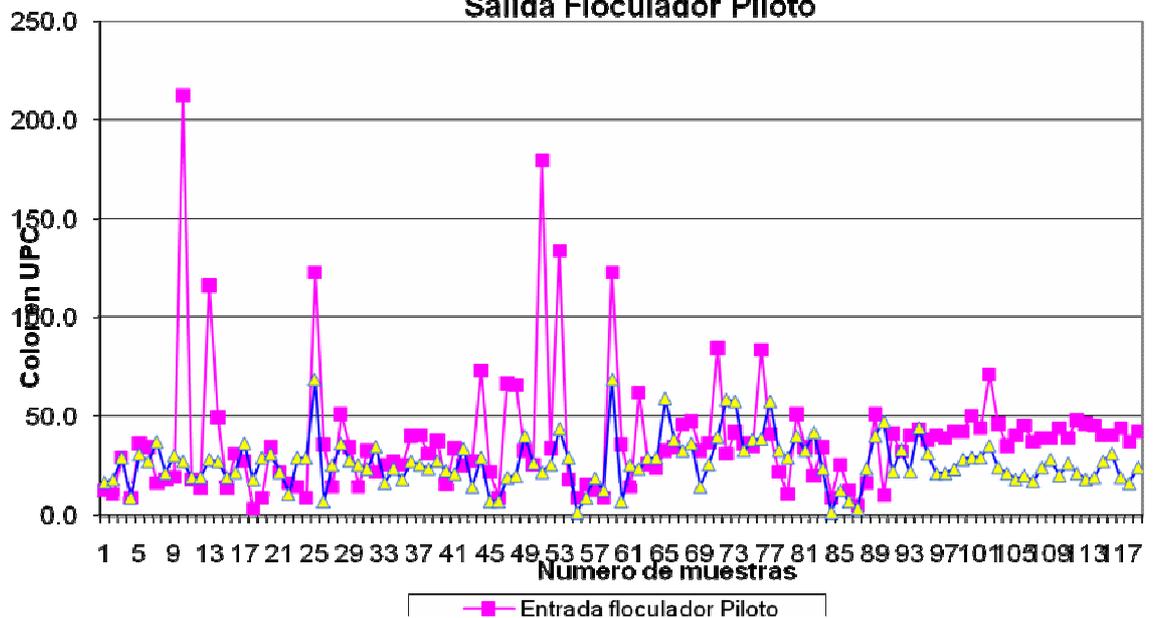
Grafica N 3,1,5 Color Verdadero Salida sedimentador Acueducto



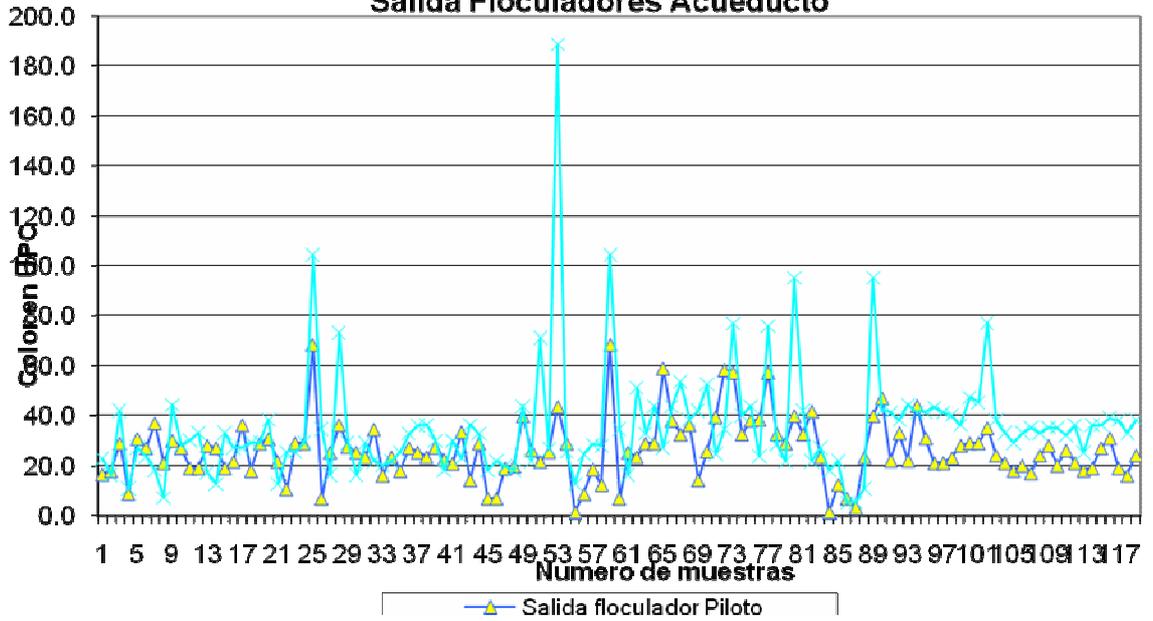
Grafica N 3,2,1 Color Verdadero Entrada Acueducto Vs Salida floculador Piloto



