

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS QUE SE
PRODUCEN EN LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN DE LA
PLANTA ANGOSTURA DE HIDROBOLÍVAR C.A. UBICADA EN
CIUDAD BOLÍVAR - ESTADO BOLÍVAR**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO POR
LOS BACHILLERES;
MONASTERIO, JAVIER V.,
Y PERDOMO M., JOSÉ E.,
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, 21 DE MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA



ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, intitulado **“CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS QUE PRODUCEN EN LOS TANQUES DE SEDIMENTACION DE LA PLANTA ANGOSTURA DE HIDROBOLÍVAR C. A. UBICADA EN CIUDAD BOLÍVAR - ESTADO BOLÍVAR”**, presentado por los bachilleres, **MONASTERO, JAVIER V.**, y **PERDOMO M., JOSÉ E.**, como requisito parcial para optar al título de: **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre y Apellido:

Firma:

Prof. Abud, Jorge
(Asesor)

Prof.
(Jurado)

Prof.
(Jurado)

Prof. Sandoval, Berenice
Jefe del Departamento de Ing. Geológica

Prof. Monteverde, Francisco
Director de Escuela

En Ciudad Bolívar, a los 21 días del mes de mayo del 2021

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico única y exclusivamente al más grande amor de mi vida, mi hermosa madre *JESSICA DAYANA MONASTERIO DÍAZ* allá en cielo con *DIOS*, ya que por ella y para ella soy el ingeniero y el hombre que soy hoy.

Javier Valentín Monasterio

Primeramente, a mi *Dios Todopoderoso*, que me guarda, me guía cada día y en todo momento me llena más de su presencia y su amor sin condición.

A mi mamita *Naivet Martinez una mujer digna de admirar*, que día tras día brindándome sus consejos, su eterno amor, comprensión, dedicación, esmero, constancia y esfuerzo, siempre ha estado allí en cada una de las etapas más importantes de mi vida. Te amo mamita con todo mi ser gracias por darme la vida.

A mi abuela *Otilia Ledezma*, quien con sus consejos, amor y ternura me han ayudado en esta y en muchas etapas de mi vida. La ama.

A mis hermanas *Bianney Perdomo* (mi gordita) y *Nayvet Perdomo* (mi negrita), a quienes amo y quiero con todo mi ser.

A mi hermano *Victor Perdomo* a quien quiero mucho y aprecio con el corazón que Dios te bendiga y sigas creciendo grandemente en todo te amo.

A mi esposa *Somaili Medina* (mi bonita) que la amo con todo mi corazón, mi alma y mi mente por su apoyo incondicional que me ha brindado en todo este tiempo juntos, eres una grandiosa mujer llena de mucho amor te admiro.

A mis niñas hermosas Liana y Biany que han sido mis fuerzas para comenzar cada día, luchando más, las amo con toda mi existencia.

A mis queridísimos suegros Martin Medina y Betsaidee Ponce que siempre me apoyaron en todo momento y tienen un lugar importante en mi corazón, los amo.

José Perdomo

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a *DIOS* todopoderoso, mi padre celestial, por haberme dado la fuerza, la dedicación, las habilidades y el deseo de superarme cada día en este camino, por el *ÉL* estoy aquí en victoria.

Le agradezco a mi hermosa madre *JESSICA DAYANA MONASTERIO DÍAZ*, la mujer que luchó toda su vida por mí, que me ayudó a ser lo que soy hoy ¡GRACIAS MAMÁ! ¡TE AMO!

Le agradezco a mi tutor *JORGE ABUD* por su gran apoyo y ayuda en este proyecto tan importante para mí.

A la *UNIVERSIDAD DE ORIENTE*, me siento muy orgulloso que sea mi Alma Mater.

Javier Valentin Monasterio

A *mi Padre Celestial* a quien doy gracias cada día por su misericordia, amor y ser quien soy hoy día.

A la *Universidad de Oriente Núcleo Bolívar*, por la formación profesional brindada.

A mi mama Naivet Martinez, por su apoyo y orientación durante todos los años y en la realización de esta tesis de grado gracias mamita te amo.

A mi hermosa familia, por su ayuda, comprensión y colaboración para realizar este proyecto de grado.

A mi tutor el profesor Jorge Abud, por su colaboración y orientación, gracias por su esfuerzo, constancia y ejemplo a seguir.

A mi hermana Bianney Perdomo por todo su apoyo y colaboración en todo momento.

A mi esposa Somaili Medina por su apoyo en la realización de esta tesis. Gracias mi corazón por todo.

A mis tíos(a) Rafael Ledezma (cuto) y Emilia Ledezma que siempre estuvieron allí para apoyarme y guiarme, gracias por todo los amo.

A mi amigo Paul Principal por el apoyo en la realización de esta tesis. Y a todos aquellos que de una u otra forma fueron parte de este logro.

José Perdomo

RESUMEN

Las descargas de lodos de la planta potabilizadora de agua hacia los cauces de ríos representan una acción perjudicial para estos cuerpos de agua, en tales casos se puede reducir esta fuente de contaminación utilizando los sedimentos de los lodos en el área industrial, debido a esto, es fundamental conocer el tipo de sedimento. Considerando estos aspectos la investigación tuvo como objetivo principal realizar una "Caracterización de los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura de Hidrobolívar C.A., ubicada en Ciudad Bolívar - Estado Bolívar". La investigación se considera de tipo descriptiva, y de diseño de campo. Está consistió básicamente en un diagnóstico de la situación actual de la Planta Angostura en la cual se procedió a determinar el Índice de Calidad de agua (ICA) del agua cruda, determinar la acumulación volumétrica de sedimento producido en los tanques, analizar químicamente mediante espectrofotometría por absorción atómica el sedimento, analizar las dimensiones peso-volumétricas del sedimento y sus propiedades índice, clasificar geotécnica según ASHTOO y SUSCS el sedimento y determinar su Resistencia Mecánica en Seco para la elaboración de bloques de arcilla. Dicha caracterización arrojó como resultados más destacados que el ICA del agua cruda se clasifica como "Mala"; los tanques producen un volumen diario de 47,40 m³/día de sedimento seco el análisis químico demostró que el sedimento es mayormente sílice y en porcentaje más bajo alúmina debido al sulfato de aluminio utilizado para potabilizar el agua, la propiedad índice más destacada del sedimento es la humedad con un 88,18% in situ, la clasificación geotécnica según ASHTOO resulta ser un sedimento arcilloso A-7-5 y según SUCS un sedimento limoso de alta compresibilidad MH; la Resistencia Mecánica en Seco del sedimento de 11,37 kgf/cm² demostrando que no es factible para la realización de bloques para la construcción según la norma COVENIN 2-78.

TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE APENDICES	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO I	 3
SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos de la investigación.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Justificación de la investigación	6
1.4. Alcance de la investigación	6
1.5. Limitaciones de la investigación.....	7
 CAPÍTULO II.....	 8
GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	8
2.2 Acceso al área de estudio.....	8
2.3 Geología regional.....	9
2.3.1 Formación Mesa	9
2.3.2 Provincia de Imataca.....	11
2.4 Río Orinoco	13
2.4.1 Cuenca del río Orinoco	13
2.4.2 Transporte de sedimentos en el Río Orinoco.....	14
2.4.3 Mineralogía y procedencia de los sedimentos del Río Orinoco	16

CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
3.1 Antecedentes de la investigación.....	17
3.2 Bases teóricas.....	19
3.2.1 Proceso de tratamiento del agua cruda para potabilización.....	19
3.2.2 Índice de Calidad del Agua (ICA)	21
3.2.3 Producción de sedimento en plantas de tratamiento de agua potable	27
3.2.4 Características físicas de los sedimentos	27
3.2.5 Características químicas de los sedimentos	28
3.2.6 Características geotécnicas de los sedimentos.....	30
3.3 Bases Legales.....	42
3.3.1 Decreto 883 - Norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (11/10/1995).....	42
3.3.2 Norma 638 sobre la clasificación y control de calidad de los cuerpos de agua (Código orgánico ambiental, 2000):.....	43
3.3.3 Norma sanitaria de calidad de agua potable (Gaceta oficial 36.395 - 13/02/1998)	44
3.3.4 Resistencia mecánica en seco del bloque de arcilla.....	45
CAPITULO IV	46
METODOLOGÍA DE TRABAJO	46
4.1 Tipo de investigación.....	46
4.2. Diseño de la investigación	46
4.3. Población de la investigación	47
4.4 Muestra de la investigación	47
4.5 Técnicas de recolección de datos.....	48
4.6 Instrumentos de recolección de datos	49
4.7 Flujograma de la investigación	50
4.8 Diagnóstico de la situación actual de la Planta Angostura	52
4.8.1 Descripción del proceso de potabilización del agua cruda.....	52
4.8.2 Red de distribución de agua potable de la Planta Angostura.....	54
4.9 Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda	54
4.9.1 Parámetros físicos.....	54
4.9.2 parámetros químicos.....	56
4.9.3 Parámetros bacteriológicos.....	57
4.9.4 Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA).....	58
4.10 Determinación de la acumulación volumétrica de sedimento	59
4.11 Análisis de las características físicas del sedimento	61
4.11.1 Pesos de las muestras de sedimento.....	61
4.11.2 Volúmenes de las muestras de sedimento	62

4.11.3 Propiedades índices del sedimento	63
4.12 Análisis de las características químicas del sedimento.....	67
4.13 Aplicación de ensayos geotécnicos al sedimento	68
4.13.1 Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro	68
4.13.2 Límites de consistencia.....	71
4.13.3 Clasificación geotécnica	74
4.13.4 Ensayo de resistencia mecánica en seco	76

CAPITULO V 80

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS 80

5.1 Diagnostico de la situación actual de la Planta Angostura	80
5.1.1 Descripción del proceso de potabilización del agua cruda	81
5.1.2 Red de distribución de agua potable de la Planta Angostura.....	86
5.2 Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda	86
5.2.1 Parámetros Físicos.....	86
5.2.2 Parámetros químicos.....	88
5.2.3 Parámetros bacteriológicos.....	89
5.2.4 Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda	90
5.3 Determinación de la acumulación volumétrica de sedimentos.....	94
5.4 Análisis de las características físicas del sedimento.....	94
5.4.1 Pesos de las muestras de sedimento	94
5.4.2 Volúmenes de las muestras de sedimento	94
5.4.3 Propiedades índices del sedimento	95
5.5 Análisis de las características químicas del sedimento.....	95
5.5.1 Sílice	95
5.5.2 Aluminio.....	96
5.5.3 Hierro.....	96
5.5.4 Calcio.....	96
5.5.5 Magnesio.....	97
5.5.6 Sodio- Potasio.....	97
5.6 Aplicación de ensayos geotécnicos al sedimento	98
5.6.1 Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro	98
5.6.2 Límites de consistencia.....	100
5.6.3 Clasificación geotécnica	101
5.6.4 Resistencia mecánica en seco	103

CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES 105

Conclusiones.....	105
-------------------	-----

Recomendaciones	108
REFERENCIAS	109
APENDICES.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Ubicación geográfica de la Planta Angostura.....	8
Figura 2.2. Formación Mesa (PDVSA - INTEVEP. 1999-2001).	9
Figura 2.3. Provincias geológicas del Escudo de Guayana (Mendoza, V. 2000).	12
Figura 2.4. Mapa físico de la cuenca del Río Orinoco (Rosales, J. Suárez, C. y Lasso, C. 2010).....	14
Figura 3.1. Esquema de fases del proceso de tratamiento de agua (Hidrobolívar, 2018).	21
Figura 3.2. Grafico semi-logaritmico (Das, Braja. 2011)	32
Figura 3.4. Sistema de clasificación de suelos AASHTO.....	37
Figura 3.5. Carta de plasticidad ASHTOO (Das, B. 2013).....	38
Figura 3.6. Carta de plasticidad (Das, Braja. 2011)	39
Figura 3.7. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	41
Figura 4.1. Muestras de sedimento secándose al sol.....	48
Figura 4.2. Flujograma de la investigación (Elaboración propia).....	51
Figura 4.3. Hoja de cálculo de “The National Sanitation Foundation”.	59
Figura 4.4. Espectrofotómetro.....	67
Figura 4.6. Sedimento extrusado.....	77
Figura 4.7. Probetas húmedas.	77
Figura 4.8. Probetas dentro de la estufa de secado.	78
Figura 5.1. Ubicación Planta Angostura y captación de agua cruda río Orinoco (Google Earth, 2020).....	80
Figura 5.2. Resultado de ICA para la muestra MA1.....	91
Figura 5.3. Resultado de ICA para la muestra MA2.....	92
Figura 5.4. Resultado de ICA para la muestra MA3.....	93
Figura 5.5. Grafica del análisis químico del sedimento.	97
Figura 5.6. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS1.	98
Figura 5.7. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS2.	99
Figura 5.8. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS3.	99
Figura 5.9. Limite líquido de la muestra MS1.	100
Figura 5.10. Limite liquido de la muestra MS2.	100
Figura 5.11. Limite liquido de la muestra MS3	101

Comentado [AGL1]: Deben borrar la palabra figura, que solo aparezcan los números. De igual manera hacer con la lista de tablas

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Índice de calidad de agua.	22
Tabla 3.2. Límites del tamaño de suelos separados.	30
Tabla 3.3. Tamaños de tamices U. S. Standard.....	31
Tabla 3.4. Clasificación de las aguas (decreto 883-11/10/1995)	42
Tabla 3.5. Límites y rangos permisibles para la clasificación de aguas tipo 1 (decreto 883-11/10/1995).	43
Tabla 3.6. Límites permisibles de los elementos del agua según la norma 638 del código orgánico ambiental.	43
Tabla 3.7. Componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable (Gaceta oficial 36.395 - 13/02/1998).	44
Tabla 3.8. COVENIN 2 – 78: Requisito de resistencia a la compresión para bloques (Norma Venezolana, 1978).....	45
Tabla 5.1 Caudal de entrada y turbiedad del agua cruda de la Planta Angostura.	81
Tabla 5.2. Turbiedad promedio del agua cruda de la Planta Angostura.	82
Tabla 5.3. Dosificación de Sulfato de Aluminio al agua cruda en la Planta Angostura.	83
Tabla 5.4. Dimensiones de los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.	84
Tabla 5.5. Resumen de los índices de calidad de agua	90
Tabla 5.9. Característica de suelo según la AASHTO.	102
Tabla 5.10. Característica de suelo según la SUCS.	103
Tabla 5.11. Resultados del análisis de resistencia mecánica en seco del sedimento.	104

LISTA DE APENDICES

A.1 Análisis de solidos totales de las muestras de agua cruda MA1, MA2 y MA3.	114
B.1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua cruda de las muestras MA1, MA2 y MA3.	116
C.1. Peso y volumen de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.	118
C.2. Propiedades índices de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.	119
D.1. Análisis químico de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.....	121
E.1 Análisis granulométrico por tamizado de MS1.	123
E.2 Análisis granulométrico por tamizado de MS2.	124
E.3 Análisis granulométrico por tamizado de MS3.	125
F.1 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS1.	127
F.2 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS2.	128
F.3 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS3.	129
G.1. Límites de consistencia de MS1.....	131
G.2. Límites de consistencia de MS2.....	132
G.3. Límites de consistencia de MS3.....	133
H.1. Resistencia mecánica de MS1.....	135
H.2. Resistencia mecánica de MS2.....	136
H.3. Resistencia mecánica de MS3.....	137

A.6 Ejemplo de la Lista de Apéndices	
LISTA DE APÉNDICES	
	Página
A RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL EMBALSE WARÁ I.....	105
A.1 Coordenadas UTM y cotas de los puntos de interés de la represa Wará I (Yépez, J., 2020).....	106
B TABLAS PARA ESTIMACIÓN DE LA SEPARACIÓN Y EL ÁNGULO DEL ESPIGÓN RESPECTO A LA ORILLA.....	107
B.1 Valores recomendados para la relación Separación/Longitud para espigones, (Klingeman, P et al (1984) en Maza y Garcia, 1999).....	108
B.2 Caudal aportado por las parcelas de la K a la T (Correa y Garcia, 2020).....	109
C SECCIONES TRANSVERSALES TOPOGRÁFICA.....	110
C.1 Sección Transversal 10.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	111
C.2 Sección Transversal 9.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	111
C.3 Sección Transversal 8.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	111
C.4 Sección Transversal 7.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	112
C.5 Sección Transversal 6.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	112
C.6 Sección Transversal 5.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	112
C.7 Sección Transversal 4.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	113
C.8 Sección Transversal 3.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	113
C.9 Sección Transversal 2.0 del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	113
C.10 Sección Transversal 1.0. del embalse Wará I (Yépez, J. 2020).....	114

Comentado [AGL2]: Aquí un ejemplo de cómo hacer la lista de apéndices correctamente

INTRODUCCIÓN

La numeración en la primera página de cada capítulo va abajo y en el centro, en las demás si va arriba y a la derecha

En las plantas de tratamiento de agua potable se producen sedimentos que son desechados generalmente en cuerpos de agua, esta acción es perjudicial ya que contribuye a la contaminación de dichos cuerpos de agua debido al remanente químico que permanece en tales desechos de sedimento.

