

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OPERACIÓN COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
PARA LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE CARULLA VIVERO S.A, A TRAVÉS DE LA
CORRELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ZETA Y LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS
SUSPENDIDOS TOTALES.

MARYORI ADRIANA LOZANO MORALES
JOHN ALEXANDER PIMIENTO CÁRDENAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2009

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OPERACIÓN COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
PARA LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE CARULLA VIVERO S.A, A TRAVÉS DE LA
CORRELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ZETA Y LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS
SUSPENDIDOS TOTALES.

MARYORI ADRIANA LOZANO MORALES
JOHN ALEXANDER PIMIENTO CÁRDENAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

DIRECTORA
ROSALINA GONZÁLEZ FORERO
INGENIERA QUÍMICA
Msc. Tecnología Educativa

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2009

A mi esposo con todo mi amor, a mi
hija y mi familia, como fruto de un
gran esfuerzo.

ADRIANA.

A mis padres y todas las personas
que me apoyaron para alcanzar
este objetivo.

ALEXANDER.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, al Ingeniero Roberto Balda por su amistad y ayuda en todo momento, a la Ingeniera Rosalina González por permitir la ejecución del proyecto, a mi hija María José por su tiempo y paciencia, a mi esposo Omar Mendoza por estar siempre a mi lado, a mis padres y hermanos por su apoyo y confianza durante todo este proceso, a mi hermana Eliana por respaldarme en toda la carrera, a mis suegros, cuñados y amigos que de una u otra forma participaron en la ejecución de este proyecto.

Maryori Adriana Lozano Morales

A Dios por darme las fuerzas para alcanzar este escalón en la vida, a la Ingeniera Rosalina Gonzalez e Ingeniero Roberto Balda por su amistad y ayuda en el desarrollo de de este proyecto, a mi familia por todo el apoyo prestado durante todo el tiempo de estudio, a mis amigos que de alguna u otro forma dieron su granito de arena para que se hiciera realidad este proyecto.

John Alexander Pimiento Cárdenas

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	2
1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. ANTECEDENTES	3
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. GENERALIDADES DE CARULLA VIVERO S.A	5
3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE BOGOTÁ	5
3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA DEL ACUIFERO DE BOGOTA	7
3.4. DINÁMICA DEL MATERIAL PARTICULADO EN CONDUCCIONES DE AGUA PARA POTABILIZACIÓN	8
3.4.1 Llegada del material particulado a la red de conducciones.	9
3.4.2 Transporte del material particulado a través de la red:	10
3.4.3 Precipitación del material particulado dentro de la red.	10
3.4.4 Formación de depósitos de material particulado dentro de la red:	12
3.4.5 Remoción del material particulado.	12
3.5. CARGAS ELÉCTRICAS DE UN MATERIAL PARTICULADO	13

3.6. TEORÍA DE LOS COLOIDES	14
3.6.1 Características de los coloides.	15
3.6.2 Zeta-Meter y potencial.	18
3.7. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	19
3.7.1 Coagulación.	20
3.7.2 Floculación	21
3.7.3 Gradiente de mezcla lenta.	23
3.8 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL FLOC	24
3.9 CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	25
3.9.1 Regresión.	25
3.9.2 Coeficiente de Regresión.	26
3.10 PRUEBA DE HIPÓTESIS	28
3.10.1 Procedimiento general de las pruebas de hipótesis.	29
3.11 PROGRAMAS DE ESTADÍSTICOS	30
3.11.1 Paquete Estadístico SPSS.	31
3.11.2 Paquete estadístico SAS 9.0.	31
4. DISEÑO METODOLÓGICO	32
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	32
4.2. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	32

4.3 CONDICIONES GENERALES	33
4.4 EXPERIMENTACIÓN	33
4.5 DISEÑO INSTRUMENTO DE DOSIFICACIÓN	34
4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OPTIMIZACIÓN	34
5. CONDICIONES PRELIMINARES Y DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE CARULLA VIVERO S.A.	35
5.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN	35
5.1.1 Caracterización del agua de extracción de Carulla Vivero S.A	35
5.1.2 Descripción de elementos del proceso de coagulación-floculación.	36
5.1.3 Descripción del pozo profundo para extracción de agua subterránea	36
5.1.4 Descripción de la Torre de Aireación A-7	37
5.1.5 Descripción del Clarificador modelo 9A	38
5.2 CONDICIONES DE COAGULACIÓN-FLOCULACION RESPECTO A GRADIENTES	39
5.2.1 Gradiente mezcla rápida	40
5.2.2 Gradiente de mezcla lenta.	40
6. RESULTADOS EXPERIMENTALES	42
6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS	42
6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
6.2.1 Regresión múltiple.	43

6.3 EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS	47
6.4 EXPERIMENTACIÓN EQUIPO ZETA METER 3.0+.	49
6.4.1 Concentración Óptima de Coagulante en base al Potencial Zeta.	50
6.4.2 Manual de equipo Zeta Meter 3.0+	50
6.5 CORRELACIONES MATEMÁTICAS	50
6.5.1 Correlación Matemática de SST y Potencial Zeta.	50
6.5.2 Correlación Coagulante (PACI) – Potencial Zeta.	51
7. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS	54
7.1 Objetivo del aplicativo	54
7.2 Premisas de Diseño	54
7.2.1 Generalidades	54
7.2.2 Configurador de Ecuaciones	55
7.2.3 Motor de Cálculo de Dosis Óptima	55
7.2.4 Motor de Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales	55
7.2.5 Generador de Reportes	55
7.3 Tecnologías Utilizadas	56
7.4 Proceso ilustrativo de manejo de la herramienta.	56
8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE CARULLA VIVERO S.A.	61
8.1 CRITERIO BASE	61

8.2 PROCEDIMIENTO PRUEBA DE HIPÓTESIS	61
8.3. COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS	67
9. CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificación técnica de las bandejas de aireación.	38
Tabla 2. Análisis de Varianza	43
Tabla 3. Análisis de regresión	44
Tabla 4. Resultados del coeficiente de Pearson para cada variable.	45
Tabla 5. Matriz de Variables Excluidas	46
Tabla 6. Nivel de significancia de las variables	47
Tabla 7 Concentración PACL vs concentración de SST al final del ensayo.	48
Tabla 8. Datos de concentración de Coagulante, y toma del respectivo Potencial Zeta.	52
Tabla 9 Resultados de eficiencia de remoción de SST para muestras de agua.	64
Tabla 10. Análisis de Varianza (Excel)	66
Tabla 11. Cuantificación de factores	69
Tabla 12. Evaluación Cuantitativa de los factores	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Material particulado en la red de conducción	9
Figura 2. Transporte del material particulado	10
Figura 3. Precipitación del material particulado en la red.	11
Figura 4. Depósitos del material particulado	12
Figura 5. Remoción del material particulado.	13
Figura 6. Modelo de una partícula coloidal negativa con campo electrostático.	17
Figura 7. Fuerzas que actúan sobre los colides.	18
Figura 8. Floculadores de contacto de sólidos	23
Figura 9. Gráficas Coeficiente de Regresión.	26
Figura 10. Procedimiento de prueba de hipótesis	30
Figura 11. Esquema general del tratamiento.	39
Figura 12. proceso de mezcla rápida en la operación	40
Figura 13. Elementos geométricos del agitador.	40
Figura 14. Ilustración Módulos de la Aplicación para el Cálculo de Dosis Óptima de Coagulante	55
Figura 15. Ventana Principal de la Aplicación	56
Figura 16. Descripción de los Procesos de Ingreso de Información y cálculos	57
Figura 17. Servicios Ofrecidos por la Aplicación	57
Figura 18. Edición de la Ecuación de Cálculo de Dosis Óptima de Coagulante	58
Figura 19. Edición de la Ecuación de Cálculo de Sólidos Suspendidos	58
Figura 20. Tabla de Consulta de la Correlación de Temperatura	58

Figura 21. Menú de Generación de Reportes	59
Figura 22. Reporte del Análisis	59
Figura 23. Procedimiento para la optimización de proceso de coagulación-floculación.	62
Figura 24. Distribución de valores críticos	66

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del acuífero de la sabana de Bogotá.	7
Cuadro 2. Valores $\sqrt{\gamma/\mu}$	22
Cuadro 3. Valores para paletas planas	24
Cuadro 4. Índice de Willcomb	25
Cuadro 5. Caracterización del agua de extracción de Carulla Vivero S.A	35
Cuadro 6. Evaluación cualitativa de Métodos Experimentales	67

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Materiales y equipos	77
Anexo B. Generalidades del pozo y operación	78
Anexo C. Memoria de cálculo	79
Anexo D. Resultados experimentación	82
Anexo E. Procedimiento de herramientas estadísticas	85
Anexo F. Experimentación para dosis óptima de coagulante	100
Anexo G. Procedimiento del diseño de la herramienta de programación	103
Anexo H. Procedimiento de cálculo de t-student	108
Anexo I. Manual de operación equipo zeta meter 3.0+	112
Anexo J. Protocolos	122

GLOSARIO

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA): Colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, empleados para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.

CARGA ELECTROSTÁTICA: Es una propiedad intrínseca de algunas partículas que se manifiesta mediante atracciones y repulsiones que determinan las interacciones electromagnéticas entre ellas. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos siendo, a su vez, generadora de ellos.

COAGULACIÓN: Proceso de desestabilización de los coloides en un agua.

COLOIDE: Partículas tan finas que no sedimentan si no se someten a una coagulación previa. Tiene una carga neta negativa, y obstruyen membranas.

DOSIS ÓPTIMA: Determinación de la cantidad correcta de coagulante y/o floculante para lograr una excelente sedimentación de partículas presentes en un cuerpo de agua.

ESTADÍSTICO DE PRUEBA: Valor obtenido a partir de la información muestral. Se utiliza para determinar si se rechaza o no la hipótesis en un análisis estadístico.

GRADIENTE DE VELOCIDAD: Intensidad de agitación con que una suspensión es mezclada en un tanque de coagulación o de floculación.

HIPÓTESIS: Afirmación acerca del valor de un parámetro poblacional (media, varianza, etc.).

ÍNDICE DE PEARSON: Es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. El índice es independiente de la escala de medida de las variables

KARSTIFICACIÓN: La karstificación es un proceso químico de disolución de las rocas calizas en presencia de agua y CO_2 .

MOVILIDAD ELECTROFORÉTICA (ME): Movimiento de partículas cargadas por acción de un campo eléctrico

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera, se expresa con el símbolo α .

POLÍMERO: Sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeros, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Puede tener o no carga iónica, los que no la tienen se llaman no iónicos, los que la tienen pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa).

PORCENTAJE DE REMOCIÓN: Cantidad de un material removido del agua por cada 100 partes de su cantidad inicial. Se calcula mediante la expresión: $(\text{valor inicial} - \text{valor final}) / \text{valor inicial} \times 100$.

POTENCIA DE LA PRUEBA (1- β): Probabilidad de que con los datos analizados, se rechace la hipótesis nula cuando es falsa. Depende de los parámetros poblacionales y del número de réplicas tomadas.

REGRESIÓN: Se define como un procedimiento mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variables. Es decir, conociendo los valores de una variable independiente, se trata de estimar los valores, de una o más variables dependientes.

REPULSIÓN ELECTROSTÁTICA: Es una fuerza opuesta a la fuerza de atracción entre partículas la cual cuenta con una distancia mínima permitida entre los núcleos de dos átomos contiguos, o también llamada distancia interatómica, a distancias muy pequeñas los átomos experimentan una fuerte repulsión debida a las nubes electrónicas, muy juntas y que se repelen fuertemente al tener carga negativa. Esta repulsión depende de la duodécima potencia de la distancia interatómica, por lo que sólo es importante cuando la distancia interatómica es muy pequeña.

SEDIMENTACIÓN: La sedimentación es por definición la separación Sólido-liquido, una decantación por gravedad para separar los sólidos.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES: Material suspendido en el agua, el cual se retiene al ser filtrado en un filtro con un tamaño nominal de poro de 1.2 μm .

TURBIEDAD: Parámetro que se emplea para medir la calidad del agua en relación con la materia coloidal en suspensión. Es una medida de la intensidad de luz dispersada en una muestra de agua.

VARIANZA: Medida de dispersión de la distribución de unos datos, se define como el promedio aritmético de los cuadrados de las desviaciones respecto a su media.

RESUMEN

Durante los últimos 30 años el proceso de remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST) presentes en el agua no ha tenido innovaciones significativas y se ha recurrido a análisis tradicionales como el Test de Jarras para llevar a cabo la experimentación pertinente; con la aparición de equipos de laboratorio que permiten realizar la medición de cargas electrostáticas (Zetametros) de manera electrónica este proceso se ha tecnificado. El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en la medición de la movilidad electroforética (ME) la cual se realiza sobre los coloides cargados que migran debido al estímulo de una carga eléctrica que se les aplica, la dirección de estos elementos está directamente relacionada con el denominado Potencial Zeta (PZ). Teniendo como base este principio, se planteó una estrategia para la optimización del cálculo de las dosis de coagulante en el agua.

En el presente estudio se verificó la aplicabilidad en agua subterránea extraída por la empresa Carulla Vivero S.A, a la cual se le hicieron ensayos de tratabilidad teniendo en cuenta 7 parámetros fisicoquímicos (Alcalinidad, Turbiedad, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, Amonio y Fosfatos) a los cuales se les hizo una comprobación por medio de un análisis estadístico (análisis de varianza) para determinar si están relacionados o tienen alguna influencia sobre la toma del valor de Potencial Zeta, obteniendo como resultado, según prueba de Fisher que ninguno de los parámetros tomados en conjunto y por separados tenía relación con la toma del potencial. Se realizaron diferentes ensayos de jarras en los cuales se halló un rango de concentración de (0-180) además se midió el potencial Zeta del coagulante (Policloruro de Aluminio) unido al polímero catiónico 1025 (EGA), así mismo se realizó la correlación matemática entre SST-Potencial Zeta el cual obtuvo R^2 de 0.9471 para la función $f(x)$ tomando como x el potencial, de igual forma se halló la correlación entre el potencial-coagulante con un R^2 de 0.9842 para la función $f(x)$ tomando como x el potencial, también se diseñó una herramienta de software que facilitó el proceso de cálculo para obtener las dosis exactas de los productos químicos utilizados en el proceso de coagulación - floculación. El proceso antes descrito fue implementado en un proceso real aprovechando la coyuntura de la investigación y la problemática que presentaba en la planta de tratamiento de agua potable de la empresa Carulla Vivero S.A.

Por último se realizó una comparación de las dos técnicas utilizadas Test de Jarras y Zeta Meter 3.0+, analizando las ventajas y desventajas de cada uno, dependiendo de diferentes factores tenidos en cuenta durante todo el desarrollo del proyecto. Esta investigación arrojó como resultado la optimización de la operación coagulación-floculación de Carulla Vivero S.A. debido a que el equipo de laboratorio arroja valores exactos y es de fácil operación, lo cual lleva a una conveniencia técnico-económica.

ABSTRAC

Over the last 30 years the methods to remove the Total Suspended Solids (TSS) from the water hasn't has significant innovations and traditional analysis like the Jar Test had been used. Nowadays with the new laboratory equipment that allows the measurement of the electrostatic charges in an electronic fashion this behavior has changed. The functionality principle of the equipment is based on the measurement of the electroforetic's movement (EM) which is done over the charged colloids that migrates due of the electric stimulus; the direction of those elements are related with the Zeta Potential. Based on this principle a strategy to get the optimization of the coagulant doses on the water is placed.

In this study we verified the applicability of the groundwater extracted by the company Carulla Vivero S.A, which made him treatability tests taking into account 7 physiochemical parameters (Alkalinity, Turbidity, Nitrites, Nitrates, Sulphates, Ammonium and phosphate) which were given a test by a statistical analysis (ANOVA) to determine whether they are related or have some influence on the taking of the value of Zeta Potential, resulting, according to Fisher test that none of the parameters taken jointly and separately was related to the seizure of potential. There have been various tests Jar in which they found a concentration range (0-180) also measured the Zeta Potential of the coagulant (Alumina Policlorure) attached to the cationic polymer 1025 (EGA), likewise held the mathematical correlation Zeta potential between SST R2 which was 0.9471 for the function $f(X)$ on the x potential, just as is the correlation between the potential-coagulant with an R2 of 0.9842 for the function $f(X)$ on the x the potential, also designed a software tool that facilitated the process of calculation to obtain the exact doses of the chemicals used in the process of coagulation - flocculation. The above process was implemented in a real process taking advantage of the situation of research and the problems they presented on the ground drinking water treatment company Carulla Vivero S.A.

Finally a comparison was made of the two techniques used Jar Test and Zeta Meter 3.0 +, analyzing the advantages and disadvantages of each, depending on different factors taken into account throughout the project development. This research yielded the optimization of the coagulation-flocculation operation of Carulla Vivero SA because the laboratory equipment and gives exact value is easy to operate, leading to technical and economic expediency.

INTRODUCCIÓN

La operación de potabilización del agua comprende una serie de procesos y operaciones cuya finalidad es transformar la materia prima inicial (agua cruda) en un producto final (agua potable) que cumpla con las características impuestas por las normas vigentes de potabilización nacional. El proceso central en una planta de potabilización de agua es el de coagulación-floculación, el cual se maneja frecuentemente en forma manual, en donde se genera operaciones críticas para lograr la eliminación de contaminantes. Dentro de dicho proceso se debe minimizar las fuerzas de repulsión entre las partículas, para que así se formen grandes aglomerados que sedimenten y filtren fácilmente.

El análisis para determinar las características en el proceso de aglomeración de partículas denominado Test de Jarras, es un método práctico para hallar las dosis requeridas de los coagulantes y/o floculantes, pero existen factores que afectan el proceso de coagulación y floculación, puesto que esta técnica utiliza el ensayo y error, generalmente en muchos casos no arroja las condiciones óptimas. Sin embargo existe otro tipo de medición que utiliza la determinación exacta de cargas electrostáticas que influyen en los procesos de coagulación-floculación en una muestra de agua, el denominado Potencial Zeta, el cual cuantifica las cargas en las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, es decir, las partículas que se pretende remover, siendo así un procedimiento más efectivo, económico y práctico; debido a que dicho proceso depende de la concentración de sólidos suspendidos totales y la relación con el Potencial Zeta, para determinar la dosis óptima de coagulante necesarios en dichos procesos.

Lo anterior se manifiesta en el presente documento a través de 11 capítulos, de los resultados de una investigación que incluye la búsqueda de antecedentes y referencias teóricas del proceso, la formulación de la metodología empleada, se plantea las condiciones preliminares y de operación de Carulla Viviero S.A, se muestran los resultados experimentales, el diseño de una herramienta de análisis para hallar la dosificación de productos químicos, un análisis estadístico para determinar sus condiciones óptimas de operación, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

Esta investigación busca evaluar a nivel experimental y aplicado a un tipo de agua específica, la determinación óptima de las dosis requeridas para los procesos de coagulación-floculación, y por medio de la realización y los resultados de esta investigación, se espera ampliar el conocimiento e implementación de esta técnica para el mejoramiento de procesos fisicoquímicos en una planta de tratamiento de agua potable.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de operación coagulación-floculación en la Planta de Potabilización de CARULLA VIVERO S.A, a través de la correlación entre el Potencial Zeta y la concentración de sólidos suspendidos totales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar a través de herramientas estadísticas cuales son los parámetros más representativos para la correlación con el Potencial Zeta.
- Evaluar los valores de concentración de los sólidos suspendidos totales del agua utilizada en la planta de potabilización de CARULLA VIVERO S.A. y su correspondiente potencial Zeta.
- Obtener la concentración óptima de coagulante con base en el Potencial Zeta identificado.
- Desarrollar la correlación matemática entre el Potencial Zeta y la concentración de sólidos suspendidos totales para el proceso de coagulación - floculación en la planta de potabilización de CARULLA VIVERO S.A.
- Desarrollar una herramienta interactiva para el proceso de operación coagulación-floculación en la planta de potabilización de CARULLA VIVERO S.A para la selección de dosis óptima a partir del Potencial Zeta.
- Ajustar el manual de operación del Zeta Meter 3.0+ para el proceso de coagulación-floculación de acuerdo a la metodología a desarrollar.

2. ANTECEDENTES

Tradicionalmente la prueba de jarras ha sido el método estándar para determinar la mejor dosificación de coagulantes en las plantas de tratamiento, su limitación radica en que pequeñas variaciones en la dosificación de químicos no pueden ser determinadas visualmente por lo tanto se limita la posibilidad de optimizar la dosificación usando esta técnica. Ante esta situación en los últimos años se ha buscado aprovechar los mecanismos de purificación presentes desarrollando tecnologías más efectivas y que pueden resultar más económicas que restablezcan la calidad del recurso. Entre estas tecnologías se destaca la técnica del Streaming Current, la cual es una herramienta para controlar y optimizar la dosificación de coagulantes en tratamiento de aguas, el cual consiste en un sistema de muestreo continuo que brinda un conocimiento preciso de la dosis óptima de coagulante al operador, el Streaming Current responde rápidamente a cambios en las características del agua cruda (turbiedad, pH, color, etc) y cambio en el flujo de la misma, permite tiendo que el operador haga ajustes cuando sea necesario¹.

En el año 2002 Carlos Agudelo², de la Universidad de Los andes implementó un modelo de automatización para el proceso de coagulación en una planta de tratamiento de agua potable que consiste en un sistema supervisor de monitoreo y control. Se desarrolla un esquema de control de coagulación incorporando el Potencial Zeta por medio de dos subprocesos, el subproceso pH y el subproceso Streaming Current Detector. Un controlador GPC es diseñado y puesto en marcha en cada subproceso llevado a cabo en la Planta La Laguna, una de las plantas de tratamiento de agua potable perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Colombia.

En el año 2002 la Ingeniera Química Rosalina González³, docente de la Universidad de La Salle llevó a cabo el desarrollo de un proyecto para determinar las condiciones óptimas reales en el proceso de Coagulación – Floculación, utilizando la medición de cargas electrostáticas a partir de la adecuación del un sistema tipo Zeta Meter con Celda de Riddick. Para ello se realizó la caracterización del agua residual (turbiedad, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, alcalinidad, pH y DQO), se identificaron y seleccionaron los coagulantes y floculantes comerciales, se realizó el método tradicional de jarras y se comparó con los valores hallados de potencial para una adecuada

¹ BIOSCIENCES Ltda. Técnicas de Medición y Tratamiento de Agua [en línea]. <<http://www.esi.com.co/B&C.pdf>> [citado el 18 de Octubre de 2008]

² AGUDELO, Carlos. Modelo de Automatización para La Planta de Tratamiento de agua potable La Laguna, perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Bogotá, 2003.

³ GONZÁLEZ, Rosalina. Construcción y Puesta En Marcha de Un Sistema Tipo “Zeta Meter” con Celda de Riddick, para la Medición le las Cargas Electrostáticas en el Proceso de Coagulación - Floculación del Agua Residual de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, 2006.

desestabilización de los coloides por medio de la puesta en marcha del montaje de un sistema tipo Zeta Meter.

En el año de 2005 Sergio Fajardo y Alexandra Dávila⁴ tesistas de la Universidad Nacional de Colombia de la Facultad de Ingeniería Ambiental desarrollaron un proyecto acerca de la desestabilización de coloides para purificación de agua, el cual utiliza este equipo como base fundamental para aplicarlos en la remoción de coloides sólidos del agua.

En el año 2006 la EPA⁵ ha tratado el tema de potencial zeta en diversas investigaciones, hace referencia a los principios básicos de medidas de potencial zeta, específicamente un estudio realizado sobre el destino, transporte, transformación, y la toxicidad de nano materiales en agua potable, este estudio considera las propiedades físicas, químicas, y la toxicidad en los sistemas y en donde los procesos de coagulación se analizan por medio de la compresión de la doble capa eléctrica, y comprender cómo el cambio de superficie (potencial zeta) afecta a la supresión de las nano partículas durante simulado de tratamiento de agua potable.

En el año 2007 Kento Taro Margara Gómez⁶ La Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga - UPBB realizó el diseño e implementación de un sistema automático de dosificación de sulfato de aluminio para tratamiento de agua potable el cual pretende diseñar e implementar un sistema automático de control basado en los parámetros de calidad del agua estableciendo la dosis óptima de coagulante y evitando de esta manera las pruebas de jarras. Este sistema automático representará un gran avance en el proceso de potabilización debido a que permitirá eliminar parcialmente la realización de pruebas de jarras optimizando el tiempo y la exactitud del tratamiento de potabilización del agua.

En el año de 2007 Cesar Mantilla, Julio Pedraza, y Dionisio Laverde⁷, del Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, desarrollaron un estudio experimental de flotación de feldespato usando mezcla de colectores. La evaluación de la hidrofobicidad de las partículas se realiza mediante la medición del Potencial Zeta de los principales minerales del sistema particulado (Cuarzo-Feldespato).

⁴ FAJARDO, Sergio. DÁVILA, Alexandra, Desestabilización de Coloides para la Purificación del Agua, Universidad Nacional, Facultad de Ingeniería Ambiental 2005.

⁵ WESTERHOFF, Paul. The Fate, Transport, Transformation, and Toxicity of Manufactured Nanomaterials in Drinking Water [en línea] http://epa.gov/ncer/publications/workshop/10_26_05/b33westerhoff.pdf [citado el 18 de Octubre de 2008]

⁶ MÁGARA GÓMEZ, Kento Taro. Información del Diseño e implementación de un sistema automático de dosificación de sulfato de aluminio para tratamiento de agua potable [Correo electrónico]. Mensaje enviado a: Adriana Lozano. 20 de Octubre de 2008. [citado el 20 de Octubre de 2008] comunicación personal.

⁷ MANTILLA, Cesar. PEDRAZA, Julio, LAVERDE, Dionisio, Utilización de estudio de Potencial Zeta en el desarrollo de un proceso alternativo de flotación de mineral Feldespático. En: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe. [En línea]. Vol. 75 No. 154. Marzo, 2008. Disponible en < <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49615408>> [citado el 21 de Octubre de 2008].

3. MARCO TEÓRICO

3.1. GENERALIDADES DE CARULLA VIVERO S.A

Carulla Vivero S.A. es una Industria encargada de producir alimentos, con los mejores estándares de calidad, del sector alimenticio para Colombia.

A nivel industrial la empresa cuenta con seis plantas generadoras de alimentos especiales esta son:

- Planta de Especialidades Cárnicas
- Planta de Panadería y Pastelería Bogotá
- Planta Delicias
- Planta de Tamales
- Planta de Bebidas

La industria se desenvuelve básicamente como un generador de utilidad a partir del desarrollo de productos competitivos con calidad y también está certificada como una organización en excelencia ambiental generando desarrollo sostenible.

Hoy Carulla Vivero S.A vende productos especialmente desarrollados para firmas como Mc Donald's y Alpina y atiende a través de licitaciones las diferentes necesidades (Fruver, carnes, productos preparados) del Ejercito y la Alcaldía Mayor de Bogotá, además de producir y trabajar para cada uno de los formatos que conforman la Organización; es por esto que la empresa debe cumplir con las demandas de calidad, en cada una de sus plantas de alimentos, para ello, cuenta con plantas de tratamiento tanto residual como potable con el fin de aportar a un ambiente comprometido con la normatividad nacional, y de igual forma comprometida a reducir costos internos.

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en la planta de potabilización de Carulla Vivero, ya que esta planta cumple la función de potabilizar el agua de pozo otorgada por medio de una concesión de la Secretaria Distrital de Ambiente y al final de su tratamiento debe ser distribuida a todas las plantas productoras con el fin de lavar los alimentos, limpiar canastas y demás utensilios que son utilizados en el proceso productivo de cada una.

3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE BOGOTÁ

Las aguas subterráneas son una importante fuente de abastecimiento de agua potable y prometen serlo aún más en el futuro, puesto que con el progresivo agotamiento de las aguas superficiales y el desarrollo de nuevas técnicas de

perforación, estas irán cubriendo, en un porcentaje cada vez mayor, las necesidades humanas.

El origen de las aguas subterráneas es la infiltración en el terreno de las aguas de lluvia, deshielo y corrientes superficiales. Históricamente se han barajado teorías con grandes concomitancias míticas para explicar el origen de las aguas subterráneas, ya que se suponía que las cantidades precipitadas eran insuficientes para abastecer los grandes caudales de las aguas subterráneas. Sin embargo, hoy día se acepta sin reservas la teoría de que las aguas subterráneas proceden de la infiltración (producida por la fuerza de la gravedad y las fuerzas de atracción molecular) de las precipitaciones atmosféricas en cualquiera de sus modalidades.

En el acuífero de Bogotá la precipitación total que cae sobre la cuenca alta del río Bogotá es de 3.040 millones de metros cúbicos al año, de este volumen 2.730 m³ se pierden por evapotranspiración y el resto se infiltra en el suelo por lo tanto este constituye la recarga del acuífero de la sabana de Bogotá.⁸ El acuífero de Bogotá se divide en 9 cuencas hidrogeológicas: Chicú, Subachoque, Bojacá-Balsilla, Tibitó-Salto de Tequendama-oriental Bogotano, Muña-Soacha-Tunjuelito, Teusacá, Frío-Tibitó-Negro, Sisga-Tibitó-Tominé y Alto Bogotá-Sisga⁹.

El pozo de extracción de agua de Carulla Vivero S.A con el cual se trabaja para el desarrollo del proyecto corresponde al acuífero Tibitó-Salto de Tequendama-oriental Bogotano, y se caracteriza por estar formados por depósitos no consolidados de materiales sueltos, tales como arenas, gravas, mezclas de ambos, etc. Debido, en general, a sus buenas condiciones de recarga y poca profundidad de su nivel piezométrico, suelen dar buenos caudales de agua si se los explota convenientemente.

De entre las rocas sedimentarias consolidadas del acuífero (que encierran el 95% de las aguas subterráneas del planeta), la más importante es la caliza, estas rocas son de por sí poco permeables pero su disolución por el agua provoca el desarrollo de zonas permeables, fenómeno conocido con el nombre de karstificación.¹⁰

⁸ CAÑAS, Hugo. Hidrogeología de las cuencas de los ríos Muña, Soacha y Tunjuelito. Bogotá, 1992, Ingeominas, P. 28.

⁹ Ibid, p.31

¹⁰ RUEDA, Orfely María. Evaluación de la Vulnerabilidad del Agua Subterránea bajo Cauca Antioqueño. En: Avances en Recursos Hidráulicos [en línea] No 13, Mayo, 2006. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/viewFile/9340/9983> [citado el 23 de Enero de 2009]

3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO DE BOGOTÁ

El conocimiento de las características del agua subterránea es fundamental para su tratamiento entre estas se encuentran características fisicoquímicas (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del acuífero de la sabana de Bogotá.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Temperatura	Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc.
Radioactividad	La radiactividad de las aguas subterráneas, son fenómenos no exclusivos de las aguas termales, tampoco las aguas de origen más profundo las que poseen siempre mayor radiactividad algunas no tan profundas pueden contenerla.
Conductividad Eléctrica	Es variada según los intercambios químicos y aportes de agua exterior, e informa sobre su riqueza en electrolitos disueltos.
Turbidez y Transparencia	Estas propiedades de las aguas de circulación varían en muchas ocasiones con su caudal. Las aguas de capas, contrariamente permanecen transparentes casi siempre por la filtración del sistema. Las de calizas presentan características intermedias entre las aguas de circulación y las de capas, dependiendo de la evolución del terreno calcáreo.
Color	Muy débil, salvo cuando están cargadas con sales de hierro, el sabor de unas aguas depende de las sales y de los gases en suspensión o solución.

Alcalinidad	Las sales alcalinas son muy frecuentes, el cloruro de sodio se encuentra casi siempre y en cantidades generalmente aceptable para la alimentación humana. Los sulfatos alcalinos son más raros. El carbonato de calcio, con el sulfato de calcio es el elemento mineral más importante de las aguas subterráneas.
Dureza	La dureza del agua por la presencia de sales alcalinas terrosas, como las de calcio y magnesio, se modifica en las diferentes regiones. Pero se puede distinguir la dureza temporal de la permanente, explicada la primera por la presencia de carbonatos y la segunda por sulfatos.
Hierro	El hierro existe a menudo en las aguas subterráneas pero es inestable bajo la forma de bicarbonato ferroso. El manganeso sigue de cerca al hierro, eliminándose con menor facilidad.
Plomo y Nitratos	El plomo y los nitratos o nitratos bastantes infrecuentes, indican habitualmente contaminación.

Fuente: Gonzalo Duque Escobar, manual de Geología para Ingenieros, universidad Nacional de Colombia, 2000, p.10, 11.

3.4. DINÁMICA DEL MATERIAL PARTICULADO EN CONDUCCIONES DE AGUA PARA POTABILIZACIÓN

El agua subterránea lleva consigo en algunos casos sólidos suspendidos, material cuyo comportamiento se relaciona con las fuerzas de gravedad y propias del movimiento del fluido, antes que a las fuerzas eléctricas que se encuentran asociadas a las reacciones químicas.

Un primer análisis basado en la experiencia de los operadores de sistemas de potabilización que han presentado este tipo de fenómenos permite identificar 5 etapas básicas dentro de la ocurrencia del fenómeno¹¹:

¹¹ ÁVILA DUQUE, Luz Marina. Dinámica del Material Particulado en Redes de Agua Potable a Alta Presión. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. 2005. P. 14.

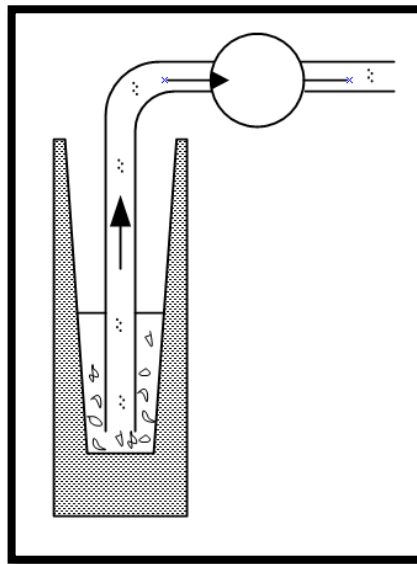
3.4.1 Llegada del material particulado a la red de conducciones.

Dentro de las condiciones normales de operación una planta de potabilización puede entregar a las conducciones de salida agua con unas turbiedades muy bajas (menores de 0.5 N.T.U), bajo estas condiciones de turbiedad el fluido puede contener unas cantidades mínimas de material disuelto, que puede provenir de algunas de las siguientes fuentes: Del afluente de la planta el cual a su vez lo trae de las arcillas, limos y arenas que constituyen los acuíferos, de los componentes que son adicionados al agua durante el proceso de potabilización como los coagulantes y polímeros que se incorporan al tratamiento para favorecer los procesos de coagulación, materiales estructurales de la planta como material granular del lecho de los filtros que es removido durante la operación normal o agregados que se desprende de los concretos estructurales en los canales, de los recubrimientos de las conducciones o del tanque mismo de la planta, material floculado que no alcanza a ser retenido en los filtros.

Dicho material entra en dosis muy bajas en las redes de distribución, y el agua que lo contiene alcanza a cumplir los requisitos de turbiedad máxima exigidos por norma, se presentan casos en los cuales no alcanza a superar las 0.5 U.N.T), sin embargo dicho material, aunque en concentraciones muy bajas, se encuentra presente en el agua de salida de la planta y entrará en su propia dinámica una vez este en la red primaria de distribución.

En la figura 1 se representa el material particulado debido al arrastre del material disuelto contenido en el pozo el cual se transporta por la red de conducción

Figura 1. Material particulado en la red de conducción



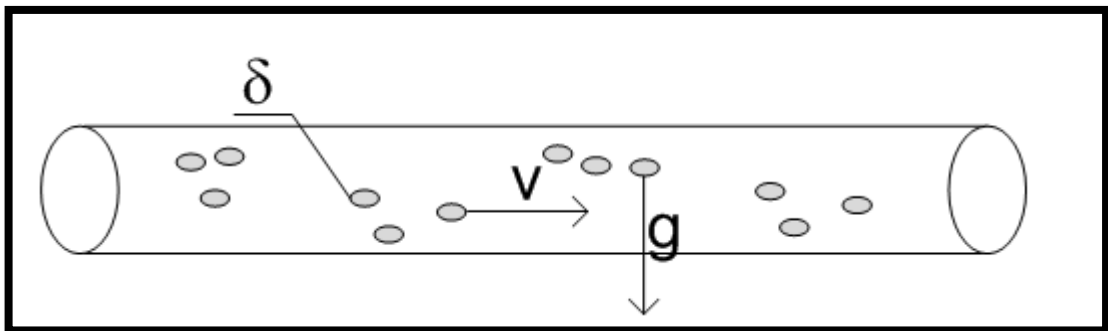
Fuente: Autores, 2009.

3.4.2 Transporte del material particulado a través de la red¹²:

Dentro de la red primaria de distribución el material particulado viaja disuelto dentro del agua, sin embargo no se trata de una solución perfectamente homogénea, sino que por el contrario, las fuerzas presentes dentro de la conducción afectan dicho material particulado en forma diferente a como lo hacen sobre los volúmenes de agua dentro de los cuales viaja dicho material. Lo anterior puede conducir a que las fuerzas de gravedad presentes dentro de la conducción, cuyo efecto es directamente proporcional a la densidad del cuerpo sobre el cual actúan, tengan un efecto diferencial sobre el fluido portador (el agua en este caso) y el material particulado presente en el y en la medida en que la densidad de dicho material particulado sea mayor, esta diferencia también lo será y dicho material tenderá a moverse con mayor velocidad hacia el fondo de la conducción. Otra fuerza que se encuentra presente dentro del volumen de fluido que viaja a través de la conducción y afecta a la partícula en suspensión es el que se deriva de la velocidad a la cual viaja el fluido la cual actúa como una fuerza de arrastre que tiende a mover la partícula en el mismo sentido en que viaja el fluido, es decir en el sentido longitudinal de la conducción.