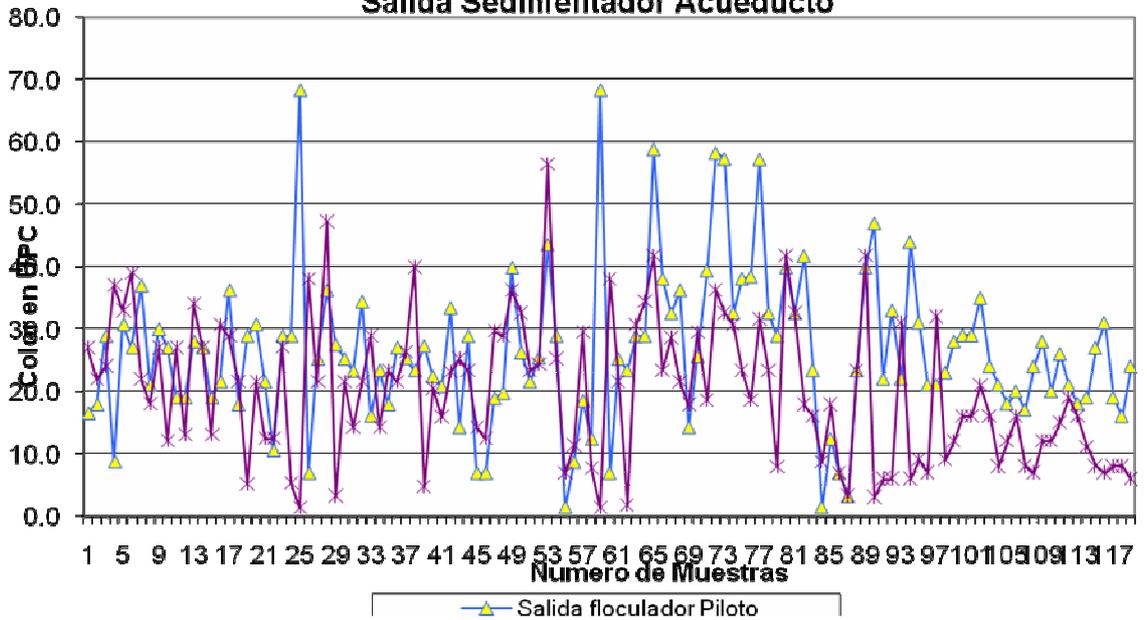
Grafica N 3,2,2 Color Verdadero Entrada Floculador Piloto Vs Salida Floculador Piloto



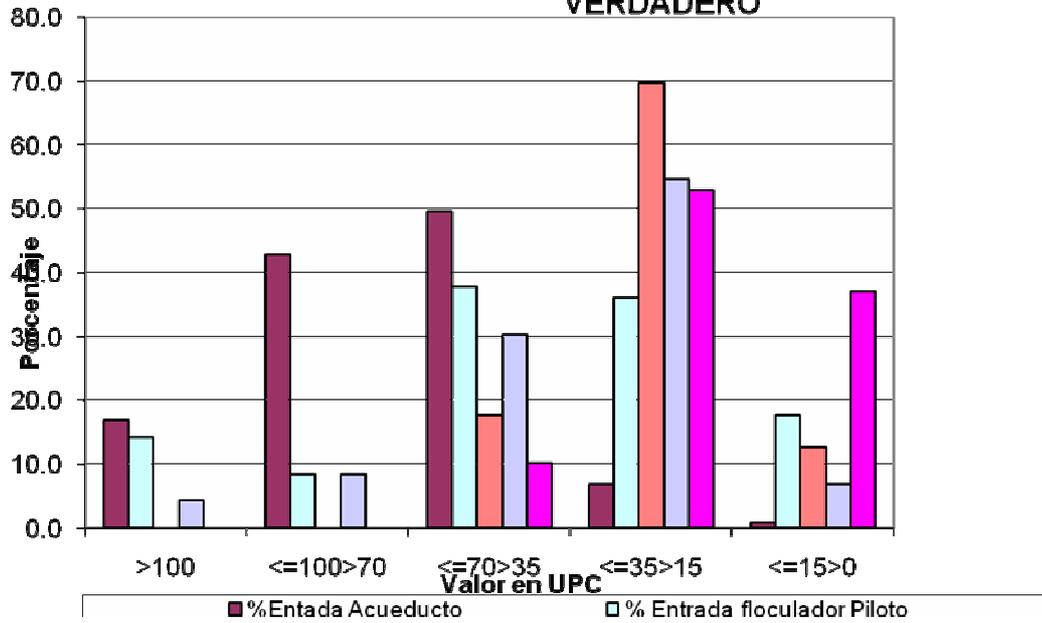
Grafica N 3,2,3 Color Verdadero Salida Floculador Piloto Vs Salida Floculadores Acueducto