Estos sedimentos que se producen usualmente son en grandes cantidades, dado ese hecho, los sedimentos pueden tener un potencial provechoso en la industria de la alfarería en la elaboración de bloques de construcción y y en la industria de obras geotécnicas, que su vez es importante para el ser humano debido al contante crecimiento de centros urbanos para albergar a la creciente población.

La Planta Angostura de Hidrobolívar C. A., entra en este problema y también la posible solución del mismo, los sedimentos producidos en los tanques de sedimentación son desechados en río Orinoco que a su vez también es la fuente de captación de agua para su posterior potabilización.

Por ello es importante conocer las propiedades de dichos sedimentos, de esto surge el presente trabajo de investigación que mostrará las características físicas, químicas y geotécnicas de los sedimentos que se producen en la Planta Angostura.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad “Caracterizar los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura de Hidrobolívar C.A. ubicada en Ciudad Bolívar - Estado Bolívar”.

Para cumplir los objetivos se estructuró la investigación por capítulos de la siguiente manera:

Un capítulo I, en el cual se plantea el problema a investigar, los objetivos de la investigación, justificación de la investigación y el alcance de la misma.

Un capítulo II, donde se señala la ubicación geográfica del área de estudio, el acceso al área, las características geológicas y características físicas naturales.

Un Capítulo III, el cual se hace referencia a la base teórica, donde se establece específicamente los fundamentos teóricos relacionados con el tema de investigación.

Un capítulo IV, donde se detalla el tipo y diseño de la investigación, y sobre todo la metodología de trabajo empleada para llevar a cabo la investigación.

Un capítulo V, donde se analizan e interpretan los resultados y por ultimo las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

La numeración en la primera página de cada capítulo va abajo y en el centro, en las demás si va arriba y a la derecha

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial por muchos años la descarga de los lodos (sedimentos) producidos por las plantas de tratamiento de agua potable al curso de agua más cercano bien sean ríos y/o lagos ha sido una práctica usual que no está libre de críticas, ya que estos residuos cargados de químicos son perjudiciales para estos cuerpos de agua y la vida en ellos.

En Latinoamérica países como México, Chile, Colombia y España en Europa han invertido en plantas de tratamiento de lodos ya que cada vez las leyes de las autoridades medioambientales con el paso de los años se han vuelto más estrictas, dichas plantas de tratamiento de lodos contribuyen a la disminución de descarga de sedimentos debido a que estos son aprovechados de alguna manera.

Nacionalmente en Venezuela no se han implementado estas plantas de tratamiento de sedimentos y en todas las plantas de tratamiento de agua potable la práctica de descarga de estos sedimentos en los cuerpos de agua naturales es la más frecuente.

Regionalmente en el Estado Bolívar la empresa Hidrobolívar C. A., es la encargada del tratamiento del agua potable y residual para la población de dicho territorio. Para esto cuenta con varias plantas de tratamiento distribuidas por todo el estado, que se encargan que el servicio, se encuentre siempre disponible para todos los ciudadanos, lo cual hace necesario la construcción de nuevas plantas a medida que la

demanda aumenta y que las mismas cuenten con un sistema de gestión de mantenimiento adecuado para conservar la calidad del servicio.

De esta manera, se crea la Planta de Tratamiento de agua potable Angostura, la cual fue fundada en el año 1942, la producción para esa época era de 600 a 700 litros por segundo para abastecer la demanda del 30% de la población de ciudad Bolívar, constituida en aquel entonces, posteriormente, se han ido sumando poblaciones para ser surtidas a través de esta planta. Con el objetivo de mejorar las condiciones para el abastecimiento de agua potable a dichas poblaciones e incrementar la cantidad de habitantes que reciben el servicio.

En la Planta Angostura existen 4 tanques de sedimentación, en los cuales se sedimentan al fondo las partículas en disolución y suspensión que lleva como carga el agua del río Orinoco en su cauce, ya que este mismo cuerpo de agua es la fuente de agua cruda que es captada para su potabilización.

En función de lo antes expuesto resulta de interés precisar que una vez obtenidos los sedimentos del agua cruda se visualiza material con características particulares de limo y arcilla, que en la actualidad como se mencionó al principio son desechados arbitrariamente.

Cabe destacar que el material sedimentado y posteriormente desechado al río Orinoco podría cumplir con las características adecuadas para trabajos de alfarería como la elaboración de bloques de construcción o algún otro aprovechamiento geotécnico, considerando la gran cantidad de material producido en la Planta.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Caracterizar los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura de Hidrobolívar C. A., ubicada en Ciudad Bolívar - Estado Bolívar.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1) Diagnosticar la situación actual de la Planta Angostura.
- 2) Determinar el índice de calidad (ICA) del agua cruda de la fuente de captación de la Planta Angostura.
- 3) Determinar la acumulación volumétrica del sedimento que se produce en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.
- 4) Analizar las características físicas del sedimento que se produce en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.
- 5) Analizar las características físicas del sedimento que se produce en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.
- 6) Aplicar ensayos geotécnicos al sedimento que se produce en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.

1.3. Justificación de la investigación

La sustentación de agua potable es indispensable para el Estado, así como el buen funcionamiento interno permitiendo un mejor servicio, partiendo de la calidad del agua en sus tratamientos y procesos de filtrados resulta imprescindible visualizar que el sedimentado en el interior de los tanques son característicos de limos y/o arcillas, lo cual son perjudiciales para el consumo humano pero importantes para el sector de industria alfarera de bloques de construcción, obras geotécnicas y posible elaboración de fluidos de perforación,.

En este marco de ideas surge la premisa de caracterizar los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura de Hidrobolívar C.A en Ciudad Bolívar, mediante determinación de acumulación volumétrica, análisis químico, caracterización física, clasificación geotécnica y determinación de resistencia mecánica de los sedimentos y así poder interpretar su potencialidad.

Aunado a lo expuesto anteriormente es un deber de las plantas de tratamiento de agua potable reduzcan la cantidad de desechos que generan, por lo tanto es muy importante la valorización de estos.

1.4. Alcance de la investigación

La caracterización de los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura permitirá indicar el índice de calidad del agua que se utiliza para potabilizar, cuantificar la cantidad material limoso y arcilloso que se produce, así como su composición química y características físicas, además de clasificar geotécnicamente el tipo de material y poder precisar la calidad del material y su posible uso en la industria evitando que este sea desechado de manera arbitraria en el cauce del río Orinoco.

1.5. Limitaciones de la investigación

La escasa información acerca de proyectos similares en el país. La falta de instrumentos y lugares adecuados con la capacidad de realizar una cantidad de ensayos más amplia representan una limitación importante, junto a ello los altos costos monetarios de realización de los mismos. La política y temor de la empresa Hidrobolívar C. A. al proporcionar información enriquecedora para el proyecto.

CAPÍTULO II GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El sedimento se produce en la Planta Angostura de Hidrobolívar C.A., ubicada en Ciudad Bolívar, Municipio Angostura del Orinoco en el centro-norte del Estado Bolívar (Figura 2.1) en la rivera derecha del Río Orinoco en su parte media baja. La ubicación geográfica está comprendida entre las coordenadas Latitud 8,1333 y Longitud -65,5333.

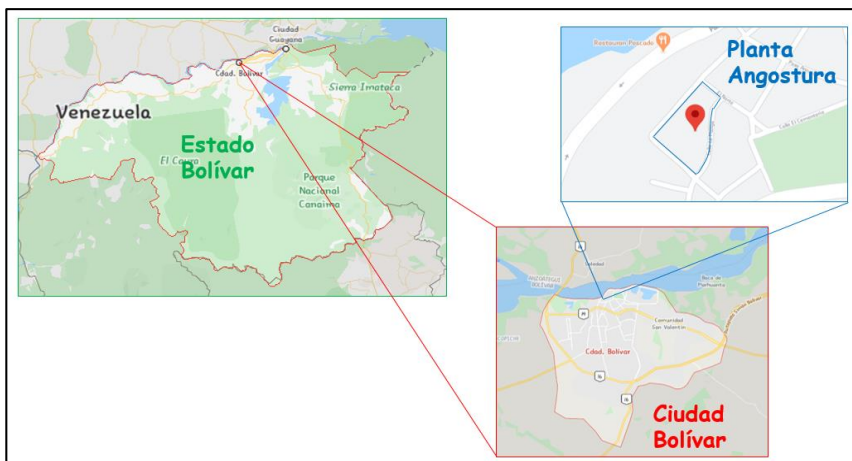


Figura 2.1. Ubicación geográfica de la Planta Angostura.

2.2 Acceso al área de estudio

La principal vía de acceso a la Planta Angostura es en Ciudad Bolívar, se atraviesa la Avenida 5 de julio desde la casa San Isidro o se atraviesa el Paseo Meneses,

luego se cruza a la Calle El cementerio en el Sector Perro Seco, finalmente se cruza a la Calle El Norte donde se encuentra ubicada la Planta Angostura.

2.3 Geología regional

La geología regional en el Municipio Angostura del Orinoco, está constituida principalmente por dos unidades geológicas bien definidas. Dichas unidades son: Formación Mesa y la Provincia de Imataca. La geología del área de estudio se reduce estrictamente a la Formación Mesa (Figura 2.2).

2.3.1 Formación Mesa

Según Hedberg y Pyre, (1944) en González de Juana, (1980) fue designada como los sedimentos jóvenes que cubren las masas de Venezuela oriental. No se ha designado una sección tipo, debido a que la formación aflora en casi todas las mesas, con secciones representativas. En particular se han mencionado, la Mesa de Guanipa (Anzoátegui), la Mesa de Tonoro y Santa Bárbara (Monagas). Se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas).

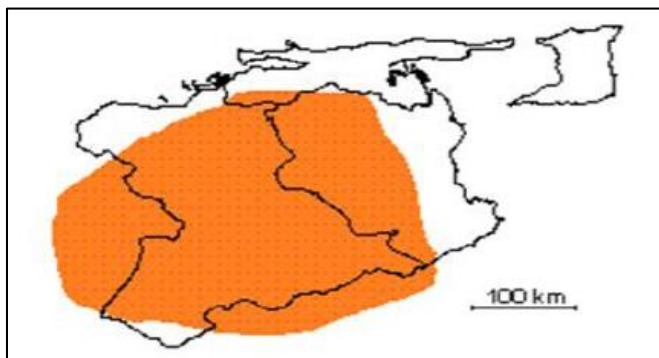


Figura 2.2. Formación Mesa (PDVSA - INTEVEP. 1999-2001).

En la Formación Mesa, la conformación es mayoritariamente de arenas no consolidadas, provenientes del Cuaternario, y aún más jóvenes son los depósitos sedimentarios originados por las inundaciones periódicas generadas por las crecientes del río. En montañas y colinas se observan areniscas, arcillas, margas, lutitas, calizas y limolitas, además de concreciones de hierro, grava y cuarcitas. En los límites Norte y Sur de la Mesa de Guanipa (González de Juana, 1980), la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cementos ferruginosos cementados y muy duros; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. En la Mesa de Tonoro se observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas. Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arenas.

En la Formación Mesa se han encontrado fósiles de agua dulce, asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silicificada. En Santa Bárbara de Maturín, la parte superior (76 m) consiste en gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso: la parte inferior (60 m) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas). Al suroeste de Maturín, la Formación Mesa está compuesta por arcillas moteadas y abigarradas, con nódulos sin arena. En los llanos centro16 orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas.

Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos. En la sección de río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito y Las Parcelas, la formación está constituida por conglomerados con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de

tamaño grande, aproximadamente 0.15 metros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo (González de Juana, 1980).

Según González de Juana, (1980) la Formación Mesa es producto de una sedimentación fluvio-deltáica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco. El mayor relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de grano más grueso, mientras que desde el sur el aporte principal era de arenas. En la zona central, postuló la existencia de ciénagas. González de Juana, (1980), considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales, contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior.

2.3.2 Provincia de Imataca

Según la define Menéndez (1968) en González de Juana (1980), está situada en el extremo norte de la Guayana venezolana y ocupa una faja angosta entre el río Caura al oeste y el territorio Delta Amacuro al este. Mendoza (1973, 1977) le asigna el nombre de Provincia Estructural Bolívar e indica que aparece de nuevo hacia el sureste en las montañas Kanukú, Guyana en el río Saramaca, Surinam, y en la isla de Cayena, Guayana Francesa.

En general, se considera que la provincia está representada en la actualidad por un conjunto de metasedimentos y gneises graníticos plegados en forma compleja, e intrusiones de granitos posteriores. Las edades más antiguas detectadas en rocas de la Provincia de Imataca alcanzan valores entre 3500-3600 millones de años, que pueden corresponder a la edad del protolito, o sea, a más rocas originales previas al metamorfismo (Montgomery et al., 1977). Estas rocas han sido plegadas, inyectadas por material granítico y parcialmente asimiladas, migmatizadas durante el evento

tectotermal de alrededor de 2800 millones de años posteriormente afectadas por la Orogénesis Trans-Amazónica, de alrededor de 2100 millones de años, durante la cual se produjeron intrusiones graníticas (Hurley et al., 1976).

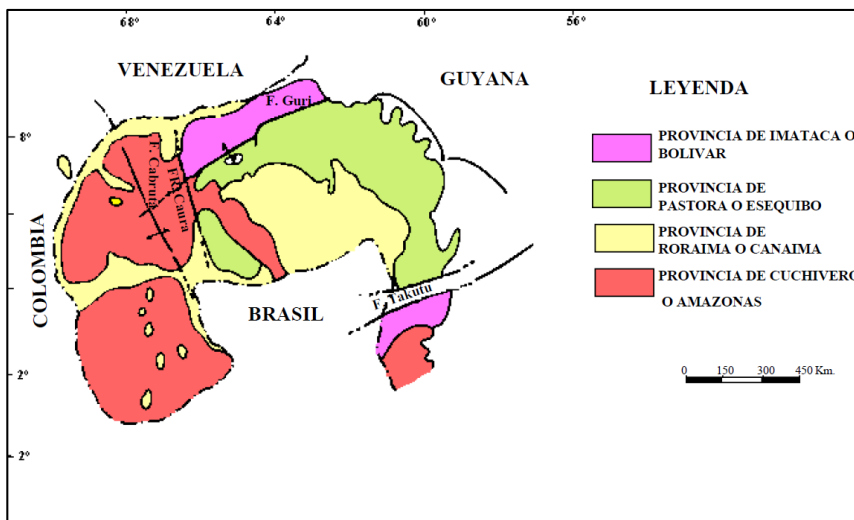


Figura 2.3. Provincias geológicas del Escudo de Guayana (Mendoza, V. 2000).

El origen de las rocas que constituyen esta provincia ha sido motivo de controversias. Diversos autores (Chase, 1965; Kallioroski, 1965; Ratmiroff, 1965) postulan un origen sedimentario de la mayoría de las rocas que la forman; otros autores (Quesada et al., 1968; Dougan, 1972, 1976, 1977; Martín B., 1974) consideran gran parte de la secuencia como de origen ígneo.

La idea más difundida acerca de las rocas de la Provincia de Imataca como un conjunto de rocas silíceas de composición calco-alcalina, con algunos episodios máficos y asociaciones mejores de sedimentarias e itabiritas o formaciones de hierro. Dougan (1977, p. 237), en la región cercana a Cerro Bolívar, que la composición de los elementos mayoritarios y trazas de las granulitas, gneises graníticos y anfibolitas,

ricas representativas de la secuencia original, así como las relaciones de composición en los piroxenos y óxidos de titanio y hierro, indican un protolito ígneo. Las relaciones de concentración de los elementos indican un carácter calco-alcalino, particularmente de series calco-alcalinas de tipo continental, especialmente en cuanto se refiere a las rocas silíceas. Otras rojas como granulitas máficas y anfibolitas asociaciones de tipo tholeiítico.