En la figura 2 se representa la forma como el material particulado entra a la red de distribución y las fuerzas que intervienen en este movimiento.

Figura 2. Transporte del material particulado



Fuente: Autores, 2009.

3.4.3 Precipitación del material particulado dentro de la red.

De la correlación entre las fuerzas gravitacionales y las fuerzas de arrastre que actúan sobre una partícula que viaja dentro del fluido, depende el comportamiento que la misma tenga dentro de este. Suponiéndose que la diferencia entre la densidad de la partícula y la densidad del agua es lo suficientemente grande como para que la misma sea sedimentable dentro del tramo de conducción y a la velocidad analizados, se tienen que en la medida en que la densidad de la

¹² Ibid, P. 15, 16.

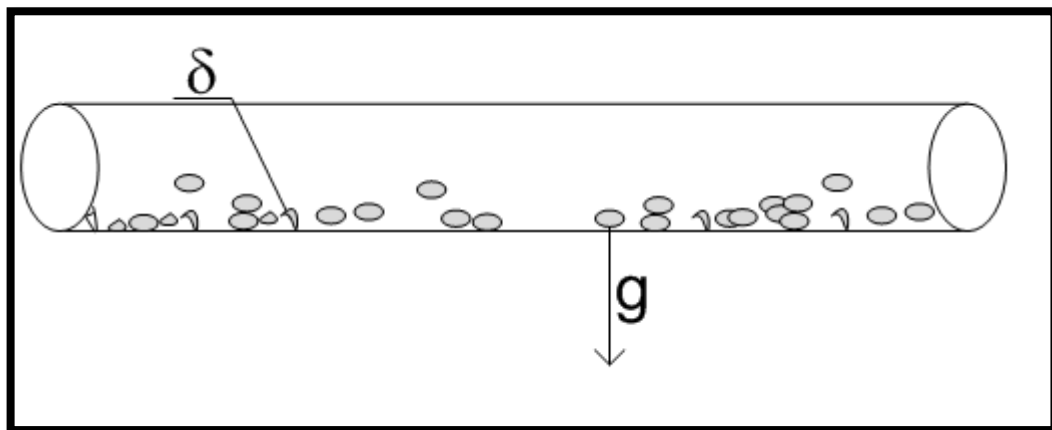
partícula sea mayor esta tendera a precipitarse más rápidamente al fondo de la conducción y continuara moviéndose a menor velocidad sobre la pared de la misma, hasta que la fuerza de la fricción la detenga. En la medida en que la densidad de las partículas sea menor (siempre y cuando la densidad de la partícula, en relación a la densidad del agua, sea lo suficientemente grande para que la misma sea sedimentable), la tendencia de la partícula será a viajar un mayor tramo de recorrido dentro de la conducción antes de entrar en contacto con la pared del tubo, en donde continuara moviéndose en forma lenta en la dirección del flujo en la medida en que este se acelere y las condiciones de velocidad del mismo generen unas fuerzas de arrastre que superen las fuerzas gravitacionales de la partícula y friccional de la pared del tubo.

Dentro de la anterior descripción es muy importante tener en cuenta que el comportamiento de la partícula dentro del fluido es función de la velocidad de este y de la densidad de la partícula, la primera de las condiciones es variable en el tiempo y en el espacio pues la velocidad del fluido cambia para el tramo de conducción en la medida en que se produce una variación de los caudales transportados a través de la misma, igualmente dicha velocidad cambia, aún para caudales constantes en la medida en que se produzcan cambios en la sección transversal de la tubería. Por lo anterior los cambios de velocidad en la tubería que son funciones tanto de la geometría como de la operación de la red actúan en forma variable como fuerzas de arrastre de las partículas.

El segundo factor, la densidad de la partícula considerada, es una constante para una partícula determinada y en la medida que la densidad de la partícula sea mayor, las fuerzas gravitacionales que actuaran sobre la misma serán mayores.

En la figura 3 se muestra la precipitación del material particulado en la red, debido a la aglomeración y las densidades de las partículas las cuales hacen que estas se sedimenten.

Figura 3. Precipitación del material particulado en la red.



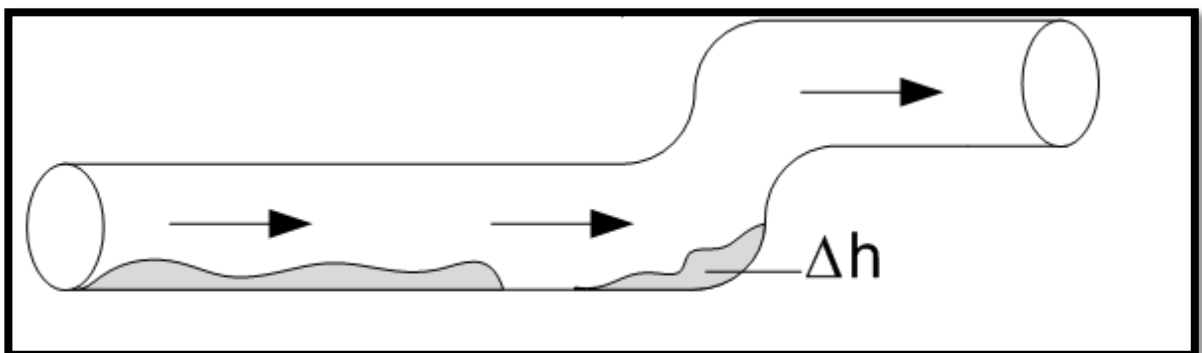
Fuente: Autores, 2009.

3.4.4 Formación de depósitos de material particulado dentro de la red¹³:

Las partículas sedimentables que ingresan a la conducción comienzan a comportarse con un patrón como el anteriormente descrito produciendo, para una operación a caudal constante, un precipitado sobre el fondo de la conducción puede ser afectado por las variaciones geométricas de la misma, las más comunes de ellas son: ampliaciones, estrechamientos, cambios de dirección, ramificaciones o cualquier otra condición que produzca una pérdida de energía, abatimiento de la línea piezométrica de la conducción y/o cambio del perfil de velocidades de la misma.

En la figura 4 se muestra la aglomeración del material particulado en los codos de las tuberías de la red de distribución, hecho por el cual se produce una pérdida de energía.

Figura 4. Depósitos del material particulado



Fuente: Autores, 2009.

3.4.5 Remoción del material particulado.

La remoción del material particulado en las conducciones puede realizarse de dos formas: una de ellas es una remoción normal que se da durante la operación regular de las conducciones y se presenta a causa de que los depósitos que se describieron en el numeral anterior, en la medida en que van acumulando material, llegan a una condición que se podría llamar de “saturación”.

Para unas condiciones dadas de operación los caudales que transportan las conducciones permanecen constantes durante cierto tiempo, y pueden presentar variaciones horarias, diarias, semanales, mensuales y anuales y otras variaciones en la operación de las conducciones que pueden considerarse como excepcionales, que son, por ejemplo, los sobre caudales que se producen en una línea que deba asumir los caudales que en forma normal son transportados por

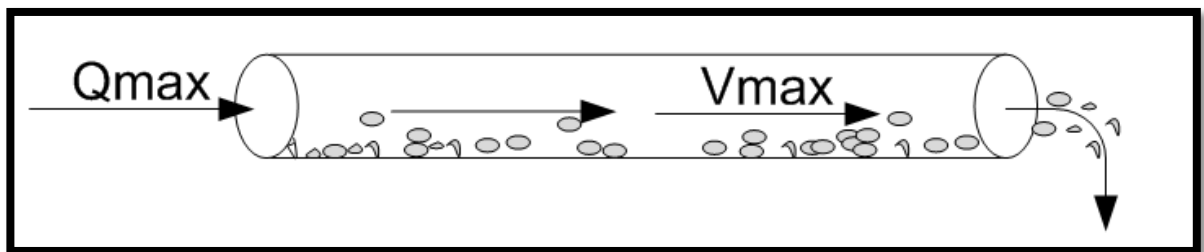
¹³ Ibid, P. 17.

otra línea que, por cualquier motivo sale del servicio. Adicionalmente puede presentarse que por motivos puramente operativos se cambie la configuración del sistema por lo cual el caudal que entregan algunas conducciones disminuya y el de otras aumente.

En cualquiera de los casos anteriores, el aumento de caudal producido en algunas de las conducciones traen como consecuencia un aumento de la correspondiente velocidad, por lo cual la velocidad de arrastre se incrementa, produciéndose una ruptura en las condiciones de equilibrio en que se encontraba la conducción, a causa de lo cual se produce remoción del material particulado que se encuentra acumulado en los correspondientes depósitos el cual es arrastrado aguas abajo dentro de la conducción.

En la figura 5 se muestra la remoción del material particulado en red, por medio de un flujo de caudal máximo, en la tubería, haciendo que el material depositado salga.

Figura 5. Remoción del material particulado.



Fuente: Autores, 2009.

3.5. CARGAS ELÉCTRICAS DE UN MATERIAL PARTICULADO¹⁴

Toda partícula presente en la naturaleza tiene una carga eléctrica, dichas cargas pueden ser positivas o negativas y pueden deberse a una sola o una combinación de las siguientes causas:

Substitución isomorfa, disociación superficial, ausencia de cationes en la estructura cristalina, adsorción de aniones, presencia de materia orgánica, la adición de un reactivo químico que propicie la transferencia de aniones y cationes.

Además de la carga eléctrica neta, una partícula de suelo puede poseer una carga de distribución, porque no coincida el centro de carga positiva con el centro de

¹⁴ Ibid, p.27.

carga negativa. Adicionalmente los enlaces cristalinos de una partícula de suelo dan origen a carga locales.

Mientras que la magnitud de la carga eléctrica esta en relación directa con el área de la partícula, la influencia de esta carga sobre el comportamiento de la partícula en lo que se refiere a las fuerzas de masa (es decir, el peso de la partícula) estará directamente relacionada con el área por unidad de masa de las partículas, la magnitud del área por unidad de masa, superficie específica, resulta por tanto una buena indicación de la influencia relativa de las cargas eléctricas sobre el comportamiento de la partícula. El término coloide se emplea para describir una partícula cuyo comportamiento viene controlado por fuerzas de tipo superficial, en lugar de por fuerzas de masa. Una partícula de arcilla es un coloide debido a su pequeño tamaño y forma irregular. Cuanta más pequeña es una partícula, mayor es su superficie específica.

3.6. TEORÍA DE LOS COLOIDES¹⁵

Los coloides corresponden a sustancias con diámetro que oscila entre 1 y 1000 μm y se clasifican en:

- Coloides Moleculares: Formados por sustancias poliméricas de cadenas largas orgánicas y tamaños entre 10² y 5x10² μm de longitud por 0,2 y 1 μm de grosor, tales como la gelatina, las proteínas y el almidón.
- Coloides de Asociación o Micelares: Asociación de moléculas pequeñas de minerales como el oro o compuestos orgánicos que espontáneamente se aglutinan en presencia de un dispersante como jabones.
- Coloides Liofílicos: Sustancias poliméricas que tienen fuerte atracción por el agua.
- Coloides Lióforos: Sustancias con poca atracción al agua.

Entre las propiedades más importantes de los coloides se encuentran:

- Propiedades Cinéticas: Movimiento Browniano que corresponde al movimiento constante y desordenado de las partículas, debido al bombardeo de las partículas por las moléculas del líquido.
- Propiedades Ópticas: Diseminación de la luz, corresponde al efecto Tendam-Faraday que el cono de luz bien definido observado a través de una solución.
- Propiedades de Superficie: Una de las características más importantes de los coloides es su alta área superficial, ello genera una gran capacidad para adsorber, en la interfase sólido – líquido, moléculas, iones o coloides, debido a

¹⁵ ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del agua. 2000. p. 165

fuerzas físicas como las de Van der Waals y la atracción electrostática y a las fuerzas químicas como las reacciones de uno o más átomos de iones de la superficie con iones del soluto.

- Propiedades Electrocinéticas: corresponden al movimiento de un polo de determinado signo a otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, esto debido al Reemplazo Isomórfico que corresponde al reemplazo de un átomo de la molécula.
- Estabilidad de los coloides: Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes por sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos que generan repulsión entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan. Entre ellas la gravedad, el movimiento Browniano y las fuerzas de Van der Waals.

3.6.1 Características de los coloides¹⁶.

Las partículas coloidales están definidas por el tamaño. Este está considerado entre 0.001micras (10^{-6} mm) a una micra (10^{-3} mm). Las partículas encontradas entre este rango son partículas inorgánicas. Las dispersiones coloidales tienen propiedades de esparcimiento de la luz. Estas propiedades son medidas en unidades nefelométricas de turbidez NTU. Las soluciones coloidales pueden ser clasificadas por su afinidad con la dispersión en el agua. Los coloides tienen un gran rango de área de la superficie de la masa. Sus masas son tan pequeñas que la fuerza de gravedad tiene un pequeño efecto sobre su conducta. Los principales fenómenos que controlan la conducta de los coloides son: Las fuerzas electrostáticas, las fuerzas de Van der Waals y el movimiento Browniano.

3.6.1.1 Fuerzas Electroestáticas.

Es la fuerza principal que contribuye en la estabilidad de las suspensiones coloidales. La mayoría de los coloides está cargada eléctricamente. La carga superficial de los coloides atrae iones de carga opuesta conocida como el contador de iones los cuales incluyen hidrógeno y otro catión, tienen una capa densa adyacente a la partícula conocida como una capa dura, también se atraen las moléculas de agua a las partículas coloidales. La atracción del agua es debida a la carga eléctrica asimétrica de las moléculas del agua. Una segunda capa de iones, conocida como la capa difusa, es también atraída al coloide.

¹⁶ GLYNN, Henry. Coagulación y floculación de contaminantes de agua [libro en CD-ROOM] México: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2001. 1 CD-ROM

3.6.1.2 La doble capa.

Se usa el modelo de la doble capa para visualizar la atmósfera iónica en la proximidad del coloide cargado y para explicar cómo actúan las fuerzas eléctricas de repulsión.

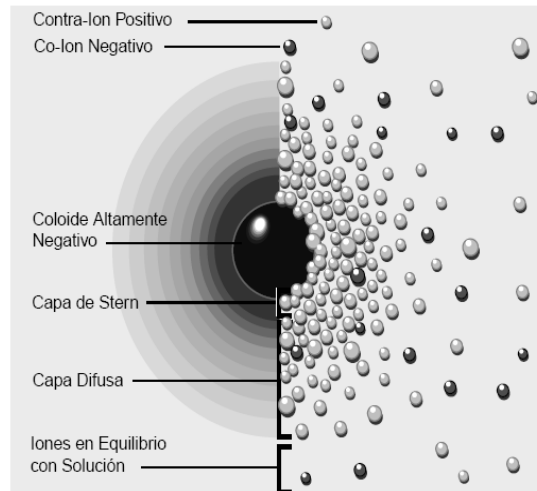
Es posible entender este modelo como una secuencia de etapas que ocurren alrededor de un solo coloide negativo, si los iones que neutralizan sus cargas son repentinamente sacados. El efecto del coloide sobre el ion positivo (llamado *contra-ion*) en la solución logra atracción del coloide negativo y hace que algunos iones positivos formen una rígida capa adyacente alrededor de la superficie del coloide; esta capa de contra-iones es conocida como la *capa de Stern*.

Otros iones positivos adicionales son todavía atraídos por el coloide negativo, pero estos son ahora rechazados por la capa de Stern, así como por otros iones positivos que intentan acercarse al coloide. Este equilibrio dinámico resulta en la formación de una *capa difusa* de contra-iones. Los contra-iones tienen una alta concentración cerca de la superficie, la cual disminuye gradualmente con la distancia, hasta que se logra un equilibrio con la concentración de los contra-iones en el seno de la disolución. En forma similar, aunque opuesta, en la capa difusa hay un déficit de iones negativos, llamados *co-iones* pues tienen la misma carga que el coloide. Su concentración se incrementa gradualmente al alejarse del coloide, mientras que las fuerzas repulsivas del coloide son compensadas por los iones positivos, hasta alcanzar nuevamente el equilibrio.

La capa difusa puede ser visualizada como una atmósfera cargada rodeando al coloide. A cualquier distancia de la superficie, la densidad de carga es igual a la diferencia de concentración entre iones positivos y negativos. La densidad de carga es mucho mayor cerca del coloide y gradualmente disminuye a cero cuando las concentraciones de iones positivos y negativos se asemejan. Los contra-iones de la capa de Stern y de la capa difusa son los que juntos llamaremos la *doble capa*. El espesor de esta doble capa depende del tipo y concentración de los iones de la solución.¹⁷ Dos maneras de visualizar la doble capa La vista izquierda muestran el cambio en la densidad de carga alrededor del coloide. La derecha muestra la distribución de iones positivos y negativos alrededor del coloide cargado.

¹⁷ GONZALEZ, Rosalina. Información del Curso potencial Zeta en 5 minutos [Correo electrónico]. Mensaje enviado a: Alexander Pimiento. 28 de Septiembre de 2008. [citado el 15 de Abril de 2009]. Comunicación personal

Figura 6. Modelo de una partícula coloidal negativa con campo electrostático.



Fuente: Zeta Meter Inc, 2004.

3.6.1.3 El Potencial Zeta.

El coloide negativo y su atmósfera cargada positivamente producen un potencial eléctrico relativo a la solución. Este tiene un valor máximo en la superficie y disminuye gradualmente con la distancia, aproximándose a cero fuera de la capa difusa. La caída del potencial y la distancia desde el coloide es un indicador de la fuerza repulsiva entre los coloides en función de la distancia a las cuales estas fuerzas entran en juego.

Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la de Stern. Este potencial es conocido como el Potencial Zeta, el cual es importante porque puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El Potencial Zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del coloide puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides. La relación entre Potencial Zeta y potencial superficial depende del nivel de iones en la solución. En agua fresca, la gran doble capa hace que el potencial zeta sea una buena aproximación del potencial superficial.¹⁸

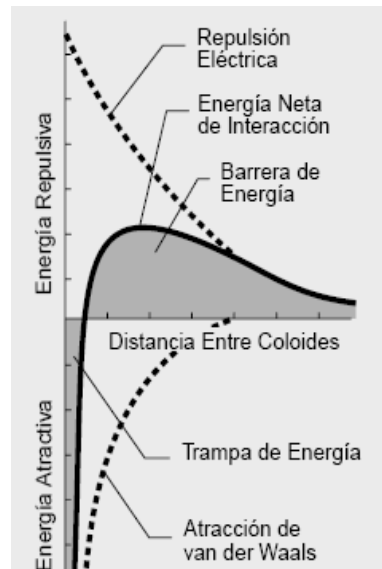
3.6.1.4 Fuerzas de Van der Waals.

Una fuerza de atracción existe entre dos masas, La magnitud de esta atracción está en función de la masa de dos cuerpos y la distancia entre ellos. También son conocidas como la antítesis de la fuerza electrostática. (En la Figura 7 se muestra la fuerza de repulsión, debida a la carga eléctrica normalmente repele los coloides antes de poder moverse lo bastante cerca como para que las fuerzas de Van der

¹⁸Ibid, p.3

Waals lleguen a ser significativas. Si la magnitud de las fuerzas electrostáticas puede ser reducida las partículas pueden moverse lo suficientemente cerca como para que las fuerzas de Van der Waals predominen.)

Figura 7 Fuerzas que actúan sobre los colides.



Fuente: Zeta Meter Inc, 2004.

3.6.1.5 Movimiento Browniano.

Los coloides tienen una masa suficientemente pequeña que colisionan con partículas de tamaño molecular causando el movimiento de los coloides y su intensidad comienza a depender de la temperatura del agua. Este movimiento molecular causa aleatoriamente colisiones, produciendo lo que parece ser el movimiento aleatorio del coloide.

3.6.2 Zeta-Meter y potencial¹⁹.

El concepto del Potencial Zeta fue reconocido hace más de 100 años y los instrumentos fueron inicialmente frágiles y rudimentarios. Las medidas de potencial zeta son hechas usando la técnica llamada microelectroforesis, esta consta de un microscopio de alta calidad que es usado para observar cómodamente las partículas coloidales que se encuentran dentro de una cámara llamada celda electroforética de igual forma va conectada a dos electrodos colocados en los extremos de la cámara son conectados a una fuente de poder, creándose un campo eléctrico que cruza la celda. Los coloides cargados migran en el campo y su movimiento y dirección están relacionados con su Potencial Zeta.

¹⁹ Ibid, p.9.

Este instrumento mide la movilidad electroforética de las partículas, la cual es expresada como micrones/segundo por voltios/centímetro. El primer término, micrones por segundo, representa simplemente la velocidad, mientras que el segundo, voltios por centímetro, es una expresión de la fuerza eléctrica del campo. El Potencial Zeta se calcula a partir de las medidas de la movilidad electroforética, es preferible utilizar los valores de potencial zeta en casi todos los sistemas, debido a que expresa el verdadero fenómeno involucrado y no el efecto físico del potencial, la cual es la movilidad.

El Potencial Zeta es una manera adecuada de optimizar la dosificación de coagulante en el agua y en tratamientos de desagüe por coagulación, ya que los sólidos suspendidos más difíciles de remover son los coloides, por su diminuto tamaño, ellos escapan fácilmente tanto a la sedimentación como a la filtración. El método para remover el coloide es mediante la disminución del Potencial Zeta con coagulantes tales como el alumbre, cloruro férrico y/o polímeros catiónicos. Una vez reducida o eliminada la carga no existirán fuerzas repulsivas y la ligera agitación del estanque de floculación causará numerosos choques entre los coloides. Esto resulta primero en la formación de sistemas microfloculados los cuales crecen hasta llegar a ser sistemas floculados visibles que se acomodan rápidamente y pueden ser filtrados fácilmente.

Finalmente el Zeta Meter es un instrumento comercial simple, confiable y preciso para la medida de la movilidad electroforética (ME) y del Potencial Zeta (PZ) este equipo trabaja por medio de un microscopio de alta calidad es usado para observar las partículas coloidales que se encuentran dentro de una cámara llamada celda (o célula) electroforética y dos electrodos colocados en los extremos de la cámara son conectados a una fuente de poder, creándose un campo eléctrico que cruza la celda en donde los coloides cargados migran en el campo y su movimiento y dirección están relacionados con su Potencial Zeta.

3.7. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN²⁰

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específicos superiores a las del las aguas llamadas floc este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad que no pueda sedimentarse fácilmente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de Bacteria, virus, y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

²⁰ ARBOLEDA, Jorge, Op. Cit, p. 30.

3.7.1 Coagulación.

La coagulación consiste entonces en neutralizar la carga, generalmente electronegativa, de los coloides presentes en el agua, quedando estos en condiciones de formar flóculos. Este proceso se consigue introduciendo en el agua un producto químico denominado coagulante, pero antes de entrar en el estudio de los coagulantes y de su forma de desestabilizar las suspensiones coloidales, es necesario considerar los factores que determinan que las partículas permanezcan en suspensión, así como también aquellos que producen la floculación. Por estabilidad se entiende la propiedad inherente de las partículas coloidales a permanecer en dispersión durante mucho tiempo, mientras que por inestabilidad se expresa la tendencia de dichas partículas a flocularse siempre que entren en contacto entre sí. Los tres coagulantes químicos más conocidos son:

- Sulfato de aluminio (alúmina)
- Sulfato ferroso
- Cloruro férrico

3.7.1.1 Simulación Proceso de Coagulación (Prueba de Jarras)²¹.

Consiste en simular en vasos de precipitados o jarras, el proceso de coagulación que se realiza en la planta de tratamiento, con el fin de evaluar los siguientes parámetros y así caracterizar el funcionamiento:

- Dosis Óptima
- Velocidad de Sedimentación
- Influencia del pH
- Eficiencia de Ayudantes

3.7.3.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulantes que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales y que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en la sedimentación y no se rompa al pasar por filtración. Dicho ensayo se realiza utilizando el Equipo de Jarras.

En éste ensayo se determinan dos velocidades y dos tiempos de giro de las paletas, una para Coagulación (Mezcla Rápida y Tiempo Rápido) y otra para Floculación (Mezcla Lenta y Tiempo Lento), mediante la utilización de los parámetros recomendados por los fabricantes. Después de haber determinado

²¹ GONZÁLEZ, Rosalina, Op. Cit,p.23, 24.

estos tiempos y velocidades se introduce la muestra previamente sedimentada en los vasos de precipitados o jarras y se da inicio a la agitación, momento en el cual se adiciona con las jeringas el coagulante e inmediatamente pasa a la velocidad lenta donde se adiciona el floculante si se necesita.

3.7.2 Floculación

Inmediatamente después de añadir un coagulante al agua, se desencadenan reacciones con los iones para producir compuestos. Las sustancias coagulantes se absorben rápidamente en la superficie de las partículas hidrófobas causantes de la turbiedad, que acaban “revestidas de coagulante”. El resultado neto es que las cargas eléctricas de las partículas se reducen; Entonces según el pH y las dosis de coagulante añadidas, la carga de la partícula, medida en función del potencial Z, puede oscilar entre ser ligeramente negativo a neutro.

La suspensión está desestabilizada y en consecuencia, el proceso de floculación está a punto de iniciarse. La mezcla, la agitación o la turbulencia favorecen las colisiones entre las partículas desestabilizadas que producen, de esta forma uniones perdurables, por otra parte, los propios coagulantes aún en ausencia de turbiedad, se hidrolizan y precipitan para formar masas cada vez mayores de material floculante. Cuando este flóculo ha alcanzado tamaño suficiente, puede aprisionar físicamente a las partículas de turbiedad, comportándose como una “escoba” a medida que sedimenta. En el proceso de floculación es importante conseguir el flóculo de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan su eliminación.

3.7.2.1 Gradientes para mezcla rápida

Estas son las formulas de gradientes en mezcladores hidráulicos en línea por medio de medio de difusores en canal²².

$$G = \sqrt[2]{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt[2]{\frac{H}{t}}$$

Donde:

γ es el Peso específico del agua en Kg/m³ (ML⁻²T⁻²)
 μ es el Coeficiente de viscosidad en Kg.s/m² (ML⁻¹T⁻¹)
H es el Pérdida d carga en m (L)
t es el Tiempo de mezcla en s (T)

²² CEPIS. Manual de Operación de plantas de tratamiento. 2007[en línea]. <http://www.cepis.org.p/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/cinco.pdf> > [citado el 23 de Junio de 2009]

El Factor $\sqrt[2]{\frac{\gamma}{\mu}}$ depende de la temperatura del agua, conforme a la siguiente tabla.

Cuadro 2 Valores $\sqrt[2]{(\gamma/\mu)}$

Temperatura °C	$\sqrt[2]{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336,94
4	2501,56
10	2736,53
15	2920,01
20	3114,64
25	3266,96

Fuente: Manual de Tratamiento de aguas CEPIS, p. 246, 2007.

3.7.2.2 Gradiente para Test de Jarras

Para la réplica en el Test de Jarras se plantea la siguiente ecuación propuesta por arboleda 2000.

$$G = \sqrt[2]{\frac{P}{\mu V}}$$

Donde:

G es el Gradiente s^{-1}

P es el Potencia Kwatt

μ es el coeficiente de viscosidad $Kg.s/m^2$

V es el Volumen m^3

3.7.2.3 Modelo cinético de la floculación

Según Argaman y Kaufman, el modelo teórico de la floculación, en su forma más general, que combina los efectos de aglomeración y ruptura de flóculos, puede ser representado por:

$$\frac{dN}{dt} = -(Función\ de\ aglomeración) + (Función\ de\ ruptura)$$

La función de aglomeración o tasa de crecimiento de los flóculos es definida por Argaman y Kaufman como:

$$\frac{dNa}{dt} = -KaNG$$

Donde:

N = concentración de partículas primarias (m-3)

G = gradiente de velocidad (s-1)

K_a = coeficiente de aglomeración

La función de ruptura puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\frac{dN_o}{dt} = -K_b N_o G^2$$

Donde:

N_o = concentración inicial de partículas primarias al entrar en el floculador (m-3)

K_b = coeficiente de ruptura

Combinando las dos ecuaciones anteriores, e integrando se obtiene la ecuación general

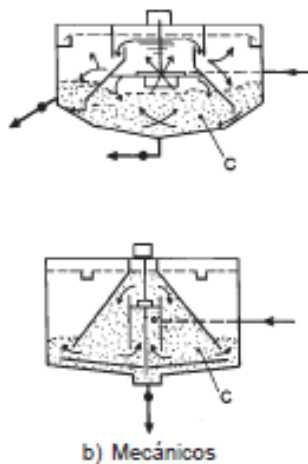
$$\frac{N_o}{N_t} = \frac{-1 + K_a G T}{N_t 1 + K_b G^2 T}$$

3.7.3 Gradiente de mezcla lenta.

Para el cálculo de gradiente se tiene en cuenta el tipo de floculador que es utilizado en la operación de mezcla lenta, entre los cuales se tiene la potencia suministrada mecánicamente y el tipo de paletas utilizadas.

En la figura 8 se representa el principio de agitación y el lodo de contacto (c) que encontramos en el floculador.

Figura 8. Floculadores de contacto de sólidos



Fuente: Manual de Tratamiento de aguas CEPIS, p. 289, 2007

El proceso usual para el cálculo del G considera diferentes variables como son el número de paletas, la distancia del eje, geometría de la paleta y el volumen donde se realiza la floculación.

La ecuación para el cálculo del G esta dado por:

$$G = 112 * \sqrt{\frac{C_D * (1 - k)^3 * n^3 * l * b * (N_1 * r_1^3 + N_2 * r_2^3 + \dots)}{V}}$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre, que depende de la relación (l/b) de las paletas.

Cuadro 3 Valores para paletas planas

C_D	1,16	1,20	1,50	1,90
l/b	1,00	5,00	20,00	∞

Fuente: Manual de Tratamiento de aguas CEPIS, p. 299, 2007

k es el Relación entre velocidad del agua y de las paletas; $k = 0,25$

n es el Velocidad de rotación de la paleta en RPS.

r, l y b son Elementos geométricos del agitador, instalados en la cámara de volumen V *(en la figura 6 Se puede observar los elementos geométricos del agitador)

r es el Radio de la paleta.

N_n es el número de posición de las paletas.

3.8 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL FLOC

Después de un cierto tiempo que depende del tipo de muestra que se maneje, así como de los coagulantes y floculantes empleados se determinan las características del floc formado, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

En el cuadro 4 se muestran las características cualitativas que buscan observar el tamaño del floc producido, para este caso se utiliza el Índice de Willcomb que se aprecia a continuación:

* Ver anexo C Cálculos del volumen de la zona de agitación para el floculador.

Cuadro 4 Índice de Willcomb

NÚMERO DEL ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado uniformemente distribuido. Sedimentación lenta o no sedimenta.
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que sedimenta con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

Fuente: Teoría y Práctica de Purificación del Agua. Acodal. 2000

Para determinar el tiempo de formación inicial de floc se necesita una fuente de iluminación en la base del equipo y se mide en segundos. En cuanto a las características cuantitativas se encuentran las determinaciones fisicoquímicas, las cuáles se realizan al sobrenadante después de diez minutos de sedimentación y se miden la turbiedad, el color, la alcalinidad y el pH.

3.9 CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

3.9.1 Regresión.

Es un procedimiento mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variables. Es decir, conociendo los valores de una variable independiente, se trata de estimar los valores, de una o más variables dependientes. La regresión en forma grafica, trata de lograr que una dispersión de las frecuencias sea ajustada a una línea recta o curva.²³

3.9.1.1 Clases de Regresión.

La regresión puede ser Lineal y Curvilínea o no lineal, ambos tipos de regresión pueden ser a su vez:

²³ ROBLES FABIÁN, Daniel Antonio. Modelos Estadísticos 1998 [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-multiple/regresion-multiple.shtml>> [citado el 10 de Mayo de 2009]

3.9.1.2 Regresión Simple.

Este tipo se presenta cuando una variable independiente ejerce influencia sobre otra variable dependiente. Se utiliza la regresión lineal simple para:

- Determinar la relación de dependencia que tiene una variable respecto a otra.
- Ajustar la distribución de frecuencias de una línea, es decir, determinar la forma de la línea de regresión.
- Predecir un dato desconocido de una variable partiendo de los datos conocidos de otra variable.

3.9.2 Coeficiente de Regresión.

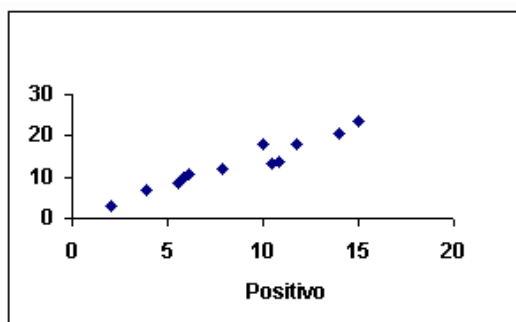
Indica el número de unidades en que se modifica la variable dependiente "Y" por efecto del cambio de la variable independiente "X" o viceversa en una unidad de medida.

3.9.2.1 Clases de coeficiente de Regresión.

El coeficiente de regresión se representa de tres formas las cuales pueden ser: Positivo, Negativo y Nulo.

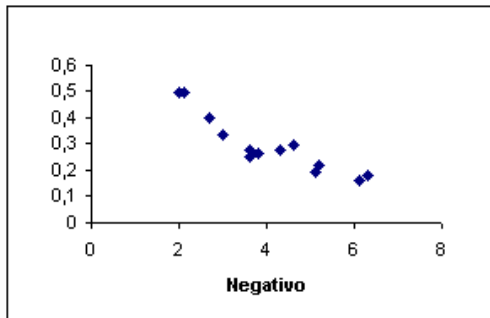
En la figura 9 se representa los diagramas correspondientes a los diferentes coeficientes de regresión.

Figura 9. Gráficas Coeficiente de Regresión.



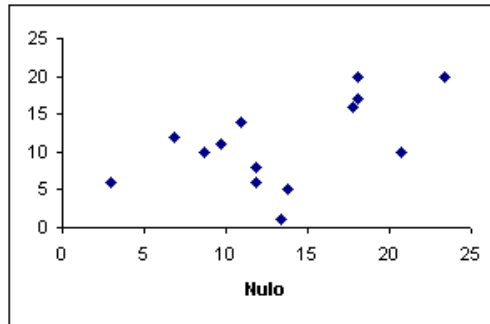
Fuente: Modelos estadísticos, 1998.

Es positivo cuando las variaciones de la variable independiente son directamente proporcionales a las variaciones de la variable dependiente.



Fuente: Modelos estadísticos, 1998.

Es negativo, cuando las variaciones de la variable independiente son inversamente proporcionales a las variaciones de las variables dependientes.



Fuente: Modelos estadísticos, 1998.

Es nulo o cero, cuando entre las variables dependientes e independientes no existen relación alguna.

De acuerdo a los modelos de las figuras, se puede determinar por observación cuando una regresión es lineal y si sus resultados logran ser de tipo positivo o negativo o simplemente no se dé una regresión de los datos.

3.9.2.2 Regresión Múltiple²⁴.

Este tipo se presenta cuando dos o más variables independientes influyen sobre una variable dependiente. $Y = f(x, w, z)$. La regresión múltiple dispone de una ecuación con dos variables independientes adicionales:

$$Y' = a' + b_1x_1 + b_2x_2$$

²⁴Cannavos G, Probabilidad y Estadística Aplicación y Métodos. Mc Graw Hill/Interamericana de Mexico.1995.p. 301.

Se puede ampliar para cualquier número "m" de variables independientes:

$$Y' = a' + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_m$$

3.9.2.3 Error estándar de la regresión múltiple (S_{xy}).

Es una medida de dispersión la estimación se hace más precisa conforme el grado de dispersión alrededor del plano de regresión se hace más pequeño.

Para medirla se utiliza la formula:

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - m - 1}}$$

Y: Valores observados en la muestra

\hat{Y} : Valores estimados a partir a partir de la ecuación de regresión

n : Número de datos

m : Número de variables independientes

3.9.2.4 El coeficiente de determinación múltiple r^2 .

Mide la tasa porcentual de los cambios de Y que pueden ser explicados por, x_1 , x_2 , x_2 y simultáneamente.