Grafica N 3,2,4 Color Verdadero Salida Floculador Piloto Vs Salida Sedimentador Acueducto



Grafica N 3,2,5 CONCENTRACION DE DATOS COLOR VERDADERO





Floculador Hidráulico Piloto en Piedra



Lecho Rocoso del Floculador



Salida del Flocculador (Toma de muestras No 2)



Toma de muestra a la salida del floculador



Aditamento para la entrada de la traza al Floculador



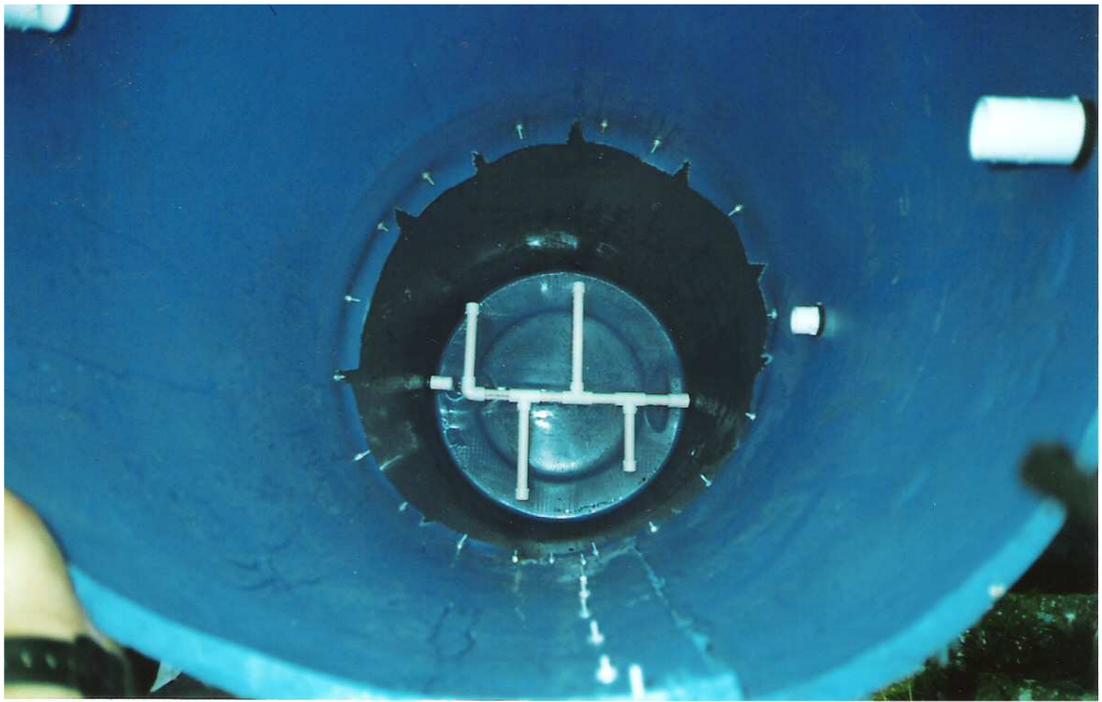
Toma de muestra Prueba de Retención Hidráulica



Ensayo para determinar Color



Floculador Hidráulico Piloto en Rocas



Fondo del Floculador Hidráulico Piloto



Canaleta Parshall (Toma de muestra 2).



**Salida de flocladores Acueducto
(Toma de muestra No 4)**



**Entrada al floculador hidráulico piloto en piedras.
(Toma de muestras N 2)**



Turbidímetro digital



PHmetro digital



Colorimetro Digital