Las rocas incluidas dentro de la Provincia de Imataca han sido denominadas Complejo de Imataca

2.4 Río Orinoco

2.4.1 Cuenca del río Orinoco

En Rosales, J. Suárez, C. y Lasso, C. (2010) La cuenca del río Orinoco está localizada al norte de Suramérica entre -60 y -75 grados de longitud y entre los -2 a -10 grados de latitud norte, siendo uno de los ríos más largos de Suramérica con 2.150 km de recorrido, el tercero a nivel mundial en caudal (31.061 m³/seg) y el quinto en transporte de sedimentos: 150 millones de ton/año. Sus aguas recorren el Macizo Guayanés, la vertiente oriental de los Andes del Norte, la Cordillera de la Costa, la planicie de transición amazónica y las sabanas inundables y no inundables del oriente de Colombia y área central - oriental de Venezuela, donde finalmente por medio de un sistema deltaico se une al océano Atlántico.

El Orinoco es una cuenca binacional compartida por Venezuela (65%) y Colombia (35%), con un área de 981.446 km² (Figura 2.4), a lo largo de la cual habita una población de unos 10 millones de habitantes que vive y realiza actividades productivas, sustento de las economías tanto de Venezuela como de Colombia.

Hidrológicamente las principales cabeceras del Orinoco se encuentran en el Escudo Guayanés y la Cordillera Oriental en Colombia, cuyos diferentes orígenes geológicos junto con una evolución marcada por cambios en el drenaje, han propiciado el nacimiento de ríos provenientes de montañas y planicies, configurando así una colección de paisajes que sustentan la biodiversidad acuática y terrestre de la cuenca.



Figura 2.4. Mapa físico de la cuenca del Río Orinoco (Rosales, J. Suárez, C. y Lasso, C. 2010).

2.4.2 Transporte de sedimentos en el Río Orinoco

(Instituto Nacional De Canalizaciones, 2003) Anualmente, el Orinoco acarrea una gran cantidad de materiales sólidos, cuyos volúmenes promedios anuales se estimaron (en la década de los años 70) en unos 400 millones de m³ de sedimento en suspensión y de fondo; sin embargo debido a la magnitud de la intervención humana en la cuenca del río Orinoco, se supone que estos volúmenes se han incrementado. El transporte en suspensión ejecuta normalmente sobre sólidos contenidos en rango de

arena fina a materiales coloidales, que dependiendo de las fuerzas de las corrientes se depositan en el lecho cuando las velocidades se reducen por debajo de un valor crítico. A su vez, el transporte de fondo se ejerce sobre partículas comprendidas en el rango de los limos, arenas y gravas, que vienen transportados cerca de la superficie del lecho.

A lo que respecta a su incidencia sobre el Canal Orinoco, la sedimentación de partículas finas tiende a ocurrir en su desembocadura, mientras que la de materiales de fondo arenoso generalmente propenden a asentarse en el cauce del río.

De acuerdo a mediciones de campo efectuadas por U.S. Geological Survey, en sus análisis y la interpretación de los datos recolectados, han concluido que en el río la concentración de sedimentos en suspensión no está relacionada directamente con el volumen de agua descargada, como es típico en otros grandes ríos tales como el Amazonas y el Mississippi. Más bien, el ciclo anual de concentración de sedimentos en el Orinoco está caracterizado por dos picos máximos y dos picos mínimos: los dos máximos ocurren durante las fases de aguas medias ascendentes (abril - junio) y en las etapas de aguas medias descendentes (octubre – diciembre), y los dos picos mínimos se registran en plena fase de aguas bajas (febrero – marzo) y en la época de completas aguas altas (agosto – septiembre).

La ocurrencia de un significativo mínimo de concentración de sedimentos en suspensión durante los meses en que los niveles y la descarga de agua son mayores en el Orinoco, esto podría tener su origen en el represamiento que hace el Orinoco sobre los ríos llaneros en el tope de la temporada de invierno, mientras que la alta concentración de sedimentos en suspensión en la estación de verano podría tener dos fuentes: el desmoronamiento de los barrancos en las riberas provocado por escurrimiento de las aguas de lagunas estancadas desde el invierno, y las arenas finas transportadas al río por los vientos alisios (que en esa época soplan con gran intensidad) tomadas de los bancos y playones que afloran en el periodo de estiaje.

2.4.3 Mineralogía y procedencia de los sedimentos del Rio Orinoco

El objetivo del trabajo de Bernal, A. y Rivadulla, R. (2009) fue determinar el origen de las rocas de donde proceden los sedimentos de la isla y la barra Orocopiche, tales sedimentos como las arenas se encuentran muy cerca de la zona de captación de agua cruda de la Planta Angostura.

Los minerales en las arenas son cuarzo de 93% a 96%, minerales pesados opacos entre 3% a 5% y el resto 1% a 3%, en orden decreciente mica moscovita, hornblenda, clorita, turmalina, estaurolita, granate, andalucita, mica biotita y circón. Del análisis de fragmento de cuarzo, resulto que predominan los cuarzoes poli cristalinos con 2 o 3 subcristales y más de 3, seguido del cuarzo mono cristalino no ondulado y ondulado, los minerales pesados permitieron deducir que los sedimentos proceden de rocas ígneas silíceas e intermedias, pegmatitas, y metamórficas asociadas al Complejo de Imataca, y los fragmentos de cuarzo, principalmente las rocas son plutónicas y metamórficas de mediano a alto grado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Molina, M. y Tigreros, J. (2005) en su trabajo de investigación titulado: “Evaluación preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Arauca, Colombia”. El principio básico en el tratamiento de aguas residuales es la separación del líquido de los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades físicas químicas o biológicas con el objeto de alcanzar niveles compatibles con los requisitos de descarga.

Corona, J. (2011) en la revista “Estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela”. Se evidencia; las plantas que operan con el tratamiento de lodos activados permiten la depuración mecánica de sedimentos en suspensión y de sustancias orgánicas biodegradables por medio de microorganismos activos en la superficie del agua (Lodos Activados). Luego, son separados por sedimentación en un decantador secundario. Asimismo, los sistemas que trabajan por medio de tanques Imhoff eliminan los sólidos sedimentables por medio de una cámara de sedimentación y remueven diariamente la formación de espuma. Luego, los lodos acumulados en la cámara se extraen periódicamente y se conduce a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después se retiran y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para el mejoramiento de los suelos.

Rodríguez, J. (2013) en su proyecto de grado titulado: “Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la sabana de Bogotá (estudio de caso Madrid, Cundinamarca)”.

Para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en el cual expone: Dentro de las alternativas para uso o disposición final de los lodos propuestos en el proyecto se destacan la recuperación de suelos, alimento para animales, la fijación química, la fabricación de ladrillos aislantes, entre otros y con base en el estudio se propuso como alternativa principal su uso como abono para la recuperación de suelos erosionados.

López Díaz (2014) según su trabajo de grado titulado: “Proyecto de planta de aguas residuales empleando un proceso de tipo biológico-anaerobio, en la población de Naiguatá, Estado Vargas”. Para optar por el título de Ingeniero Industrial en el cual se describe: Las plantas de tratamiento de aguas residuales no utilizan los procesos físicos, químicos y biológicos de una manera continua, algunas utilizan los procesos físicos y químicos, otras los físicos y biológicos, por lo que comúnmente aplican solo dos de los de ellos como sistemas de eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, en el proyecto se plantea el uso de estos tres sistemas de depuración, con el fin de eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos que puedan estar presentes en el agua efluente de la región determinada.

Ramírez, G. (2003) en su trabajo de grado titulado: “Manejo de lodos producido en la planta de tratamiento de agua potable, Planta II, del Municipio de Cartago, Valle” dice: las características de los lodos en plantas de tratamiento varían en función de la calidad del agua, tipo de proceso, cantidad y clase de coagulante utilizado y de los compuestos adicionales para el tratamiento. Estos factores son los que condicionan la clase de lodo y los problemas de orden ambiental que estos generan.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Proceso de tratamiento del agua cruda para potabilización

El agua potable no nace, se hace. Cuando un proveedor de agua obtiene el agua no tratada de un río o embalse, regularmente contiene suciedad y pequeños pedazos de hojas y otras materias orgánicas, además de pequeñas cantidades de ciertos contaminantes. Esto se lleva a cabo a través de un proceso industrial donde se conjugan factores importantes que requieren de esfuerzo humano, de toda una organización de trabajo permanente y grandes inversiones (Hidrobolívar, 2018).

3.2.1.1 Clarificación

Consiste en la eliminación de partículas finas, que originan la turbiedad, propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta, además de turbiedad es posible también definir color. Se habla de color aparente si no se ha removido la turbiedad y de color verdadero del agua en caso contrario. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica y minerales en suspensión o en estado coloidal. Esta etapa se subdivide en: Coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Hidrobolívar, 2018).

✓ **Coagulación y Floculación:** son dos procesos en el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar. La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que reduzcan las fuerzas de separación entre ellas, comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundos. La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y

Comentado [AGL3]: Los títulos de quinto orden van como te lo indico aquí, (Viñeta, título sin negrita y seguido de los dos puntos la definición) debes arreglar todos los demás.

porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar (Hidrobolívar, 2018).

✓ **Sedimentación**

A través de este proceso los sólidos suspendidos (hidróxidos que se han formado) son separados del agua, dejándolos reposar y por acción de la gravedad sedimentan en el fondo de los decantadores. Un decantador consiste en un recipiente generalmente rectangular, con un volumen suficiente como para permitir que el agua permanezca el tiempo necesario para que los coágulos se depositen en el fondo, formando lo que comúnmente se denominan barros (Hidrobolívar, 2018).

✓ **Filtración**

Consiste en separar un sólido de un líquido por un método físico. El agua limpiada conserva aún algunos materiales en suspensión y es necesario filtrarla para producir una clarificación completa (Hidrobolívar, 2018).

3.2.1.2 Desinfección

Aunque la carga microbiana puede haber quedado retenida en el filtro de arena fina, es necesario desinfectar el agua. A partir de la cloración de las aguas, se han podido controlar la mayoría de las enfermedades de transmisión hídrica como el cólera y las disenterías bacterianas.

El desinfectante utilizado casi universalmente es el gas Cloro, pudiéndose utilizar también el método de la ozonización. La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua.

La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de estos microorganismos. Si estos microorganismos no son eliminados el agua no es potable y es susceptible de causar enfermedades. El agua potable no puede contener estos microorganismos (Hidrobolívar, 2018).

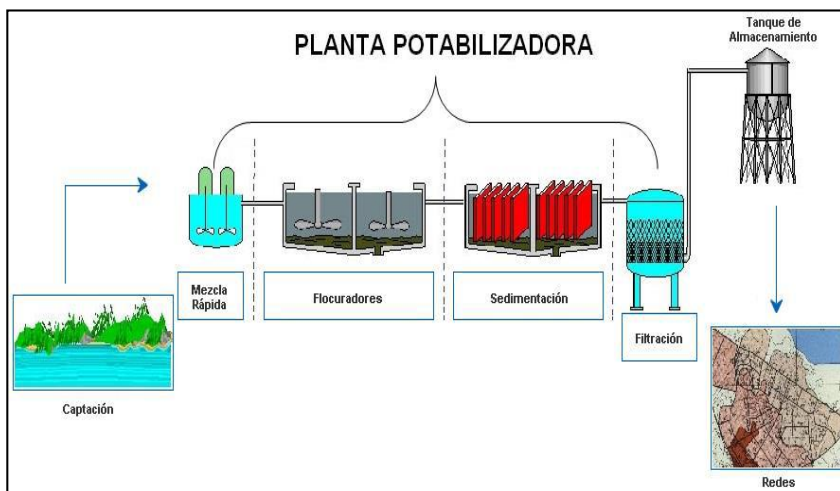


Figura 3.1. Esquema de fases del proceso de tratamiento de agua (Hidrobolívar, 2018).

3.2.2 Índice de Calidad del Agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA) es básicamente un medio matemático de calcular un valor simple a partir de múltiples resultados de pruebas realizadas a ésta. El índice resulta representar el nivel de calidad del agua en una cuenca dada, tal como un lago, río o corriente (The National Sanitation Foundation - NSF International, 2003). El ICA, desarrollado a principios de la década de 1.970, puede ser usado para monitorear los cambios en la calidad de una fuente particular de agua a través del tiempo, para comparar la calidad de una fuente de agua contra otra en una región o de cualquier otra parte del mundo y para determinar si una extensión particular de agua es

saludable. Resulta importante monitorear la calidad del agua durante un período de tiempo de manera que se puedan detectar cambios en su ecosistema. El ICA puede dar una indicación de la salud de un cuerpo de agua en un momento dado y en varios puntos, a la vez que puede ser usado para seguir la pista y analizar los cambios a través del tiempo.

Para realizar los cálculos del índice de calidad del agua (ICA) de un río o cuerpo de agua, los parámetros seleccionados por The National Sanitation Foundation (NSF) son medidos, y se refieren al incremento o cambio en la temperatura del agua, la cantidad de oxígeno disuelto (OD), la cantidad de coliformes fecales, la cantidad de fosfatos y nitratos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos totales, el pH y la turbidez.

El ICA usa una escala de 0 a 100 para categorizar la calidad de un agua. Una vez que el valor global del ICA se conoce, éste se compara contra una escala para determinar el estado saludable de un cuerpo de agua en un día dado (Tabla 3.2).

Tabla 3.1. Índice de calidad de agua.

ICA	Calidad del agua	Color descriptor de la calidad
91 - 100	Excelente	Azul
71 - 90	Buena	Verde
51 - 70	Media (promedio)	Amarillo
26 - 50	Mala	Naranja
0 - 25	Muy mala (pésima)	Rojo

Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos son los siguientes:

3.2.2.1 Parámetros físicos

✓ **Sólidos totales**

Comentado [AGL4]: Arreglar como un título de 5to orden

Residuo seco que contienen materiales tanto orgánicos como inorgánicos que se encuentran en el ecosistema acuático. Se expresa en ppm o mg/l. Es una medida de los materiales sólidos disueltos en el agua de los ríos, y que incluyen las sales, algunas materias orgánicas y un amplio rango de nutrientes y materiales tóxicos. Un nivel constante de minerales en el agua es requerido para el sustento de la vida acuática. La concentración de sólidos totales (T.D.S) muy elevada o muy baja limita el crecimiento y conduce a la muerte de la mayoría de las formas de vida acuática. El término se aplica al residuo que deja una muestra de agua después de evaporarse a una temperatura definida (por lo general entre 103-105°C). Los sólidos totales que están en un rango de 2.000 y 4.000 partes por millón (ppm) en el agua hacen que ella sea desagradable al paladar y tenga efectos laxantes en los seres humanos (The National sanitation Foundation – NSF International, 2003).

✓ **Turbidez**

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO₂ ha sido muy utilizada pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros. Se elimina por procesos de coagulación, decantación y filtración

✓ **Temperatura**

La temperatura es la medida del calor almacenado en el agua. La capacidad del agua para almacenar calor es alta y esto hace que sea un elemento moderador del clima. La temperatura estable para su ingestión es de 10° C a 14° C. La temperatura de la superficie del agua es influenciada por la latitud, altitud, la época del año, la hora del día, la circulación del aire, la nubosidad, la profundidad y el flujo del cuerpo de agua. A su vez la temperatura afecta los procesos físicos, químicos y biológicos del cuerpo de agua, y por lo tanto, la concentración de muchas variables. A medida que la temperatura del agua se incrementa, también lo hace la tasa de reacciones químicas junto con la evaporación y volatilización de sustancias provenientes en esta: incluso se intensifican los olores y sabores. Sin embargo, el incremento de la temperatura reduce la solubilidad de los gases en el agua (O₂, CO₂, N₂, CH₄ entre otros) (Chapman y Kimstach, 2003).