3.10 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Una hipótesis estadística es un enunciado o afirmación acerca de los parámetros de un modelo que refleja una conjetura acerca de la situación del problema. Para probar una hipótesis se proyecta un procedimiento para tomar una muestra aleatoria y calcular un estadístico de prueba²⁵ apropiado para después rechazar o aceptar la hipótesis nula. Pueden cometerse dos tipos de errores cuando se prueban hipótesis. Si la hipótesis nula se rechaza cuando es verdadera ocurre un error de tipo I, si no se rechaza cuando es falsa ocurre un error de tipo II; las probabilidades de estos errores se expresan con los símbolos α y β

²⁵ Es un valor obtenido a partir de la información muestral. Se utiliza para determinar si se rechaza o no la hipótesis.

respectivamente; α es comúnmente conocido como el nivel de significación. El valor $(1-\beta)$, se denomina potencia de la prueba y se relaciona con la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es falsa. A través del establecimiento de una potencia deseada (generalmente igual o superior a 0.95), es posible establecer el tamaño de la muestra, lo cual solo puede ser efectuado cuando se tiene un conocimiento previo exacto del valor de la media poblacional. Al probar hipótesis estadísticas, se considera más serio cometer un error tipo I, debido a la dificultad existente en muchas investigaciones de formular un diseño experimental que permita alcanzar valores altos de $(1-\beta)$ sin tener certeza acerca de los parámetros estadísticos poblacionales²⁶.

3.10.1 Procedimiento general de las pruebas de hipótesis.²⁷

Estas pruebas son muy útiles para problemas experimentales prácticos. Se recomienda el uso de los siguientes pasos al aplicar la metodología para la prueba de hipótesis.

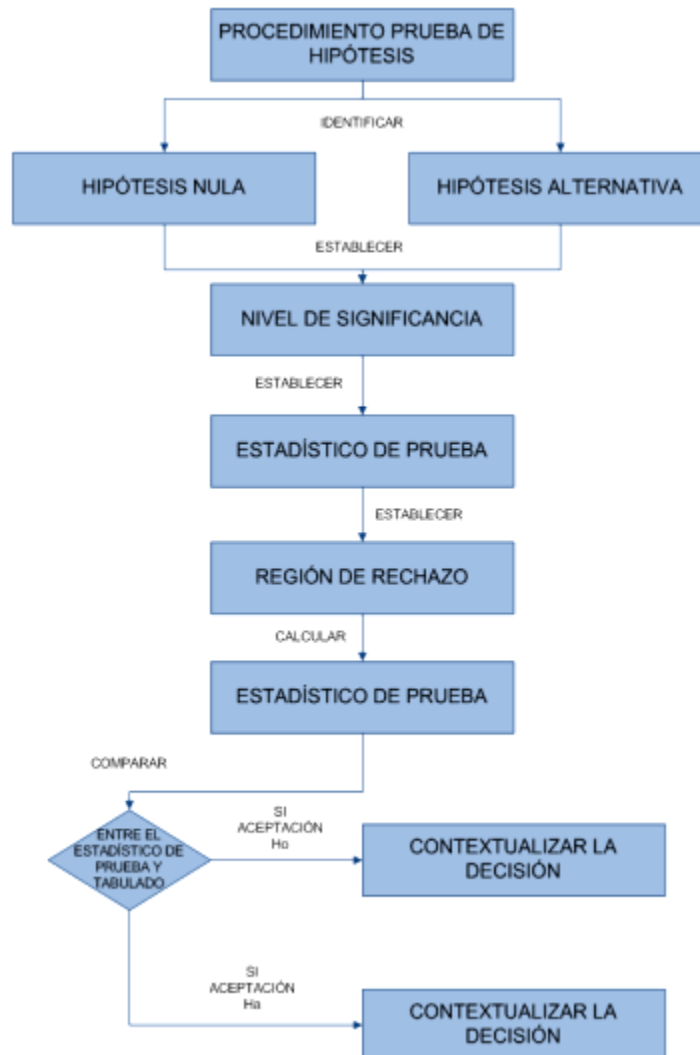
- El contexto del problema, identificar el parámetro de interés.
- Establecer la Hipótesis nula H_0 .
- Especificar una hipótesis alternativa apropiada, H_1 .
- Elegir un nivel de significación α .
- Establecer un estadístico de la prueba apropiado.
- Establecer la región de rechazo del estadístico.
- Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituirlas en la ecuación del estadístico de la prueba y calcular ese valor.
- Decidir si deberá rechazarse o no H_0 y contextualizar la decisión en el problema.

²⁶ MONTGOMERY, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos, 2005. p. 34

²⁷ MONTGOMERY, Douglas, Probabilidad y estadística, 2006, p. 307

En la figura 10 se muestra específicamente el proceso de determinación de la prueba de hipótesis para obtener resultados exactos en diferentes datos estadísticos.

Figura 10. Procedimiento de prueba de hipótesis



Fuente. Autores 2009

3.11 PROGRAMAS DE ESTADÍSTICOS

El uso de herramientas estadísticas facilita el análisis experimental y ayuda a la comprensión de temas complejos estadísticos. Es evidente que en muchos casos

estos programas agilizan y superan, la capacidad de cálculo de la mente humana, y se enriquece el aprendizaje matemático.

3.11.1 Paquete Estadístico SPSS.

El paquete estadístico SPSS es un software de SPSS que ayuda a trabajar las investigaciones estadísticas. Cada tipo de investigación tiene unas necesidades específicas que requieren el concurso de diferentes técnicas y tecnologías estadísticas. SPSS ha preparado una serie de paquetes que incluyen los módulos y programas necesarios para llevar a cabo la investigación en cuestión proporcionando las herramientas necesarias para aventajar conocimientos mediante el conocimiento estratégico de sus datos.

3.11.2 Paquete estadístico SAS 9.0.

El sistema SAS es un modo sencillo incidiendo en la facilidad de manejo y transformación de grandes volúmenes de datos. Estudia los métodos analíticos y las técnicas de análisis multivariante de datos con especial hincapié en la interpretación de los resultados. También estudia la correlación de series de datos estadísticos y modelos con datos especificados.

Además esta herramienta facilita modelos con variables cualitativas y cuantitativas, modelos de elección discreta, modelos de duración, procedimientos econométricos más importantes y procedimientos esenciales de análisis multivariante de datos.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este proyecto se muestra el tipo de investigación realizada, los materiales, técnicas e instrumentos de medición involucrados.

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar; desde el punto de vista científico, describir es medir, esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de parámetros y se mide cada una de ellos independientemente, para así describir lo que se investiga.

Por lo tanto la investigación será de carácter descriptivo, exploratorio y Cuantitativo, dado que se hará descripción de los procesos aplicados, de las técnicas utilizadas y el análisis o síntesis del comportamiento de los mecanismos que ocurren en los procesos de coagulación-floculación, por medio de nuevas tecnologías en la detección de los sólidos suspendidos de una muestra de agua, que se realizara a través de la utilización de Zeta Meter para la cuantificación del resultado y correlaciones entre los diferentes valores de sólidos suspendidos, dosis óptima y Potencial Zeta.

4.2. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Durante esta fase se recopiló la información necesaria para fundamentar el desarrollo de la investigación. Se consultó la literatura disponible respecto a generalidades del agua subterránea y técnicas de análisis fisicoquímico (Ver Anexo J); también se estudió sobre la teoría de la coagulación y la floculación y acerca de la determinación de gradientes. De igual forma se recurrió a la información disponible en publicaciones indexadas de carácter nacional e internacional en las que se consignan objetivos similares a los que persigue la investigación con el fin de complementar sus resultados y aportar nuevas conclusiones que permitan la formación de nuevo conocimiento frente a la técnica.

Adicionalmente, se indagó acerca de técnicas estadísticas apropiadas para efectuar un análisis cuantitativo válido de los datos obtenidos durante la investigación y poder, de acuerdo a las técnicas seleccionadas, diseñar los experimentos que permitan evaluar las hipótesis planteadas.

4.3 CONDICIONES GENERALES

En esta fase se planteó las características generales, tanto de la planta de agua potable de Carulla vivero S.A como de las condiciones iniciales del proyecto, de igual forma se explicaron las unidades del tratamiento de la planta con el fin de conocer a detalle el esquema de coagulación-floculación del agua. En esta fase se llevó a cabo la determinación de gradientes para mezcla rápida y mezcla lenta con el fin de establecer y ajustar los gradientes al método tradicional (Test de Jarras).

4.4 EXPERIMENTACIÓN

En esta fase se tomaron muestras de agua del pozo de extracción de la planta de Carulla Vivero S.A, las cuales fueron recolectadas durante dos meses, de forma continua a las 10 de la mañana, debido a que con una hora específica se reducen las posibles interferencias climáticas. Estas se analizaron en el laboratorio de microbiología de la planta, allí se obtuvieron los resultados de ocho parámetros, los más representativos según los registros de las caracterizaciones, estos son: Alcalinidad, Turbiedad, Hierro, Amonio, Nitritos, Nitratos Fosfatos y Sulfatos, luego se realizó un análisis de varianza y una regresión múltiple de las variables, con el fin de establecer si existía una influencia significativa sobre la toma del Potencial Zeta, al finalizar este procedimiento se desarrolló un análisis de variables excluidas el cual consiste en generar modelos excluyendo cada uno de los parámetros que menos tiene relación con el Potencial, cabe anotar que dentro de estas muestras analizadas, también se tomaron análisis de Sólidos Suspendidos totales (SST) antes y después de la operación de coagulación-floculación, pero este parámetro no entra dentro de la primera parte de análisis estadístico ya que este es fijo y se relaciona directamente con el Potencial Zeta, debido a la relación que hay con la desestabilización de partículas por medio de la toma del potencial Zeta.

Paralelamente se desarrollaron ensayos con el equipo de Jarras al agua de pozo en las instalaciones de Carulla Vivero, para hallar el rango que servirá como base para la medición del Potencial Zeta del coagulante (Policloruro de Aluminio PACL) y de igual forma se tomaron los análisis de SST.

Luego de hacer la primera evaluación de esta fase se realizaron ensayos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de La Universidad de La Salle por medio del equipo Zeta Meter 3.0+ con el fin de determinar el Potencial Zeta a cada una de las muestras recolectadas en la planta, también se tomaron los potenciales de diferentes concentraciones de coagulante, el rango escogido.

Finalmente se desarrollan las correlaciones pertinentes a cada una de los ensayos realizados de tal forma que se halla la correlación entre sólidos suspendidos y el Potencial Zeta, obteniendo un modelo estadístico empírico de regresión es decir que se comprueba la relación directa entre estas dos variables. Además se realizó la correlación matemática entre las concentraciones de coagulante y el Potencial Zeta, encontrándose una estrecha relación entre ellas.

4.5 DISEÑO INSTRUMENTO DE DOSIFICACIÓN

Para dar una respuesta rápida y clara al proceso de dosificación en la planta de agua potable se generó un aplicativo que permitió relacionar el Potencial Zeta y la concentración de sólidos suspendidos por medio de una herramienta de programación, con el fin de obtener de forma concisa el dato exacto de los SST y la dosis óptima para el coagulante que se trabaja actualmente, de igual forma esta herramienta se diseñó luego de obtener la dosis óptima a nivel experimental con el equipo de Jarras con el fin de verificar y corroborar la dosis óptima real en planta. La idea principal de este programa se basó en el ingreso del dato de potencial Zeta de la muestra de agua tomado anteriormente con el equipo Zeta Meter 3.0+, gracias a las ecuaciones obtenidas en las correlaciones, el programa toma este registro y emite rápidamente la dosis óptima que se debe aplicar en la planta. Además este instrumento también proporcionó la cantidad de sólidos suspendidos totales gracias a la ecuación resultante de la correlación matemática entre SST y Potencial Zeta.

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OPTIMIZACIÓN

Para la optimización de la planta de agua potable de Carulla Vivero S.A. se realizó un análisis estadístico de remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), Por medio del análisis los SST removido por la planta de agua potable y los SST que a nivel experimental fueron removidos por los ensayos de Jarras.

También se logró hacer la optimización de la planta gracias al uso de la herramienta de dosificación diseñada en la fase anterior, ya que ésta arrojó los valores óptimos de dosificación y al mismo tiempo provee la cantidad de SST de la muestra analizada, por lo tanto se puede hacer esta relación ente los SST tomados a nivel experimental y los reales (tomados en planta). De igual forma se planteó la diferencia entre los porcentajes de remoción de SST, que se representa a nivel experimental (test de jarras) y la operación coagulación-floculación de la planta de potabilización de agua de Carulla vivero S.A por medio del desarrollo de una herramienta estadística t-student, y la aplicación de la hipótesis nula y alterna.

Adicionalmente se realizó un cuadro comparativo entre las dos técnicas utilizadas Test de Jarras y Zeta Meter 3.0+, relacionando ciertos puntos de comparación, los cuales fueron tomados en cuenta durante todo el desarrollo del proyecto, por ende se trabajó con una matriz de evaluación cuantitativa entre los dos métodos.

5. CONDICIONES PRELIMINARES Y DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE CARULLA VIVERO S.A.

5.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de Carulla Vivero S.A, la cual cuenta con una planta de tratamiento de agua potable compacta, en donde teniendo en cuenta las características generales del pozo se tomaron caracterizaciones del agua para determinar los parámetros fisicoquímicos que contiene con el fin de desarrollar el primer objetivo del proyecto. Y qué resultó del análisis de la caracterización

5.1.1 Caracterización del agua de extracción de Carulla Vivero S.A

La caracterización del agua de extracción del pozo de Carulla Vivero S.A, hace referencia a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes.

En el cuadro 5 se presentan los parámetros más comunes en el agua de este acuífero.

Cuadro 5. Caracterización del agua de extracción de Carulla Vivero S.A

PARAMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIÓN	Norma
Alcalinidad	454	mg/l de CaCO ₃	No aceptable	Resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Protección Social y Ministerio de Ambiente.
Turbiedad	4.92	FTU	No aceptable	
Hierro	8.82	mg/l	No aceptable	
Amonio	16.20	mg/l	No aceptable	
NO ₂	0.3	mg/l	No aceptable	
NO ₃	12.3	mg/l	No aceptable	
PO ₄	6	mg/l	No aceptable	
SO ₄	28	mg/l	Aceptable	
SST	590	mg/l	No aceptable	

Fuente: Autores, 2009.

Por medio de la caracterización, se encontró que siete de los ocho parámetros tomados al agua del pozo no cumple con la norma vigente con la que se rige la empresa, Resolución 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de Protección Social.

5.1.2 Descripción de elementos del proceso de coagulación-floculación.

En la planta de Potabilización de Carulla Vivero S.A se lleva a cabo dos procesos iniciales importantes para potabilizar el agua del pozo. A continuación se explican todos los elementos de la planta con el fin de conocer el funcionamiento de cada uno.

5.1.3 Descripción del pozo profundo para extracción de agua subterránea.

El pozo corresponde a la gran formación acuífera de la sabana, actualmente llamada Formación de Guadalupe con una ubicación geográfica específica, (ver anexo B), el cual tiene 454 metros de profundidad (Ver anexo B). La planta actualmente trata 19 m³/h de agua subterránea obtenida por medio de una concesión de aguas otorgada por la Secretaria Distrital de Ambiente (ver anexo B), la tubería de desagüe es de acero al carbón de 8 y 6 pulgadas, cuenta con un nivel estático de 33.2, además tiene cuatro filtros tipo ranura continua en acero inoxidable de 6 pulgadas, el agua es transportada a la planta de tratamiento por medio de bombas centrífugas y tubería de acero. (ver Foto 1).

Foto 1. Cuarto de bombeo extracción pozo profundo.

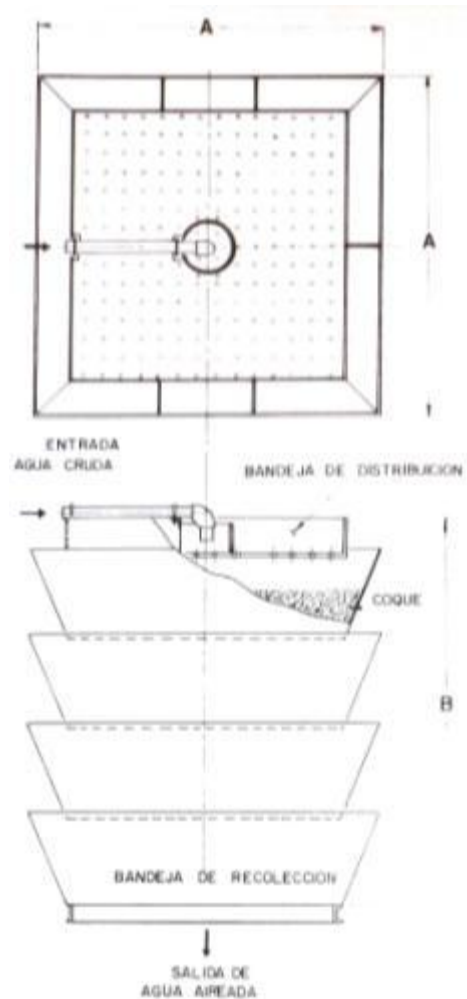
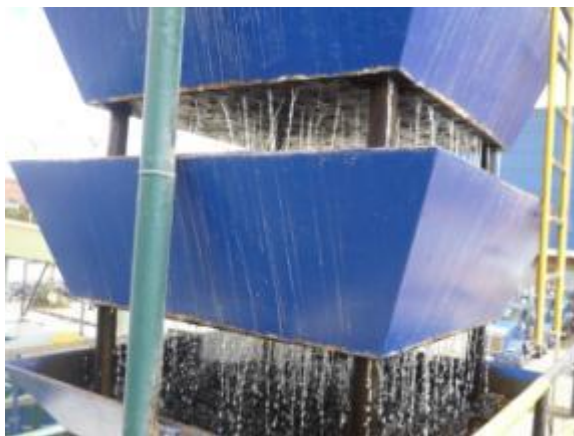


Fuente: Autores, 2009.

5.1.4 Descripción de la Torre de Aireación A-7.

La torre de aireación se utiliza en el tratamiento de agua para la remoción de pequeñas cantidades de gases (ácido sulfhídrico, metano, y dióxido de carbono), pero su uso más común es para remover hierro y manganeso en solución. En la operación el agua es distribuida por las bandejas superiores la cual cae por gravedad atravesando cuatro bandejas cada una con un medio plástico y al contacto con el aire se logra la primera remoción de minerales en el agua. (ver foto 2), para la especificación técnica ver tabla 1 de dimensiones

Foto 2. Bandejas de la Torre de aireación.



Fuente: Autores, 2009.

En la tabla 1 se presentan las especificaciones de las bandejas de aireación.

Tabla 1 Especificación técnica de las bandejas de aireación.

Torre de Aireación modelo A-7				
Tamaño A	Capacidad en G.P.M.	Tubería de Entrada	Peso Vacio (Ton)	Peso en Operación (Ton)
6'-6"X6'-6"	240	4"	1.1	2.8

Fuente: Manual Carulla Vivero S.A.

5.1.5 Descripción del Clarificador modelo 9A²⁸.

El clarificador es de tipo EDOSPINA S.A, constituido por unidades de contacto sólido líquido efectuado por la circulación forzada de lodos. El equipo provee un solo tanque para efectuar las operaciones de mezcla rápida, floculación y sedimentación.

El tanque trata 240 galones por minuto de agua cruda, siendo la rata de ascenso a esta capacidad de 1.19 galones por minuto por pie cuadrado de área efectiva, el tiempo de retención es 60 minutos, tiene una altura de 3.36 mts y un diámetro de 2.79 metros, el material es lámina de acero al carbón (en el anexo B se muestra los planos generales de la Planta y la operación). (Ver foto 3).

Foto 3. Clarificador.

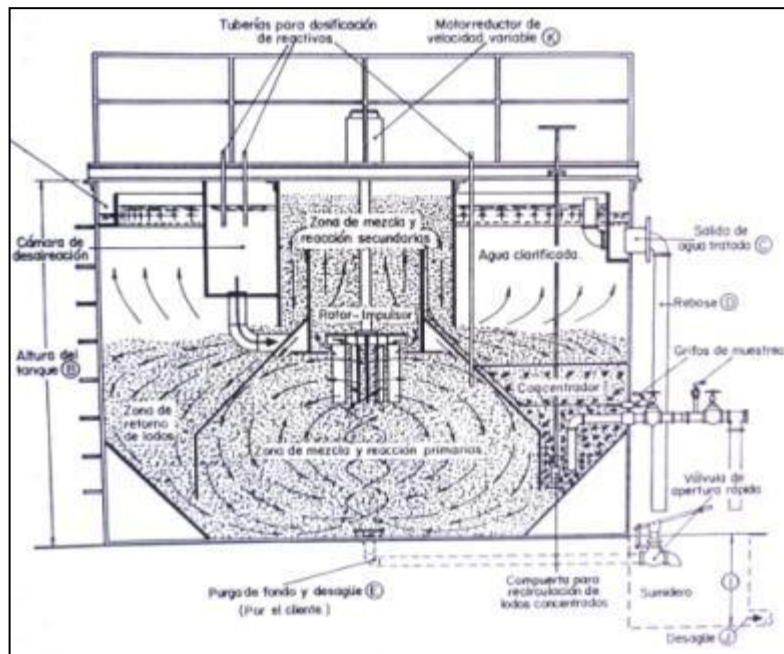


Fuente: Autores, 2009.

En la figura 11 se presenta el esquema general del movimiento del agua en el clarificador de Carulla Vivero S.A.

²⁸EDOSPINA S.A, Manual de operaciones de. Bogotá, Colombia: Carulla Vivero S.A, 1996. 78p.

Figura 11 Esquema general del tratamiento.



Fuente: Manual de procedimiento Carulla Vivero S.A

El agua viaja a través de tubería de acero hasta llegar a las torres de aireación, allí baja por gravedad y atraviesa el lecho filtrante luego el agua cruda entra en reacción a una zona primaria de mezcla rápida de productos químicos y una zona secundaria de mezcla con un rotor movido por un motorreductor de velocidad variable, el cual se utiliza para mezcla y bombeo donde continua el contacto de liquido sólido, hasta alcanzar la reacción de equilibrio.

5.2 CONDICIONES DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN RESPECTO A GRADIENTES

Para la operación coagulación-floculación de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A, existen unos criterios de funcionamiento que son los gradientes de mezcla rápida y mezcla lenta. Los cuales deberán ser replicados con el equipo Test de Jarras con el fin de que este método de ensayo y error, este ajustado a las condiciones reales de operación de la planta.

Por tal motivo se hace necesario calcular de forma teórico-práctica, los gradientes utilizados por la planta:

5.2.1 Gradiente mezcla rápida

Para el cálculo de este gradiente se tuvo en cuenta las consideraciones de diseño de la operación de lo cual se obtuvo un valor de $660,7 \text{ s}^{-1}$. Y aplicando la ecuación propuesta por arboleda 2000 se hallaron las revoluciones del equipo de jarras para la mezcla rápida, arrojando un valor de 100RPM. Con un tiempo de contacto de 15 seg en el anexo C se presenta las memorias cálculos de los gradientes.

En la figura 12 se observa donde se realiza el proceso de mezcla rápida en la operación.

Figura 12 proceso de mezcla rápida en la operación



Fuente: Autores, 2009.

5.2.2 Gradiente de mezcla lenta.

Para el cálculo de este gradiente se tiene en cuenta varias consideraciones, entre las cuales se tuvo en cuenta la potencia suministrada mecánicamente y el tipo de paletas utilizadas.

Figura 13. Elementos geométricos del agitador.



Fuente: Autores, 2009

El valor obtenido de gradiente de mezcla lenta es $28,69 \text{ s}^{-1}$, y aplicando la ecuación propuesta por arboleda se obtuvo que el número de revoluciones es de 13 RPM.

Con los valores obtenidos de los cálculos, se garantiza que las condiciones del Test de Jarras sean ajustadas al que se presenta en la operación Coagulación-Floculación de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A, ya que se mantienen los mismos gradientes.

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Luego de concluir las condiciones preliminares y de operación, es necesario establecer las condiciones óptimas de operación en el proceso fisicoquímico de la planta y la determinación del Potencial Zeta, así mismo se tomaron análisis fisicoquímicos de los parámetros más significativos (ver anexo D) que trae el agua de forma natural tales como: Alcalinidad, Hierro, Amonio, Nitritos, Nitratos, Sulfatos y Fosfatos, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología de Carulla Vivero S.A al igual que los ensayos de Jarras, para las tomas de su correspondiente Potencial Zeta se transportó la muestra al Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, donde además de analizar las muestras de agua, también se determinó el potencial zeta de los productos químicos utilizados para el proceso de coagulación-floculación, y luego se determinó la valoración estadística que permite determinar el comportamiento de las diferentes condiciones operativas, cabe anotar que estas muestras fueron tomadas durante los meses de Abril, Mayo y Junio de lunes a viernes a las 10 de la mañana, de manera continua.

6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Luego de tener todos los datos experimentales fue necesario determinar que parámetro fisicoquímico era más representativo y que nivel de significancia tiene en relación a la toma del Potencial Zeta, para cumplir este objetivo se realizó un análisis estadístico (Regresión Múltiple) en donde se analizaron todos los parámetros tomados en laboratorio con el fin de hacer correlaciones entre ellos y así establecer diferentes aspectos.

Con este análisis se pretende resolver la siguiente pregunta ¿Los parámetros analizados en el laboratorio tienen alguna influencia en la lectura del Potencial Zeta?

Para resolver este cuestionamiento se plante las siguientes hipótesis:

H_0 = Hipótesis nula (Ni La Turbiedad, Alcalinidad, Hierro, Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos, Sulfatos tienen influencia en toma de Potencial Zeta).

H_a = Hipótesis Alternativa (los parámetros medidos en el laboratorio tienen un efecto significativo en el valor del Potencial Zeta)

Planteadas las hipótesis se realiza el análisis estadístico de regresión múltiple por medio de dos herramientas estadísticas para el análisis de parámetros.

6.2.1 Regresión múltiple.

Con los valores de los parámetros físico químicos obtenidos en la fase experimental (Alcalinidad, Hierro, Amonio, Nitritos, Nitratos, Sulfatos y Fosfatos) se aplicó el diseño estadístico ya determinado, empleando el paquete informático SAS System 9.0, (en el anexo E se pueden observar algunas visualizaciones del programa) lo cual permitió realizar el análisis de varianza, al igual que el programa estadístico SPSS (ver anexo E), correspondiente al comportamiento matemático del proceso. Finalmente de acuerdo a los datos obtenidos se realizó el análisis correspondiente y el diseño de la herramienta de programación.

6.2.1.1 Análisis de Varianza.

Se desarrollo un análisis de varianza con el fin de determinar la probabilidad de que todos los parámetros medidos influya en la medición del Potencial Zeta, planteando la siguiente ecuación de regresión múltiple:

$$Y = \underbrace{a}_{PZ} + \underbrace{b_1 X_1}_{Alcal} + \underbrace{b_2 X_2}_{Turb} + \underbrace{b_3 X_3}_{Fe} + \underbrace{b_4 X_4}_{NH_4} + \underbrace{b_5 X_5}_{NO_2} + \underbrace{b_6 X_6}_{NO_3} + \underbrace{b_7 X_7}_{PO_4} + \underbrace{b_8 X_8}_{SO_4}$$

Tabla 1, A continuación se presenta el análisis de Varianza desarrollado por medio de la herramienta SAS 9.0, en el anexo E Se encuentra el procedimiento de cálculo de los datos correspondientes.

Tabla 2. Análisis de Varianza

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrado	Media de cuadrados	F-Valor	Pr > F
Modelo	8	67.39099	8.42387	1.4	0.2644
Error	17	102.11238	6.00661		
Total corregido	25	169.50337			

Fuente: Autores, 2009.

Por medio del análisis de la varianza se concluye que de acuerdo con el valor Pr>F que es de 0.2644, las variables no intervienen en la medición Potencial Zeta y como este resultado es alto por encima de lo recomienda para la estadística que es 0.05 a 0.01 y la prueba estadística de F = 1,4 y el valor crítico $F_{\alpha, V_1 \text{ y } V_2} = 2.55^*$, entonces se dice que $F < V_c$, es decir que la prueba estadística se encontró en la zona de aceptación, de lo cual se desprende que la que se acepte la hipótesis

* Calculada a través de las tabla puntos porcentuales de la distribución F, Montgomery, 2005. P. 644.

nula (H_0) ya que la F calculada es menor a la F tabulada por lo tanto se evidencia que no hay una correlación de todos los parámetros con la toma del Potencial Zeta

La comprobación del análisis de varianza se basa en la verificación del índice de correlación R^2 que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Análisis de regresión

Cuadrado medio del error	2.45084
Media Dependiente	-20.68765
Coefficiente de Variación	-11.84687
R-cuadrado	0.3976
R ajustado de Significancia	0.1141

Fuente: Autores, 2009.

De acuerdo a los datos obtenidos se obtiene un R^2 de 0.3976, valor que puede ser interpretado como bajo debido a que la zona de aceptación esta dentro de un rango de 0.9 a 1. Ya que tan solo el 39 % del análisis de las variables interfiere en la toma del Potencial Zeta, además el valor del error es muy alto para ser aceptado como modelo estadístico por lo tanto no se acepta el modelo estadístico y se plantea otro, en el cual se excluyen variables, para obtener si alguna de ellas tiene un efecto considerable en medición del Potencial Zeta.

6.2.1.2 Análisis de correlación de variables y exclusión de variables.

Luego de comprobar que no existe una correlación significativa entre todas las variables y la toma del Potencial Zeta, se desarrollo una matriz de correlaciones que involucra a cada uno de los parámetros con el valor de potencial, por medio del paquete estadístico SPSS con el fin de determinar que parámetro es más significativo en los resultados medidos de Potencial Zeta, este procedimiento tiene en cuenta la interpretación de ciertos resultados estadísticos que arroja el sistema.

Las variables fueron analizadas por medio de de una matriz teniendo en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia $\alpha= 0.05$ (en el anexo E se puede observar la matriz con la cual se calcula el coeficiente), con el fin de establecer las relación que se puedan efectuar entre cada uno de los parámetros y el Potencial Zeta, los resultados obtenido se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del coeficiente de Pearson para cada variable.

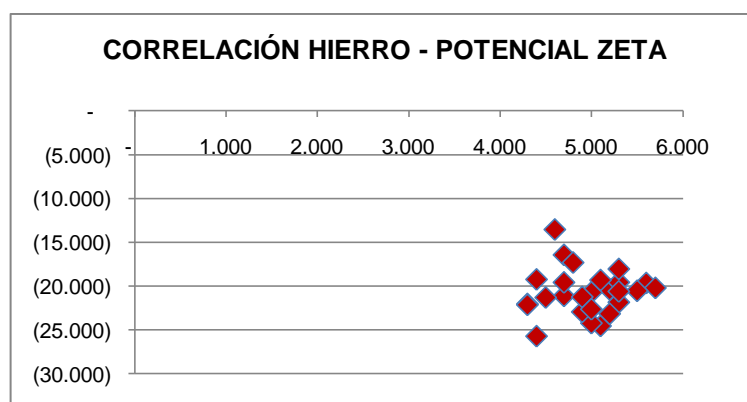
VARIABLE	COEFICIENTE DE PEARSON
Alcalinidad	-0.13852016
Turbiedad	-0.15007137
Hierro	0.03228215
Amonio	-0.11592213
Nitritos	0.22080474
Nitratos	-0.22394629
Fosfatos	0.31842620
Sulfatos	0.11114179

Fuente: Autores, 2009.

Según los resultados se observa que las correlaciones arrojadas por la matriz son muy bajas, ya que el coeficiente de Pearson para su aceptación debe estar cercano a 1, sin embargo se determinó el parámetro que mas interferencia tiene en relación con el Potencial Zeta, el cual fue Fosfatos con un valor de 0.3184, de igual forma este resultado sigue siendo de baja significancia para la toma del Potencial Zeta, también se realizó las graficas de correlaciones para cada una de las variables (las gráficas de los 8 parámetros se pueden observar en el anexo E), a continuación se muestra una de ellas con el fin de ratificar los resultados obtenidos anteriormente.

En la gráfica 1 se observa la correlación entre unos del los parámetros medidos con respecto a los datos tomados de Potencial Zeta en donde se evidencia que no existe una linealidad entre datos.

Gráfica 1 Correlación Hierro-Potencial Zeta



Fuente: Autores, 2009

En esta gráfica se puede ver claramente la disfuncionalidad entre los datos del parámetro (Hierro), junto con los datos de Potencial Zeta, no existe linealidad entre ellos ya que puede existir tanto valore altos como bajos de Potencial Zeta en

iguales concentraciones del parámetro estudiado. Se identifica que las concentraciones de Hierro están en un rango entre 4-6 ppm para el agua tratada por la planta.

A través de la determinación del coeficiente de Pearson se desprende un análisis más específico que involucra una matriz de variables excluidas, con el fin de eliminar las que tiene menos relación con el Potencial Zeta hasta llegar a una variable que tenga influencia sobre esta medida los valores obtenidos por esta matriz se muestran a continuación:

Tabla 5. Matriz de Variables Excluidas

Predicción en el modelo 1 (excluyendo SO4)	(PZ), b1(Fe), b2(Turb), b3(PO4), b4(NO2), b5(Alcal), b6(NO3), b7(NH4)
Predicción en el modelo 2 (excluyendo Fe)	(PZ), b1(turb), b3(PO4), b4(NO2), b5(Alcal), b5(NO3), b6(NH4)
Predicción en el Modelo 3 (excluyendo NO2)	(PZ), b1(Turb),b2(PO4), b3(Alcal), b4(NO3), b5(NH4)
Predicción en el Modelo 4 (excluyendo NO3)	(PZ), b1(Turb), b2(PO4), b3(Alcal), b5(NH4)
Predicción en el Modelo 5 (excluyendo Alcalinidad)	(Pz), b1(Turb), b2(PO4), b3(NH4)
Predicción en el Modelo 6 (excluyendo Turbiedad)	(PZ), b1(PO4), b2(NH4)
Predicción en el Modelo 7 (excluyendo PO4)	(PZ), b1(PO4)
Predicción en el modelo 8	Potencial Zeta
Variable Dependiente	Potencial Zeta

Fuente: Autores, 2009

A través de estos resultados se presenta la eliminación de cada una de las variables que no tienen relación significativa con la medición del potencial Zeta, la ecuación con que se trabaja está dada por la expresión $a + b_1X_1 + \dots + b_nX_n$, en donde b_n está dada por la constante de correlación de cada parámetro.

Según la predicción en el modelo 7 se concluyó que el parámetro que más significancia tiene para la toma del Potencial Zeta es la variable (PO_4), este resultado coincide con el valor del coeficiente de Pearson (0.31), sin embargo al final de la matriz de variables excluidas este parámetro fue igualmente excluido debido al bajo porcentaje de relación que tiene, resultando así como solución final del modelo el valor de Potencial Zeta.

Luego de comprobar que los parámetros analizados no se correlacionan, se desarrollo un análisis de significancia entre los parámetros (Ver anexo E) por medio de la herramienta estadística SPSS con el fin de determinar el nivel de significancia de cada variable.

En la Tabla 6 Se observa los valores exactos de significancia con cada parámetro.

Tabla 6. Nivel de significancia de las variables

Variable	Nivel de significancia	Observación
Alcalinidad	0.26445254	No Significativo
Turbiedad	0.18546288	No Significativo
Hierro	0.14693541	No Significativo
Amonio	0.12095296	No Significativo
Nitritos	0.15833604	No Significativo
Nitratos	0.18008809	No Significativo
Fosfatos	0.19706726	No Significativo
Sulfatos	0.11287674	No Significativo

Fuente: Autores, 2009.

Esta tabla muestra el nivel de significancia de cada parámetro el cual es alto con referencia al valor determinado que es $\alpha = 0.05$ por lo tanto ninguno de los datos arrojados es significativo.

Finalmente se concluyó por medio de este análisis estadístico, que los parámetros fisicoquímicos del agua tratada en las instalaciones de Carulla Vivero S.A, no influyen significativamente en la toma del valor de Potencial Zeta y por consiguiente en la determinación de dosis óptima de coagulante para el proceso de coagulación-floculación.

A partir de los resultados obtenidos se puede emprender la experimentación con los métodos planteados en el proyecto con el fin de de calcular la relación existente de sólidos suspendidos y la cantidad de producto químico necesario para desestabilizar dichos sólidos.

6.3 EXPERIMENTACIÓN TEST DE JARRAS

En la práctica experimental en las instalaciones de Carulla Vivero S.A, se trabajo con el equipo Test de Jarras, con el fin de obtener diferentes concentraciones y así evaluar los datos de sólidos tomados antes y después del proceso del fisicoquímico para la muestra de agua de la planta de Tratamiento la cual fue tomada en la tubería de descarga del pozo para inicio del tratamiento, a continuación se explicará el procedimiento:

El coagulante que se empleo durante la investigación fue Policloruro de Aluminio (PACL), el cual es recomendado para agua subterránea con alto contenido de color, además este producto ha sido utilizado por 10 años en la planta con buenos resultados en el proceso de coagulación-floculación, este producto ofrece una

excelente remoción de SST y la calidad del floc es óptima, de igual forma se debe aplicar Polímero Catiónico (1025 EGA) para lograr mejorar el tiempo de sedimentación de las partículas aglomeradas.

Para hallar el menor valor de SST se llevaron a cabo ensayos de Jarras con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante, para llegar a esta concentración se trabajó con rangos amplios que se fueron reduciendo hasta llegar al resultado esperado (Ver anexo F). A continuación se presenta el ensayo que arrojó la mejor remoción de SST.

Condiciones de operación:

Mezcla rápida: 100 RPM, tiempo 2 segundos

Mezcla lenta: 13 RPM tiempo 15 minutos

Tiempo de sedimentación: 15 min.

En la tabla 7 se muestran los rangos de concentración de PACL con su respectiva remoción de SST al final del ensayo.