3.2.2.2 Parámetros químicos

✓ Potencial de hidrogeno (pH)

Es una medida de acidez que expresa las concentraciones de iones hidrogeno, o hidronios en el agua. La mayoría de las formas de vida acuática tienden a ser muy sensibles al pH. El agua que contiene una gran cantidad de contaminación orgánica tenderá generalmente a ser un poco ácida. El agua con un pH de 7 se considera neutra, si está por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 se dice que es alcalina. No solamente el pH afecta a los organismos vivos que viven en el agua, sino que el cambio en el pH puede también ser un indicador del aumento en la contaminación o algunos otros factores ambientales. Los rangos de pH varían desde 0 a 14, siendo el 7 el promedio “neutral”. Los pH menores de 7 indican una acidez mayor, mientras que mediciones mayores a 7 representan mayor alcalinidad (básicos) (The National Sanitation Foundation International, 2003 en Brown, R. y Rengel, A. 2014).

✓ Oxígeno disuelto (OD)

Es la que mide la cantidad de oxígeno disuelto en el agua útil para sostener la vida. Éste representa el oxígeno disponible para los peces, invertebrados y los otros animales que viven en el agua. La mayoría de las plantas acuáticas y animales necesitan el oxígeno para vivir, de hecho los peces se ahogarían en el agua si los niveles de oxígeno disuelto son bajos. Los bajos niveles de OD son signos de posible polución de las aguas (The National Sanitation Foundation-NSF International, 2003).

✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días (DBO_5) y se mide en ppm de O_2 . Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm. Un contenido superior es indicativo de contaminación. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En las aguas residuales industriales su concentración es totalmente dependiente del proceso de fabricación pudiendo alcanzar varios miles de ppm. Su eliminación se realiza por procesos fisicoquímicos y biológicos aerobios o anaerobios (Brown, R. y Rengel, A. 2014)

✓ Nitratos y fosfatos

El ion nitrato (NO_3^-) forma sales muy solubles y estables, es un un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm. Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm. Concentraciones muy elevadas en agua de bebida puede producir la cianosis infantil. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

Los fosfatos son compuestos químicos constituidos por fósforos y oxígeno. Son necesarios para el crecimiento de las plantas y de los animales. Los fosfatos pueden estar presentes en el agua de muchas formas, por lo que el parámetro fosfatos totales da un estimado de la cantidad total del fosfato potencialmente disponible en el cuerpo de agua (Brown, R. y Rengel, A. 2014).

3.2.2.3 Parámetros bacteriológicos

✓ Coliformes totales

Se refiere a un grupo de bacterias pertenecientes a la familia de las Enterobacterias que se definen como bacilos grandes negativos aerobios o anaerobios facultativos, no formadores de esporas, que fermentan la lactosa a 35°C en 24 a 48 horas. O si es aplicado a las técnicas de filtros de membrana, el término sería, un grupo de bacterias gran negativas, no formadoras de esporas, que desarrollan unas colonias rojas con o sin brillo verde metálico dentro de las 24 horas a 35°C en un medio que contiene lactosa (Villasana, Y. y Geiringer, A. 2011 en Brown, R. y Rengel, A. 2014).

✓ Coliformes fecales

Representa una forma de bacteria encontrada en los desperdicios de origen humano y animal. Los indicadores más usados son la *Escherichia coli*, considerado el microorganismo indicador de contaminación fecal por excelencia, y el grupo de Coliforme en su totalidad que incluye todos los microorganismos gram-negativos, bacilos que no forman esporas y fermentan la lactosa produciendo gases de 48 horas al incubarlos a 35°C. El agua contaminada bacteriológicamente puede servir de vehículo para un gran número de enfermedades como la gastroenteritis producida por la *Escherichia coli*, la ascariasis producidas por el Áscari y muchas otras enfermedades

producto del consumo de un agua no apta para esto (Villasana, Y. y Geiringer, A. 2011 en Brown, R. y Rengel, A. 2014).

3.2.3 Producción de sedimento en plantas de tratamiento de agua potable

De acuerdo a Sandoval, Luciano. (1994) en Ramírez, G. (2003) la cantidad de sedimento producido en una planta de coagulación con sulfato de aluminio para la remoción de turbiedad puede ser expresada como:

$$W = \{86.4 \times Q \times [(0.44 \times Al) + ST + A]\} \quad (3.1)$$

Dónde:

W = Sedimento producido (peso seco) (kg/día).

86.4 = Factor de conversión para caudal diario.

Q = Caudal de entrada (m³/seg).

0.44 = Factor de conversión para peso en kilogramos al día.

Al = Dosificación de Sulfato de Aluminio (mg/l).

ST = Sólidos Totales (mg/l).

A = Productos químicos adicionales (mg/l).

3.2.4 Características físicas de los sedimentos

3.2.4.1 Relaciones de volumen

✓ **Grado de saturación (S_w)** es la relación del volumen de agua en los espacios vacíos entre el volumen de vacíos, que en general se expresa como un porcentaje (Das, Braja. 2014).

✓ **Porosidad (n)** es la relación entre el volumen de vacíos entre el volumen total, generalmente se expresa en porcentajes (Das, Braja. 2014).

✓ **Relación de vacíos (e)** es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos (Das, Braja. 2014)..

3.2.4.2 Relaciones de peso

✓ **Humedad (ω)** es la relación del peso del agua al peso de los sólidos en una determinada masa de suelo, expresada, generalmente, en porcentaje (Das, Braja. 2014).

✓ **Peso específico total (γ_t)** es la relación del peso total de un elemento de suelo entre el volumen total de dicho elemento (Das, Braja. 2014).

✓ **Peso específico seco (γ_d)** es la relación del peso de la fase solida de un elemento de suelo entre el volumen total de dicho elemento (Das, Braja. 2014).

3.2.5 Características químicas de los sedimentos

La característica química fundamental es la composición química

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando, además, en algunas ocasiones silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen casi siempre estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la aluminica.

La primera está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro. Estos tetraedros se agrupan en

unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada dos tetraedros. Las unidades hexagonales se reparten indefinidamente, constituyen una redícula laminar.

Las láminas aluminicas están formadas por redículas de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro de seis oxígeno alrededor, también ahora es el oxígeno el nexo entre cada dos octaedros vecinos, para constituir la redícula.

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres grandes grupos: caolinitas, montmorillonitas e illitas. Las caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) están formadas por una lámina silícica y otras aluminicas, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las redículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caoliniticas serán relativamente estable en presencia de agua.

Las montmorillonitas $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ están formadas por una lámina aluminica entre dos silíceas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las redículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macrofísicamente, en una expansión. Las arcillas montmorilloniticas, especialmente en presencia de agua, presentaran fuerte tendencia a la inestabilidad

Las illitas $[(\text{OH})_4 \cdot \text{K}_y (\text{Si}_{8-y} \cdot \text{Al}_y) (\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6) \text{O}_{20}]$, con y, por lo general, igual a 1.5] están estructuradas análogamente que las montmorillonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de las montmorillonitas y, en general, las arcillas illiticas, se comportan

mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. 2005).

3.2.6 Análisis geotécnico de los sedimentos

3.2.6.1 Distribución granulométrica

(Das, Braja. 2014) El análisis mecánico es la determinación de la gama de tamaños de partículas presentes en un suelo, expresados como un porcentaje del peso seco total (o masa). Generalmente se utilizan dos métodos para encontrar la distribución de tamaño de partícula de suelo: (1) análisis de tamiz para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro, y (2) análisis de hidrómetro para tamaños de partículas más pequeñas que 0.075 mm de diámetro.

Los principios básicos del análisis de tamiz y el análisis de hidrómetro se describen a continuación:

Tabla 3.2. Límites del tamaño de suelos separados.

Sistema de clasificación	Tamaño de grano	mm
Unificado	Grava	75 - 4,75
	Arena	4,75 – 0,075
	Limo y Arcilla	< 0,075
AASHTO	Grava	75 – 2
	Arena	2 – 0,05
	Limo	0,05 – 0,002
	Arcilla	< 0,002

Tabla 3.3. Tamaños de tamices U. S. Standard.

Tamiz nº	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

✓ **Análisis granulométrico por tamiz (vía seca)**

Comentado [AGL5]: Título de 5to orden

El análisis de tamiz consiste en agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices que tienen aberturas más pequeñas progresivamente. Los números estándar de tamiz y los tamaños de las aberturas se dan en la Tabla 3.3. Los tamices utilizados para el análisis de suelos son generalmente de 203 mm de diámetro.

Para llevar a cabo un análisis granulométrico, uno debe primero secar al horno el suelo y luego romper todos los grumos en pequeñas partículas. A continuación se agita el suelo a través de una pila de tamices con aberturas de tamaño decreciente de arriba abajo (se coloca una charola por debajo de la pila). El tamiz de tamaño más pequeño que se debe utilizar para este tipo de prueba es el tamiz número 200. Después de agitar el suelo, se determina la masa de suelo retenido en cada tamiz. Cuando se analizan los suelos cohesivos, romper los terrones en partículas individuales puede ser difícil. En

este caso el suelo se puede mezclar con agua para formar una suspensión y después lavarse a través de los tamices. Las porciones retenidas en cada tamiz se recogen por separado y se secan al horno antes de medir la cantidad recogida en cada tamiz.

Una vez que se calcula el por ciento más fino para cada tamiz, los cálculos se representan en el papel de gráfico semi-logarítmico (Figura 3.2) con el porcentaje más fino como la ordenada (escala aritmética) y el tamaño de la abertura del tamiz como la abscisa (escala logarítmica). Esta trama se conoce como curva de distribución de tamaño de partícula.

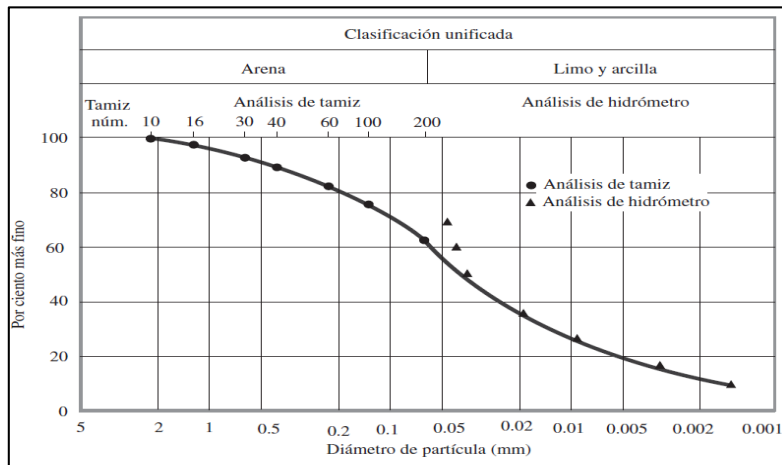


Figura 3.2. Gráfico semi-logarítmico (Das, Braja. 2011)

✓ Análisis granulométrico por hidrómetro (vía húmeda)

El análisis de hidrómetro se basa en el principio de la sedimentación de los granos del suelo en agua. Cuando una muestra de suelo se dispersa en agua, las partículas se depositan a diferentes velocidades, en función de su forma, tamaño y peso. Por

simplicidad, se supone que todas las partículas de suelo son esferas y que la velocidad de las partículas del suelo puede ser expresada por la ley de Stokes.

En el laboratorio, la prueba de hidrómetro se lleva a cabo en un cilindro de sedimentación con 50 g de la muestra secada al horno. El cilindro de sedimentación tiene 457 mm de altura y 63.5 mm de diámetro. Está marcado para un volumen de 1000 ml. El hexametáfosfato de sodio se usa generalmente como agente dispersante. El volumen de la suspensión de suelo dispersa se lleva hasta 1000 ml mediante la adición de agua destilada.

Cuando se coloca un hidrómetro tipo 152H ASTM en la suspensión de suelo en un tiempo t , medido a partir del comienzo de la sedimentación, éste mide la gravedad específica en las proximidades de su bulbo a una profundidad L . la gravedad específica es una función de la cantidad de partículas presentes por unidad de volumen de suspensión a esa profundidad.

También en un tiempo t las partículas de suelo en suspensión a una profundidad L tendrán un diámetro menor que D , tal como se calcula con la ecuación 3.2; y las partículas más grandes se han asentado fuera de la zona de medición. Los hidrómetros están diseñados para dar la cantidad de suelo, en gramos, que aún está en suspensión. Los indicadores de humedad están calibrados para suelos que tienen una gravedad específica (G) de 2.65; para los suelos de otra gravedad específica es necesario hacer correcciones.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.2)$$

Donde:

D = diámetro de las partículas de suelo (mm)

K = variable

L = longitud efectiva (cm)

t = tiempo (min)

Al conocer la cantidad de suelo en suspensión, L y t , se puede calcular el porcentaje de suelo por el peso más fino de un diámetro dado. Tenga en cuenta que L es la profundidad medida desde la superficie del agua hasta el centro de gravedad del bulbo del hidrómetro en el que se mide la densidad de la suspensión. El valor de L va a cambiar con el tiempo t . El análisis de hidrómetro es eficaz para la separación de fracciones del suelo hasta un tamaño de alrededor de 0.5μ .

En muchos casos los resultados del análisis de tamiz y del análisis de hidrómetro para las fracciones más finas de un suelo dado se combina en un gráfico, como el que se muestra en la Figura 3.2. Cuando se combinan estos resultados generalmente se produce una discontinuidad en el intervalo donde se superponen.

3.2.6.2 Límites de consistencia

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una excesiva cantidad de agua, este puede fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido W_L . Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se define como el límite plástico W_P y el límite de contracción W_C , respectivamente (Das, Braja. 2011). Estos se denominan límites de Atterberg (Figura 3.3):

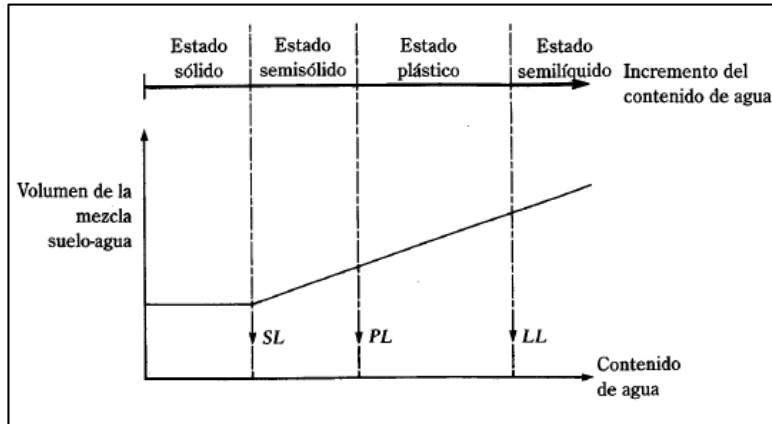


Figura 3.3. Límites de Atterberg (Das, Braja. 2011).

✓ El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande (Designación de prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/8 pulgada (3.18 mm) mediante 25 golpes.

✓ El límite plástico se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 1/8 de pulgada (3.18 mm) de diámetro (Designación de prueba D-4318 de la ASTM).

La diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad I_P , o:

$$I_P = L_L - L_P \quad (3.2)$$

Dónde:

I_P = índice de plasticidad (%).

L_L = limite líquido (%).

L_P = limite plástico (%).

3.2.6.3 Sistema de clasificación geotécnico de suelos

(Das, Braja. 2011) Los sistemas de clasificación de suelos dividen a estos grupos y subgrupos en base a propiedades ingenieriles comunes tales como la distribución granulométrica el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son el sistema AASHTO (American Association Of States Highway And Transportation Officials) y el Unified Soil Classification Sistem (también ASTM). El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones.

✓ American Association Of States Highway And Transportation Officials (AASHTO)

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Sub-rasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145). El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la Figura 3.4.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupo:	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30										
	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

Figura 3.4. Sistema de clasificación de suelos AASHTO (Das, Braja. 2011).

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz número 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz número 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1) Tamaño de grano: a.1) Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz número 10 (2 mm); a.2) Arena: fracción que pasa el tamiz número 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz número 200 (0.075 mm); a.3) Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz número 200.

2) Plasticidad: el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.

3) Si se encuentran cantos y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la Figura 3.4, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta.

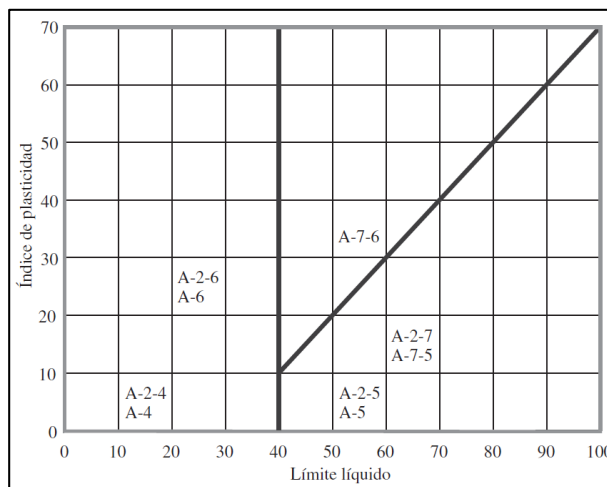


Figura 3.5. Carta de plasticidad ASHTOO (Das, B. 2013).

La Figura 3.5 muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de sub-rasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

Comentado [AGL6]: Cuando la palabra figura o tabla va fuera del paréntesis la primera letra debe ser minúscula. Debes arreglar esto y todos los demás que tengas en el trabajo

✓ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue originalmente propuesto por A. Casagrande en 1942 y después revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema se usa en prácticamente todo trabajo de geotecnia (Das, Braja. 2011).

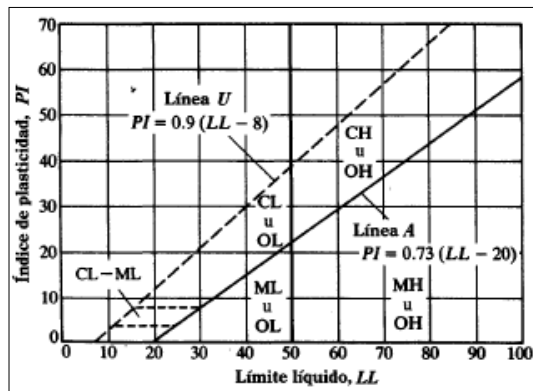


Figura 3.6. Carta de plasticidad (Das, Braja. 2011)

Determinados L_L y L_P se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad de Casagrande (Figura 3.4), representando la relación del límite líquido, W_L , con el índice de plasticidad, I_P ($I_P = L_L - L_P$) representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido). A partir de diversos estudios prácticos, Casagrande definió que los suelos con $L_L > 50$ son de alta plasticidad (admiten mucha agua, pueden experimentar deformaciones plásticas grandes, etc.); por debajo de este valor los suelos se consideran de baja plasticidad. También definió una línea A (Figura 3.6) que resulta paralela a la dirección con que, en esa carta, se ordenan las muestras de un mismo terreno.

Utilizando la línea A y el criterio de baja y alta plasticidad, en la carta de Casagrande se definen varias zonas, representadas en la Figura 3.5; según los estudios del citado autor los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido a semilíquido, situándose por debajo de la línea A, mientras que las arcillas están por encima de dicha línea. Se definen, así, varios tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) y limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH). En la práctica se representa el punto correspondiente a los valores determinados de W_L e I_P y se obtiene una clasificación que sirve para completar la identificación de un suelo, con lo que se puede conocer el predominio de la fracción arcillosa o limosa (González de Vallejo, J. Ferrer, M. Ortuño, L. Oteo, C. 2002).

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Símbolo del grupo	Nombres típicos		
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Gravas más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4 Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
		Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas			
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas			
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la desgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)		
			Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
			Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Ligera a media			Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos	
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas	
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	
		Facilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	
Suelos altamente orgánicos							

Figura 3.7. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (González de Vallejo, J., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002)

3.3 Bases Legales

3.3.1 Decreto 883 - Norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (11/10/1995)

Este decreto establece las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos.

Tabla 3.4. Clasificación de las aguas (decreto 883-11/10/1995).

Tipo		Subtipo	
1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
		B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
		C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
2	Aguas destinadas a usos agropecuarios.	A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
		B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
3	Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.	-	
4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.	A	Aguas para el contacto humano total.
		B	Aguas para el contacto humano parcial.
5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.	-	
6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.	-	
7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.	-	

Tabla 3.5. Límites y rangos permisibles para la clasificación de aguas tipo 1 (decreto 883-11/10/1995).

Parámetro	Limite o rango máximo			Unidades
	1A	1B	1C	
pH	6.0-8.5	6.0-8.5	3.8-10.5	-
Turbiedad	<25	<250	-	UNT
Color real	<50	<150	-	U Pt-Co
Oxígeno disuelto (OD)	>4.0	>4.0	-	mg/l
fluoruros	<1.7	<1.7	-	mg/l
Organismos coliformes totales	Promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml	Promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml	-	-

3.3.2 Norma 638 sobre la clasificación y control de calidad de los cuerpos de agua (Código orgánico ambiental, 2000):

Tabla 3.6. Límites permisibles de los elementos del agua según la norma 638 del código orgánico ambiental.

Parámetro	Limites o rangos máximos		
	1-A	1-B	1-C
pH	6,0 a 8,5	6,0 a 8,5	3,8 a 10,5
Turbiedad	Menor 25 UNT	Menor 250 UNT	-
Cloruros	-	600	-
Sulfatos	-	400	-
Nitratos	-	10,0	-
Dureza CaCO ₃	-	500	-
Solidos Totales	-	1500 mg/l mg/l	-
Cadmio	-	0,01 mg/l	-
Hierro	-	1,0 mg/l	-
Plomo	-	0,05 mg/l	-
Sodio	-	200 mg/l	-
Manganeso	-	0,1 mg/l	-
Oxígeno Disuelto	Mayor 4,0 mg/l	Mayor 4,0 mg/l	-
	Promedio mensual	Promedio mensual	

3.3.3 Norma sanitaria de calidad de agua potable (Gaceta oficial 36.395 - 13/02/1998)

El objetivo de las "Normas sanitarias de calidad de agua potable" es establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

Tabla 3.7. Componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable (Gaceta oficial 36.395 - 13/02/1998).

Componente o Característica	Unidad	Valor deseable menor a	Valor máximo aceptable ^(a)
Color	UCV ^(b)	5	15 (25)
Turbiedad	UNT ^(c)	1	5 (10)
Olor o sabor	-	Aceptable para la mayoría de los consumidores	-
Sólidos disueltos totales	mg/l	600	1000
Dureza total	mg/l CaCO ₃	250	500
pH	-	6.5-8.5	9.0
Aluminio	mg/l	0.1	0.2
Cloruro	mg/l	250	300
Cobre	mg/l	1.0	(2.0)
Hierro total	mg/l	0.1	0.3 (1.0)
Manganeso total	mg/l	0.1	0.5
Sodio	mg/l	200	200
Sulfato	mg/l	250	500
Cinc	mg/l	3.0	5.0

(a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.
(b) UCV: Unidades de Color Verdadero.
(c) UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

3.3.4 Resistencia mecánica en seco del bloque de arcilla

Oronoz, K. (2018) en su informe “CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO” en la Alfarería Bolívar C.A., habla que la resistencia mecánica está siempre vinculada a la composición mineralógica, que presenta la materia prima (arcilla) y a su plasticidad. Es de gran importancia los valores de la resistencia mecánica del producto en seco, ya que el mismo debe transitar por las diversas operaciones del proceso productivo sin romperse o fisurarse. Siendo la resistencia mecánica a la compresión en seco mínimo para un bloque de 40 kg/cm² (Tabla 3.7), como lo especifica la norma COVENIN 2 - 78.

Tabla 3.8. COVENIN 2 – 78: Requisito de resistencia a la compresión para bloques (Norma Venezolana, 1978).

Ítem	Tipo A		Tipo B		Norma a utilizar
	Promedio para 5 bloques	Mínimo para 1 bloque	Promedio para 5 bloques	Mínimo para 1 bloque	
Resistencia a la compresión	50 kg/cm ²	40 kg/cm ²	20 kg/cm ²	15 kg/cm ²	COVENIN 23
Absorción	20 %	-	20 %	-	

En la norma COVENIN 2 -78 de la materia prima dice: La arcilla, o tierras arcillosas utilizada para la fabricación de bloques deberá estar preparada, a veces con adición de materias áridas o plástica de suficiente consistencia de modo que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones, no deberá contener material alguno que pueda causar eflorescencia en el acabado (Norma Venezolana, 1978).

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

La investigación de tipo descriptiva según el autor Arias, F. (2012) se define como: “Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”.

Se afirma que la presente investigación es de tipo descriptiva debido a que se pretende realizar una caracterización y descripción física, química y geotécnica de los sedimentos de los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.

4.2. Diseño de la investigación

La investigación de diseño de campo según el autor Arias, F. (2012) se define como: “Es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”.

También se afirma que la investigación es de diseño de campo debido a que los datos son recolectados directamente de los tanques de sedimentación en la Planta Angostura, por lo tanto, existe un contacto real y directo con las variables sin alterarlas de manera alguna.

4.3. Población de la investigación

“La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (Arias, F. 2012). En el marco de la presente investigación la población está representada por:

- a) El sedimento acumulado en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.
- b) El agua cruda utilizada para potabilizar desde la cual proviene el sedimento de los tanques de sedimentación.

4.4 Muestra de la investigación

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, F. 2012). En el marco de la presente investigación la muestra está representada por:

- a) Tres muestras de agua cruda llamadas MA1, MA2 y MA3. El muestreo de agua cruda se realizó en la Balsa Toma ubicada en la rivera derecha del río Orinoco el cual es el punto de captación de agua cruda de la Planta Angostura, dicha agua cruda es la fuente de sedimento de los tanques de sedimentación.
- b) Tres muestras de sedimento llamadas MS1, MS2 y MS3. El muestreo de sedimento se realizó en tres de los cuatro tanques de sedimentación de la Planta Angostura, esto debido a la disponibilidad de solo tres tanques al momento del muestreo.



Figura 4.1. Muestras de sedimento secándose al sol.

Comentado [AGL7]: Esta figura no está citada en los párrafos anteriores. Toda figura o tabla debe ser citada previamente a su aparición

4.5 Técnicas de recolección de datos

La *técnica de investigación* según el autor Arias, F. (2012) se define como: “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”.

Las técnicas de investigación o de recolección de datos utilizadas para llevar a cabo la presente investigación son las siguientes:

✓ **Recopilación bibliográfica**

Según Hurtado (2008), la revisión documental “es una técnica en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismo constituyen los eventos de estudio”. En la presente investigación se utiliza información

Comentado [AGL8]: Las viñetas son exclusivas de los títulos de quinto orden, esto es un título de tercer orden, debes arreglarlos todos

bibliográfica, documental previa del área de estudio concerniente a los tanques de sedimentación.

✓ **Observación estructurada**

Según Arias, F (2006) “La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. Por lo tanto, mediante la técnica de observación estructurada, y directa, del proceso de potabilización agua cruda y acumulación del sedimento en los tanques se realizó la presente investigación.

✓ **Entrevista informal**

Sabino, C. (1992) define a este tipo de entrevista como “La modalidad menos estructurada posible de entrevista ya que la misma se reduce a una simple conversación sobre el tema en estudio.” Esta investigación requirió la realización de preguntas de forma oral tanto a Ingenieros encargados de planta como Operadores de planta que forman parte del equipo de trabajo de la Planta Angostura de Hidrobolívar C. A., obteniendo datos necesarios para el trabajo realizado; aplicando así la modalidad mencionada.

4.6 Instrumentos de recolección de datos

Los *instrumentos de recolección de datos* según el autor Arias, F. (2012) se define como: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”.

Entre los instrumentos más relevantes utilizados para la recolección de datos y su posterior procesamiento en la presente investigación se tienen:

a) Equipos de muestreo (bolsas, cinta adhesiva, marcadores, baldes, cámara fotográfica).

b) Equipo de oficina (libreta de campo, bolígrafo, calculadora, hoja de ICA, carta de clasificación geotécnica por AASHTO y SUCS).

c) Equipos de computación.

d) Programas de computación (Microsoft Word, Excel y PowerPoint; Google Earth, Google Maps).

e) Equipos de laboratorio (reactivos químicos, espectrofotómetro, tasa Casagrande con ranurador, tamices, tamizadora, balanza electrónica, horno, máquina de compresión, entre otros).

4.7 Flujograma de la investigación

El *flujograma de la investigación* refleja un esquema de trabajo para llevar a cabo la elaboración del presente proyecto en diferentes etapas, así como se muestra en la siguiente Figura 4.2:

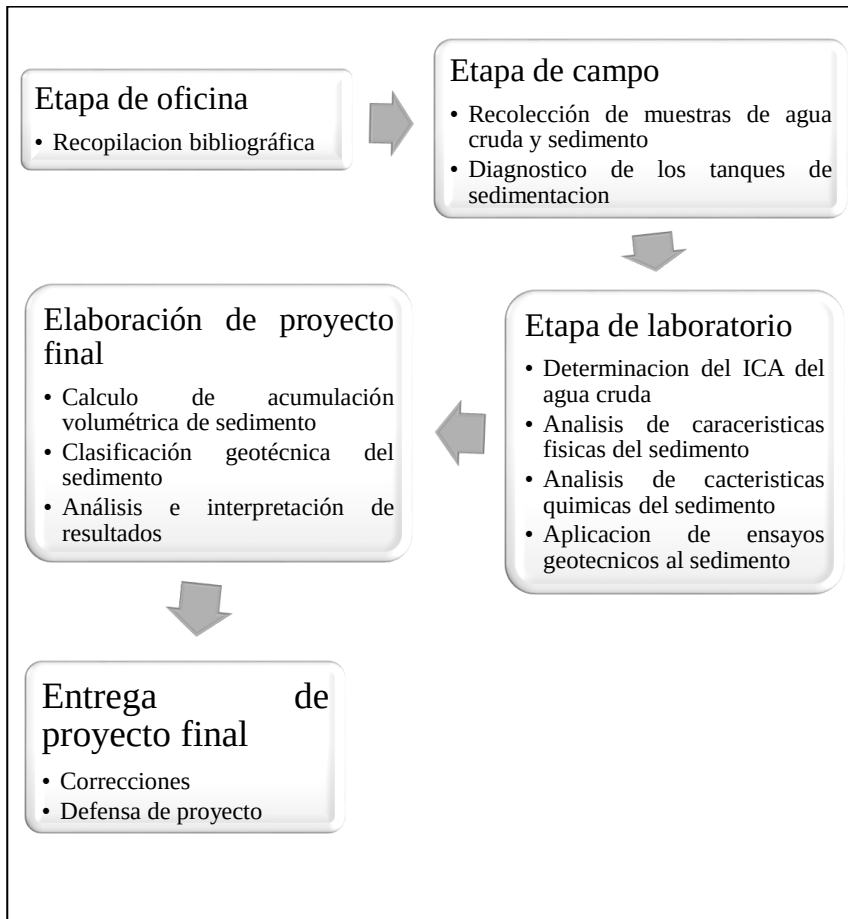


Figura 4.2. Flujograma de la investigación (Elaboración propia).

4.8 Diagnóstico de la situación actual de la Planta Angostura

Para diagnosticar la situación actual de la Planta Angostura se planifico y ejecuto una visita a la misma. Se realizó observación directa del proceso de potabilización del agua, ejecución de cada una de sus fases desde la captación del agua cruda hasta su distribución a la ciudad. También mediante investigación documental se realizó análisis de contenido proporcionado por la misma planta acerca del funcionamiento del proceso de potabilización del agua y su red de distribución.

4.8.1 Descripción del proceso de potabilización del agua cruda

El proceso de potabilización de agua cruda se describió mediante observación estructurada y directa del mismo en la Planta Angostura bajo la supervisión y guía del personal de planta.

Dentro de las etapas del proceso de potabilización del agua cruda se obtuvieron las siguientes variables:

✓ Caudal de entrada de agua cruda

Viene dado por la capacidad de succión de las 3 bombas que posee la Balsa Toma, tales valores se obtuvieron mediante la lectura del caudal en el caudalímetro de las bombas ubicadas en la Balsa Toma, siendo por ejemplo el caudal de Bomba 1 de 170 litros por segundo, y el caudal de entrada total la sumatoria de los caudales de las tres bombas.

✓ **Turbiedad del agua cruda**

La turbiedad del agua cruda se obtuvo en laboratorio fisicoquímico de control de calidad de la Planta Angostura mediante un procedimiento estándar el cual consiste en tomar y colocar una muestra de agua cruda en un tubo de vidrio (claro y sin color) luego se introduce en las celdas de un turbidímetro nefelométrico (cuyo límite de detección es de 0-100 unidades nefelométricas) el cual proporciona una lectura directa.