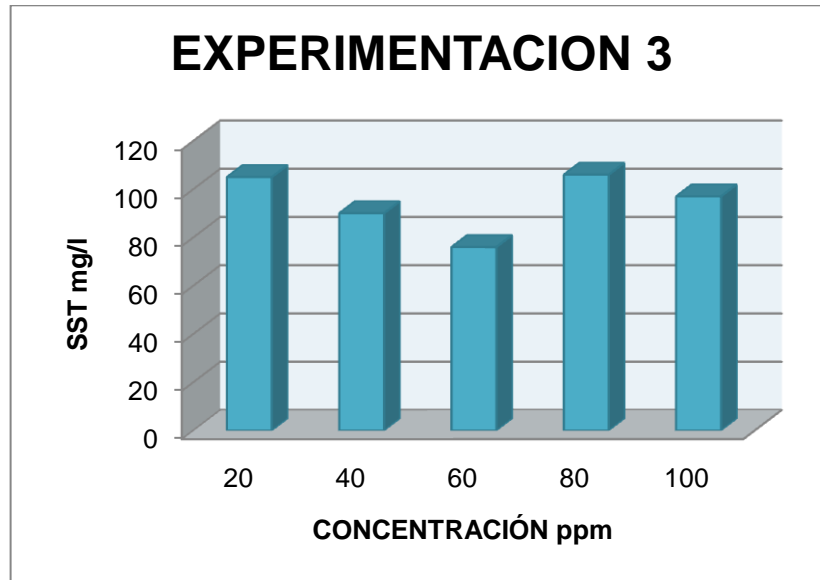
Tabla 7 Concentración PACL vs concentración de SST al final del ensayo.

EXPERIMENTACIÓN 3					
Concentración mg/l	20	40	60	80	100
SST mg/l	105	90	76	106	97

Fuente: Autores, 2009.

En la Gráfica 2 se muestra los resultados de las variaciones de sólidos suspendidos totales, frente a las diferentes concentraciones de coagulante.

Gráfica 2. Variación de SST en experimentación 3



Fuente: Autores, 2009

Con estos ensayos se determinó el rango de 0 a 180 ppm para efectuar mediciones de Potencial Zeta a diferentes concentraciones del coagulante PACL. Con el que se establece la correlación entre el Potencial Zeta y las diferentes concentraciones del coagulante.

6.4 EXPERIMENTACIÓN EQUIPO ZETA METER 3.0+.

En la primera fase de experimentación, se trabajó en las instalaciones de Carulla Vivero S.A, ya que la empresa cuenta con los equipos necesarios para ello, pero para determinar los datos de Potencial Zeta hubo la necesidad de transportar la muestra al Laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de La Universidad de La Salle, puesto que allí se cuenta con el equipo de laboratorio, sin embargo a diferencia del método anterior los análisis fueron más sencillos ya que sus mediciones requiere de menos tiempo de operación considerando que su medición resulta más eficaz, sencilla y económica, ya que la misma se puede realizar en línea o a través del equipo Zeta Meter 3.0+.

6.4.1 Concentración óptima de Coagulante en base al Potencial Zeta.

De acuerdo a lo realizado en ensayo de jarras para hallar la dosis para el proceso fisicoquímico se trabajó con el coagulante Policloruro de Aluminio (PACL) en un rango de (0-180)ppm, ya que el producto posee grandes ventajas en la remoción de color y sólidos que trae el agua subterránea dando como resultado una calidad del floc y de sedimentación óptima. De igual forma su presentación líquida brinda mejores facilidades de operación y dosificación, se debe tener en cuenta que este proceso se complementa con un polímero catiónico de referencia 1025 producido por la empresa EGA, el cual mejora la sedimentación del floc en el proceso final.

6.4.2 Manual de equipo Zeta Meter 3.0+

Se realizó un manual de operación y manejo de equipo Zeta Meter 3.0+ con el fin de facilitar la manipulación del instrumento tanto en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria como en las instalaciones de Carulla Vivero S.A. (ver anexo I)

6.5 CORRELACIONES MATEMÁTICAS

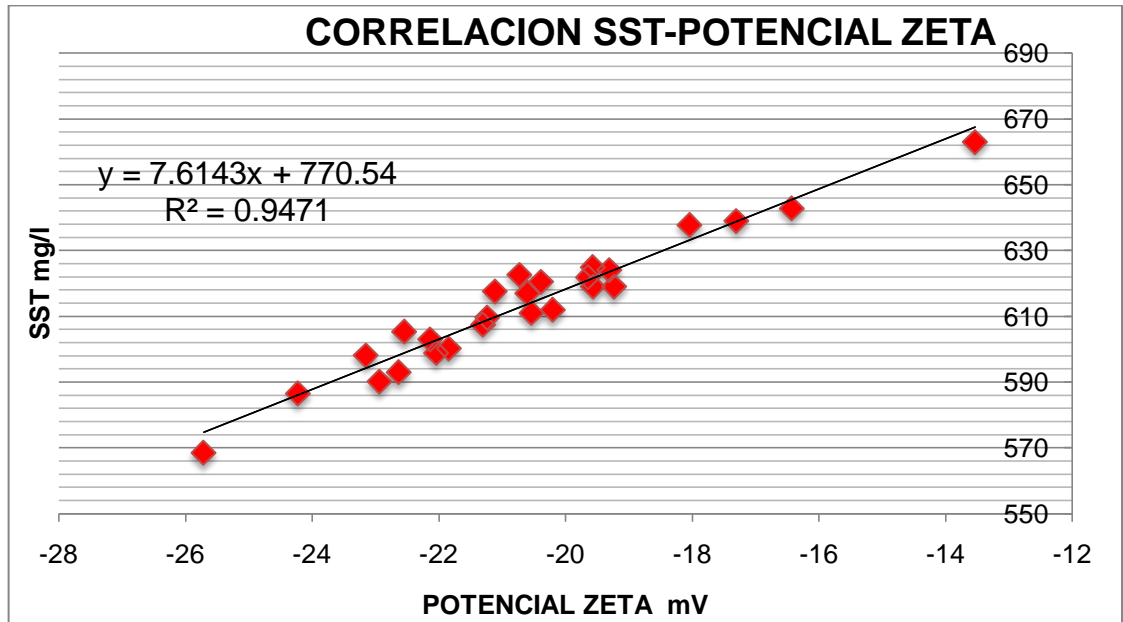
Obteniendo todos los datos de los rangos de dosis y de potencial Zeta de la muestra y del producto químico, se procede a calcular las correspondientes correlaciones matemáticas tanto de la primera experimentación con el método Test de Jarras, como de la experimentación con el equipo Zeta Meter, relacionando variables como SST (mg/l) y concentraciones de coagulante (ppm) respectivamente.

6.5.1 Correlación Matemática de SST y Potencial Zeta.

Teniendo en cuenta que la dosis del producto químico dependen de la concentración de los SST de entrada, y que la medición en tiempo real de este parámetro puede resultar compleja, se realizó una correlación de los valores entre los parámetros, con el objetivo de construir una herramienta que permita predecir la concentración de SST, conociendo el valor del potencial zeta en el agua subterránea y basándose en que se analizaron los Sólidos Suspendidos Totales (SST) a cada una de las muestras de agua tomadas en la planta y su respectivo Potencial, logrando una correlación entre estos dos parámetros.

En la Gráfica 3 se observan los resultados de SST en función de los valores obtenidos de potencial zeta medidos para cada muestra analizada en el desarrollo de la investigación, considerando que al conocer las cargas electrostáticas del agua, podemos determinar la concentración de sólidos totales del agua.

Gráfica 3 Correlación SST-Potencial Zeta



Fuente: Autores, 2009

El valor del coeficiente de correlación R^2 que fue de 0,9471, indica la relación que existe entre estos dos parámetros. Cuantitativamente, expresa que el modelo estadístico empírico de regresión tiene un porcentaje de precisión del 94% de lo cual se afirma que hay una predicción del valor de sólidos por medio de un dato de potencial, con la aplicación de la ecuación $Y = 7,6143X + 770.54$.

6.5.2 Correlación Coagulante (PACI) – Potencial Zeta.

Para seleccionar la dosis de coagulante se pretende hacer una correlación entre el potencial zeta y la concentración de producto químico en agua ya que dicha concentración es la cantidad exacta de producto que se necesita para desestabilizar las partículas y aglomerarlas.

Para calcular el Potencial Zeta del coagulante se tomó como base los ensayos de dosis óptima, para hacer diferentes concentraciones de coagulante en un rango de 0 a 180 ppm y combinada con 1 ppm de polímero que mejora la sedimentación del floc en el proceso

Tabla 8. Datos de concentración de Coagulante, y toma del respectivo Potencial Zeta.

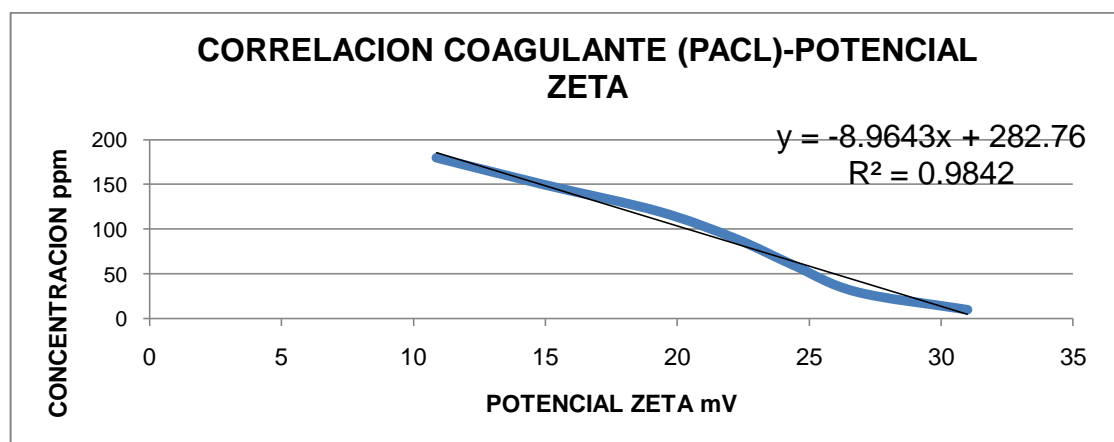
POTENCIALZETA DEL COGULANTE Y FLOCULANTE							
COAGULANTE POLICLORURO DE ALUMINIO							
FLOCULANTE POLIMERO CATIONICO							
MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE PACL	CONCETRACIÓN DE POLIMERO	NÚMERO DE MEDICIONES	T° DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN*	MEDIA	VALOR CORREGIDO
1	10	1ppm	10	20°C	1.04	29.8	30.992
2	30	1ppm	10	20°C	1.04	25.75	26.78
3	60	1ppm	10	20°C	1.04	23.45	24.388
4	90	1ppm	10	20°C	1.04	21.31	22.1624
5	120	1ppm	10	20°C	1.04	18.54	19.2816
6	150	1ppm	10	20°C	1.04	14.36	14.9344
7	180	1ppm	10	20°C	1.04	10.45	10.868

Fuente: Autores, 2009.

En la tabla anterior se muestran la media de diez mediciones del potencial que se le hacen a la muestra, obtenidos para diferentes concentración de producto químico, la cual se corrige multiplicando el valor de potencial por la constante asociada a la temperatura ya que esta tiene una influencia directa en la medición según el manual de operación de Zeta Meter 3.0

En la Gráfica 4 Se muestran los valores graficados de Potencial Zeta corregido y concentraciones del producto químico, para hallar la ecuación que correlaciona dos variables.

Gráfica 4 Correlación Coagulante (PACL) – Potencial Zeta



Fuente: Autores, 2009.

* Valores tomados del manual del equipo Zeta Meter 3.0+ sección 7 p. 7

El valor del coeficiente de correlación R^2 fue de 0,9842, este resultado indica que a cada valor de potencial existe un valor de concentración de coagulante, con la utilización de la ecuación $Y=8.9643X+282,76$ Cuantitativamente, expresa que el modelo de regresión es acertado en 98% de la correlación de los datos, es decir que solo un estrecho margen de los resultados se desvía de la tendencia general.

Con la obtención de las ecuaciones de correlación se puede entrar a diseñar una herramienta que prediga los sólidos que tiene esa muestra de agua y a su vez que concentración de coagulante que se debe aplicar para desestabilizar los coloides, sabiendo que el agua tiene un potencial zeta negativo mientras que el coagulante tiene una carga positivo con la finalidad de que suma de estos dos potenciales sea cero.

7. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS PARA EL CALCULO DE DOSIS DE COAGULANTE Y SST

Para dar una respuesta rápida y clara al proceso de dosificación en la planta de agua potable se generó un aplicativo que permite relacionar el Potencial Zeta y la concentración de sólidos suspendidos por medio de una herramienta de programación, con el fin de obtener de forma concisa el dato exacto de los SST y la dosis óptima para el coagulante que se trabaja actualmente, de igual forma esta herramienta reemplaza el convencional test de Jarras haciendo el proceso más eficaz con menos tiempo de experimentación entre las muestras de agua.

7.1 Objetivo del aplicativo

El objetivo del aplicativo es mostrar las graficas de correlación entre Potencial Zeta y Sólidos Suspendidos a partir de unos parámetros de configuración especificados por medio de las ecuaciones obtenidas en el capítulo 6, de la correlación matemática entre SST y Potencial Zeta y la correlación entre las diferentes concentraciones de coagulantes experimentados con su correspondiente Potencial Zeta.

7.2 Premisas de Diseño

La aplicación diseñada permite:

- Configurar y parametrizar las ecuaciones necesarias para calcular las dosis óptimas de coagulante y los sólidos suspendidos totales.
- Consultar los factores de corrección de Potencial Zeta por temperatura de las muestras analizadas ya que la temperatura incide en la toma del valor de potencial según el manual de operación del Zeta Meter 3.0+.
- Generar reportes de los análisis realizados.

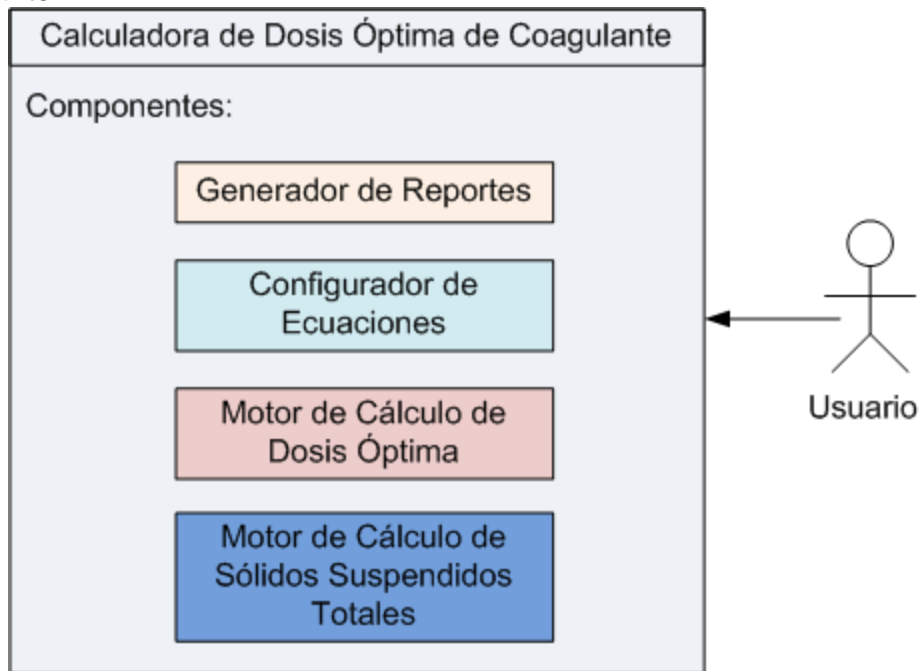
7.2.1 Generalidades

La aplicación consta de los siguientes módulos:

- Configurador de Ecuaciones.
- Motor de Cálculo de Dosis Óptima
- Motor de Cálculo de SST

- Generador de Reportes

Figura 14. Ilustración Módulos de la Aplicación para el Cálculo de Dosis Óptima de Coagulante



Fuente: Autores, 2009.

7.2.2 Configurador de Ecuaciones

Permite modificar las constantes de la ecuación para el cálculo de dosis de coagulante y de sólidos suspendidos totales. Ya que estas ecuaciones solo aplican a un tipo de agua y coagulante específico.

7.2.3 Motor de Cálculo de Dosis Óptima

Componente que permite efectuar el cálculo de la dosis óptima de coagulante de acuerdo a las ecuaciones configuradas mediante el componente de configurador de ecuaciones.

7.2.4 Motor de Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales

Componente que permite efectuar el cálculo de sólidos suspendidos totales utilizando las ecuaciones configuradas con el componente de configurador de ecuaciones.

7.2.5 Generador de Reportes

Componente que provee los servicios para generar los reportes de los análisis

realizados en la aplicación, además permite almacenar el reporte en diferentes formatos, tales como Excel y PDF.

7.3 Tecnologías Utilizadas

Para el desarrollo de la aplicación se utilizaron las siguientes tecnologías:

Visual Studio C# 2008 Express

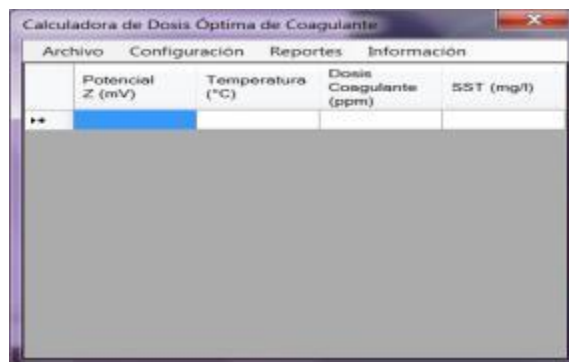
La idea inicial de este diseño es desarrollar una aplicación Windows que permita configurar los parámetros de entrada y realizar un procesamiento de la información utilizando las características de un lenguaje de programación moderno. Una aplicación Windows es un programa que utiliza controles de usuario tales como botones, cuadros de texto, listas desplegables, etc. para capturar la información del usuario y que utiliza la funcionalidad personalizada de un programa desarrollado (el que realizara los cálculos, ver anexo G).

7.4 Proceso ilustrativo de manejo de la herramienta.

La herramienta diseñada es de fácil manejo ya que el valor de entrada es el potencial medido en el agua, que a su vez da pie para que el programa calcule los sólidos asociados a ese valor, con el uso de la ecuación obtenida en capítulo anterior, e internamente el instrumento multiplica ese valor de potencial del agua por -1 para obtener un valor de Potencial Zeta asociado a la concentración de coagulante necesario para desestabilizar los coloides. A continuación se presenta el procedimiento para hallar la dosis de producto por medio de la utilización de esta herramienta.

- La aplicación consta de una ventana principal mediante la que el usuario ingresa los valores de Potencial Zeta medidos en laboratorio así como las variables que afectan el cálculo de dosis óptima y sólidos.

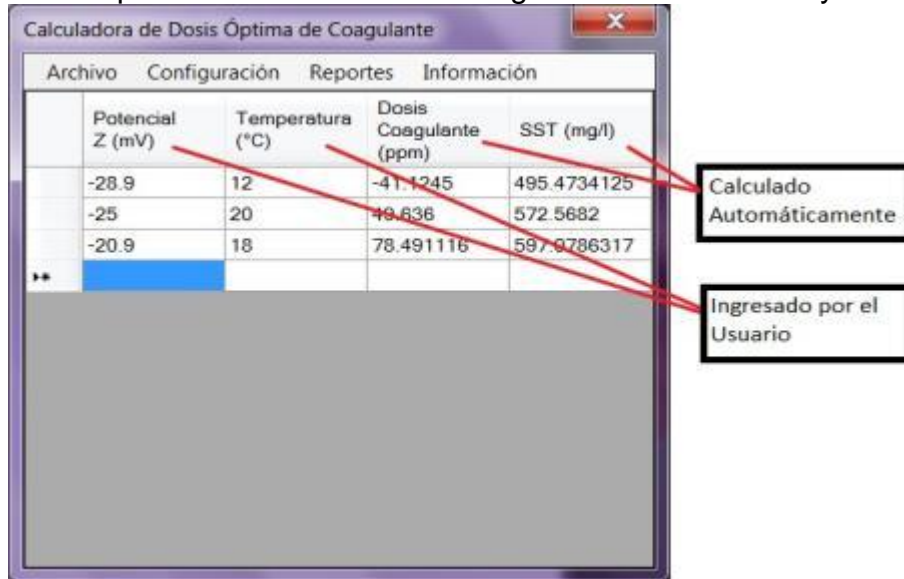
Figura 15. Ventana Principal de la Aplicación



Fuente: Autores, 2009

Mediante esta ventana el usuario ingresa los valores anteriormente mencionados y el sistema de manera automática realiza los cálculos pertinentes para determinar las dosis óptimas de coagulante y los sólidos suspendidos basados en las ecuaciones determinadas en el proceso de análisis del presente proyecto.

Figura 16. Descripción de los Procesos de Ingreso de Información y cálculos

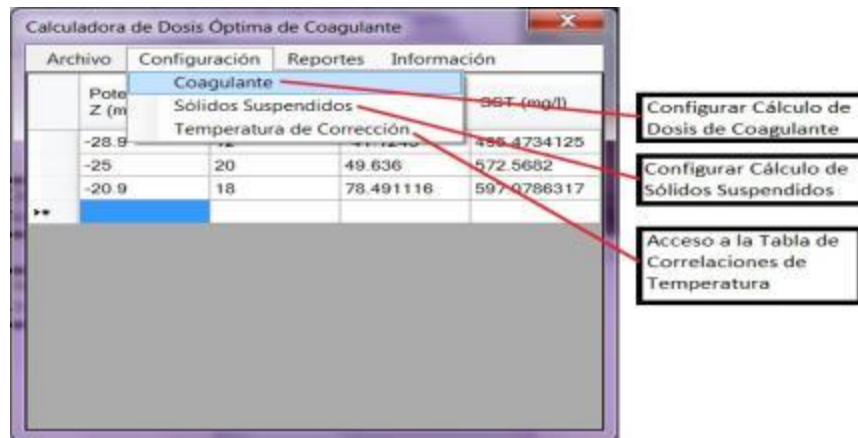


Fuente: Autores, 2009

Además de esta funcionalidad la aplicación provee los siguientes servicios:

- Configuración de la ecuación para la determinación de la dosis óptima de coagulante.
- Configuración de la ecuación para la determinación de sólidos suspendidos.
- Consulta de Correlaciones de Temperatura.

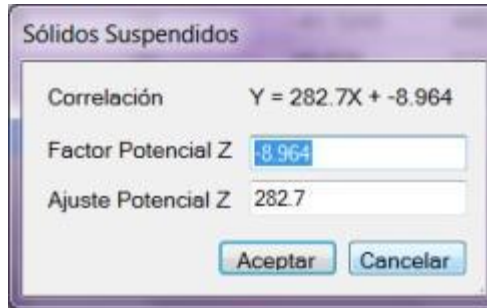
Figura 17. Servicios Ofrecidos por la Aplicación



Fuente: Autores, 2009.

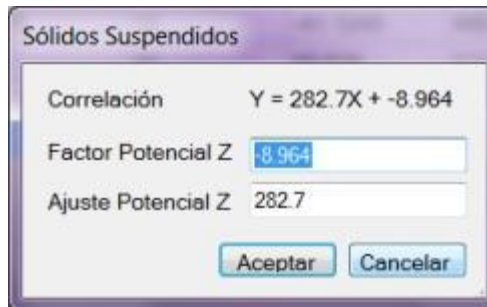
Para cada una de las ecuaciones que utiliza el sistema existe un servicio de edición que le permite al usuario ingresar valores personalizados con el fin de potencializar la experimentación

Figura 18. Edición de la Ecuación de Cálculo de Dosis Óptima de Coagulante



Fuente: Autores, 2009.

Figura 19. Edición de la Ecuación de Cálculo de Sólidos Suspendidos



Fuente: Autores, 2009.

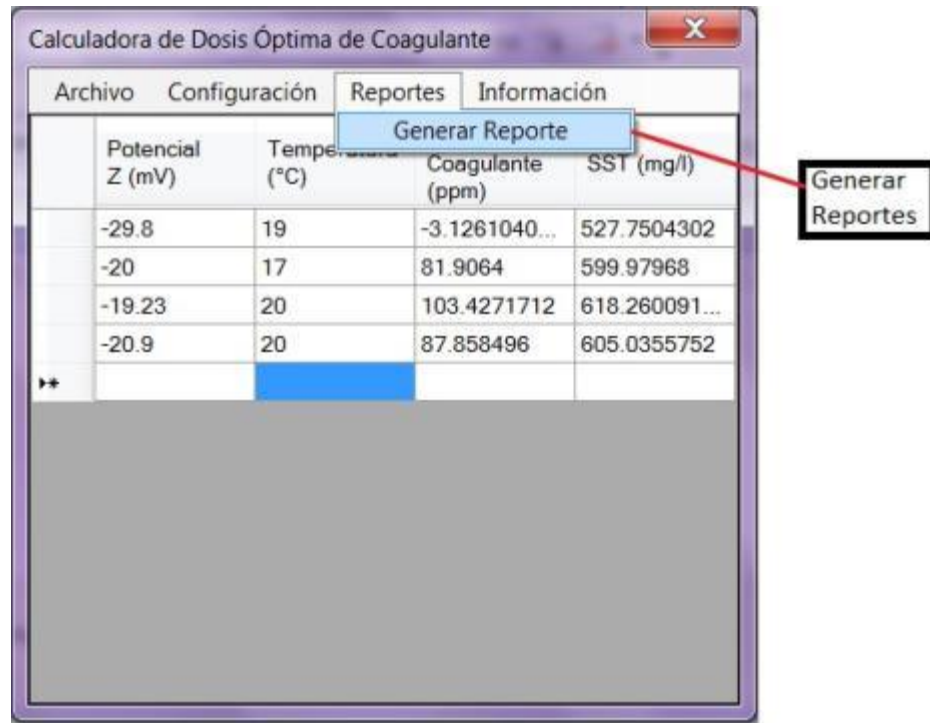
Figura 20. Tabla de Consulta de la Correlación de Temperatura

Temperatura	Correlacion
1	1.64
2	1.61
3	1.57
4	1.53
5	1.48
6	1.45
7	1.42
8	1.38
9	1.35
10	1.3
11	1.28
12	1.25
13	1.22
14	1.19
15	1.16
16	1.14
17	1.12
18	1.09

Fuente: Autores, 2009.

Finalmente la aplicación provee el servicio de generación de reportes a partir de los análisis realizados.

Figura 21. Menú de Generación de Reportes



Fuente: Autores, 2009.

Figura 22. Reporte del Análisis



Fuente: Autores, 2009

Con el manejo de la herramienta se procedió a calcular las dosis que van hacer aplicadas a la operación y su comprobación a través de ensayo de jarras, a partir de la aplicación de la herramienta estadística (t-student).

8. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE CARULLA VIVERO S.A.

Para la optimización del proceso de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A. se realizó un análisis estadístico de comparación de remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), entre los SST removido por la planta de agua potable y los SST que a nivel experimental fueron removidos por la realización del Test de Jarras.

8.1 CRITERIO BASE

La comparación estadística de porcentaje de remoción de SST se tendrá en cuenta como factor criterio base, y dos condiciones de control del experimento, los cuales son:

- Eficiencia de remoción de SST entre los tratamientos, porque es la variable que es objeto del proyecto, factor criterio base.
- Réplica de gradientes y tiempo de sedimentación para el Test de Jarras como factor de control del experimento.
- La dosis de coagulantes que son aplicados tanto en la planta de agua potable como a nivel experimental (test de Jarras), es factor de control del experimento.

Para el primer criterio se elaboró un análisis estadístico de prueba de hipótesis, mientras que para los dos criterios faltantes fueron factores de control del experimento.

8.2 PROCEDIMIENTO PRUEBA DE HIPÓTESIS

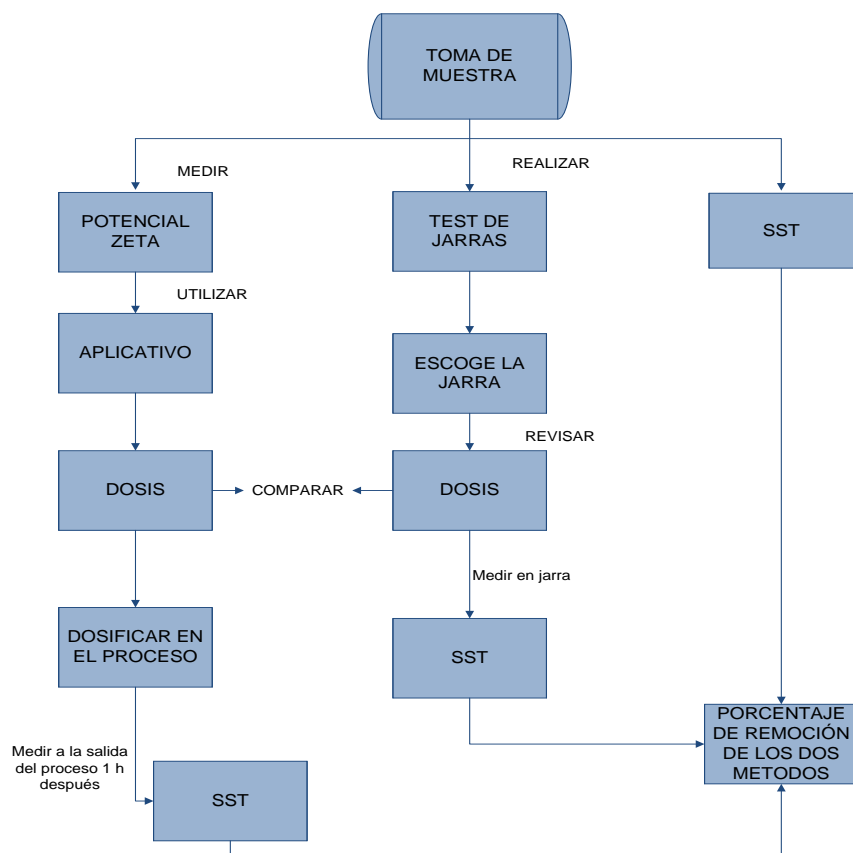
Para realizar la prueba de hipótesis, se estableció una suposición o afirmación acerca de los valores estadísticos, denominados parámetros, para evaluar y tomar una decisión de acuerdo a una base matemática. A continuación se establecen los parámetros de la prueba y el procedimiento de la toma de decisión.

Se propone comparar la eficiencia en la remoción en SST entre lo que se presenta en planta y la réplica de test de jarras en la operación unitaria de coagulación-floculación de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A. Para asegurar si efectivamente hay diferencia entre lo real y la parte experimental aceptada (test de

Jarras). El procedimiento que se siguió para establecer la efectividad es el siguiente:

- Se tomo la muestra de agua cruda a la cual se le tomo su potencial Zeta y se le midió la cantidad de SST.
- se hallo la dosis óptima por medio del aplicativo.
- Se dosifico en planta y se realizó un ensayo de jarras con diferentes concentraciones de coagulante y se escogió la mejor dosis.
- Se tomo muestra de agua a la salida de la operación pasado 1 hora ya que este es el tiempo que tarda el agua en pasar por la operación, a la cual se midieron los SST y a la mejor Jarras del test se le mide la cantidad de SST.
- Se realizaron 20 ensayos de comparación, uno cada 6 horas ósea 2 al día que presentaron diferentes condiciones de tratabilidad.

Figura 23. Procedimiento para la optimización de proceso de coagulación-floculación.



Fuente: Autores, 2009.

Entonces se plantea una pregunta ¿Existe alguna diferencia entre el porcentaje de remoción SST, que se representa a nivel experimental (test de jarras) y la

operación coagulación-floculación de la planta de potabilización de agua de Carulla Vivero S.A.?

A continuación se plantea el siguiente procedimiento para dar respuesta a anterior cuestionamiento, por medio de un modelo estadístico llamado t student debido a que el número de muestras es inferior a 30 y su intervalo de confianza tiene una sola cola:

- Se establece la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

$$H_0 \rightarrow \mu_X = \mu_Y$$

$$H_a \rightarrow \mu_X > \mu_Y$$

Donde:

H_0 = Hipótesis nula (El porcentaje de remoción de SST son iguales en la operación coagulación-floculación de la planta de potabilización y a nivel experimental test de jarras).

H_a = Hipótesis Alternativa (El método de jarras presenta mayor porcentaje de remoción de SST que lo reflejado en la operación de coagulación-floculación de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A.)

μ_X = Media muestral de SST de la operación coagulación-floculación de la planta de tratamiento de Carulla Vivero S.A.

μ_Y = Media muestral de SST del Test de Jarras.

- Se asume un nivel de significancia $\alpha = 0.01$, para darle grado de precisión al resultado de la prueba de hipótesis.
- Se determinan los estadígrafos de dispersión (Varianza, desviación típica muestral), a partir de la tablas 9*.
- Ecuación utilizada para el cálculo de % de remoción de SST y los datos son presentado en la tabla 9.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{SST \text{ de entrada} - SST \text{ salida}}{SST \text{ de entrada}} * 100$$

* Las tablas de resultados de eficiencia de remoción de SST fue dividida en grupos de 5 muestras por organización del documento.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de la eficiencia de remoción de SST, en tablas con grupos de 5 muestras.

Tabla 9 Resultados de eficiencia de remoción de SST para muestras de agua.

Número de muestra		1	2	3	4	5
		Planta de agua Potable				
Potencial Zeta	Milivoltios	-23,922	-23,144	-26,774	-24,570	-25,218
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	68	75	43	63	57
SST Inicial	mg/L	586	592	564	581	576
SST Final	mg/L	90	77	120	40	62
% Remoción	%	84,6	87,0	78,7	93,1	89,2
		Test de Jarras				
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	70	80	50	60	70
SST Final	mg/L	88	90	108	48	63
% Remoción	%	85,0	84,8	80,9	91,7	89,1

Fuente: Autores, 2009.

Número de muestra		6	7	8	9	10
		Planta de agua Potable				
Potencial Zeta	Milivoltios	-26,126	-24,700	-23,274	-24,181	-25,737
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	49	61	74	66	52
SST Inicial	mg/L	569	580	591	584	572
SST Final	mg/L	75	39	68	102	100
% Remoción	%	86,8	93,3	88,5	82,5	82,5
		Test de Jarras				
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	60	60	60	70	60
SST Final	mg/L	69	51	42	92	94
% Remoción	%	87,9	91,2	92,9	84,2	83,6

Fuente Autores, 2009.

Número de muestra		11	12	13	14	15
		Planta de agua Potable				
Potencial Zeta	Milivoltios	-24,311	-23,663	-24,829	-23,014	-23,922
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	65	71	60	76	68
SST Inicial	mg/L	583	588	579	593	586
SST Final	mg/L	123	103	88	107	48
% Remoción	%	78,9	82,5	84,8	82,0	91,8
		Test de Jarras				
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	60	70	60	80	70
SST Final	mg/L	107	109	91	99	37
% Remoción	%	81,6	81,5	84,3	83,3	93,7

Fuente: Autores,2009.

Número de muestra		16	17	18	19	20
		Planta de agua Potable				
Potencial Zeta	Milivoltios	-24,440	-23,922	-24,959	-24,051	-24,440
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	64	68	59	67	64
SST Inicial	mg/L	582	586	578	585	582
SST Final	mg/L	45	59	71	73	82
% Remoción	%	92,3	89,9	87,7	87,5	85,9
		Test de Jarras				
Dosis de coagulante + floculante	mg/L	70	70	60	70	70
SST Final	mg/L	50	60	82	74	83
% Remoción	%	91,4	89,8	85,8	87,4	85,7

Fuente: Autores, 2009

- Resultado de aplicación de la prueba t-student por medio de Microsoft office Excel para ver procedimiento de cálculo (ver anexo H).

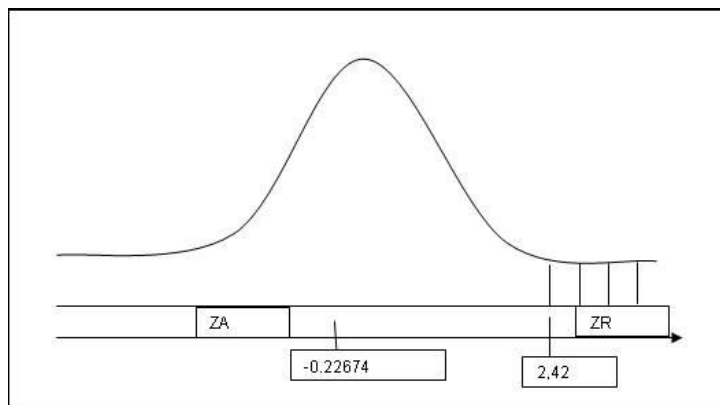
Tabla 10. Análisis de Varianza (Excel)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>Operación planta</i>	<i>Mejor Jarra del test</i>
Media	86,48250	86,78376
Varianza	19,49938	15,80552
Observaciones	20,0	20,0
Varianza agrupada	17,65245	
Grados de libertad	38,0	
Estadístico t	-0,22674	
Valor crítico de t (una cola)	2,42857	

Fuente: Autores, 2009.

- Construcción de la grafica valores críticos donde se ubica la zona de rechazo (ZR) y zona de aceptación (ZA)

Figura 24. Distribución de valores críticos



Fuente: Autores ,2009

- Comparación de de valores entre lo estadístico y valor crítico para la toma de decisión y que hipótesis es la aceptada

Como la prueba estadística de $t = -0,22674$ y el valor crítico $t_{0,01,38} = 2,42$, entonces se dice que $t < V_c$, es decir que la prueba estadística se encontró en la zona de aceptación (ZA), por lo tanto se acepta la hipótesis nula (H_0) que dice “El porcentaje de remoción de SST son iguales en la operación coagulación-floculación de la planta de potabilización y a nivel experimental test de jarras”. Por ello se establece que el método de medición y de Potencial Zeta es aceptado para hallar la dosis óptima de coagulante para el agua tratada por la Planta.

8.3. COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Durante todo el desarrollo del proyecto, se evidenció ciertas diferencias entre los dos procedimientos utilizados en la experimentación, por lo tanto se presenta a continuación una descripción de tres parámetros importantes (tiempo, aplicabilidad e interferencias) con lo cual se evidencia la eficiencia de los procedimientos.

8.3.1 Evaluación Cualitativa de los métodos experimentales

En el cuadro 6 se presenta una descripción detallada de cada uno de los métodos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Cuadro 5 Evaluación cualitativa de Métodos Experimentales

	Test de Jarras	Zeta Meter	Eficiencia entre los dos métodos
Tiempo	El tiempo empleado para este procedimiento tarda alrededor de de 60 a 90 minutos ya que las experimentaciones van desde rangos amplios de concentración de coagulante hasta llegar a un rango mucho menor y poder hallar así la dosis óptima del producto.	El tiempo empleado es alrededor de 20 minutos ya que las cargas electrostáticas del agua permiten que la medición sea más rápida ya que con solo tres repeticiones de la muestra se obtiene un valor promedio que es relacionado con la dosis óptima de coagulante.	Es más eficiente el equipo Zeta Meter ya que requiere de menos tiempo de experimentación y de menos repeticiones en cada muestra.
Aplicabilidad	Este método es aplicable para agua residual, doméstica e industrial. Es un método útil para hallar dosis, sin embargo es un poco dispendioso.	Este método es aplicable no solo para todo tipo de agua sino también para la medición de otros medios tales como suelo, hidrocarburos, diferentes minerales entre otros.	Es más aplicable es equipo Zeta Meter ya que tiene más campos de acción en temas ambientales.
Interferencias	En este método hay ciertas interferencias tales como; Incorrecta preparación de la solución madre. Al hacer la dosificación de forma manual pueden presentarse errores debido a la inexacta toma de volúmenes. La calibración del equipo puede interferir en los procesos de clarificación. Inadecuada interpretación del índice de Willcomb.	Este método presenta ciertas interferencias como : Descalibración del equipo. Puede existir interferencia en la medición si la observación de la partícula en movimiento no corresponde a la escala en la cual esta calibrado el equipo. El mantenimiento de los electrodos de la celda son muy importantes al momento de hacer la medición.	Las interferencias del procedimiento de jarras arrojan más errores de experimentación a comparación de las mediciones tomadas en el equipo Zeta Meter

Fuente: Autores, 2009.

Los resultados de la evaluación muestran que, los beneficios ofrecidos por los dos sistemas son muy similares. Ambos pueden ser utilizados para buscar una dosis óptima de productos químicos y lograr una eficiencia igual, y si bien la operación del proceso con el equipo Zeta Meter es más eficiente gracias a la cantidad de muestra que requiere para la realización del ensayo y a los cortos tiempos de comprobación, esta situación se puede revertir en el momento de manipular el equipo ya que este necesita de una capacitación básica para evitar errores en la medición. Sin embargo la principal ventaja de la medición de potencial zeta es la disminución ostensible de muchos aspectos que pueden llegar a ser molestos con el proceso convencional (Test de Jarras), tales como el espacio requerido de operación, y sus cortos tiempos de trabajo, seguida de la posibilidad de estandarizar el tratamiento bajo unas condiciones operativas que consigan una alta eficiencia con igual confiabilidad sin la necesidad de una supervisión constante.

8.3.2 Evaluación Cuantitativa de los métodos utilizados

Para el desarrollo de esta evaluación se tomaron ciertos criterios para la evaluación de los métodos trabajado en este proyecto.

Los Criterios seleccionados fueron:

- **Tiempo:** El cual tiene influencia directa en cuanto a la duración y ajustes que se deben hacer cuando cambian las condiciones del agua. Los valores depende que a menor tiempo mayor va hacer el grado de calificación, porque entre menor tiempo mayor va hacer el grado de eficiencia de la planta.
- **Interferencias:** Ya que los métodos utilizados tienen ciertas interferencia que pueden causar errores en la medición. Los valores de penden de numero de interferencias que se pueden presentar en cada método y tomando el mayor valor el que presente más de 6 interferencias.
- **Aplicabilidad:** La aplicabilidad depende de que mas campos de acción tiene la técnica utilizada para el desarrollo de investigaciones. Los valores van en aumento en cuanto mas campos de acción tenga el método.

A continuación se presentan en la tabla 11 los valores de referencia para calificar el método en cuanto a los parámetros (tiempo, aplicabilidad, interferencias).

Tabla 11 Cuantificación de factores

TIEMPO		INTERFERENCIAS	
De 0 a 20 min	7	De 0 a 2	1
De 21 a 30 min	5	De 3 a 5	2
De 31 a 40 min	3	Más de 6	4
Más de 40 min	1		
APLICABILIDAD			
Agua			1
Agua y Suelo			3
Agua, Suelo , Hidrocarburos			6
Agua, Suelo, Hidrocarburos y Minerales.			9

Fuente: Autores, 2009.

Teniendo los criterios de evaluación se procedió a calificarlos y sumar las calificaciones para llegar a comparar estos valores. Sabiendo que el valor más alto tiene mayor eficiencia en cuanto los parámetros descritos.

Tabla 12 Evaluación Cuantitativa de los factores

	Test de Jarras	Zeta Meter 3.0+
Tiempo	1	7
Aplicabilidad	1	9
Interferencias	2	2
Suma	4	18

Fuente: Autores, 2009.

El procedimiento de mayor eficiencia es el equipo Zeta Meter 3.0+ ya que el resultado de la calificación en cuanto Tiempo, Aplicabilidad e Interferencias es 18 puntos, siendo más alto que la calificación obtenida por el Test De Jarras que fue de 4 puntos.

Finalmente después de analizar las técnicas y su aplicabilidad en tema de coagulación-floculación se evidenció que esta técnica responde a los requerimientos operacionales de una planta de agua potable de lo cual se precisa como método eficiente y seguro en la dosificación de los productos químicos utilizados en el proceso.

9. CONCLUSIONES

- La evaluación de los parámetros (Alcalinidad, Turbiedad, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, Amonio y Fosfatos) hecha a través de las herramientas estadísticas (SAS 9.0 y SPSS) arrojó como resultado, que los parámetros medidos en el agua tratada no tiene ninguna influencia en la toma de Potencial Zeta ya que el factor de corrección R^2 para el modelo que involucra a todos los parámetros medidos es 0.39, el cual es bajo ya que no dan una explicación del comportamiento del potencial en las muestras tomadas en Carulla Vivero S.A..
- Se realizaron las correlaciones entre el potencial y cada uno de los parámetros por separado, encontrando que R^2 estaban en un rango (-0.22 , 0.39) para los diferentes modelos de lo cual ninguno se acerca a uno, como para aceptarlo como variable que influenciara el valor del potencial.
- La evaluación de los Sólidos Suspendidos Totales dio como resultado que por cada valor de sólidos le corresponde un valor de Potencial Zeta debido a que el R^2 es 0.947 evidenciando que este valor se acerca a 1 para aceptar su reciprocidad de relación directa con la función $f(x)$ con una gráfica que tiene un comportamiento de regresión lineal positivo, por ende se explica de que al aumentar el valor de potencial se aumenta el valor de SST presentes en la muestras de agua de Carulla Vivero S.A.
- La obtención de la dosis de producto químico necesaria para el proceso de coagulación-floculación se basó en la neutralización de la carga negativa que posee el agua con la carga positiva que tiene el coagulante Policloruro de Aluminio (PACL).
- Se planteó una correlación matemática que explica el comportamiento de las diferentes contracciones de coagulante y el Potencial Zeta medido, dando como resultado la siguiente función $f(x) = -8.964x + 282.7$ con coeficiente de correlación R^2 0.984 el cual está muy cercano a uno, comprobando que la ecuación da una explicación de las variables involucradas.
- La correlación matemática hallada para la concentración de sólidos suspendidos con el Potencial Zeta está dado por la siguiente función $f(x) = 7.614x + 770.5$, dando como resultado que para cada potencial zeta medido con el equipo, le corresponde un valor de sólidos presente en el agua utilizada por Carulla Vivero S.A.
- El diseño de la herramienta de análisis facilitó el cálculo de la concentración de producto químico que se debe mantener en el agua para que haya una desestabilización de los coloides y puedan ser removidos por el método de

decantación utilizado por la planta de en Carulla Vivero S.A. ya que sin esta herramienta el cálculo de la dosis se haría por medio de una grafica lo cual sería dispendioso y poco practica, trayendo como consecuencia que el personal tendría que estar capacitado para su uso.

- La optimización del proceso se basó en el uso de la herramienta como medio para calcular la concentración de producto químico (PACL) y la cantidad de sólidos presentes en la muestra, dando como resultado que para un potencial Zeta medido en el agua de -24.5 y con una temperatura de 20 °C, la concentración de sólidos suspendidos totales presentes en el agua es de 576,5 ppm y una concentración de producto químico a mantener en el agua de 55 ppm de PACL que garantice la desestabilización de los coloides.
- Los porcentajes de remoción de SST en la planta se mantuvieron en un rango de 75-95%, esto indica que el uso del Potencial Zeta como parámetro para la desestabilización de cargas es eficiente en la reducción de sólidos presente en el agua tratada por la planta de Carulla Vivero. S.A.
- Se efectuó la optimización del proceso de coagulación-floculación por medio de la herramienta estadística (t-student) con un intervalo de confianza de 95% y un nivel de significancia $\alpha = 0.01$, en el cual el análisis de la varianza dio como resultado la comprobación de la hipótesis nula (El porcentaje de remoción de SST son iguales en la operación coagulación-floculación de la planta de potabilización y a nivel experimental ensayo de jarras), ya que el valor estadístico calculado dio bajo la curva de la campana y en la zona de aceptación.
- Se planteó un manual del equipo Zeta Meter 3.0+, especificando los componentes y los pasos que debe seguir el usuario para su correcto funcionamiento, este manual se basó en imágenes reales y no diagramas de flujo de difícil entendimiento por parte de las personas encargadas de su manipulación en la empresa Carulla Vivero S.A.

RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos de Potencial Zeta en diferentes pozos aledaños perteneciente al Acuífero Guadalupe, para llevar a cabo un análisis comparativo de comportamientos de Potencial Zeta y SST, ya que los pozos presentan diferentes profundidades y valores de parámetros fisicoquímicos los cuales pueden tener alguna relación con los sólidos que lleva el agua y su respectivo potencial.
- Realizar la toma de muestras cada hora para la verificación de las condiciones cambiantes del agua, con el fin de ajustar los valores de la concentración de producto químico que desestabilizan los coloides presentes en el agua.
- Se recomienda la adquisición del equipo Zeta Meter 3.0+ por parte de Carulla Vivero S.A, para realizar controles específicos sobre el proceso ya que el agua utilizada debe cumplir con lo exigido por la Resolución 2115/07.
- Experimentar con diferentes coagulantes para determinar el comportamiento del Potencial Zeta y su aplicabilidad al tratamiento de aguas, ya que hay diferencia entre los productos químicos que son utilizados para agua natural, superficial y residual.
- Medir Potencial Zeta a diferentes floculantes, para evaluar el ajuste que se generan en la aglomeración de partículas. Porque al igual que los coagulantes estos se comportan diferente con respecto al agua tratada y al producto químico utilizado como desestabilizante de coloides.
- Implementar este proyecto para agua superficial y agua residual, para verificación de las cargas que poseen, a través de la medición con el equipo Zeta Meter 3.0+ ya que no existe un registro o proyecto en Colombia sobre la utilización de este sistema de medición.
- Es necesario para el desarrollo de futuras investigaciones, se tenga en cuenta el análisis estadístico de correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y el Potencial Zeta, porque a través de estas relaciones se puede verificar si existen correlaciones de parámetros en otro tipo de agua que no se trabajo en este proyecto.
- El manejo del equipo Zeta Meter 3.0+ debe ser manipulado por una persona que tenga la capacitación necesaria para su operación, ya que este instrumento cuenta con piezas delicadas que pueden ser mal operadas y por ende el equipo puede arrojar datos erróneos de Potencial Zeta.

- Desarrollar un proyecto en el cual se involucre la medición de diferentes pozos con el fin de generar mapas tendenciales de Potencial Zeta de la formación de Guadalupe a través de la Geoestadística y SIG.
- En futuras investigaciones se recomienda que además de la medición de parámetros fisicoquímicos, se debería involucrar las mediciones de coliformes fecales y materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, Carlos. Modelo de Automatización para La Planta de Tratamiento de agua potable La Laguna, perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Bogotá, 2003, 194p. Trabajo de Magister. Universidad de los Andes.

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del agua. 3 ed. Bogotá: Mc Graw Hil, Acodal, 2000. 793p.

ÁVILA DUQUE, Luz Marina. Dinámica del Material Particulado en Redes de Agua Potable a Alta Presión. Medellín, 2005, 320p. Trabajo de Investigación. Universidad Pontificia Bolivariana.

CAÑAS, Hugo. Hidrogeología de las cuencas de los ríos Muña, Soacha y Tunjuelito. Bogotá, 1992, 167p. Estudio Hidrogeológico cuantitativo. Ingeominas.

EDOSPINA S.A, Manual de operaciones de. Bogotá, Colombia: Carulla Vivero S.A, 1996. 78p.

FAJARDO, Sergio, DÁVILA, Alexandra, Desestabilización de Coloides para la Purificación del Agua, Palmira, 2005, 204p. Trabajo de grado (Facultad de Ingeniería Ambiental).Universidad Nacional.

GLYNN, Henry. Coagulación y floculación de contaminantes de agua [libro en CD-ROOM] México: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2001. 1 CD-ROM

GONZÁLEZ, Rosalina. Construcción y Puesta En Marcha de Un Sistema Tipo "Zeta Meter" con Celda de Riddick, para la Medición le las Cargas Electroestáticas en el Proceso de Coagulación - Floculación del Agua Residual de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, 2006, 70p Trabajo de Investigación. Universidad de La Salle

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. 2 Ed. México: Limusa Willey, 2005. 685p

MONTGOMERY, Douglas, Probabilidad y estadística, 2 Ed. Limusa Willey, 2006. 817p

BIOSCIENCES Ltda. Técnicas de Medición y Tratamiento de Agua [en línea]. <http://www.esi.com.co/B&C.pdf>> [citado el 18 de Octubre de 2008]

MANTILLA, Cesar. PEDRAZA, Julio, LAVERDE, Dionisio, Utilización de estudio de Potencial Zeta en el desarrollo de un proceso alternativo de flotación de mineral

Feldespático. En: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe. [En línea]. Vol. 75 No. 154. Marzo, 2008. Disponible en <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49615408>> [citado el 21 de Octubre de 2008].

ROBLES FABIÁN, Daniel Antonio. Modelos Estadísticos 1998 [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-multiple/regresion-multiple.shtml>> [citado el 10 de Mayo de 2009]

RUEDA, Orfely María. Evaluación de la Vulnerabilidad del Agua Subterránea bajo Cauca Antioqueño. En: Avances en Recursos Hidráulicos [en línea] No 13, Mayo, 2006. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/viewFile/9340/9983> [citado el 23 de Enero de 2009]

WESTERHOFF, Paul. The Fate, Transport, Transformation, and Toxicity of Manufactured Nanomaterials in Drinking Water [en línea] http://epa.gov/ncer/publications/workshop/10_26_05/b33westerhoff.pdf [citado el 18 de Octubre de 2008]

ANEXOS

ANEXO A MATERIALES Y EQUIPOS

A continuación se describe los reactivos y materiales de laboratorio utilizados en este proyecto.

- pH metro de sensor con temperatura marca Hanna HI 8314
- Equipo para Test de Jarras marca Flocculation.
- Jeringas de 5 y 10 ml
- Balanza Analítica Digital.
- Fotómetro Nanocolor marca FI 100.
- Estufa
- Desecador
- Equipo de Filtración
- Capsulas de porcelana medianas
- 4 Beaker 1000 ml
- Bureta de 25 ml
- Pipeta Volumétrica de 10 ml
- Pipeteador
- Probeta 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Acido Sulfúrico 0.02 N
- Naranja de Metilo
- Reactivo para Amonio
- Reactivo para Hierro total
- Reactivo para Nitritos
- Reactivo para Nitratos
- Reactivo para sulfatos
- Reactivo para Fosfatos
- Agua Destilada
- Batas, guantes, careta, gafas
- Recipientes para traslado de la muestra frascos de muestras de orina de 100ml.
- Equipo Zeta Meter 3.0+.
- 2 Balón aforado de 100 mL
- Pipeta de 1ml
- Pipeteador
- Agua destilada
- Coagulante Policloruro de Aluminio.
- Polimero cationico 1025
- Toallas de papel
- Elementos de seguridad.

ANEXO B GENERALIDADES DEL POZO Y OPERACIÓN

ANEXO C MEMORIA DE CÁLCULO

Pérdida para mezcla rápida:

- Cálculo de pérdidas para el codo a 90° en acero

Ecuación utilizada:

$$H_L = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad (1)$$

Donde:

K = Cte por el accesorio codo 90° acero es 0.9

V = Velocidad en el accesorio m/s

g = Aceleración de la gravedad m/s²

Calcula de velocidad con la ecuación

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal que maneja la planta m³/s

A = Área de sección transversal del tubo m²

$$V = \frac{0,0057 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * (1,5m)^2} = 0,7 \frac{m}{s} \quad (2)$$

Sustituyendo este valor en ecuación 1 se obtiene el valor de la perdida.

$$H_L = 0,9 * \frac{(0,7 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$
$$H_L = 0,023 m$$

- Cálculo de la pedida por tubería:

Ecuación utilizada:

$$H_L = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * D^5 * g}$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción 0,09

L = longitud de la tubería que son 2,9 m

Q = Caudal tratado por la planta m³/s

D = Diámetro de la tubería que es 4 in

g = Aceleración de la gravedad m/s²

$$H_L = \frac{8 * 0,09 * 2,9 m * \left(0,0057 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 * (0,0057 m)^5 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_L = 0,066 m$$

La pérdida total es la suma de las perdidas parciales

$$\begin{aligned}
 H_T &= H_1 + H_2 \\
 H_T &= 0,023 \text{ m} + 0,066 \text{ m} \\
 H_T &= 0,09
 \end{aligned}$$

De lo cual se desprende que para el cálculo del gradiente que maneja la mezcla rápida de la planta de potabilización de Carulla Vivero S.A,

$$\begin{aligned}
 G &= 3114,64 * \sqrt[2]{\frac{H}{t}} \\
 G &= 3114,64 * \sqrt[2]{\frac{0,09 \text{ m}}{2 \text{ s}}} \\
 G &= 660,7 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

Para la réplica en el Test de Jarras se utilizo la siguiente ecuación propuesta por arboleda 2000.

$$G = \sqrt[2]{\frac{P}{\mu V}} \quad (1)$$

Donde:

G= Gradiente s^{-1}

P= Potencia Kwatt

μ = coeficiente de viscosidad Kg.s/m^2

V= Volumen m^3

$$P = n^3 * cte \text{ paletas} * \delta * r^5_{\text{impulso } r} \quad (2)$$

Donde:

P= Potencia watt

n= Revoluciones por segundo.

δ = Densidad Kg/m^3

r= radio del paleta m

Despejando se obtiene NO SE ESCRIBE EN 1ª PERSONA SINO EN 3A

$$n = \sqrt[3]{\frac{G^2 * V * \mu}{cte * \delta * r^5 * 1000}}$$

$$n = 1,6628 \text{ RPS}$$

$$n = 100 \text{ RPM}$$

- Cálculo de Volumen para mezcla lenta.

Cálculo del volumen del tanque donde se presenta la mezcla lenta.

$$\begin{aligned}
 V &= \text{Altura} * \text{Area} \\
 V &= \text{altura} * \frac{\pi}{4} * D^2 \\
 V &= 1 \text{ m} * \frac{\pi}{4} * (1,5 \text{ m})^2 \\
 V &= 1,76 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$G = 112 * \sqrt{\frac{1,16 * (1 - 0,25)^3 * 0,333^3 * 0,4 * 1 * 1^3}{1,76}}$$

$$G = 28,69 \text{ s}^{-1}$$

Este valor es replicado en la jarras por medio de la aplicación de ecuación utilizada en el numeral anterior.

$$\begin{aligned}
 n &= \sqrt[3]{\frac{G^2 * \nabla * \mu}{cte * \delta * r^5 * 1000}} \\
 n &= 0,2056 \text{ RPS} \\
 n &= 13 \text{ RPM}
 \end{aligned}$$

ANEXO D RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN

- Tabla 1. Tabla de Resultados de la experimentación mes de abril.

FECHA		ABRIL							
		13	15	17	20	22	24	27	29
HORA		10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
PÁRAMETRO	Unidades								
Alcalinidad	mg/l	420	450	425	410	410	470	415	420
Turbiedad	NTU	25	21	34	22	32	34	31	19
SST	mg/l	600,29	605,34	598,85	568,54	598,12	586,58	590,19	620,49
Hierro	mg/l	5,3	5,1	4,3	4,4	5,2	5,0	4,9	5,2
Amonio	mg/l	15,3	15,2	14,5	14,7	13,5	13,2	15	14,8
NO2	mg/l	0,2	0,18	0,25	0,22	0,19	0,17	0,18	0,14
NO3	mg/l	12	11,5	13,2	12,6	11,5	12,4	10,4	10
PO4	mg/l	7,27	7,01	6,25	6,1	5,12	5,96	5,6	5,2
SO4	mg/l	25	25	16	16	50	50	34	34
Potencial Zeta									
Media de 10 mediciones	milivoltios	-22,5	-23,7	-21,4	-25,9	-23,17	-23,86	-22,96	-18,87
Media de 10 mediciones	milivoltios	-21,2	-24,5	-22,01	-24,72	-24	-25,1	-20,87	-22,06
Media de 10 mediciones	milivoltios	-21,82	-25,43	-22,7	-26,52	-22,29	-23,71	-24,98	-20,21
Media de 3 lecturas		-21,84	-24,54	-22,04	-25,71	-23,15	-24,22	-22,94	-20,38
Varianza		0,4228	0,7496	0,4230	0,8361	0,7312	0,5820	4,2234	2,5657
Desviación estandar		0,6502	0,8658	0,6504	0,9144	0,8551	0,7629	2,0551	1,6018

Fuente: Autores, 2009.

- Tabla 2. Resultados de la experimentación del mes de mayo.

FECHA		MAYO											
		4	6	8	11	13	15	18	20	22	25	27	29
HORA		10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
PÁRAMETRO	Unidades												
Alcalinidad	mg/l	435	420	400	440	432	440	419	425	405	460	465	430
Turbiedad	NTU	28	29	40	31	22	15	20	27	30	33	25	21
SST	mg/l	622,65	617,60	619,05	609,67	621,93	637,81	607,50	642,86	619,05	624,10	612,00	663,00
Hierro	mg/l	5	4,7	5,3	4,9	5,6	5,3	4,5	4,7	4,4	5,1	5,7	4,6
Amonio	mg/l	14,7	15,2	14,3	14,3	15,2	14,6	15,3	15,1	14,7	14	13,9	13,5
NO2	mg/l	0,15	0,12	0,1	0,12	0,13	0,17	0,2	0,23	0,17	0,22	0,21	0,25
NO3	mg/l	10,2	9,8	9,3	9,3	12,3	11,9	11	10,9	10,1	9,8	9,5	10,6
PO4	mg/l	9,7	8,52	7,12	6,56	5,15	5,78	8,8	8	7,9	7,5	6,9	7,3
SO4	mg/l	63	63	21	21	23	27	33	39	45	40	55	50
Potencial Zeta													
Media de 10 mediciones	milivoltios	-19,22	-19,32	-19,85	-20,12	-20,1	-16,3	-21,6	-16,98	-19,34	-19,8	-20,83	-14,12
Media de 10 mediciones	milivoltios	-22,12	-22,12	-19,18	-21,35	-19,88	-19,4	-20,4	-16,38	-18,75	-19,5	-20,63	-12,94
Media de 10 mediciones	milivoltios	-20,81	-21,89	-19,65	-22,23	-18,95	-18,41	-21,89	-15,92	-19,6	-18,61	-19,13	-13,53
Media de 3 lecturas		-20,72	-21,11	-19,56	-21,23	-19,64	-18,04	-21,30	-16,43	-19,23	-19,30	-20,20	-13,53
Varianza		2,1090	2,4163	0,1183	1,1232	0,3726	2,5070	0,6240	0,2825	0,1897	0,3830	0,8633	0,3481
Desviación estandar		1,4523	1,5544	0,3439	1,0598	0,6104	1,5834	0,7900	0,5315	0,4355	0,6189	0,9292	0,5900

Fuente: Autores, 2009.

- Tabla 3. Resultados de la experimentación del mes de junio.

FECHA		JUNIO					
		1	3	5	8	10	12
HORA		10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
PÁRAMETRO	Unidades						
Alcalinidad	mg/l	450	420	425	410	400	445
Turbiedad	NTU	29	18	24	30	27	23
SST	mg/l	593,00	611,00	603,00	625,00	639,00	617,00
Hierro	mg/l	5	5,5	4,3	4,7	4,8	5,3
Amonio	mg/l	14.1	14,7	14,5	14,5	14,1	14,3
NO2	mg/l	0,14	0,15	0,17	0,16	0,24	0,2
NO3	mg/l	10,3	11	11,5	11.8	12,3	12,8
PO4	mg/l	5,7	5,9	6	6,7	8,6	9,1
SO4	mg/l	51	29	37	29	22	40
Potencial Zeta							
Media de 10 mediciones	milivoltios	-22,5	-19,49	-22,13	-19,77	-16,44	-19,85
Media de 10 mediciones	milivoltios	-22,1	-21,9	-22,09	-18,49	-18,02	-20,98
Media de 10 mediciones	milivoltios	-23,3	-20,21	-22,17	-20,45	-17,45	-20,97
Media de 3 lecturas		-22,63	-20,53	-22,13	-19,57	-17,30	-20,60
Varianza		0,3733	1,5304	0,0016	0,9904	0,6402	0,4219
Desviación estandar		0,6110	1,2371	0,0400	0,9952	0,8001	0,6495

Fuente: Autores, 2009.

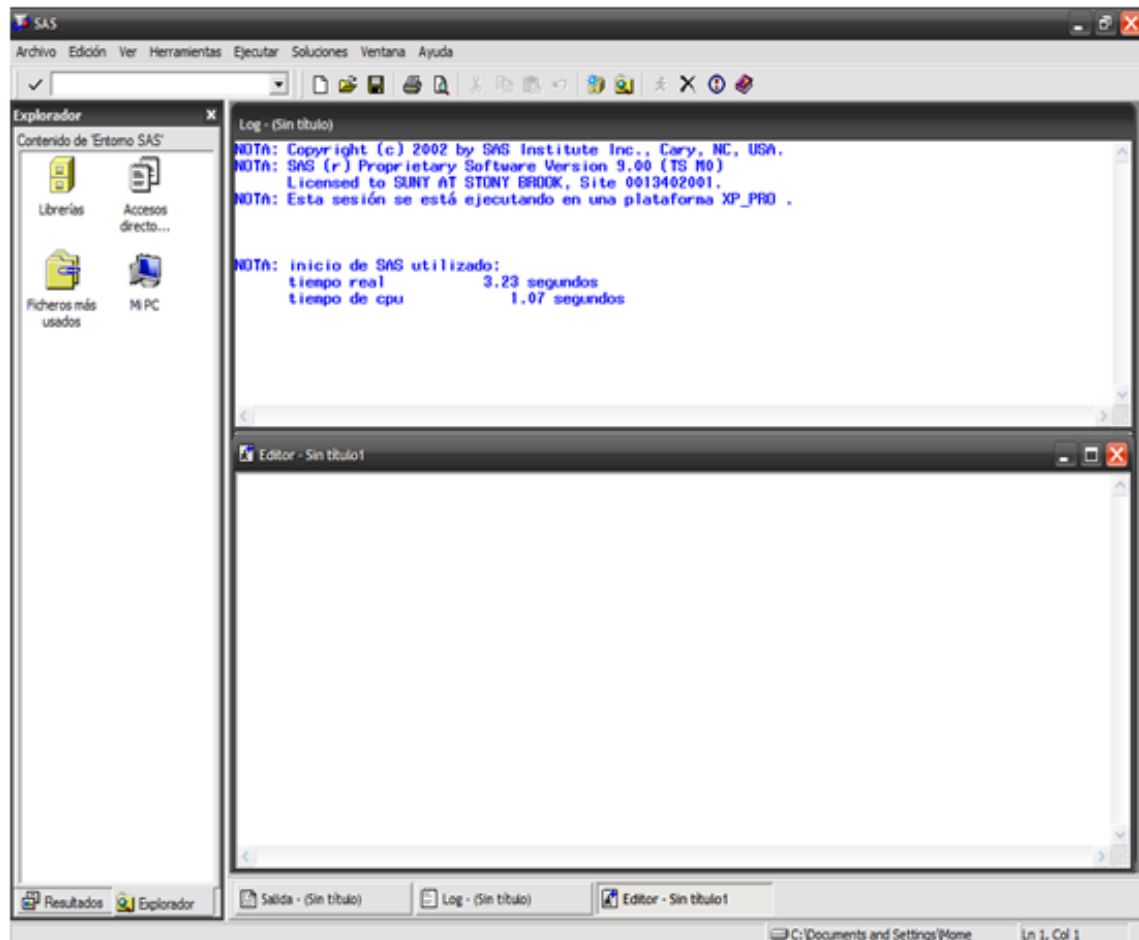
ANEXO E. PROCEDIMIENTO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

1. Procedimiento para la determinación del Análisis de Varianza utilizando la aplicación SAS 9.0 para el desarrollo de regresión múltiple.

- Paso 1: Ingresar al aplicativo y configurar una nueva sesión de análisis:

-

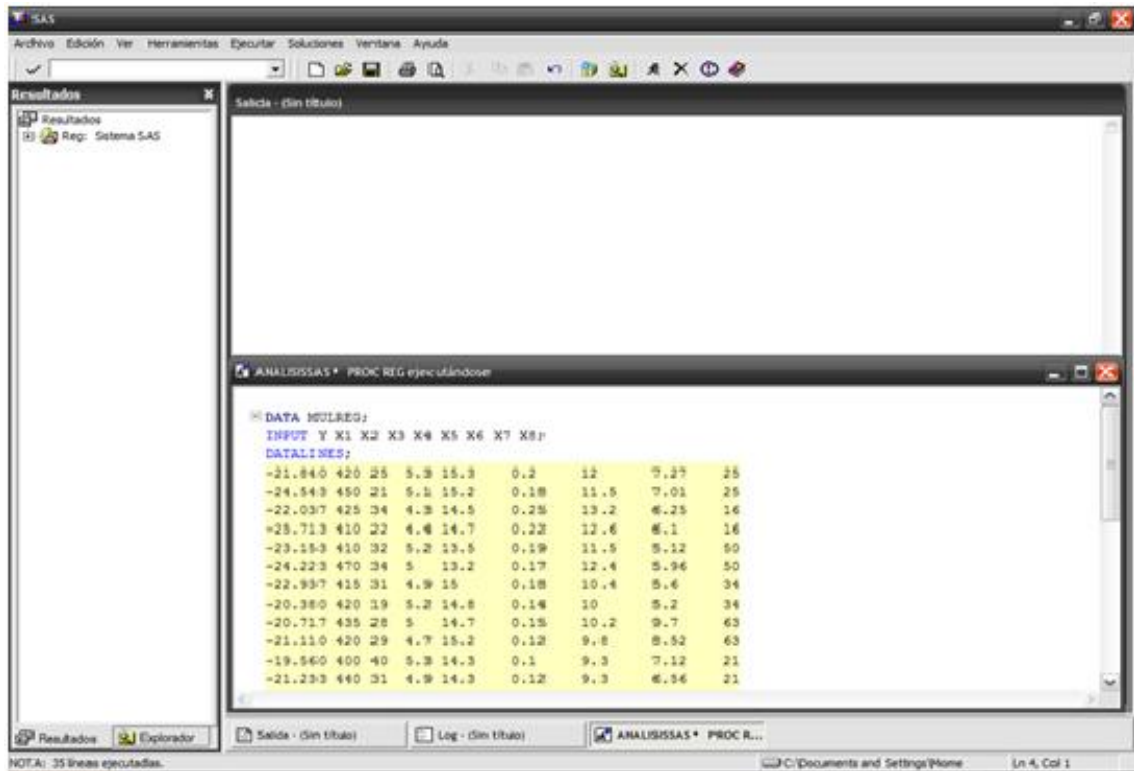
Figura 1: Ventana de Inicio SAS 9.0



Fuente: Autores, 2009.

Paso 2: Ingreso y configuración de las variables de entrada necesarias para realizar el análisis:

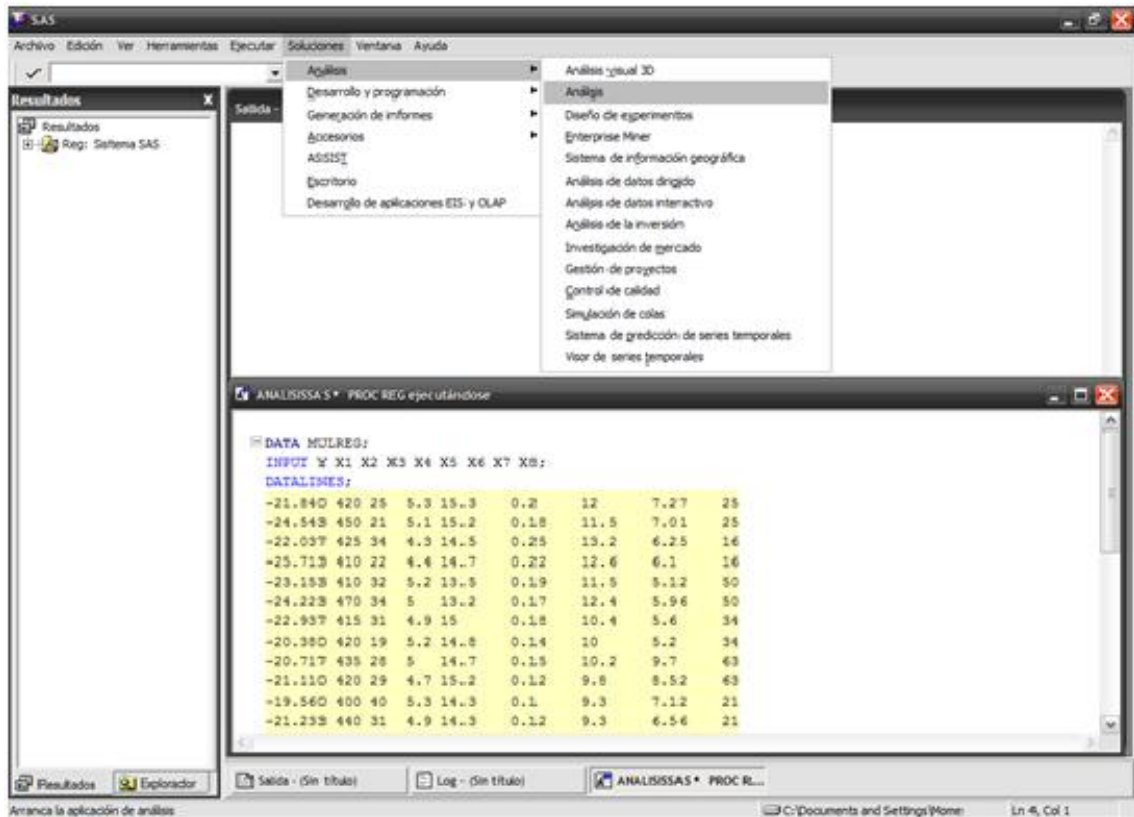
Figura 2: Ingreso y configuración de las variables de entrada.



Fuente: Autores, 2009.

Paso 3: Ejecutar el procedimiento para realizar el reconocimiento de los datos y el análisis posterior.