✓ **Concentración de sulfato de aluminio agregado al agua cruda**

La concentración de sulfato de aluminio se obtiene mediante pruebas de jarra realizadas en el laboratorio fisicoquímico de control de calidad del agua de la Planta Angostura., estas pruebas de jarra se realizan agregando distintas concentraciones en mg/l de sulfato de aluminio a jarras individuales que contienen agua cruda con una turbiedad previamente medida, se hace prueba de sedimentación hasta encontrar la concentración óptima.

✓ **Capacidad volumétrica de los tanques de sedimentación**

La capacidad volumétrica de los tanques de sedimentación de la Planta Angostura se obtuvo al medir las dimensiones (largo, ancho, profundo) en metros de los tanques de sedimentación y luego multiplicando los valores dados, esto se traduce en la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen del Tanque} = (\text{largo} \cdot \text{ancho} \cdot \text{profundo})\text{m}^3 \quad (4.1)$$

4.8.2 Red de distribución de agua potable de la Planta Angostura

Se describió la red de distribución de agua potable de la Planta Angostura a Ciudad Bolívar a través de la recopilación bibliográfica y análisis de contenido disponible en la misma planta, bajo supervisión del personal de planta.

4.9 Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda

Para determinar el ICA del agua cruda se determinaron los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la misma.

4.9.1 Parámetros físicos

4.9.1.1 Sólidos Totales

Son el resultado de la suma de los valores de Sólidos Disueltos (SD) más los Sólidos Suspendidos (SS), este valor se determinó en el laboratorio del Centro de Geociencias de la UDO - Bolívar. Los instrumentos utilizados son: papel filtrante, embudo, soporte universal, matraz aforado, vaso beaker, estufa con control de temperatura, balanza electrónica con apreciación de 0.001 gramos.

$$ST = SD + SS \quad (4.2)$$

✓ Sólidos Suspendido (SS)

Se pesó papel filtrante (P_0 = peso inicial). El papel fue llevado a embudo colocado en un soporte universal. Debajo del embudo se colocó un matraz aforado, el cual recibió la muestra filtrada. Una vez que se ajustó el papel en el embudo se procedió a verter la muestra a ser filtrada hasta alcanzar los mililitros deseados. Se dejó secar el papel

Comentado [AGL9]: Título de quinto orden

filtrante a temperatura ambiente de $\pm 30^{\circ}\text{C}$. Se volvió a pesar el papel filtrante (P_f = peso final). Se restó el peso final menos el peso inicial del papel filtrante, el resultado se dividió entre los 100 mililitros filtrados y el resultado final se multiplico por el factor de conversión 10^6 , resumido esto en la siguiente ecuación:

$$SS = [(P_f - P_o) / (\text{ml filtrados})] (10^6) \quad (4.3)$$

✓ **Sólidos Disueltos (SD)**

Se pesó un vaso beaker limpio y seco (P_o = peso inicial). Se vertió 40 ml de muestra filtrada. Se llevó al horno a una temperatura $\pm 105^{\circ}\text{C}$ hasta evaporar todo el líquido y solo quede la parte sólida. Se volvió a pesar el vaso beaker calcinado (P_f = peso final). Se restó el peso final (P_f) del vaso beaker menos el peso inicial (P_o), el resultado se dividió entre 40 (mililitros de muestra filtrada) y el resultado se multiplicó por el factor de conversión 10^6 , Esto se resume en la siguiente ecuación:

$$SD = [(P_f - P_o) / 40\text{ml}] (10^6) \quad (4.4)$$

4.9.1.2 Turbidez del agua cruda

El análisis de turbidez se realizó por el método instrumental que consiste en colocar la muestra en un tubo de vidrio (claro y sin color) luego se introduce en las celdas del aparato turbidímetro nefelométrico (cuyo límite de detección es de 0-100 unidades nefelométricas), se toma la lectura directa y se busca en un patrón de comparación, obteniéndose el grado de opacidad o dispersión de luz de la muestra de agua a causa de los sólidos suspendidos.

4.9.1.3 Temperatura Ambiente

La temperatura ambiente fue tomada en el área de captación de agua cruda (Balsa Toma - río Orinoco). Se realizó por el método instrumental in situ, el cual consiste en sujetar el termómetro, marca Hack, modelo 100/740 en el aire y se obtiene una lectura directa, indicando la medida de calor del medio ambiente.

4.9.1.4 Temperatura del agua cruda

La temperatura del agua cruda fue tomada en el área de captación de agua cruda (Balsa Toma - río Orinoco). Se realizó por el método instrumental in situ, el cual consiste en introducir el termómetro, marca Hack, modelo 100/740 en el agua y se obtiene una lectura directa, indicando la medida de calor almacenada en el agua.

4.9.2 parámetros químicos

4.9.2.1 pH

La medición del pH se realizó por el método instrumental el cual consiste en tomar una muestra representativa de 100 ml de agua y se coloca en el al pH-metro, marca Hack modelo 100/740, para obtener una lectura directa indicando la medida de concentración de iones de hidrógeno en el agua, es decir, si ésta actuará como una solución ácida, neutra o básica.

4.9.2.2 Oxígeno disuelto (OD)

La medición del oxígeno disuelto se realizó por el método instrumental in situ. Consiste en introducir en el agua el termómetro, marca Hack, modelo 320 (cuyo límite de detección es $\pm 50 \mu\text{L}$) obteniéndose una lectura directa, la que indica la cantidad de oxígeno presente en el agua, dicha medida es de primera importancia si se quieren

corregir y mantener las condiciones aeróbicas en las aguas (ríos, lagunas, manantiales, pozos, embalses, etc.) ya que este elemento es esencial para la vida de peces y otros organismos acuáticos.

4.9.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La medición de la (DBO) se realizó por el método de incubación el cual consiste en realizar una primera medición del OD in situ con un termómetro, marca Hack modelo 320 (cuyo límite de detección es $\pm 50 \mu\text{L}$), luego se toma una muestra representativa de 300 ml en un frasco de incubación con tapa de asiento esmerilado, se lleva al laboratorio y se incuba por 5 días a $\pm 4^\circ\text{C}$, transcurrido este tiempo se realiza una segunda medición del OD.

4.9.2.4 Nitratos y fosfatos

La medición de los fosfatos y nitratos se realizó por el método de colorímetro (cuyo límite de detección es de 0.5mg/l) que consiste en tomar 25 ml de una muestra a la que se le agrega molibdato de amoníaco y una bolsa pequeña de aminoácido (coloración azul) se mide la concentración en el colorímetro, comparando el resultado obtenido con patrones de fosfatos, indicando las concentraciones de fosfatos y nitratos en el agua. La diferencia obtenida de estas medidas indica la cantidad de oxígeno consumido por parte de agentes naturales para estabilizar la materia orgánica

4.9.3 Parámetros bacteriológicos

4.9.3.1 Coliformes totales

Se llevó 10 ml de muestra diluida a un matraz de 100 ml de capacidad, llenándose con agua destilada hasta la línea de aforo, se repite el procedimiento con

10 ml de esta dilución, luego se vertieron 10 ml de la muestra diluida en 5 tubos de fermentación de 50 ml. Se le agrego 10 ml de Caldo de Lactosa. Luego a cada tubo se le introdujo otro tubo de fermentación de 1 ml, su colocación fue en forma invertida y sin permitir que dentro de este quedara alguna burbuja de aire. Previamente identificados, y por un rango de 24 horas se dejan en una incubadora, y se trabajó solo con los que presentaban burbujas dentro del cilindro. Luego de tener contabilizados los tubos positivos, el cálculo respectivo mediante la ecuación 4.3 cuyo resultado se expresa como número más probable por 100 ml.

$$\text{Coliformes totales} = \left(\frac{N^{\circ} \text{ tubos}(+)}{\sqrt{(ml) \text{ tubos } (-) \times (ml) \text{ totales}}} \right) \times \text{Disolucion} \quad (4.5)$$

4.9.3.2 Coliformes fecales

A los tubos positivos del ensayo anterior, se les agregó 1 ml de Escherichia coli reactivo y se sacan las burbujas del cilindro, se lleva nuevamente a la incubadora por 24 horas, y se trabaja con los tubos que presentaban burbujas dentro y se utilizó la misma ecuación 4.3 del procedimiento anterior.

4.9.4 Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA)

Para la determinación del ICA, se agrupan los parámetros contaminantes más representativos, como lo son los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos efectuados en las instalaciones del laboratorio de Geociencias de la Universidad de Oriente, dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua.

Para realizar los cálculos del índice de calidad del agua (ICA) se consideraron los 9 parámetros seleccionados por The National Sanitation Foundation (NSF), los

cuales medimos y son: cambio en la temperatura del agua, oxígeno disuelto (OD), coliformes fecales, fosfatos y nitratos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales, pH y turbidez del agua cruda de la fuente de captación de la Planta Angostura.

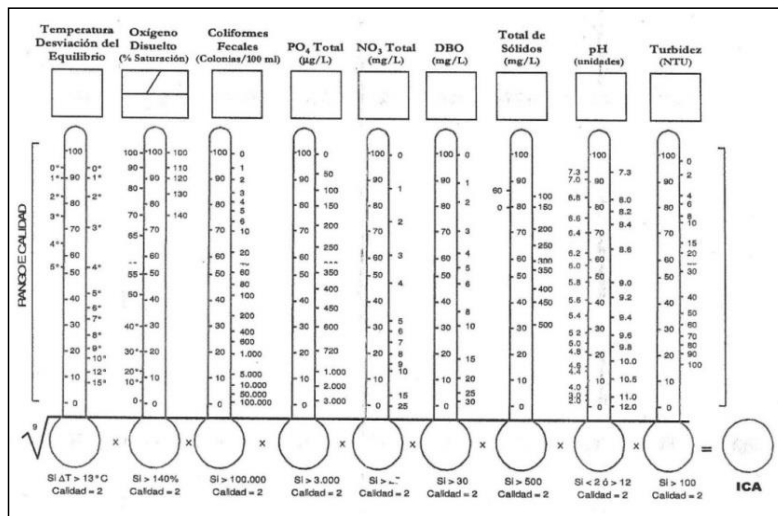


Figura 4.3. Hoja de cálculo de “The National Sanitation Foundation”.

Comentado [AGL10]: Todo lo que está en inglés u otro idioma debe ir en cursiva. Esta figura no está citada en párrafos anteriores

4.10 Determinación de la acumulación volumétrica de sedimento

Para calcular la acumulación volumétrica de sedimento se divide el peso en kg del sedimento producido a día entre la densidad del sedimento en kg/m^3 . Se trabajó de la siguiente manera:

1) El peso de sedimento seco (W) que se produce al día en los cuatro tanques de sedimentación se determina a través de la ecuación (3.1) de producción sedimento en plantas de tratamiento de agua potable:

$$W = \{86.4 \times Q \times [(0.44 \times Al) + ST + A]\} \quad (3.1)$$

Dónde:

W = Sedimento producido (peso seco) (kg/día).

86.4 = Factor de conversión para caudal diario.

Q = Caudal de entrada (m³/seg).

0.44 = Factor de conversión para peso en kilogramos al día.

Al = Dosificación de Sulfato de Aluminio (mg/l).

ST = Sólidos Totales (mg/l).

A = Productos químicos adicionales (mg/l).

2) Se determinan los valores de cada una de las variables en el diagnóstico de la situación actual de la Planta Angostura:

Q = 0,51 m³/seg (Ver tabla 5.1)

Al = 25 mg/l (Ver tabla 5.2)

ST = 1 466,11 mg/l (Ver apéndice A)

A = 0 mg/l (Ver tabla 5.2)

3) Se sustituye en la ecuación 3.1 para obtener el peso del sedimento seco producido al día:

$$W = (86,4 \times 0,51 \text{ m}^3/\text{s})[(0,44 \times 25 \text{ mg/l}) + 1466,11 \text{ mg/l} + 0]$$

$$W = 65\,087,38 \text{ kg/día}$$

4) Se divide entre la densidad del sedimento $\gamma_t = 1\,373\text{ kg/m}^3$ (Ver apéndice C, tabla C.1) para obtener la acumulación volumétrica de sedimento producido:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}} = \frac{65\,087,38\text{ kg/día}}{1\,373\text{ kg/m}^3} = 47,40\text{ m}^3/\text{día}$$

La acumulación volumétrica total de sedimento producido al día es de 47.48 m^3 al día.

4.11 Análisis de las características físicas del sedimento

Para analizar las propiedades físicas del sedimento se empezó por determinar las dimensiones peso – volumétricas de las tres muestras representativas de sedimento, se determinaron en campo con instrumentos de medición peso-volumétricas. Lo siguiente representa el cálculo de la muestra de sedimento número 1 (MS1) como ejemplo:

4.11.1 Pesos de las muestras de sedimento

a) Peso total (W_t): El peso total de la muestra se determinó tomando una muestra de sedimento en un envase cilíndrico de latón según la norma ASTM D22116-71 para la determinación de humedad in situ, primeramente, se tomó el peso del envase de latón, luego se tomó el peso del envase más la muestra, seguidamente se restó el peso de la muestra más el envase menos el peso del envase dando como resultado:

$$W_t = 137,51\text{ g}$$

b) Peso del solido (W_s): El peso del solido de la muestra se determinó colocando el envase con la muestra en una estufa a 110 °C durante 24 horas, luego se restó el peso del envase más la muestra seca menos el peso del envase, dando como resultado:

$$W_s = 72,80 \text{ g}$$

c) Peso del agua (W_w): El peso del agua de la muestra se determinó restando el peso total de la muestra, menos el peso del solido de la muestra más el envase cilíndrico de latón según la norma ASTM D22116-71, siendo este:

$$W_w = 64,71 \text{ g}$$

d) Peso del aire (W_a): El peso del aire es depreciable ya que este no tiene peso alguno siendo, este valor de 0:

$$W_a = 0 \text{ g}$$

4.11.2 Volúmenes de las muestras de sedimento

a) Volumen total (V_t): El volumen total de la muestra se determinó utilizando el envase cilíndrico de latón (según la norma ASTM D22116-71 para la determinación de humedad in situ) ya que el total del volumen de la muestra está contenido en el total del volumen del envase, y este tiene un volumen conocido de:

$$V_t = 100,00 \text{ cm}^3$$

b) Volumen de agua (V_w): Sabiendo el peso del agua ($W_w = 64,71$ g), y sabiendo el peso específico del agua ($\gamma_o = 1$ g/cm³), se calculó el volumen que ocupa dicho peso de agua, siendo este:

$$V_w = 64,71 \text{ cm}^3$$

c) Volumen de sólido (V_s): Sabiendo el volumen total de la muestra ($V_t = 100,00$ cm³) y sabiendo el volumen de agua ($V_w = 64,71$ cm³), se resta el volumen total menos el volumen de agua ($V_t - V_w$), obteniendo el volumen de sólido, siendo este:

$$V_s = 35,29 \text{ cm}^3$$

d) Volumen de aire (V_a): Como estamos en presencia de un sedimento completamente saturado, la totalidad de volumen de aire está siendo ocupada por agua, siendo este:

$$V_a = 0 \text{ cm}^3$$

e) Volumen de vacíos (V_v): Como estamos en presencia de un sedimento completamente saturado, el volumen de vacíos es igual al volumen de agua ($V_v = V_w$), siendo este:

$$V_v = 64,71 \text{ cm}^3$$

4.11.3 Propiedades índices del sedimento

Estas se calculan mediante ecuaciones de manera directa al haber conocido los valores peso – volumétricos de la muestra representativa de sedimento:

a) Densidad total (γ_t): Esta densidad total es también la densidad natural (γ_{nat}) y la densidad saturada (γ_{sat}). La densidad total de la muestra se calculó dividiendo peso total de la muestra entre el volumen total de la muestra, siendo esta:

$$\gamma_t = \frac{W_t}{V_t} \quad (4.6)$$

$$\gamma_t = \frac{137,51 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_t = 1,375 \text{ g/cm}^3$$

b) Densidad de la fase solida (γ_s): Esta densidad de la fase solida de la muestra se calculó dividiendo el peso de la fase solida (W_s) de la muestra entre el volumen de la fase solida de la misma muestra (V_s), siendo esta:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (4.7)$$

$$\gamma_s = \frac{72,80 \text{ g}}{35,29 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_s = 2,063 \text{ g/cm}^3$$

c) Humedad (ω): la humedad de la muestra se calculó dividiendo el peso del agua evaporada (W_w) de la muestra entre el peso de la fase solida (W_s) de la muestra, siendo esta:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \quad (4.8)$$

$$\omega = \frac{64,71 \text{ g}}{72,80 \text{ g}}$$

$$\omega = 0,8889$$

d) Saturación de agua (S_w): La saturación de agua se calculó dividiendo el volumen de agua evaporada de la muestra entre el volumen de vacíos de la muestra, siendo esta:

$$S_w = \frac{V_w}{V_v} \quad (4.9)$$

$$S_w = \frac{64,71 \text{ cm}^3}{64,71 \text{ cm}^3}$$

$$S_w = 1.$$

e) Porosidad (n): La porosidad de la muestra de sedimento se calculó dividiendo el volumen de vacíos (V_v) de la muestra entre el volumen total de la muestra (V_t), siendo esta:

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (4.10)$$

$$n = \frac{64,71 \text{ cm}^3}{100 \text{ cm}^3}$$

$$n = 0,6471$$

f) Relación de vacíos (e): La relación de vacíos de la muestra se calculó dividiendo el volumen de vacíos (V_v) de la muestra entre el volumen de la fase sólida de la muestra (V_s), siendo esta:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (4.11)$$

$$e = \frac{64,71 \text{ cm}^3}{35,29 \text{ cm}^3}$$

$$e = 1,833$$

g) Gravedad específica del sedimento (G_t): La gravedad específica del sedimento se calculó dividiendo la densidad total del sedimento (γ_t) entre la densidad del agua a 4 °C (γ_o), siendo esta.

$$G_t = \frac{\gamma_t}{\gamma_o} \quad (4.12)$$

$$G_T = \frac{1,375 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$G_t = 1,375$$

h) Gravedad específica del sólido (G_s): La gravedad específica de la fase sólida del sedimento se calculó dividiendo la densidad total de la fase sólida del sedimento (γ_s) entre la densidad del agua a 4 °C (γ_o), siendo esta:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} \quad (4.13)$$

$$G_s = \frac{2,063 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$G_s = 2,063$$

4.12 Análisis de las características químicas del sedimento

Para llevar a cabo el análisis químico de las muestras sedimento MS1, MS2 y MS3 recolectadas, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica.