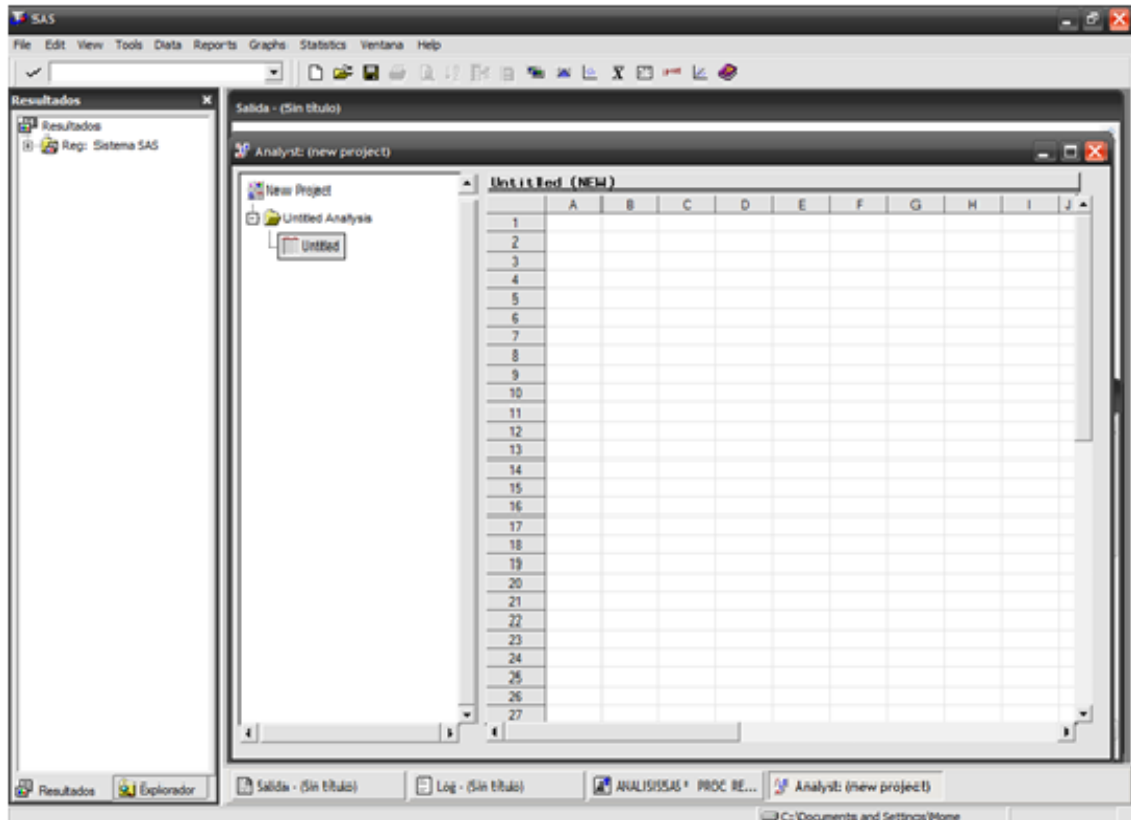
Figura3. Ejecutar el reconocimiento de datos y el análisis posterior.



Fuente: Autores, 2009.

Paso 4: Cambiar a la vista de la plantilla de reconocimiento de datos:

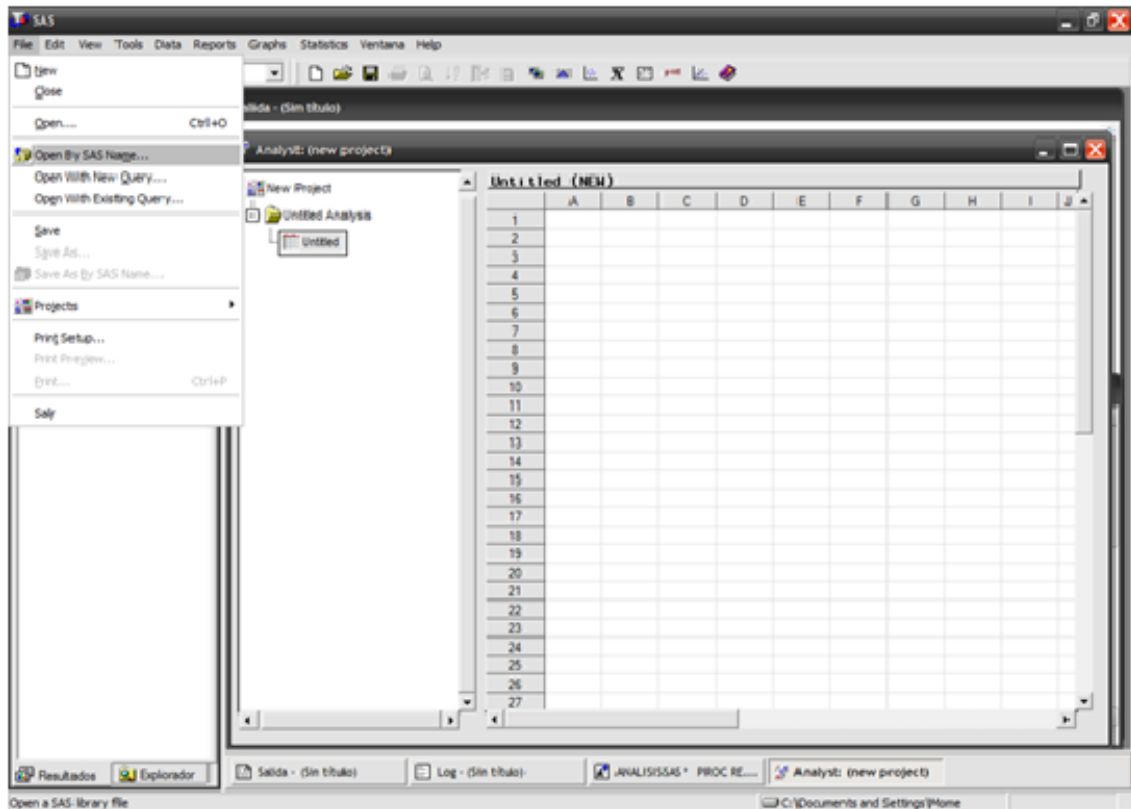
Figura 4: Ingreso y configuración de las variables de entrada.



Fuente: Autores, 2009.

Paso 5: Seleccionar la opción del menú **Archivo** que permite abrir un archivo por el nombre de SAS:

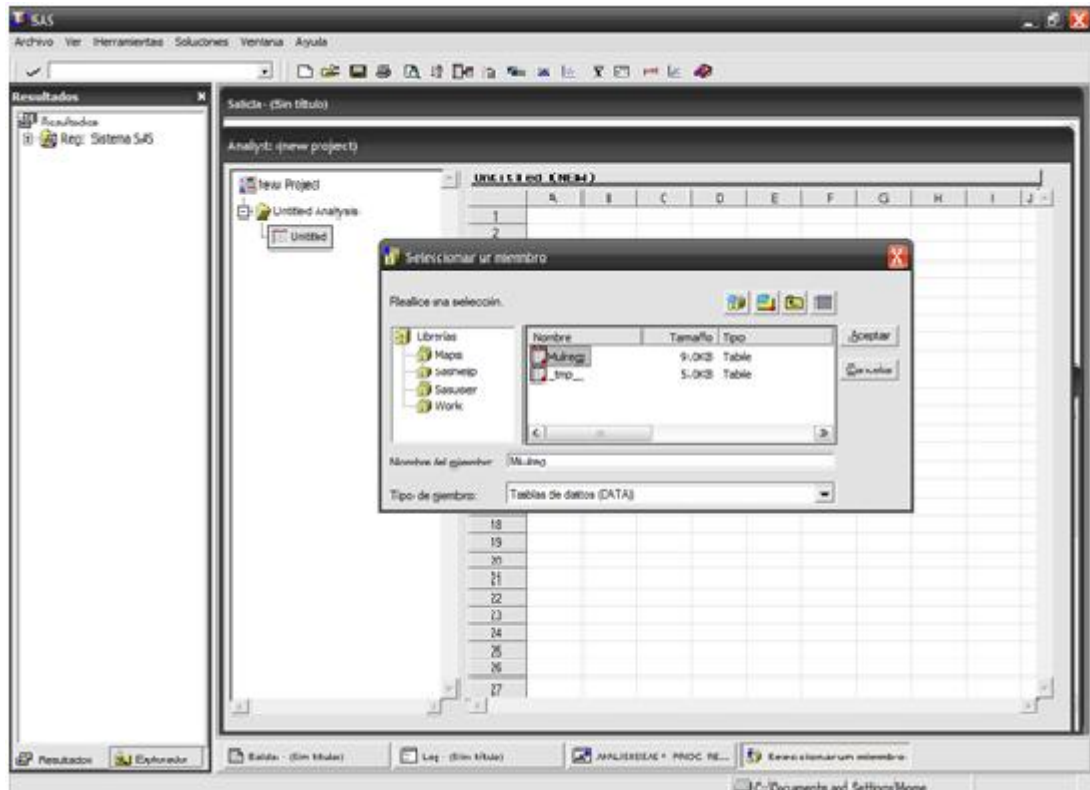
Figura 5: Menú abrir archivo por nombre SAS



Fuente: Autores, 2009.

Paso 6: Seleccionar de la ventana desplegable el archivo **Mulreg**, con el que se va a realizar el análisis:

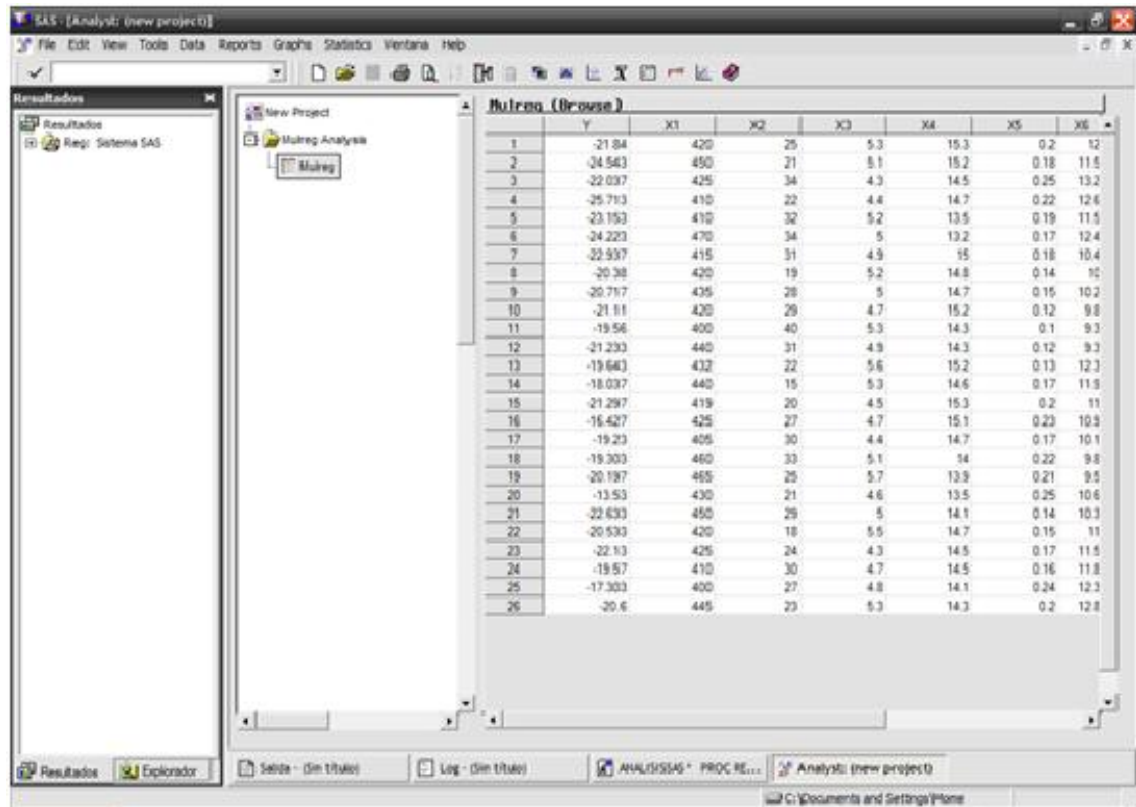
Figura 6: Seleccionar archivo Mulreg



Fuente: Autores, 2009.

Paso 7: Los datos se cargan en la plantilla de análisis de datos:

Figura 7: Carga de datos en la plantilla de análisis de información.



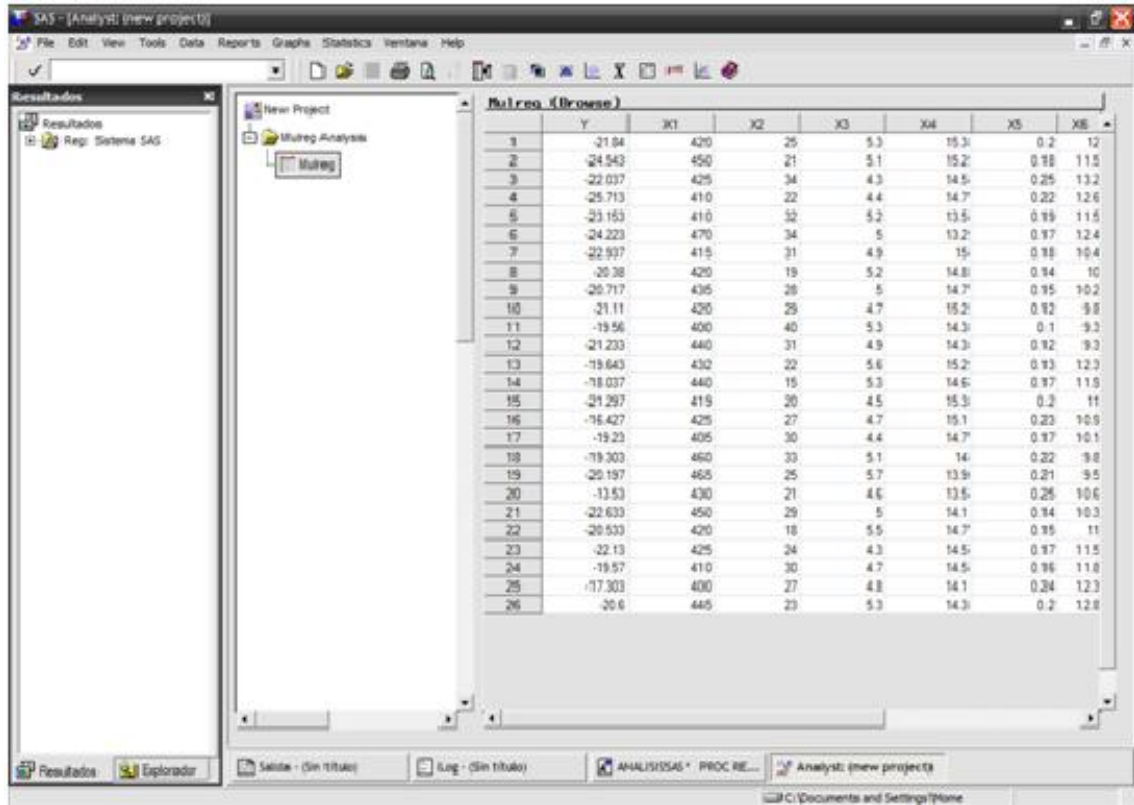
The screenshot displays the SAS software interface. On the left, there are panels for 'Resultados' and 'New Project'. The main window shows a data table titled 'Muestra (Grupos)'. The table has 7 columns: Y, X1, X2, X3, X4, X5, and X6. The data is as follows:

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	-21.84	420	25	5.3	15.3	0.2	12
2	-34.543	450	21	5.1	15.2	0.18	11.5
3	-22.037	425	34	4.3	14.5	0.25	13.2
4	-25.713	410	22	4.4	14.7	0.22	12.6
5	-23.153	410	32	5.2	13.5	0.19	11.5
6	-24.223	470	34	5	13.2	0.17	12.4
7	-22.557	415	31	4.9	15	0.18	10.4
8	-20.38	420	19	5.2	14.8	0.14	10
9	-20.717	435	28	5	14.7	0.15	10.2
10	-21.11	420	29	4.7	15.2	0.12	9.8
11	-19.56	400	40	5.3	14.3	0.1	9.3
12	-21.230	440	31	4.9	14.3	0.12	9.3
13	-19.643	432	22	5.6	15.2	0.13	12.3
14	-18.037	440	15	5.3	14.6	0.17	11.5
15	-21.297	419	20	4.5	15.3	0.2	11
16	-15.427	425	27	4.7	15.1	0.22	10.3
17	-19.25	405	30	4.4	14.7	0.17	10.1
18	-15.303	460	33	5.1	14	0.22	9.8
19	-20.197	455	25	5.7	13.9	0.21	9.5
20	-13.53	430	21	4.6	13.5	0.25	10.6
21	-22.633	455	25	5	14.1	0.14	10.3
22	-20.533	420	18	5.5	14.7	0.15	11
23	-22.13	425	24	4.3	14.5	0.17	11.5
24	-19.57	410	30	4.7	14.5	0.16	11.8
25	-17.303	400	27	4.8	14.1	0.24	12.3
26	-20.6	445	23	5.3	14.3	0.2	12.4

Fuente: Autores, 2009.

Paso 8: Se carga la información adicional requerida para realizar el análisis:

Figura 8: Ingreso de información adicional.



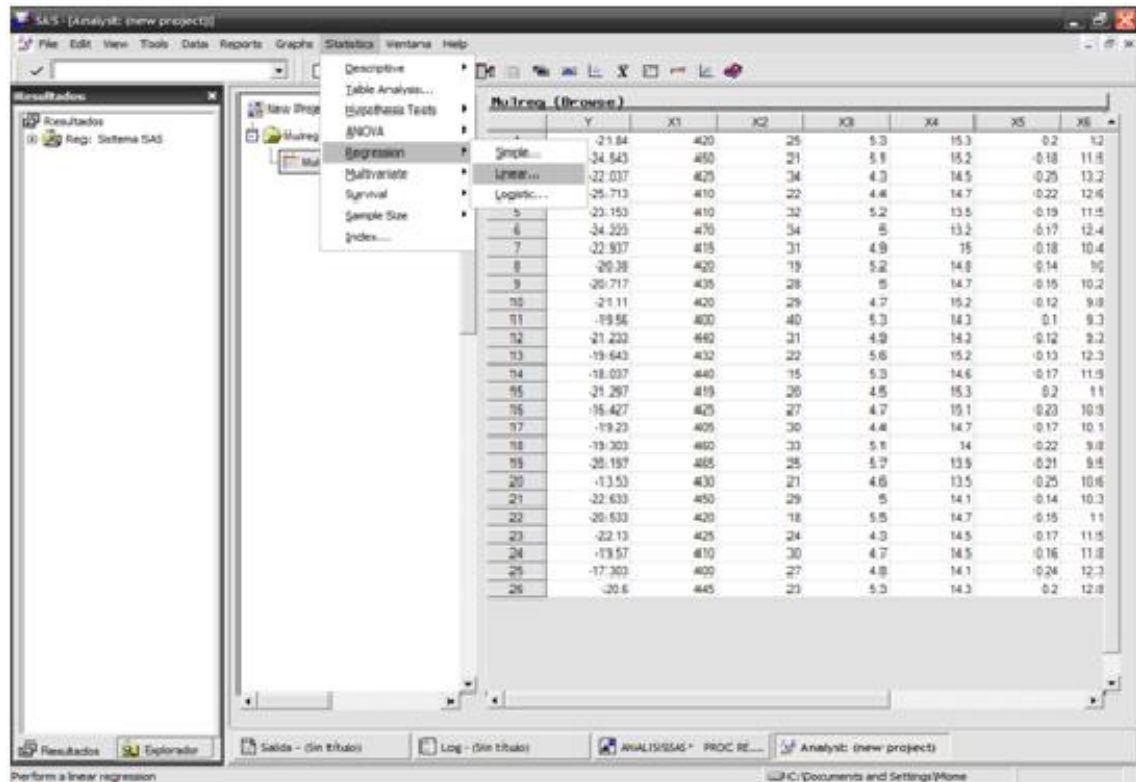
The screenshot displays the SAS Analyst interface. On the left, there is a 'Resultados' (Results) pane showing a tree view with 'Reg: Sistema SAS' and 'Mureg'. The main window shows a data table titled 'Mureg (Browse)'. The table has 7 columns: Y, X1, X2, X3, X4, X5, and X6. The data is as follows:

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	-21.84	420	25	5.3	15.3	0.2	12
2	-24.542	450	21	5.1	15.2	0.18	11.5
3	-22.037	425	34	4.3	14.5	0.25	13.2
4	-25.713	410	22	4.4	14.7	0.22	12.6
5	-23.153	410	32	5.2	13.5	0.19	11.5
6	-24.223	470	34	5	13.2	0.17	12.4
7	-22.937	415	31	4.9	15	0.18	19.4
8	-20.38	420	19	5.2	14.8	0.14	10
9	-25.717	435	28	5	14.7	0.15	10.2
10	-21.11	420	25	4.7	15.2	0.12	9.8
11	-19.56	400	40	5.3	14.3	0.1	9.3
12	-21.233	440	31	4.9	14.3	0.12	9.3
13	-19.643	430	22	5.6	15.2	0.13	12.3
14	-18.037	440	15	5.3	14.6	0.17	11.9
15	-21.297	415	20	4.5	15.3	0.2	11
16	-16.427	425	27	4.7	15.1	0.23	10.8
17	-19.23	405	30	4.4	14.7	0.17	10.1
18	-19.303	460	33	5.1	14	0.22	9.8
19	-20.197	465	25	5.7	13.9	0.21	9.5
20	-13.53	430	21	4.6	13.5	0.25	10.6
21	-22.633	450	29	5	14.1	0.14	10.3
22	-20.533	420	18	5.5	14.7	0.15	11
23	-22.13	425	24	4.3	14.5	0.17	11.5
24	-19.57	410	30	4.7	14.5	0.16	11.8
25	-17.303	400	27	4.8	14.1	0.24	12.3
26	-20.6	445	23	5.3	14.3	0.2	12.8

Fuente: Autores, 2009.

Paso 9: Se selecciona del menú de análisis estadístico la regresión lineal para las múltiples variables:

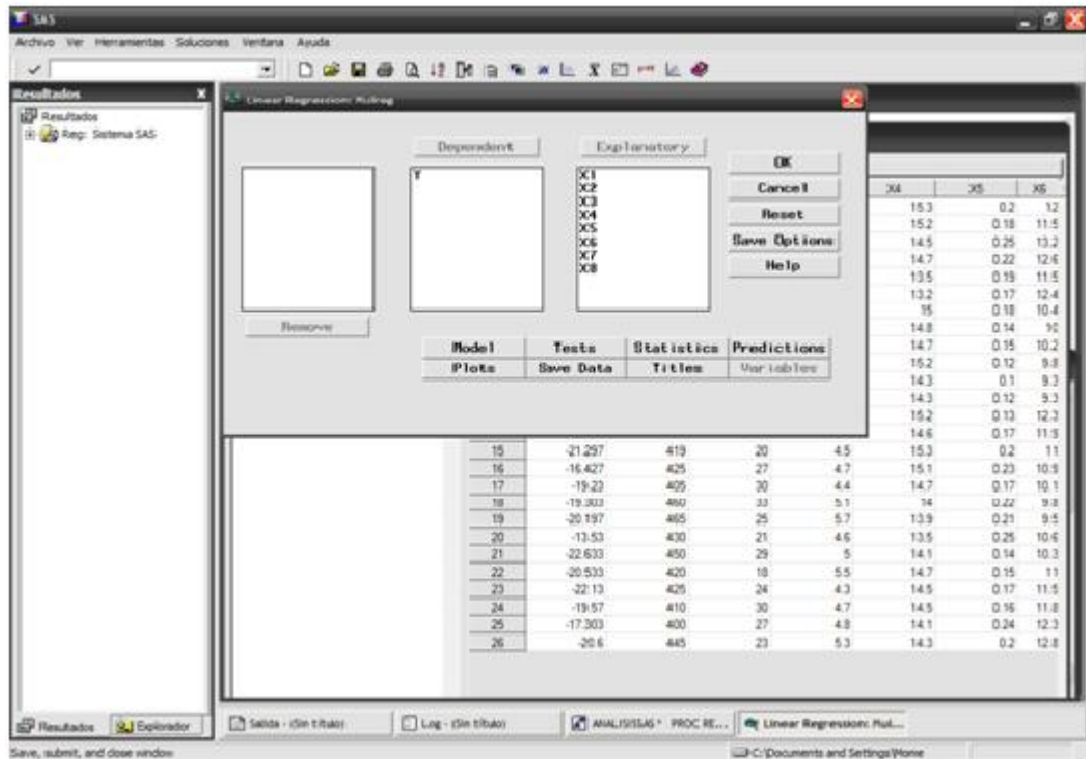
Figura 9: Ejecutar la regresión lineal.



Fuente. Autores, 2009.

Paso 10: En la ventana emergente se seleccionan los tests de colinealidad y la estadística descriptiva:

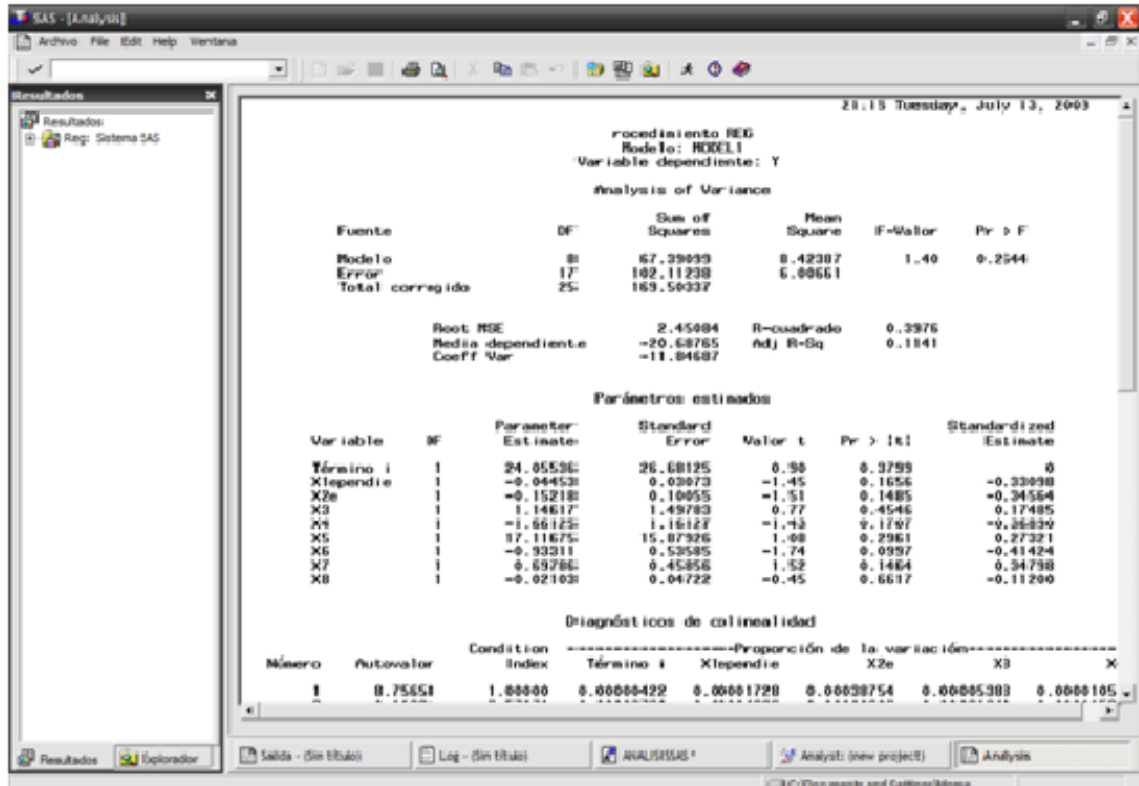
Figura 10: Selección de los test de colinealidad y estadística descriptiva.



Fuente. Autores, 2009.

Paso 11: La aplicación despliega la información de salida donde se aprecia la estadística descriptiva y las regresiones realizadas sobre las variables del análisis:

Figura 11. Resumen del análisis de regresión realizado.



Fuente: Autores, 2009.

2. Procedimiento para la determinación de la Regresión múltiple de variables utilizando la aplicación SPSS.

Paso 1: Ingreso de los datos en la plantilla de SPSS.

Figura 1. Procedimiento de ingreso de los datos a la plantilla.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Z	Std. Residual	Std. Residual	Std. Residual
1	430,000	25,000	5,300	15,300	0,200	12,000	7,270	25,000	(21,840)			
2	460,000	21,000	5,100	15,200	0,180	11,500	7,010	26,000	(24,543)			
3	425,000	34,000	4,300	14,500	0,250	13,200	6,250	16,000	(22,037)			
4	410,000	22,000	4,400	14,700	0,220	12,600	6,100	16,000	(25,713)			
5	410,000	32,000	5,200	13,500	0,190	11,500	5,120	60,000	(23,153)			
6	470,000	34,000	5,000	13,200	0,170	12,400	5,960	90,000	(24,223)			
7	415,000	31,000	4,900	15,000	0,180	10,400	5,600	34,000	(22,937)			
8	420,000	19,000	5,200	14,800	0,140	10,000	5,200	34,000	(20,380)			
9	435,000	28,000	5,000	14,700	0,150	10,200	9,700	63,000	(20,717)			
10	420,000	29,000	4,700	15,200	0,120	9,800	8,520	63,000	(21,110)			
11	400,000	40,000	5,300	14,300	0,100	9,300	7,120	21,000	(19,560)			
12	440,000	31,000	4,900	14,300	0,120	9,300	6,960	21,000	(21,233)			
13	432,000	22,000	5,600	15,200	0,130	12,300	5,150	23,000	(19,643)			
14	440,000	15,000	5,300	14,600	0,170	11,900	5,780	27,000	(18,037)			
15	419,000	20,000	4,500	15,300	0,200	11,000	8,800	33,000	(21,297)			
16	425,000	27,000	4,700	15,100	0,230	10,900	8,000	39,000	(16,427)			
17	405,000	30,000	4,400	14,700	0,170	10,100	7,900	45,000	(19,230)			
18	460,000	33,000	5,100	14,000	0,220	9,800	7,500	40,000	(19,303)			
19	465,000	25,000	5,700	13,900	0,210	9,500	6,900	55,000	(20,197)			
20	430,000	21,000	4,600	13,500	0,250	10,600	7,300	50,000	(13,530)			
21	450,000	29,000	5,000	14,100	0,140	10,300	5,700	51,000	(22,633)			
22	420,000	18,000	5,500	14,700	0,150	11,000	5,900	29,000	(20,533)			
23	425,000	24,000	4,300	14,500	0,170	11,500	6,000	37,000	(22,130)			
24	410,000	30,000	4,700	14,500	0,160	11,800	6,700	29,000	(19,570)			
25	400,000	27,000	4,600	14,100	0,240	12,300	8,600	22,000	(17,303)			

Fuente: Autores, 2009.

Paso 2: La aplicación toma las variables suministradas en intervalos y con sus respectivos valores.

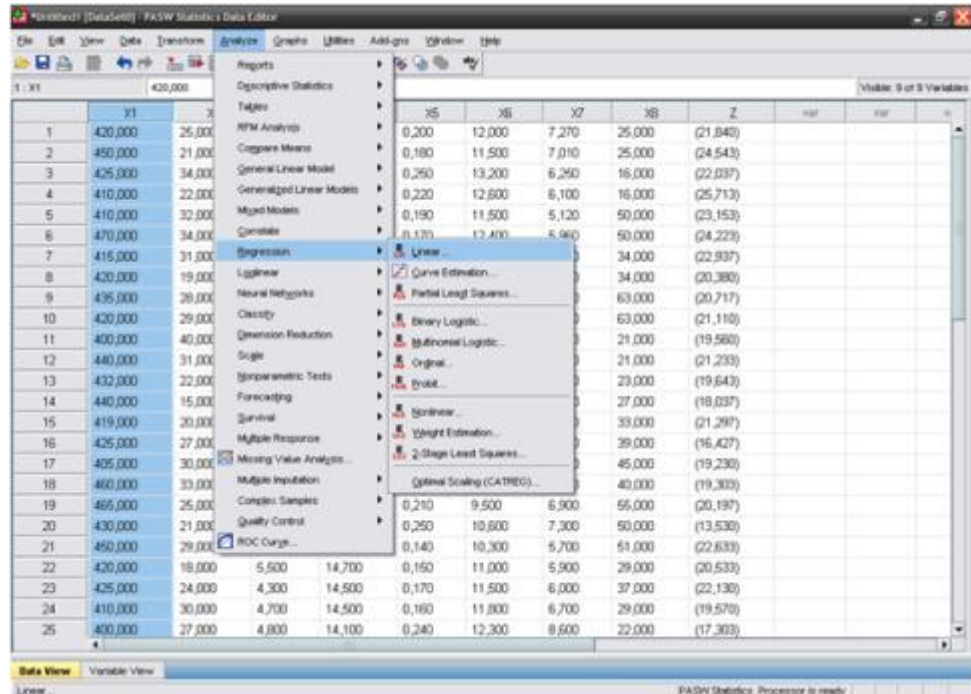
Figura 2: Verificación de las variables a ser usadas

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	X1	String	9	0		None	None	9	BE Left	Nominal
2	X2	String	8	0		None	None	8	BE Left	Nominal
3	X3	String	7	0		None	None	7	BE Left	Nominal
4	X4	String	8	0		None	None	8	BE Left	Nominal
5	X5	String	7	0		None	None	7	BE Left	Nominal
6	X6	String	8	0		None	None	8	BE Left	Nominal
7	X7	String	7	0		None	None	7	BE Left	Nominal
8	X8	String	8	0		None	None	8	BE Left	Nominal
9	Z	String	9	0		None	None	9	BE Left	Nominal
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										

Fuente: Autores, 2009.

Paso 3: Seleccionar analizar, luego regresión lineal para determinar la correlación de variables.

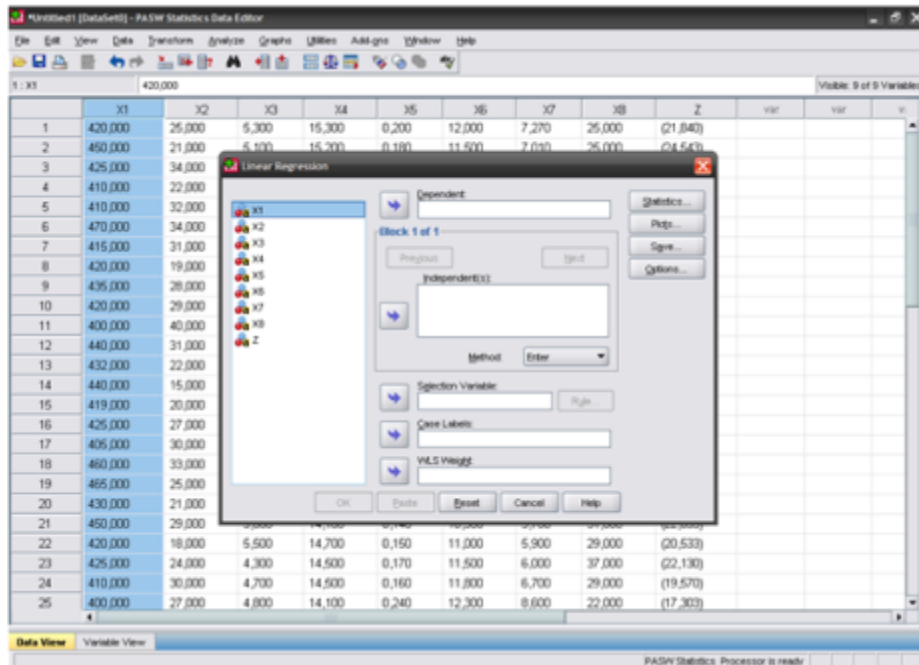
Figura 3: Asistente para realizar una regresión múltiple de las variables.



Fuente: Autores,2009.

Paso 4: Se realiza una regresión lineal para determinar las variables que son dependientes e independientes en la herramienta con la cual se puede categorizar.

Figura 4: Seleccionando las variables independientes y la variable dependiente



Fuente: Autores, 2009.

Paso 5: La herramienta SPSS permite tomar una herramienta estadística con la cual se desarrolla la regresión general.

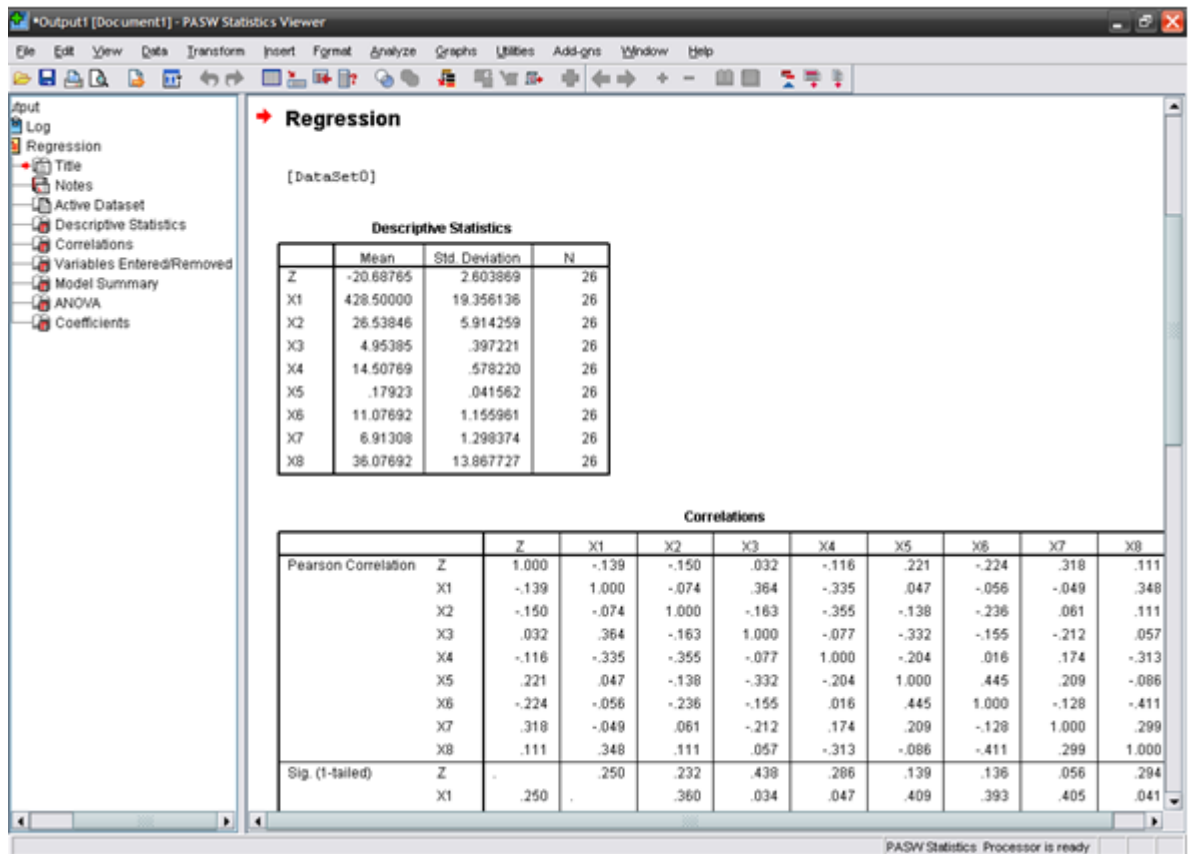
Figura 5: Seleccionando las estadísticas para ejecutar la regresión múltiple



Fuete: Autores, 2009.