Figura 4.4. Espectrofotómetro.

Comentado [AGL11]: Citar todas las figuras en los párrafos antes de su aparición

El análisis químico se realizó a fin de determinar el porcentaje en cuanto a abundancia y contenido de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO_2 ; así como también, el reconocimiento del porcentaje de materia orgánica en cada muestra. Para ello se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1) se pesó 0,5 gramos de arena en cada ocasión proveniente del tamiz N° 200, el cual se colocó en un crisol, agregándosele un fundente (carbonato de sodio) y sometido posteriormente a un proceso de fusión a $\pm 1000^\circ\text{C}$ durante 15 minutos.

2) A continuación, se disolvió lo obtenido en una solución de HCl al 50% y se afora.

3) Finalmente, la muestra se sometió a una espectrofotometría de absorción atómica por medio de la cual se obtuvo la composición química de la misma.

4.13 Aplicación de ensayos geotécnicos al sedimento

4.13.1 Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro

Generalmente se usan dos métodos para determinar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: análisis por tamizado y análisis hidrométrico; el tamizado se realiza en partículas que tienen tamaños mayores a 0.075 mm de diámetro (malla N° 200) y el análisis hidrométrico, se realiza en tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro.

✓ Ensayo de granulometría por tamizado (vía seca):

Este ensayo para las muestras MS1, MS2 y MS3 se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Alfarería Bolívar, C.A. según la norma ASTM D1140-54 mediante el siguiente procedimiento:

1) Se tomaron 500 g de muestra de sedimento previamente secado al horno según la norma.

2) Se hizo pasar la muestra a través de la serie de tamices colocando la serie de tamices en un agitador eléctrico automático y tamizar aproximadamente 5 a 10 minutos, dependiendo de una inspección visual sobre la dificultad probable dada la cantidad de material.

3) Se quitó la serie de tamices del agitador mecánico y se obtuvo el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Se sumó estos pesos y se comparó el total con el peso total.

4) Se calculó el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original.

5) Se calculó el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino que) comenzando por 100% para obtener el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.

6) Se hizo una gráfica semilogarítmica del tamaño de la partícula contra el porcentaje más fino utilizando la gráfica que se presenta como formato para este ensayo.

7) Ya que más del 12% de las partículas de las 3 muestras pasaron el tamiz N° 200, se procedió a realizar los ensayos de granulometría por hidrómetro.

✓ **Ensayo de granulometría por hidrómetro (Vía húmeda)**

Este ensayo para las muestras MS1, MS2 y MS3 se realizó en el laboratorio del Centro de Geociencias de la UDO - Bolívar según la norma ASTM D421-58 mediante el siguiente procedimiento:

1) Se tomaron exactamente 50 g de suelo secado que se utilizó en el análisis por tamizado y que paso el tamiz No. 200 y se mezcló con 125 ml de solución al 4% de NaPO_3 (una solución de 4% de hexametafosfato de sodio que se hace mezclando 40 g de material seco con suficiente agua hasta completar 1000 ml).

2) Se dejó asentar la muestra de suelo cerca de una hora y se transfirió la mezcla al vaso de una máquina batidora de refrescos y se añadió agua común hasta llenar 2/3 del vaso, se mezcló por espacio de 1 minuto.

3) Se transfirió el contenido del vaso de la batidora a un cilindro de sedimentación, teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso, se añadió agua común hasta completar la marca de 1000 ml de cilindro. Luego se preparó el cilindro patrón de control con agua común y 125 ml de la solución de dispersante al 4% y verificando que la temperatura del agua común sea igual para ambos cilindros, el de sedimentación y el de control.

4) Se tomó un tapón de caucho para tapar la boca del cilindro donde se encuentra la suspensión de suelo y agito cuidadosamente por cerca de un minuto, se puso sobre la mesa el cilindro, se removió el tapón, inmediatamente se insertó el hidrómetro y se tomaron lecturas con los siguientes intervalos de tiempo: 1, 2, 3 Y 4 minutos; y tomar igualmente lectura del termómetro. Se colocó el hidrómetro y el termómetro en el recipiente de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de 1°C del suelo). Tomar una lectura para corrección de menisco en el hidrómetro dentro del cilindro de control.

5) Se reemplazó el tapón No. 12, se volvió a agitar la suspensión y se volvió a tomar otra serie de medidas a 1, 2, 3 Y 4 minutos. Se repitió tantas veces como se necesitó con el fin de obtener dos juegos de mediciones que concuerden a la unidad en cada una de las cuatro mediciones.

6) Se tomaron medidas adicionales a los siguientes intervalos de tiempo: 8, 15, 30, 60 minutos, y 2, 6, 12, 24, 48 horas. Se registró la temperatura de la suspensión sedimento-agua con una precisión de 1°C para cada medición del hidrómetro. Se hizo simultáneamente el cálculo del tamaño de las partículas (D) que se encontraron en

suspensión. Entre lectura y lectura del hidrómetro se debe guardar éste y el termómetro en el cilindro de control.

7) Terminada esta práctica se realizaron los cálculos respectivos de porcentaje de finos y porcentaje pasante, luego se trazó la curva granulométrica obtenida en granulometría por tamizado e hidrómetro juntos.

4.13.2 Límites de consistencia

✓ Ensayo de Limite líquido (LL)

Este ensayo para las muestras MS1, MS2 y MS3 se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Alfarería Bolívar C.A., según la norma ASTM 423-66, y usando el siguiente procedimiento:

1) Se obtiene una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz No. 40 de alrededor de 250 ± 10 g previamente secada al sol.

2) Se calibra la altura de la cuchara Casagrande sea exactamente de 1 cm (± 0.1 mm) con la cabeza en forma de dado de 1 cm en el extremo superior del ranurador patrón.

3) Se colocaron los 250 g de suelo en un recipiente de porcelana, se añadió una pequeña cantidad de agua y se mezcló cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme y una apariencia cremosa, este estado es adecuado en general. Se continúa añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclándolo cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando se encuentre el suelo en un punto de consistencia tal que se pueda hacer un ensayo de prueba que tome alrededor de 50 golpes para cerrar en una longitud de 12.7 mm la ranura, se removi6 alrededor de 20 g

de esta muestra adecuadamente mezclada del plato en el que se estaba trabajando para determinación posterior del límite plástico (*LP*). A continuación, se añadió un poco más de agua de manera que la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en el rango de 30 a 40.

4) Se colocó dentro de la cuchara Casagrande una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, bien centrada en la cuchara con respecto al pasado. A continuación, se emparejo la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, se cortó una ranura clara, recta, que separe completamente la masa de suelo en dos partes luego se hizo el conteo de golpes.

5) Se tomó una muestra correspondiente a la zona donde se cerró la ranura para medir contenido de humedad (cercana a los 40 g) y se colocó en un recipiente para humedad cuyo peso se determinó con anterioridad, se colocó la tapa del recipiente para contenido de humedad y se ubicó a un lado temporalmente. Se removió los restos de suelo de la cuchara al recipiente donde se había preparado la muestra y se limpió la cuchara para el siguiente ensayo. Se añadió una pequeña cantidad de agua al recipiente de porcelana de preparación de suelo y se mezcló hasta obtener una coloración homogénea y consistencia para obtener un número de golpes entre 25 y 30 aproximadamente. Repetimos los pasos “d” y “e” anteriores.

6) Se repitió la secuencia para dos ensayos adicionales con número de golpes entre 20 y 25 y entre 15 y 20, respectivamente para un total de cuatro determinaciones en el ensayo.

7) Se pesaron las cuatro muestras húmedas obtenidas en los 4 diferentes ensayos, se removieron las tapas, y colocamos los recipientes en un horno a 110 °C para que se secaran durante la noche.

8) Al día siguiente en laboratorio se pesaron todas las muestras secadas en el horno y se calcularon los contenidos de humedad correspondientes.

9) Se construyó la gráfica en hoja semilogarítmica, en el eje vertical contenido de humedad contra número de golpes en el eje horizontal con el fin de obtener el valor del límite líquido para las 3 muestras el cual corresponde a la humedad a los 25 golpes.

✓ **Ensayo de Limite plástico (LP)**

Este ensayo para las muestras MS1, MS2 y MS3 se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Alfarería Bolívar C. A., según la norma ASTM D424-59, y mediante el siguiente procedimiento:

1) Se dividió en varias porciones pequeñas la muestra de 40 g de sedimento que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para límite líquido.

2) Se enrolló el sedimento con la mano extendida sobre un pedazo de papel colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 movimientos de mano por minuto hacia adelante y hacia atrás. Cuando el diámetro del hilo o cilindro de sedimento llegó a 3 mm y se rompía en pequeños pedazos, se moldeaban nuevamente unas bolas que a su vez se volvían a enrollar.

3) Cuando el cilindro se desmoronaba a un diámetro superior a 3 mm, esa condición de humedad ya era satisfactoria para definir el límite plástico, y si el cilindro se había enrollado con anterioridad hasta más o menos 3 mm. La falla del cilindro también se pudo definir de la siguiente forma: c.1) simplemente por separación en pequeños pedazos, c.2) por desprendimiento de escamas de forma tubular (cilindros

huecos) de dentro hacia fuera del cilindro o hilo de sedimento, c.3) pedacitos sólidos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo (para arcillas altamente plásticas.

4) Esta secuencia se repitió el número de veces necesaria para producir suficientes pedazos de cilindro que permitieron llenar 2 recipientes de humedad.

5) Se pesaron los recipientes de humedad con la muestra húmeda, y se colocaron dentro del horno para su secado durante la noche a una temperatura de 110 °C y posteriormente se calculó humedad obtenida de ambos envases y se hizo el promedio, este resultado se tomó como el límite plástico.

6) Finalmente se calculó el Índice de plasticidad (I_p) restando el límite líquido (LL) menos el límite plástico (LP) para cada muestra.

4.13.3 Clasificación geotécnica

✓ Clasificación según la AASHTO

Se clasificaron las muestras MS1, MS2 y MS3 según la AASHTO (Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes), para tal clasificación se utilizó la tabla de la Figura 3.4. Para encontrar el tipo de suelo en la tabla al cual pertenece cada muestra tomaremos como ejemplo la muestra MS1, se trabajó de la manera siguiente:

1) Se determinó el porcentaje pasante por el tamiz número 200, esto se hizo mediante el análisis granulométrico por tamizado, este fue de 87.10 %.

2) Se aseguró que el porcentaje de material pasante por el tamiz número 200 fuese mínimo 36 %.

Comentado [AGL12]: Esto debería ser un título de 4to orden

3) Se determinó de la fracción pasante por el tamiz número 40 su límite líquido (esto se obtuvo en el ensayo de límite líquido), el cual fue de 63.03% y su índice de plasticidad, el cual fue de 12.36%.

4) Se determinó el Índice de Grupo (IG) y se aseguró que fuese menor o igual a 20. La ecuación para IG es la siguiente:

$$IG = [(F_{200} - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01(F_{200} - 15) (IP-10)] \quad (4.14)$$

Donde:

F_{200} = Porcentaje pasante por el tamiz número 200.

LL = Límite líquido.

IP = Índice de plasticidad.

5) Se verificó que el Índice de plasticidad sea igual o menor al resultado de restar el Límite líquido menos 30 ($IP < LL - 30$), esto se hizo para determinar el subgrupo. Este mismo procedimiento se hizo con las muestras MS2 y MS3. Después de realizar este procedimiento se pudo clasificar el sedimento según AASHTO.

✓ **Clasificación según el SUCS**

Se clasificó cada muestra según SUCS (Sistema unificado de Clasificación de Suelos), para tal clasificación se utilizó la tabla de la Figura 3.7. Para encontrar el tipo de suelo en la tabla al cual pertenece cada muestra tomamos como ejemplo la muestra MS1, se trabajó de la manera siguiente:

1) Se determinó el porcentaje de material pasante por el tamiz 200 en el ensayo de granulometría por tamiz el cual fue menor a 50 %.

Comentado [AGL13]: Título de cuarto orden

2) Se determinó el límite líquido (W_L) en cual fue mayor a 50 %.

3) Se determinó el índice de plasticidad (I_P) el cual fue menor al resultado de “0.73 (LL - 20)” (tal formula es correspondiente a la llamada Línea A de la carta de plasticidad). Se hizo el mismo procedimiento para las muestras MS2 y MS3. Después de realizar este procedimiento se pudo clasificar el sedimento según SUCS.

4.13.4 Ensayo de resistencia mecánica en seco

Este ensayo se realizó en el laboratorio de control de calidad de la Alfarería Bolívar, C. A., esto se realizó tomando como ejemplo la muestra MS1 mediante el siguiente procedimiento:

1) El material secado al sol previamente durante 5 días, se pasó a través de una máquina trituradora.

2) Se le agrego un 50,66% (límite plástico) de agua a una cantidad de 2 kg de material y se mezcló para que tomara una consistencia plástica.

3) Este material se pasó por una máquina de extrusión a una presión de vacío de 0.98 Bar (28 mHg) para obtener 3 probetas.



Figura 4.6. Sedimento extrusado.

4) Se registró el peso expresado en gramos (g) de las 3 probetas húmedas recién extrusadas y se colocaron en una estufa de secado durante 24 horas a 110 °C.



Figura 4.7. Probetas húmedas.

5) Se registró el peso en gramos (g) y las dimensiones en centímetros (cm) de las 3 probetas secas al ser retiradas de la estufa de secado.



Figura 4.8. Probetas dentro de la estufa de secado.

6) Con las probetas secas se procedió a realizar un ensayo de rotura por flexión a cada una.

7) Se registró la fuerza de rotura soportada por las 3 probetas secas, expresada en kilogramos-fuerza (kgf).

8) Se registraron los promedios correspondientes a: Peso de Probeta Húmeda, Peso de Probeta Seca, Peso del Agua, Humedad, Compresión en Seco, Espesor de Probeta en seco, Largo de Probeta en seco, Fuerza de Rotura de Probeta en seco.

9) Se registró el resultado del cálculo de Resistencia Mecánica Húmedo – Seco realizado, expresado en kilogramos-fuerza por centímetros cuadrados (kgf/cm^2), tomando en cuenta los promedios correspondientes al espesor y el largo, así como también el promedio de la fuerza soportada por las 3 probetas ensayadas en seco, determinada esta fuerza previamente en el ensayo de flexión por ruptura.