Paso 6: Salidas de la descripción estadística y correlaciones entre variables.

Figura 6: Ventana de salida de la regresión.



ANEXO F EXPERIMENTACIÓN PARA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

Se experimentó con el equipo Test de Jarra, con diferentes rangos de concentraciones de Policloruro de Aluminio (PACL).

Condiciones de operación:

Mezcla rápida: 100 RPM, tiempo 2 segundos

Mezcla lenta: 13 RPM tiempo 15 minutos

Tiempo de sedimentación: 15 min.

Tabla 1. Experimentación 1 con SST iniciales de 569 mg/l

EXPERIMENTACIÓN 1					
Concentración mg/l	100	200	300	400	500
SST mg/l	85	124	104	141	135

Fuente: Autores, 2009.

Tabla 2. Experimentación 2 con SST iniciales de 587 mg/l

EXPERIMENTACIÓN 2					
Concentración mg/l	50	100	150	200	250
SST mg/l	70	85	121	116	109

Fuente: Autores, 2009.

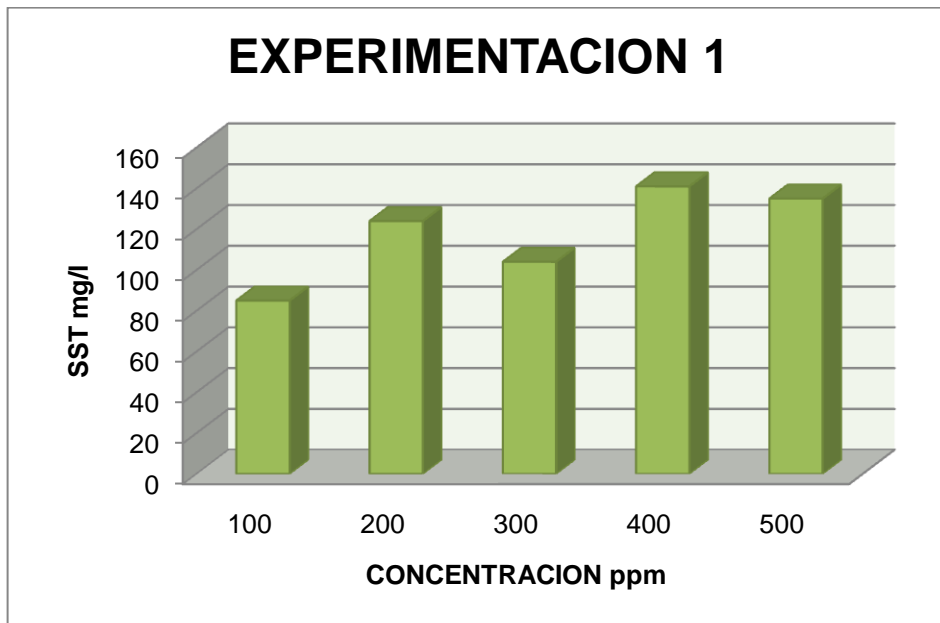
Tabla 3. Experimentación 3 con SST iniciales de 598 mg/l

EXPERIMENTACIÓN 3					
Concentración mg/l	20	40	60	80	100
SST mg/l	105	90	76	106	97

Fuente: Autores, 2009.

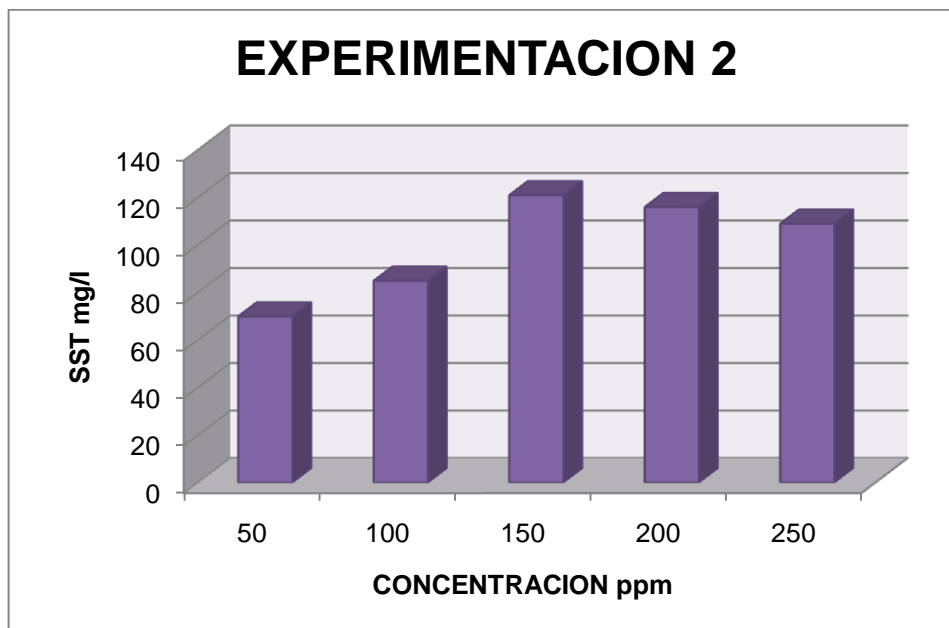
A partir de la experimentación con un rango definido de coagulante, se desarrollaron las graficas correspondientes a cada experimentación.

Grafica 1 Gráfica correspondiente a la experimentación 1.



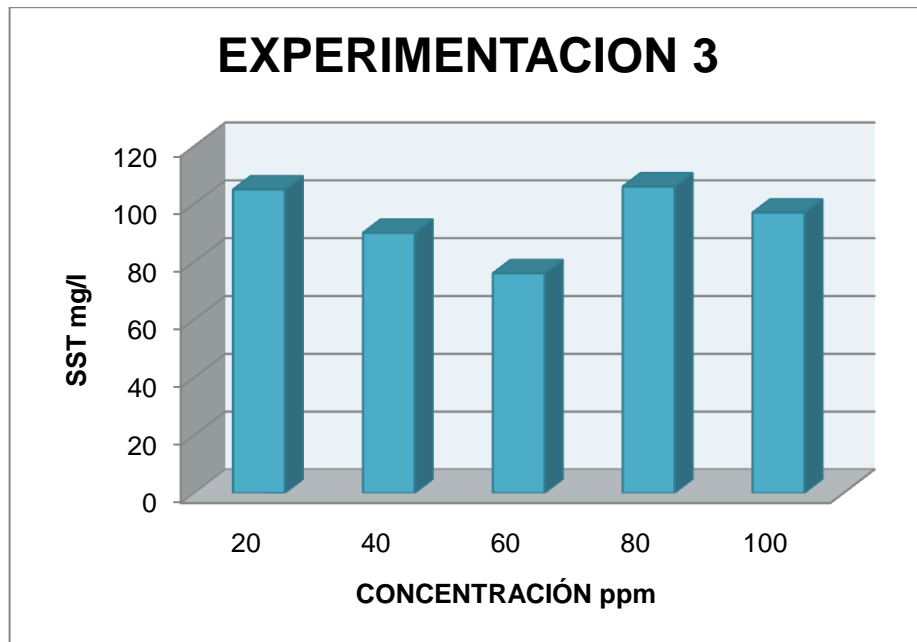
Fuente: Autores, 2009.

Gráfica 2. Gráfica correspondiente a la experimentación 2.



Fuente: Autores, 2009.

Gráfica 3. Gráfica correspondiente a la experimentación 3.



Fuente: Autores, 2009.

ANEXO G. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN

Se diseñó una calculadora de Dosis Óptima de Coagulante y SST, con el fin de automatizar el proceso de cálculo y para facilitar el análisis de dosis óptima de coagulante y el cálculo de sólidos en suspensión se desarrollo una aplicación que simplifica dichas tareas.

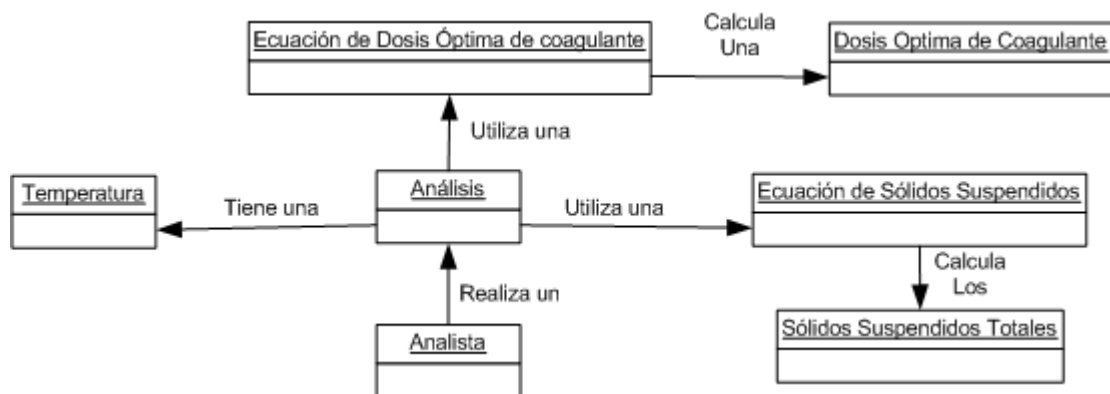
Calculadora De Dosis Óptima de Coagulante Descripción Funcional

Visión

La **Calculadora de Dosis Óptima de Coagulante** es una aplicación que facilita los cálculos de dosis óptima de coagulante y sólidos suspendidos totales. Además de esta funcionalidad la aplicación provee los servicios de generación de reportes y consultas de correlación de temperaturas. Las ecuaciones que soportan los cálculos realizados son completamente personalizables y los datos de correlación de temperatura se basan en el estándar especificado en el manual de usuario del Zeta Meter utilizado en la experimentación.

Diagrama de Dominio

El siguiente diagrama de dominio especifica las entidades de negocio identificadas en el análisis de sistema de cálculo de dosis óptima de coagulante y sólidos suspendidos.



En este diagrama se aprecia las principales entidades de negocio que deben ser implementadas en el programa para poder soportar los procesos de negocio, el anterior diagrama establece las siguientes relaciones: Un analista realizó un análisis con una temperatura de experimentación determinada, se utilizan unas ecuaciones específicas para el cálculo de sólidos suspendidos totales y de dosis óptima de coagulante. Con este análisis realizado se procede a especificar los procesos de negocio para implementar dentro de la aplicación.

Casos De uso

El siguiente caso de uso especifica detalladamente los pasos que componen el proceso de análisis para el calculo de dosis optima de coagulante y calculo de sólidos suspendidos totales:

Nombre del Caso de Uso:	Calcular Dosis optima de coagulante y sólidos totales suspendidos
-------------------------	---

Actores:	Analista de Dosis Optima de Coagulante y Sólidos Suspendidos Totales
Descripción:	El analista configura los parámetros necesarios para realizar los cálculos de dosis optima de coagulante y sólidos suspendidos totales.
Precondiciones	Las ecuaciones para realizar los cálculos han sido especificadas previamente. Se tiene un registro de la temperatura de experimentación.
Postcondiciones:	Se conoce el valor de los sólidos suspendidos totales y el valor de la dosis óptima de coagulante.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El Analista registra la temperatura de experimentación. 2. El Analista realiza la medición de potencial Z. 3. El Analista realiza la correlación de temperaturas 4. El Analista realiza el cálculo de dosis óptima de coagulante utilizando la siguiente fórmula: $Y = -8.964(X)(t) + 282.7$ Donde Y es el valor de la dosis óptima, X el valor de potencial Z y t el valor de la correlación de temperatura. 5. El Analista realiza el cálculo de sólidos suspendidos totales utilizando la siguiente fórmula: $Y = 7.6143(X(t)+770.54$ Donde Y es el valor de sólidos suspendidos totales, X el valor de potencial Z y t el valor de la temperatura correlacionada.
Flujos Alternativos:	4a. El Analista desea utilizar una fórmula personalizada: <ol style="list-style-type: none"> 1. El Analista especifica su fórmula personalizada

	<p>2. El Analista calcula el valor de la dosis óptima de coagulante</p> <p>5a. El Analista desea utilizar una fórmula personalizada:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El Analista especifica su fórmula personalizada 2. El Analista calcula el valor de la dosis óptima de coagulante
Frecuencia de uso:	Alta
Reglas de Negocio:	La temperatura de análisis debe estar entre los rangos especificados en el manual del Zeta Meter 3.0+. El valor de potencial Z debe ser siempre negativo
Special Requirements:	Se deben generar reportes de los análisis realizados

Arquitectura General de la Aplicación

Tecnologías Utilizadas

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó como herramienta de desarrollo **Visual Studio C# Express Edition 2008**

La tecnología utilizada fue **Windows Forms** la cual facilita el desarrollo de aplicaciones windows

Se utilizó el lenguaje de programación C# 3.0 y el .Net Framework 3.5 los cuales provén todos los servicios para realizar la aplicación.

Para la realización de los reportes se utilizaron los servicios de Reporting Services incluidos en el Framework de .Net.

Arquitectura Física

La aplicación consta de tres capas lógicas dependiendo del servicio que prestan a continuación se especifica los servicios que presta cada una de las capas:

Interfaz de Usuario

Presta los servicios de visualización con los que el usuario interactúa, está compuesta por los formularios windows, las grillas de datos, el generador de reportes y los controles de usuario.

Lógica de Negocio

Esta capa presta los servicios de cálculo y de correlación de temperaturas, así como la personalización de las ecuaciones utilizadas en el proceso.

Parámetros de Configuración

Esta capa almacena la información de configuración referente a las constantes calculadas en el desarrollo del presente proyecto de grado y la correlación de temperaturas especificadas en el manual del Zzetmetro.

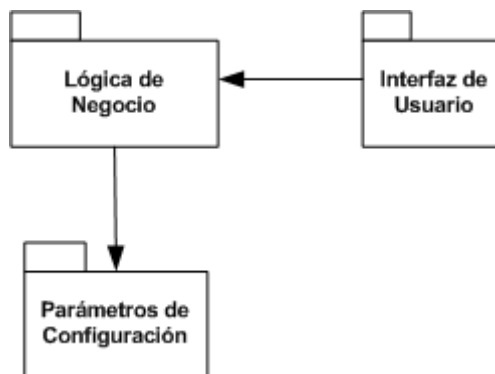
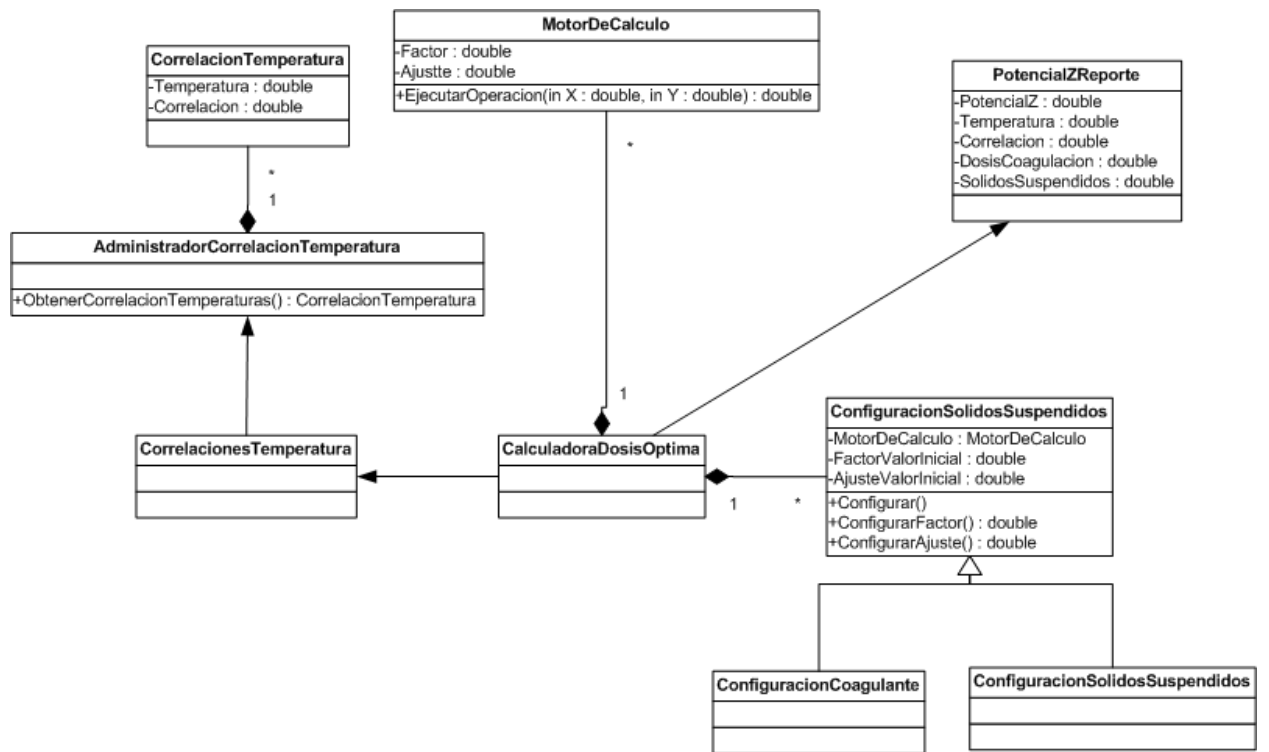


Diagrama de Clases

El siguiente diagrama de clases especifica las unidades lógicas que se desarrollaron en la solución para soportar el proceso de cálculo de los valores necesarios, en ese orden de ideas el siguiente diagrama se puede interpretar de la siguiente manera: Una **CalculadoraDosisOptima** está compuesta por varios **MotoresDeCalculo** que ejecutan una operación de cálculo con los valores de potencial Z y temperatura, además utiliza una entidad de **CorrelacionTemperatura** para el cálculo de las temperaturas, quien a su vez utiliza un **AdministradorCorrelacionTemperatura**, el cual está compuesto de varias entidades **CorrelacionTemperatura** quienes especifican el valor relacionado que corresponde a una temperatura determinada. Volviendo a la entidad **CalculadoraDosisOptima** está compuesta por una entidad de **PotencialZReporte** quien contiene la información que será visualizada en el reporte.

Además de estas entidades la **CalculadoraDosisOptima** se compone de unos formularios de **ConfiguracionSolidosSuspendidos** y **ConfiguracionCoagulante** que permiten la edición de las ecuaciones. De esta forma la **CalculadoraDosisOptima** provee los servicios para realizar los cálculos de dosis óptima, y cálculo de sólidos suspendidos totales, realizar la correlación de temperaturas y generar los reportes.



ANEXO H. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE T-STUDENT

Se organizaron los datos de porcentaje remoción SST en la operación y por medio del equipo de Test de Jarras.

Tabla 1. Estadística para los 2 tratamientos de réplica de experimento.

ESTADÍSTICA PARA LOS 2 TRATAMIENTOS DE RÉPLICA DE EXPERIMENTO		
	% de remoción SST de la operación	% de remoción SST de la mejor jarra
n	xi	yi
1	84,6	85,0
2	87,0	84,8
3	78,7	80,9
4	93,1	91,7
5	89,2	89,1
6	86,8	87,9
7	93,3	91,2
8	88,5	92,9
9	82,5	84,2
10	82,5	83,6
11	78,9	81,6
12	82,5	81,5
13	84,8	84,3
14	82,0	83,3
15	91,8	93,7
16	92,3	91,4
17	89,9	89,8
18	87,7	85,8
19	87,5	87,4
20	85,9	85,7

Fuente: Autores, 2009.

3. Se buscó en la barra de herramientas la opción datos, y se selección la herramienta análisis de datos

Tabla 2. Tablas trabajadas por medio de Microsoft office Excel.

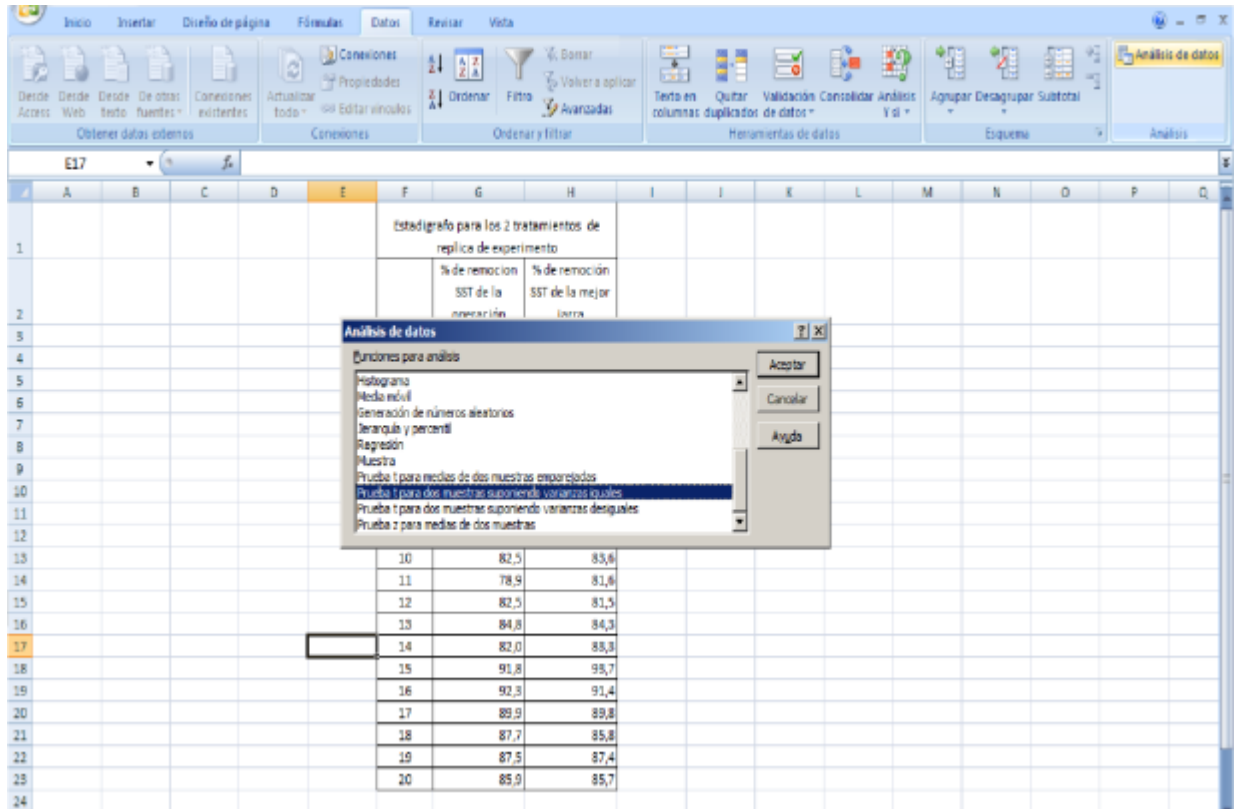
The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Datos' (Data) ribbon active. The 'Análisis de datos' (Data Analysis) tool is highlighted in the ribbon. The spreadsheet contains a table with the following data:

Estadígrafo para los 2 tratamientos de replica de experimento		
	% de remoción SST de la operación	% de remoción SST de la mejor jarra
	n	xi
1	1	84,6
2	2	87,0
3	3	78,7
4	4	93,1
5	5	89,2
6	6	86,8
7	7	93,3
8	8	88,5
9	9	82,5
10	10	82,5
11	11	78,9
12	12	82,5
13	13	84,8
14	14	82,0
15	15	91,8
16	16	92,3
17	17	89,9
18	18	87,7
19	19	87,5
20	20	85,9

Fuente: Autores, 2009.

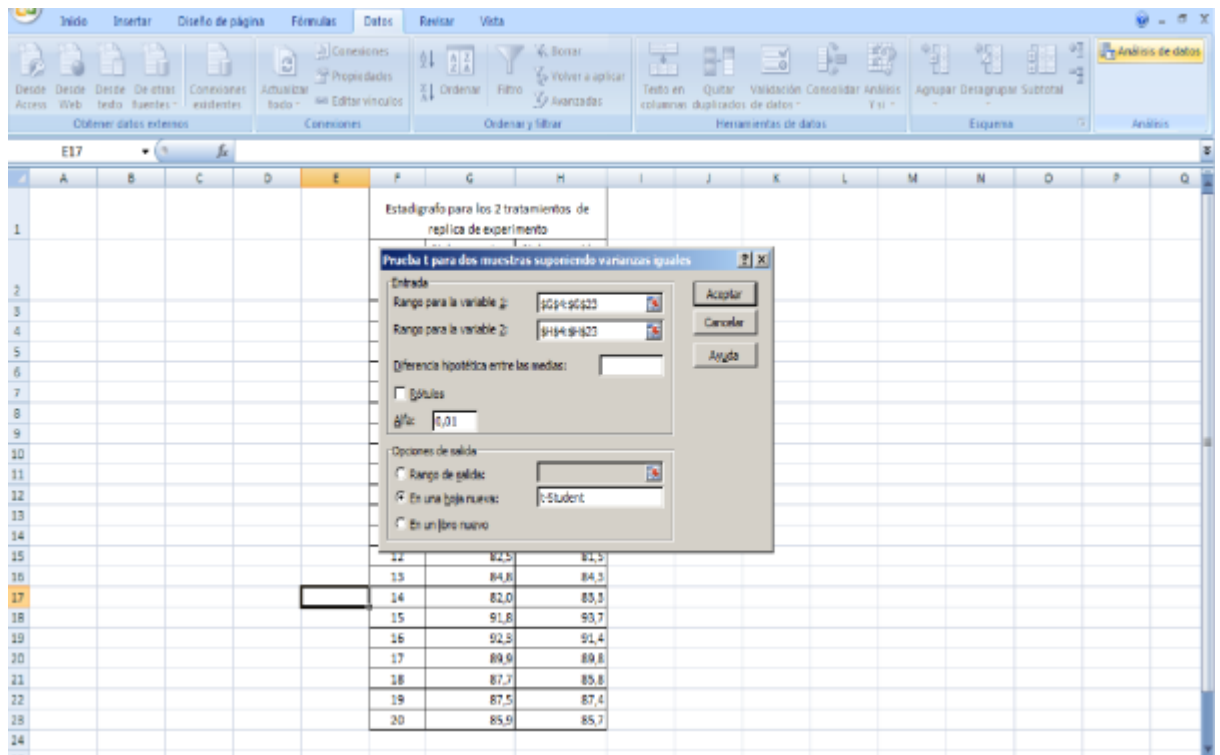
- Se busca la dentro de la opción análisis de datos la prueba t para dos muestras suponiendo que las varianzas son iguales y se le da aceptar.

Tabla 3. Procedimiento de análisis de datos.



Fuente: Autores, 2009.

- Se seleccionan los datos, se escoge en donde quiere que salga el resultado puede ser en una hoja aparte en la misma o en otro libro de Excel, se precisa el nivel de significancia α ó sea el α . Por último se le acepta
- La salida de los datos se presenta en los cuales está la media, Varianza, Observaciones, varianza agrupada, Grados de libertad, Estadístico t, y el valor crítico t para una cola de la campana.



Fuente: Autores, 2009.

- Por último se hace el análisis de datos dependiendo de los valores obtenidos y se precisa si se acepta la hipótesis nula o la alterna.

	Operación planta	Jarra del test
Media	86,48250	86,78376
Varianza	19,49938	15,80552
Observaciones	20,0	20,0
Varianza agrupada	17,65245	
Grados de libertad	38,0	
Estadístico t	-0,22874	
P(T<=t) una cola	0,41092	
Valor crítico de t (una cola)	2,42857	

Fuente: Autores, 2009.

ANEXO I. MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO ZETA METER 3.0+

1. COMPONENTES DEL EQUIPO ZETA METER 3.0+

1.1. Cable de energía:



1.2. Mando de control remoto



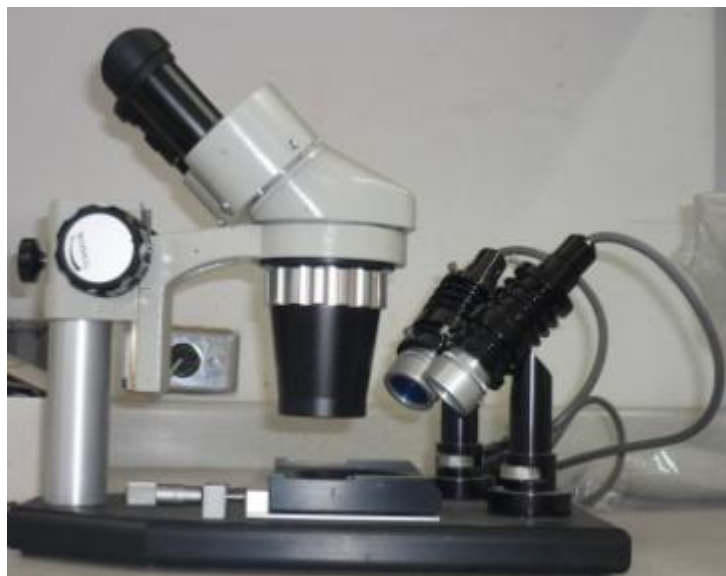
1.3. Modulo de control:



1.4. Cables conectores de voltaje:



1.5. Modulo de visualización:



1.6. Celda:



1.7. Cátodo (+) y ánodo (-)



(+)



(--)

2. Conexiones de Equipo:

2.1. Conexión de fuente de poder y control remoto:



2.2. Conexión de luz del modulo de visualización al modulo de control



2.3. Conexión de cables de energización de electrodos.





2.4 Ensamble de celda



3. Procedimiento de operación:

3.1. Prender el equipo:



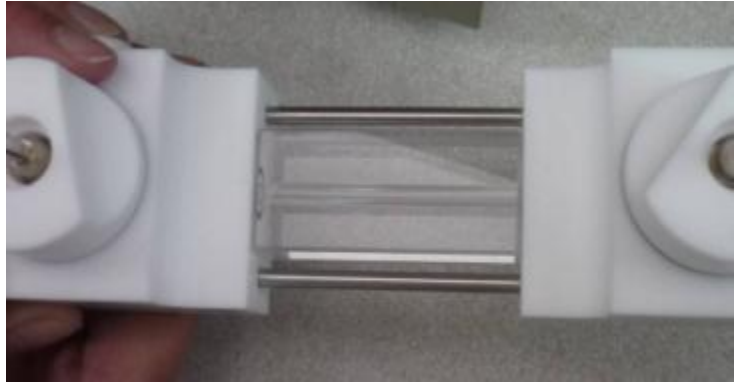
3.2. Verifique que los controles este para medición del parámetro(potencial Zeta)



3.3. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE ESTANDARIZACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DEL ZETA METER 3.0+

1. Dissolver 10 gr de NaCl y 10 gr de Minu-sil en un litro de agua destilada (no utilizar desionizada).
2. La solución anterior llevarla a 1 % en concentración.

3.4. Vierta la solución preparada a la celda.



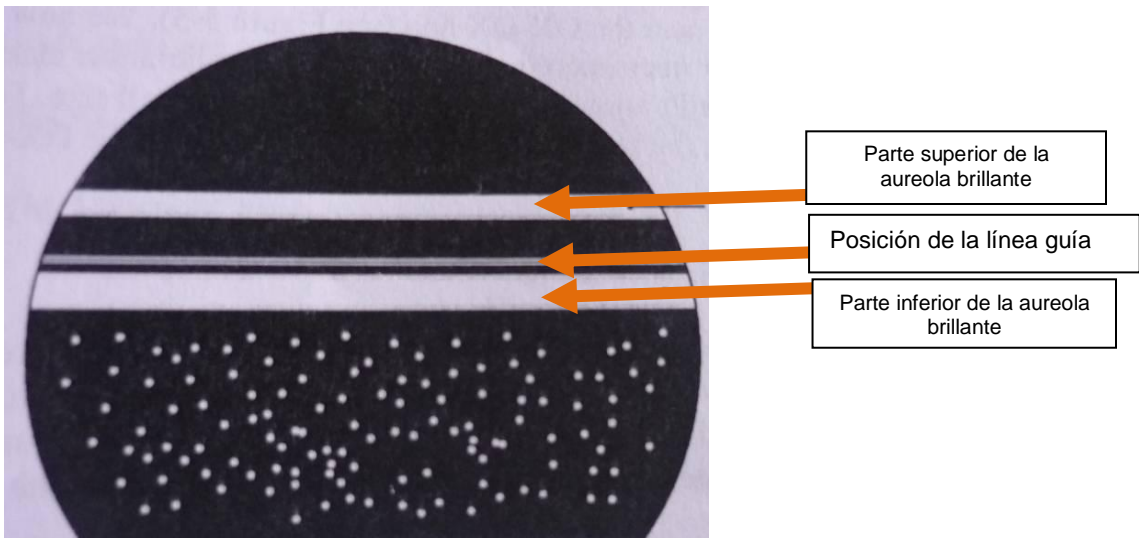
3.5. Lleve la celda al soporte para su visualización y haga que casen la muescas de la celda con las que tiene el modulo de visualización.



3.6. Conecta los cables de energización de electrolitos a la celda.



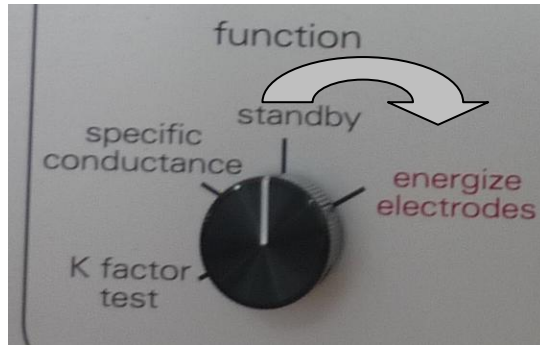
3.7. Visualicé por medio del microscopio la siguiente imagen.



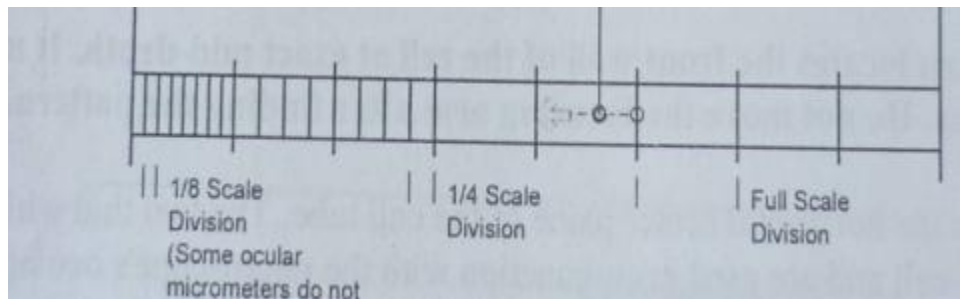
3.8. Cambie el foco que ilumina la celda y energice los electrodos.



3.9. Energización de electrodos. Girando la perilla.



3.10. Visualice una partícula y hágale seguimiento en la escala oprimiendo la flecha izquierda del control remoto.



3.11. Realizar la medición del potencial zeta de la solución estándar con los siguientes resultados para 5 repeticiones.



- Para una solución preparada con 6 h de anterioridad tendrá una media -56 ± 3 con una desviación estándar de 3-5 milivoltios.
- Para una solución preparada con 24 h de preparación tendrá una media de -54 ± 3 y desviación estándar de 3-6 milivoltios

ANEXO J. PROTOCOLOS

Cuadro 1. Transporte y custodia de la muestra

	<p>PROTOCOLO 1</p>	<p>Código: PAL-RAT-O1</p>
		<p>Páginas: 1 de 3</p>
<p>1 DEFINICIÓN</p>		
<p>Las actividades de recolección, almacenamiento y transporte de las muestras, son de gran relevancia para la consecución del exitoso desarrollo del diagnóstico, porque en su adecuada y eficiente realización, radica la representatividad y confiabilidad de los datos obtenidos en el laboratorio; por tal motivo es necesario dar a las muestras un manejo adecuado desde el momento de su recolección hasta efectuar su caracterización en el laboratorio.</p>		
<p>2 LIMITACIONES E INTERFERENCIAS</p>		
<p>Alteración o pérdida de la muestra provocadas por personal ajeno al proyecto, por manipular el instrumento de muestreo.</p>		
<p>3 TOMA DE MUESTRAS</p>		
<p>Para garantizar el muestreo de las características físico químicas del agua subterránea , la toma de muestras se efectuó en cuatro momentos del día, de acuerdo a los siguientes horarios: el primero entre las 8 y 9 de la mañana, y, el segundo momento entre las 11 y 12 horas, el tercero entre las 14 y 15 horas, y por ultimo se efectura la ultima toma de muestras se dará entre la 17 y 18 horas, para las caracterizaciones se harán una cada 3 semanas en la horas de la mañana.</p>		
<p>4 PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Preservar por refrigeración a 4°C. - Recolectar la muestra en el recipiente plástico de cierre hermético. 		
<p>5 EQUIPOS</p>		
<p>Ninguno.</p>		
<p>6 MATERIALES Y REACTIVOS</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Guantes de nitrilo. - frasco lavador con agua destilada. - Toallas de papel. - Recipiente plástico de cierre hermético. - Rótulos - Nevera de icopor. - Hielo. - Libro de campo. - Bolígrafo. 		
<p>7 PROCEDIMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Alistar libro de campo y bolígrafo. - Diligenciar el rótulo y adherirlo al recipiente en que se efectuará la recolección de la muestra. - Colocarse los guantes de nitrilo. - Retirar el embudo del instrumento de muestreo. - Verificar que el volumen total de la muestra se encuentra en el colector principal del instrumento muestreador, de lo contrario, verter la muestra en este contenedor y 		

posteriormente introducirla en el recipiente de recolección.

- Asegurar adecuadamente el cierre hermético del recipiente y depositarlo en la nevera de icopor.

- Lavar el instrumento de muestreo (colector principal, colector secundario y embudo) con agua destilada, hasta retirar todo tipo de impurezas.

- Secar cada uno de los elementos que componen el instrumento de muestreo y colocarlos nuevamente en el lugar correspondiente.

- Anotar en la libreta de campo todo tipo de observaciones percibidas durante la recolección de la muestra (ver formato de custodia de las muestras).

8 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Los datos obtenidos son registrados en la libreta de campo, la cual se encuentra conformada por los formatos de custodia de las muestras.

9 ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DE LOS DATOS

- Lavar el instrumento de muestreo todos los días.

- Lavar los recipientes de recolección todos los días con agua destilada.

- Llevar siempre abundante cantidad de hielo para efectuar la correcta refrigeración de las muestras.

- Observa atentamente el lugar en que se efectúa el muestreo, para tomar todo tipo de observaciones, que serán de gran utilidad al realizar el análisis de los datos y para detectar cualquier tipo de sabotaje de las muestras.

- Comparar el volumen colectado en cada una de las estaciones para descartar el posible sabotaje de las muestras

10 TIEMPO EMPLEADO

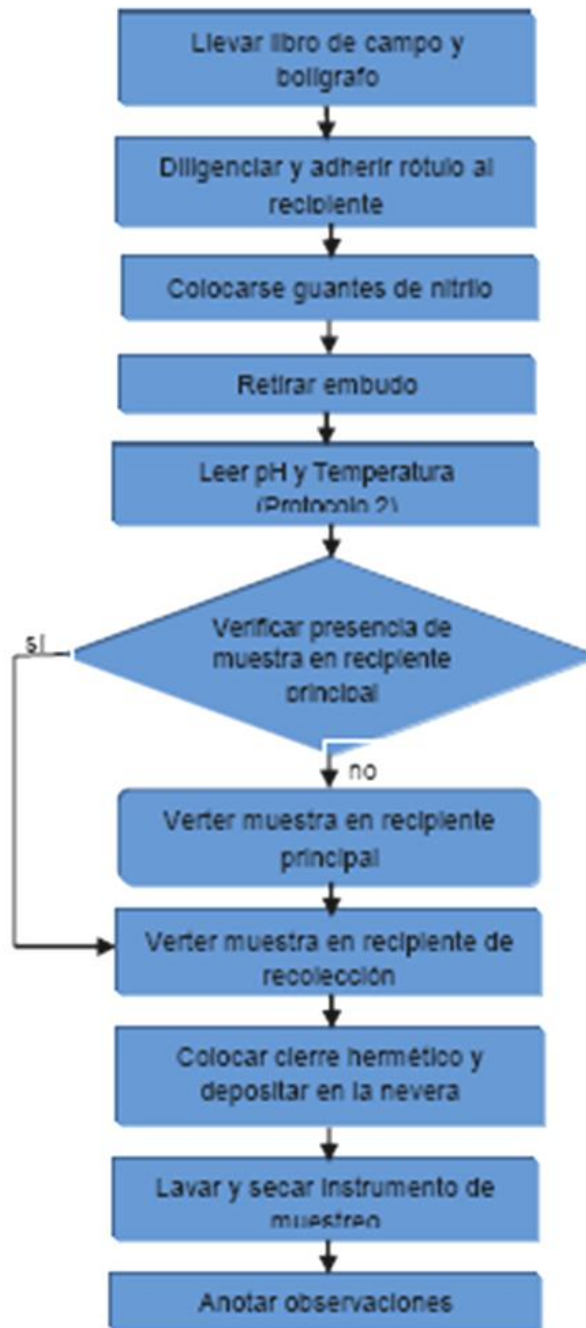
25 minutos aproximadamente.

11 REFERENCIAS

GLOBAL ATMOSPHERE WATCH (GAW) PRECIPITATION CHEMISTRY SCIENCE ADVISORY. GROUP. Manual for the Gaw Precipitation Chemistry Programme. 2004.


12 DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama 1 Recolección, Almacenamiento Y Transporte De Muestras



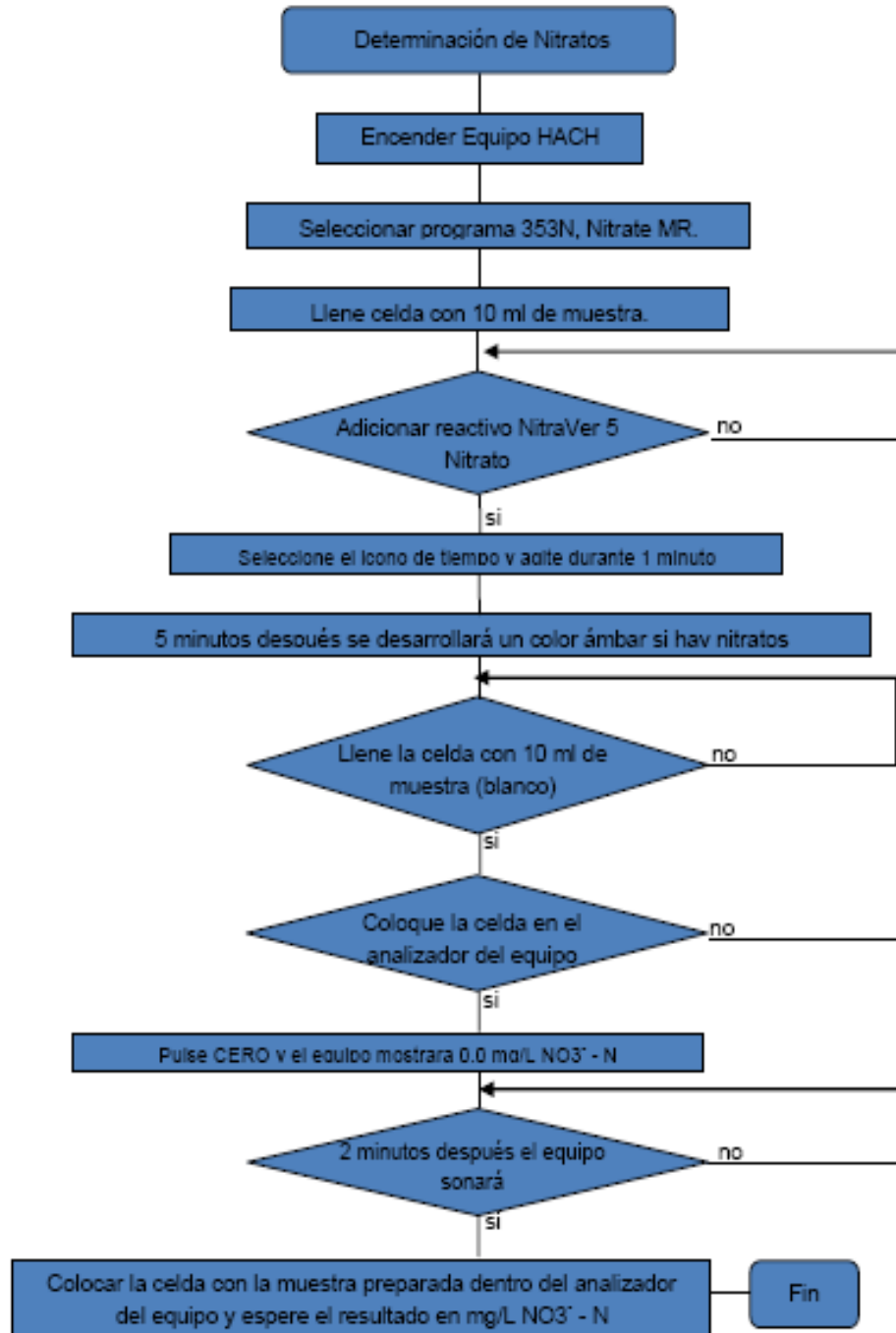
Fuente: autores, 2009.

Cuadro 2. Determinación de la concentración de iones nitrato

 <p>UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir</p>	<p>PROTOCOLO 2</p>	<p>Código: PAL-CIN-O1</p> <hr/> <p>Páginas: 1 de 3</p>
<p>1 DEFINICIÓN</p>		
<p>El principio de funcionamiento del espectrofotómetro de haz visible, consiste en la incidencia de un haz de luz sobre la celda que contiene la muestra y este efectúa la lectura al cuantificar la luz reflejada en una longitud de onda específica para cada uno de los compuestos que se esté midiendo.</p> <p>Los iones nitrato se presentan ampliamente en las aguas subterráneas y como trazas en aguas superficiales, por el contrario en las aguas residuales domésticas casi no se presenta, debido a que sirve de alimento a los microorganismos autótrofos. También es posible encontrar estos iones en agua lluvia, especialmente la que se presenta en atmósferas que contienen altas concentraciones de óxidos de nitrógeno.</p>		
<p>2 LIMITACIONES E INTERFERENCIAS</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Los sólidos suspendidos en la muestra representan un factor de interferencia en la lectura efectuada por el espectrofotómetro de haz visible, debido a que incrementan el valor reportado, introduciendo un error considerable en los datos. Esto se contrarresta filtrando la muestra cuando presente gran cantidad de sólidos. - Debido a que el equipo efectúa la lectura al cuantificar las ondas de luz que son reflejadas por la muestra que se encuentra expuesta al rayo de luz incidente, la presencia de rayones o manchas en la celda también incrementan el porcentaje de error en la lectura. Para contrarrestar este error, es necesario evitar lavar con jabón en polvo las celdas, para evitar rayarlas y limpiarlas con un paño suave antes de efectuar la lectura para remover cualquier tipo de marca y para evitar causar rayones a la celda. 		
<p>3 TOMA DE MUESTRAS</p>		
<p>Para garantizar el muestreo de las características físico químicas del agua subterránea, la toma de muestras se efectuó en cuatro momentos del día, de acuerdo a los siguientes horarios: el primero entre las 8 y 9 de la mañana, y, el segundo momento entre las 11 y 12 horas, el tercero entre las 14 y 15 horas, y por último se efectúa la última toma de muestras se dará entre la 17 y 18 horas, para las caracterizaciones se harán una cada 3 semanas en las horas de la mañana.</p>		
<p>4 PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Refrigeración a 4°C. - La lectura debe efectuarse antes que la muestra cumpla 24 horas de haber sido recolectada. 		
<p>5 EQUIPOS</p>		
<p>Espectrofotómetro de haz visible marca Hach modelo DR 2008</p>		
<p>6 MATERIALES Y REACTIVOS</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Celdas de vidrio de 10 ml marca Hach. - Sobres de reactivo NitraVer 5. - Agua destilada. - Muestra. 		
<p>7 PROCEDIMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Asegurarse de que las celdas no contengan ningún tipo de impurezas. - Prender el espectrofotómetro de haz visible. 		

<ul style="list-style-type: none"> - Tomar dos celdas y en cada una verter 10 ml de muestra y agregar 1 sobre de reactivo NitraVer 5, tapar las celdas y agitar durante 1 minuto. - Dejar las muestras en reposo durante 5 minutos. - En otra celda verter 10 ml de agua destilada, este será el blanco. - Seleccionar el programa 361. - Limpiar con un paño suave la celda que contiene al blanco. - Introducir el blanco en el equipo y presionar la opción cero para efectuar su calibración. - Una vez transcurridos los 5 minutos tomar una de las celdas que contiene la muestra, limpiar la celda con un paño suave de manera que no quede ningún tipo de marca. - Agitar suavemente e introducir en el equipo, colocar la tapa y seleccionar la opción leer. - Anotar el dato, sacar la celda de la muestra e introducir nuevamente el blanco y seleccionar la opción cero, para calibrar el equipo. - Limpiar nuevamente la celda que contiene la muestra, agitar e introducir en el equipo para efectuar la lectura (debe repetirse hasta que las lecturas sean constantes o se encuentren muy cercanas). - Repetir el procedimiento
<p>8 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS</p> <p>No se requiere efectuar ningún cálculo debido a que la concentración de iones nitrato es suministrada por el instrumento en forma directa, en mg/L. Sin embargo es necesario sacar el promedio, en primera instancia de las tres lecturas que se efectuaron a la primera y segunda muestra respectivamente y posteriormente se obtiene el promedio de estos dos datos.</p>
<p>9 ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DE LOS DATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para obtener mayor precisión y exactitud en los datos la determinación de la concentración de iones se efectúa por duplicado y a cada una de estas replicas se les practica tres veces la lectura. - Cuando las muestras contengan gran cantidad de sólidos suspendidos debe ser sometida un proceso de filtración. - Las celdas empleadas, en lo posible, deben ser usadas exclusivamente para efectuar este análisis. - Las celdas deben ser lavadas con agua destilada, no se debe emplear jabón en esta operación.
<p>10 TIEMPO EMPLEADO</p> <p>35 minutos aproximadamente.</p>
<p>11 MANEJO DE RESIDUOS</p> <p>Se generó un volumen de 120 ml (20 ml por cada muestra), los cuales fueron dispuestos conforme a los protocolos establecidos por el laboratorio de Ingeniería Ambiental.</p>
<p>12 REFERENCIAS</p> <p>HACH, Manual del espectrofotómetro de haz visible modelo DR 2800. Método 8171. Reducción de Cadmio.</p>
<p>13 DIAGRAMA DE FLUJO</p>

Diagrama 2 Determinación de concentración de iones nitrato



Fuente: Autores, 2009.

Figura 3. Determinación de concentración de Iones Sulfatos

	<p style="text-align: center;">PROTOCOLO 3</p>	<p style="text-align: center;">Código: PAL-CIS-O4</p>
		<p style="text-align: center;">Páginas: 1 de 3</p>
<p>1 DEFINICIÓN</p>		
<p>El principio de funcionamiento del espectrofotómetro de haz visible, consiste en la incidencia de un haz de luz sobre la celda que contiene la muestra y este efectúa la lectura al cuantificar la luz reflejada en una longitud de onda específica para cada uno de los compuestos que se esté midiendo.</p> <p>La presencia de sulfatos en el agua lluvia, da un indicio de la intensidad del uso de combustibles por parte del transporte automotor y de las actividades industriales, destacándose las relacionadas con el sector agroindustrial, como son la quema de biomasa.</p>		
<p>2 LIMITACIONES E INTERFERENCIAS</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Los sólidos suspendidos en la muestra representan un factor de interferencia en la lectura efectuada por el espectrofotómetro de haz visible, debido a que incrementan el valor reportado, introduciendo un error considerable en los datos. Esto se contrarresta filtrando la muestra cuando presente gran cantidad de sólidos. - Debido a que el equipo efectúa la lectura al cuantificar las ondas de luz que son reflejadas por la muestra que se encuentra expuesta al rayo de luz incidente, la presencia de rayones o manchas en la celda también incrementan el porcentaje de error en la lectura. Para contrarrestar este error, es necesario evitar lavar con jabón en polvo las celdas, para evitar rayarlas y limpiarlas con un paño suave antes de efectuar la lectura para remover cualquier tipo de marca y evitar causarle rayones a la celda. 		
<p>3 TOMA DE MUESTRAS</p>		
<p>Para garantizar el muestreo de las características físico químicas del agua subterránea, la toma de muestras se efectuó en cuatro momentos del día, de acuerdo a los siguientes horarios: el primero entre las 8 y 9 de la mañana, y, el segundo momento entre las 11 y 12 horas, el tercero entre las 14 y 15 horas, y por último se efectúa la última toma de muestras se dará entre las 17 y 18 horas, para las caracterizaciones se harán una cada 3 semanas en las horas de la mañana.</p>		
<p>4 PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Refrigeración a 4°C. - La lectura debe efectuarse antes que la muestra cumpla 24 horas de haber sido recolectada. 		
<p>5 EQUIPOS</p>		
<p>Espectrofotómetro de haz visible marca Hach modelo DR 2008</p>		
<p>6 MATERIALES Y REACTIVOS</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Celdas de vidrio de 10 ml marca Hach. - Sobres de reactivo NitraVer 4. - Agua destilada. - Muestra. 		
<p>7 PROCEDIMIENTO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Asegurarse de que las celdas no contengan ningún tipo de impurezas. - Prender el espectrofotómetro de haz visible. - Tomar dos celdas y en cada una verter 10 ml de muestra y agregar 1 sobre de reactivo 		

NitraVer 5, tapar las celdas y agitar durante 1 minuto.

- Dejar las muestras en reposo durante 5 minutos.
- En otra celda verter 10 ml de agua destilada, este será el blanco.
- Seleccionar el programa 361.
- Limpiar con un paño suave la celda que contiene al blanco.
- Introducir el blanco en el equipo y presionar la opción cero para efectuar su calibración.
- Una vez transcurridos los 5 minutos tomar una de las celdas que contiene la muestra, limpiar la celda con un paño suave de manera que no quede ningún tipo de marca.
- Agitar suavemente e introducir en el equipo, colocar la tapa y seleccionar la opción leer.
- Anotar el dato, sacar la celda de la muestra e introducir nuevamente el blanco y seleccionar la opción cero, para calibrar el equipo.
- Limpiar nuevamente la celda que contiene la muestra, agitar e introducir en el equipo para efectuar la lectura (debe repetirse hasta que las lecturas sean constantes o se encuentren muy cercanas).
- Repetir el procedimiento

8 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

No se requiere efectuar ningún cálculo debido a que la concentración de iones nitrato es suministrada por el instrumento en forma directa, en mg/L. Sin embargo es necesario sacar el promedio, en primera instancia de las tres lecturas que se efectuaron a la primera y segunda muestra respectivamente y posteriormente se obtiene el promedio de estos dos datos.

9 ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DE LOS DATOS

- Para obtener mayor precisión y exactitud en los datos la determinación de la concentración de iones se efectúa por duplicado y a cada una de estas replicas se les practica tres veces la lectura.
- Cuando las muestras contengan gran cantidad de sólidos suspendidos debe ser sometida un proceso de filtración.
- Las celdas empleadas, en lo posible, deben ser usadas exclusivamente para efectuar este análisis.
- Las celdas deben ser lavadas con agua destilada, no se debe emplear jabón en esta operación.

10 TIEMPO EMPLEADO

35 minutos aproximadamente.

11 MANEJO DE RESIDUOS

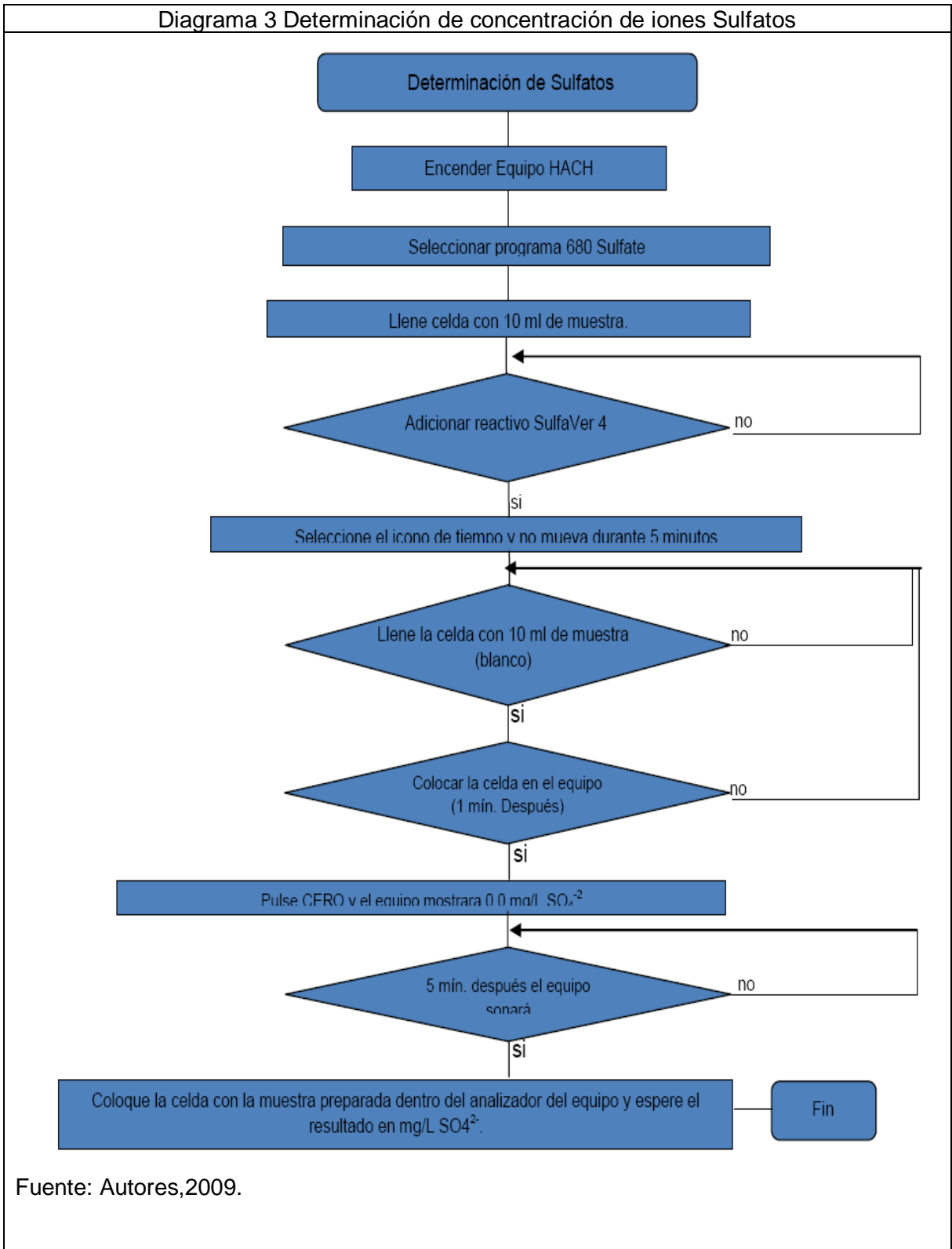
Se generó un volumen de 120 ml (20 ml por cada muestra), los cuales fueron dispuestos conforme a los protocolos establecidos por el laboratorio de Ingeniería Ambiental.

12 REFERENCIAS

HACH, Manual del espectrofotómetro de haz visible modelo DR 2800. Método 8171.

13 DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama 3 Determinación de concentración de iones Sulfatos

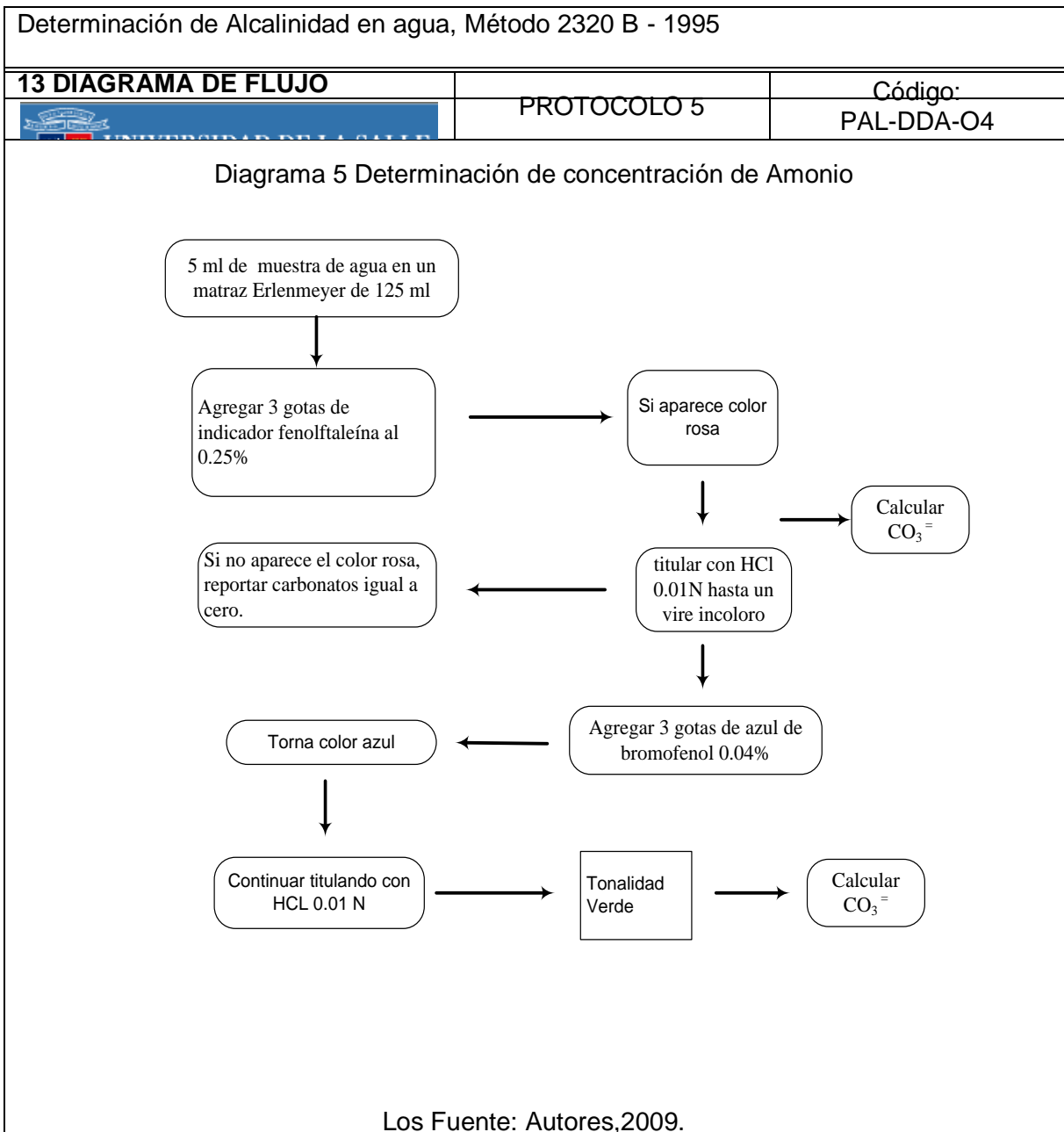


Fuente: Autores,2009.

Cuadro 4. Protocolo determinación de Alcalinidad

 <p>UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar, Decidir y Servir</p>	<p>PROTOCOLO 4</p>	<p>Código: PAL-DDA-O4</p>
		<p>Páginas: 1 de 4</p>
<p>1 DEFINICIÓN</p>		
<p>La alcalinidad es la capacidad cuantitativa de los medios acuosos para reaccionar ante los iones hidróxidos, es un fenómeno que representa la capacidad de neutralización áci. en el agua tanto natural como tratada, usualmente es causada por la presencia de iones carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-), asociados con los cationes Na^+, K^+ Ca^{+2} y Mg^{+2}.</p> <p>La alcalinidad se determina por titulación de la muestra con una solución valorada de un ácido fuerte como el HCl, mediante dos puntos sucesivos de equivalencia, indicados ya sea por medios potenciométricos o por medio del cambio de color utilizando dos indicadores ácido-base adecuado.</p> <p>La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como materia prima o en su proceso.</p>		
<p>2 LIMITACIONES E INTERFERENCIAS</p>		
<p>El color de la muestra, alta concentración de cloro y la formación de precipitados al titular la muestra, interfieren, ya que pueden enmascarar el cambio de color del indicador.</p>		
<p>3 TOMA DE MUESTRAS</p>		
<p>Para garantizar el muestreo de las características físico químicas del agua subterránea, la toma de muestras se efectuó en cuatro momentos del día, de acuerdo a los siguientes horarios: el primero entre las 8 y 9 de la mañana, y, el segundo momento entre las 11 y 12 horas, el tercero entre las 14 y 15 horas, y por último se efectuará la ultima toma de muestras se dará entre la 17 y 18 horas..</p>		
<p>4 PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p>		
<p>La muestra de deberá analizar de inmediato. Los resultados de muestras almacenadas no son representativos</p>		
<p>5 EQUIPOS</p>		
<p>Ninguno</p>		
<p>6 MATERIALES Y REACTIVOS</p>		
<p>2 Matraces volumétricos de 1000 ml. 2 Matraces volumétricos de 100 ml. 1 Cápsula de porcelana 1 Soporte con pinzas para bureta 1 Bureta de 25 ml. 1 Pipeta de 5 ml. 2 Gotero 2 Matraces Erlenmeyer de 125 ml .</p> <p>Agua destilada: Agua que cumpla la especificación ASTM D 1193 tipo I, además, deberá estar libre de CO_2 y tener un pH a 25 °C entre 6.2 y 7.2</p> <p>Fenolftaleina (0.25%): Disolver 0.25 de fenolftaleina en 100 ml de etanol al 50 %</p> <p>Azul de bromofenol (0.04%): Disolver 0.04 gr. de azul de bromofenol en 15 ml. NaOH</p>		

<p>0.01N y aforar a 100 ml con agua destilada. Solución de HCl 0.01N: Diluir 0.83 ml. de HCl al 37 % en agua destilada y aforar a 1000 ml con agua destilada. Solución de Na₂CO₃ 0.01 N. Na₂CO₃ secado a 110 °C por dos horas. Disolver 0.530 g de Na₂CO₃ en agua destilada y aforar a 1000 ml</p>
<p>7 PROCEDIMIENTO</p> <p>Colocar 5 ml de muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Agrega 3 gotas de indicador fenolftaleína al 0.25% Si aparece un color rosa, titular con HCl 0.01N hasta un vire incoloro, si no aparece el color rosa, reportar carbonatos igual a cero. Calcular CO₃⁼ Agrega 3 gotas de azul de bromofenol 0.04% al mismo matraz apareciendo un color azul Continuar titulado con HCl 0.01N hasta la aparición de un color verde Calcular HCO₃⁻</p>
<p>8 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS</p> $\text{meq/l de CO}_3 = \frac{2V \times N \times 1000}{\text{ml. de muestra}}$ <p>Dónde: V= ml de HCl gastados N= Normalidad del HCl usado</p> $\text{meq/l de HCO}_3 = \frac{(T - 2V) \times N \times 1000}{\text{ml. de muestra}}$ <p>Dónde : T = ml. de HCl gastado en las 2 titulaciones V = ml. gastados en la primera titulación N = Normalidad del HCl</p>
<p>9 ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DE LOS DATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efectuar la titulación por duplicado para garantizar mayor precisión en los datos. -Analizar la muestra tan pronto se retira el cierre hermético al recipiente en que fue recolectada la muestra. - Tomar de la normalidad
<p>10 TIEMPO EMPLEADO</p> <p>20 minutos aproximadamente.</p>
<p>11 MANEJO DE RESIDUOS</p> <p>Se realizará la disposición de acuerdo a los protocolos establecidos por el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria</p>
<p>12 REFERENCIAS</p> <p>American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994 Determinación de Alcalinidad del agua. Método ASTM D 1067-92 Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA.</p>



Cuadro 5. Procedimiento determinación de Sólidos Suspendedos Totales

1 DEFINICIÓN

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

Una muestra bien mezclada se pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio, previamente pesado, y el residuo retenido se seca a 103-105°C hasta peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos.

Si el material suspendido tapona el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida, en un intervalo de 4 a 20 .000 mg/L

2 LIMITACIONES E INTERFERENCIAS

Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limitar el tamaño de muestra de tal manera que se obtengan como máximo 200 mg de residuo.

El taponamiento del filtro prolonga la filtración y puede producir resultados altos debido a la excesiva retención de sólidos coloidales.

Para muestras con elevado contenido de sólidos disueltos, enjuagar muy bien el filtro para asegurar la remoción del material disuelto.

3 TOMA DE MUESTRAS

Eliminar de la muestra partículas flotantes grandes o aglomerados dispersos de material no homogéneo.

Usar frascos de plástico o de vidrio resistente, en los que el material en suspensión no se adhiera a las paredes del recipiente.

Realizar el análisis tan pronto como sea posible.

.

4 PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Refrigerar la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, llevar las muestras a temperatura ambiente.

Es preferible no almacenar las muestras por más de 24 h; bajo ningún concepto guardar las muestras por más de 7 días

5 EQUIPOS

Filtros circulares de fibra de vidrio, sin aditivos orgánicos.

Aparato de filtración: puede ser uno de los siguientes, adecuado para el filtro seleccionado:

a) Embudo con filtro de membrana.

b) Crisol Gooch, de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador.

c) Aparato de filtración con recipiente y disco fritado grueso (40- a 60-□ m) como soporte del filtro.

.

<p>Desecador, con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental. Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C. Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg. Bomba de vacío. Agitador magnético con barra agitadora de teflón. Pipetas de punta ancha. Agua destilada Tipo III, agua destilada y desmineralizada</p>
<p>6 MATERIALES Y REACTIVOS</p>
<p>Erlenmeyer con tubuladura lateral, de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado. Discos de aluminio o de acero inoxidable, de 65 mm de diámetro, para pesar deberá estar libre de CO₂ y tener un pH a 25 °C entre 6.2 y 7.2 Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C. Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg. Bomba de vacío. Agitador magnético con barra agitadora de teflón. Pipetas de punta ancha Agua destilada Tipo III, agua destilada y desmineralizada</p>
<p>7 PROCEDIMIENTO</p>
<p>Preparación del filtro de fibra de vidrio: Insertar el filtro circular en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicar vacío y lavar el filtro con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada; continuar la succión hasta remover todas las trazas de agua, y descartar el filtrado. Remover el filtro y transferirlo a un disco para pesaje, con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco; el material que se adhiera al disco debe agregarse al filtro para evitar errores. También se puede pesar el filtro seco junto con el disco tanto antes como después de la filtración; si se emplea un crisol Gooch, remover y pesar este junto con el filtro. Secar en una estufa a 103-105°C por 1 h (si se van a determinar sólidos volátiles, secar a 550°C por 15 min. en un horno). Dejar enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg de la pesada anterior, lo que sea menor. Guardar el filtro en un desecador hasta que se vaya a emplear.</p> <p>Selección del filtro y tamaño de muestras: Tomar una alícuota de muestra que produzca entre 10 y 200 mg de residuo seco. Si se emplean más de 10 minutos para completar la filtración, aumentar el tamaño del filtro o disminuir el volumen de muestra; para muestras no homogéneas tales como agua residuales, usar un filtro grande que permita filtrar una muestra representativa.</p> <p>Análisis de muestras. Ensamblar el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Mientras se agita la muestra con un agitador magnético, tomar una alícuota con pipeta y transferirla al filtro. Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 mL de agua destilada, y se deja secar completamente entre lavados; continuar la succión por tres minutos después de completar la filtración. Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales. Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración y transferirlo al disco de pesaje; si se usa un crisol Gooch, removerlo de su adaptador. Secar en una estufa a 103-105°C, mínimo durante 1 h; dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y</p>

<p>pesado hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg del peso anterior, lo que sea menor. Las determinaciones por duplicado deben coincidir hasta en un 5% de su promedio.</p>
<p>8 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS</p>
<p>mg de sólidos suspendidos totales/l = $(A-B) \times 1000/\text{Volumen de Muestra, ml}$ donde: A = peso del filtro + residuo seco, mg, y B = peso del filtro, mg</p>
<p>9 ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DE LOS DATOS</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Efectuar la titulación por duplicado para garantizar mayor precisión en los datos. -Analizar la muestra tan pronto se retira el cierre hermético al recipiente en que fue recolectada la muestra. - Tomar de la normalidad
<p>10 TIEMPO EMPLEADO</p>
<p>1 hora minutos aproximadamente.</p>
<p>11 MANEJO DE RESIDUOS</p>
<p>Se realizará la disposición de acuerdo a los protocolos establecidos por el laboratorio de Ingeniería Ambiental.</p>
<p>12 REFERENCIAS</p>
<p>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. <i>American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.</i> 19ed., New York, 1995. pp 2-53 a 2-58 Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983</p>
<p>13 DIAGRAMA DE FLUJO</p>
<p>Diagrama 5 Determinación de concentración de Amonio</p>