10) El cálculo de la resistencia mecánica en seco se hace tomando en cuenta la siguiente formula:

$$RMS = \frac{[(3)(\text{promedio Frp})(6)]}{(2)(\text{promedio Lp})(\text{promedio Ep})^2} \quad (4.15)$$

Donde:

RMS = Resistencia mecánica en seco (kgf/cm²).

Frp = Fuerza de rotura de la probeta (kgf).

Lp = Largo de la probeta (cm).

Ep = Espesor de la probeta (cm).

CAPITULO V

5.1 Diagnostico de la situación actual de la Planta Angostura

Realizada la visita a la Planta Angostura de Hidrobolívar C. A., en Ciudad Bolívar, a través de observación directa estructurada y entrevista informal a ingenieros y operadores de planta, se lo logro describir el proceso de potabilización de agua actual en cada una sus fases y su red distribución, se pudo cuantificar: el caudal de entrada de agua cruda, la turbiedad del agua cruda, la dosificación y concentración de sulfato de aluminio agregado al agua cruda y la capacidad volumétrica de los tanques de sedimentación.

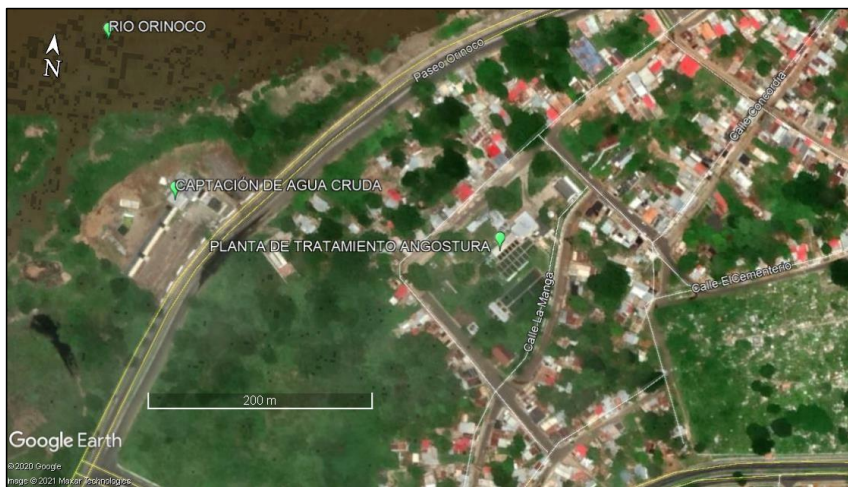


Figura 5.1. Ubicación Planta Angostura y captación de agua cruda rio Orinoco (Google Earth, 2020)

5.1.1 Descripción del proceso de potabilización del agua cruda

5.1.1.1 Captación

El proceso de captación es la primera etapa en la cual la planta capta agua cruda desde el río Orinoco mediante bombeo, sucede en la estación “Balsa Toma” ubicada en la ribera derecha del río Orinoco cerca del sector La Toma en Ciudad Bolívar.

✓ Caudal de entrada de agua cruda

La Planta Angostura cuenta actualmente con 3 bombas de succión en la Balsa Toma para la captación del agua cruda, las cuales tienen un caudal de entrada por equipo de 170 litros por segundo ($0,17 \text{ m}^3/\text{s}$), un caudal de entrada total de 510 litros por segundo ($0,51 \text{ m}^3/\text{s}$), y un caudal total diario de 44.064.000 litros al día ($44.064 \text{ m}^3/\text{día}$) (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Caudal de entrada y turbiedad del agua cruda de la Planta Angostura.

ITEM	Caudal				Turbiedad (NTU)
	l/s	m^3/s	l/día	$\text{m}^3/\text{día}$	
Bomba 1	170	0,17	-	-	60
Bomba 2	170	0,17	-	-	60
Bomba 3	170	0,17	-	-	60
Total	510	0,51	44.064.000	44.064	60

✓ Turbiedad del agua cruda

Los valores de turbiedad han sido constantes para el periodo desde 01/01/20 hasta 31/03/20, el cual fue de estación seca y fue el periodo en el cual se realizó la toma de muestras y ensayos de laboratorio, estos son datos proporcionados por el laboratorio

fisicoquímico de control de calidad de la Planta Angostura y se muestran en la siguiente tabla (5.2):

Tabla 5.2. Turbiedad promedio del agua cruda de la Planta Angostura.

AÑO	Mes	Turbiedad (NTU)	Observaciones
2020	Enero	60	Turbiedad mayormente constante durante el mes
	Febrero	60	Turbiedad mayormente constante durante el mes
	Marzo	60	Turbiedad mayormente constante durante el mes
	Abril	-	-
	Mayo	-	-
	Junio	-	-
	Julio	-	-
	Agosto	-	-
	Septiembre	-	-
	Octubre	-	-
	Noviembre	-	-
	Diciembre	-	-
Promedio		60	-

La turbiedad en la estación seca es constante en la Toma Balsa en el Río Orinoco según datos del laboratorio fisicoquímico de control de calidad de la Planta Angostura siendo esta de 60 NTU.

Con el aumento del caudal del río en el periodo de lluvias la carga de sedimento transportada por cada volumen de agua disminuye, en el periodo de sequía cuando el nivel del río y su caudal bajan la carga de sedimento aumenta ya que un menor volumen de agua transporta el mismo volumen de sedimento provocando que su concentración aumente.

Desde esta fase de captación el agua pasa posteriormente a la dosificación en las tolvas de dosificación.

5.1.1.2 Dosificación de sulfato de aluminio al agua cruda

Consiste en la eliminación de partículas finas que originan la turbiedad del agua cruda mediante la adición de un agente estabilizante de dichas partículas para la formación de floculos que posteriormente se sedimentan por efecto de gravedad. Este sulfato de aluminio se agrega al agua cruda mediante una tolva de dosificación. Para una turbiedad de 60 NTU la dosificación óptima de sulfato de aluminio según pruebas de jarra en el laboratorio de la Planta Angostura es de 25 mg/l; no se utiliza ningún ayudante de coagulación en el proceso de potabilización del agua como se observa en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Dosificación de Sulfato de Aluminio al agua cruda en la Planta Angostura.

ITEM	VALOR	UNIDAD
Dosis de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$	765	g/min
Concentración de para un caudal de 510 l/s (Al)	25	mg/l
Ayudante de coagulación (A)	0	mg/l

Desde esta fase de dosificación el agua pasa posteriormente a la sedimentación en los tanques de sedimentación.

5.1.1.3 Sedimentación

En esta etapa el agua cruda mezclada con sulfato de aluminio se almacena por un tiempo suficiente en los tanques de sedimentación para que las partículas en formación o floculos se depositen en el fondo de los tanques formando así capas de sedimento.

Desde esta fase de sedimentación el agua pasa posteriormente a la filtración en los tanques de filtrado.

✓ Capacidad volumétrica de los tanques de sedimentación

La Planta Angostura cuenta con 4 tanques de sedimentación, dos de ellos con medidas longitudinales: 43 metros de largo, 10 metros de ancho y 10 metros de profundidad; los cuales tienen una capacidad volumétrica de 4300 metros cúbicos (4 300 000 litros) cada uno; existen otros dos con medidas longitudinales de 40 metros de largo, 8 metros de ancho y 10 metros de profundidad, los cuales tienen una capacidad volumétrica de 3200 metros cúbicos (3 200 000 litros); para un total de 15 000 metros cúbicos (15 000 000 litros) como se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Dimensiones de los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.

Dimensiones de los tanques de sedimentación de la Planta Angostura					
ITEM	Largo	Ancho	Profundo	m ³	Litros
Tanque 1	43	10	10	4.300	4.300.000
Tanque 2	43	10	10	4.300	4.300.000
Tanque 3	40	8	10	3.200	3.200.000
Tanque 4	40	8	10	3.200	3.200.000
Total	-	-	-	15.000	15.000.000

5.1.1.4 Filtración

Este proceso se lleva a cabo en los tanques de filtrado, los cuales son unos tanques de menor tamaño que los tanques de sedimentación, en esta etapa el agua pasa por unos filtro de arena fina que eliminan las partículas menores que aún permanecen en el agua después del proceso anterior.

Desde esta fase de filtrado el agua pasa posteriormente a la cloración en el tanque de almacenamiento de agua potable.

5.1.1.5 Cloración

En este tanque de almacenamiento es en donde se la agrega cloro al agua para su desinfección. La forma por la cual se suministra el cloro en la Planta Angostura es en gas. Este gas cloro llega a la planta en botellas o bombonas de 1000 kg.

Una ventaja de la adición de gas cloro en el agua es que no implica un aumento de pH y su consecuente reducción de eficacia desinfectante. Una gran desventaja es su peligrosidad en caso de fugas. El procedimiento es aplicado a través de un equipo de cloración el cual dosifica entre 3 y 8 ppm de cloro, dependiendo del resultado de la determinación de cloro residual.

Desde esta fase de cloración el agua pasa posteriormente a su distribución en Ciudad Bolívar.

✓ Distribución

El tanque de almacenamiento tiene unas dimensiones de 50 metros de largo por 20 metros de ancho por 6 metros de profundo, capaz de almacenar un volumen de 6000 m³ (6.000.000 lts) de agua lista para distribuir a la población.

Existen 9 bombas o motores y 3 estaciones de salida, distribuidas de la siguiente manera: a) 3 bombas en la estación La Sabanita (subsistema La Sabanita), b) 3 Bombas en estación Caja de Agua (subsistema Caja de Agua), y c) 3 Bombas en la estación Agua Salada (subsistema El Perú).

5.1.2 Red de distribución de agua potable de la Planta Angostura

Desde la planta de tratamiento Angostura existen tres subsistemas de abastecimiento que juntos conforman el Sistema Bolívar. Estos tres subsistemas son:

a) Subsistema La Sabanita: transporta hacia la zona alta de La Unión y parte alta de La sabanita, mediante una tubería de 16 pulgadas.

b) Subsistema Caja de Agua: envía agua hacia los estanques situados en Caja de Agua (estanques J y K), mediante una tubería de 16 pulgadas.

c) Subsistema El Perú: envía agua hacia los sectores Las Flores, Agua Salada, Los Próceres y la parte vieja de El Perú mediante una tubería de 16, 12 y 6 pulgadas respectivamente.

5.2 Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda

El Apéndice B, representan los valores obtenidos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras de agua cruda que fueron tomadas en el sitio de captación de la Planta Angostura.

5.2.1 Parámetros Físicos

5.2.1.1 Sólidos Totales

El resultado de sólidos totales (Apéndice A y Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el área de captación dan en la muestra MA1 un valor de 1465 mg/l, en la muestra MA2 un valor de 1458 mg/l, y para la muestra MA3 un valor de 1475 mg/l, en promedio un valor de 1466 mg/l. Este resultado se encuentra dentro del

límite máximo permisible el cual es 1500 mg/l de las aguas tipo 1-A y 1-B del Decreto 833 (tabla 3.4)

5.2.1.2 Turbidez del agua cruda

El resultado de la turbidez (Apéndice B) obtenido de las muestras de agua cruda MA1, MA2, MA3 recolectadas en el área de captación dan un valor de 60 U.N.T. La turbidez se debe a la concentración de materia mineral y orgánica que se encuentra en suspensión y disolución en el agua de la cuenca del río Orinoco las cuales son transportadas por las corrientes del río. Estos valores se encuentra dentro del límite máximo permisible el cual es < 250 mg/l de las aguas tipo 1-B del Decreto 833.3 (tabla 3.4)

5.2.1.3 Temperatura ambiente

El resultado de la temperatura ambiente (Apéndice B) obtenido de las muestras de agua cruda MA1, MA2 y MA3 recolectadas en el área de captación dan un valor de 32 °C. Todos estos valores de temperatura ambiente fueron tomados en un lapso de tiempo comprendido entre las 10:00 am hasta la 1:00 pm. La temperatura se debe al porcentaje (%) de humedad relativa presente en el área de estudio.

5.2.1.4 Temperatura del agua cruda

El resultado de la temperatura del agua (Apéndice B) obtenido de las muestras MA1, MA2 y MA3 en el área de captación da un valor de 28 °C el área de captación. Este valor se ve afectado como consecuencia de la radiación solar en el agua.

5.2.2 Parámetros químicos

5.2.2.1 pH

El resultado de pH (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el área de captación dan en la muestra MA1 un valor de 7,82; en la muestra MA2 un valor de 7,81; y para la muestra MA3 un valor de 7,83; en promedio un valor de 7,82 es decir entre neutra y ligeramente alcalina. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo el cual es mínimo 6,0 y máximo 8,5 de las aguas tipo 1-A y 1-B del Decreto 833 (tabla 3.4).

5.2.2.2 Oxígeno disuelto (O. D)

El resultado de oxígeno disuelto (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el área de captación dan en la muestra MA1 un valor de 2,31 mg/l, en la muestra MA2 un valor de 2,29 mg/l, y para la muestra MA3 un valor de 2,27 mg/l, en promedio un valor de 2,29 mg/l. Para que las aguas sean consideradas para consumo humano es decir tipo 1-A, 1-B o 1-C deben poseer un valor de oxígeno disuelto mayor a 4 mg/l según el decreto 883 (tabla 3.4).

5.2.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El resultado de demanda bioquímica de oxígeno (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el área de captación dan en la muestra MA1 un valor de 4,79 mg/l, en la muestra MA2 un valor de 4,68 mg/l, y para la muestra MA3 un valor de 4,81 mg/l, en promedio un valor de 4,76 mg/l. Estos valores se deben a la presencia de desechos sólidos y materia orgánica en descomposición en el cauce del río.

5.2.2.4 Nitratos y fosfatos

El resultado de nitratos (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el sitio de captación dan en la muestra MA1 un valor de 0,31 mg/l, en la muestra MA2 un valor de 7,64 mg/l, y para la muestra MA3 un valor de 7,39 mg/l, en promedio un valor de 5,11 mg/l. Los nitratos se deben al aporte de materia orgánica que se descompone por las bacterias del suelo y por disolución de rocas y de efluentes industriales en el cauce del río. Estos valores se encuentran dentro del límite máximo permisible el cual es 10 mg/l de las aguas tipo 1- A y 1-B del Decreto 833 (tabla 3.4)

El resultado de fosfatos (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el sitio de captación dan en la muestra MA1 un valor de 0,59 mg/l, en la muestra MA2 un valor de 0,35 mg/l, y para la muestra MA3 un valor de 0,33 mg/l, en promedio un valor de 0,42 mg/l. Los fosfatos varían debido a la presencia de distintos procesos geológicos como la meteorización, lixiviación de rocas con contenido de fósforo, y por la gran cantidad de sedimentos que son transportados por escorrentía y luego descargado en el río Orinoco.

5.2.3 Parámetros bacteriológicos

5.2.3.1 Coliformes Totales

El resultado de coliformes totales (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el sitio de captación de agua dan en la muestra MA1 un valor de 9×10^3 NPM/100ml, en la muestra MA2 un valor de $9,2 \times 10^3$ NPM/100ml, y para la muestra MA3 un valor de $9,1 \times 10^3$ NPM/100ml, en promedio un valor de $9,1 \times 10^3$ NPM/100ml. Esto se debe al gran aporte de basura, desechos sólidos, materia orgánica, y descargas de aguas tanto servidas como residuales. Estos valores se encuentran dentro del límite

máximo permisible de las aguas tipo 1-B del Decreto 833 el cual es 10×10^3 NMP/100ml (tabla 3.4)

5.2.3.2 Coliformes Fecales

El resultado de coliformes fecales (Apéndice B) obtenido de las muestras recolectadas en el sitio de captación de agua cruda dan para las muestras MA1, MA2 y MA3 una valor de 0 NPM/100MIL, es decir ausencia de coliformes fecales.

5.2.4 Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua cruda

El resultado del cálculo del índice de calidad de agua (I.C.A) para cada una de las muestras recolectadas en sitio de captación de agua cruda da para MA1 un valor de 35%, para MA2 un valor de 32%, para MA3 un valor de 32%, un valor promediado de 33% lo que se traducen en un agua evaluada como “Mala”, tal como se muestra en tabla 5.5. Esto se interpreta que es debido a la contaminación por desechos sólidos, al constante aporte de aguas servidas y residuales, a la materia orgánica, entre otros vertidos y descargas a lo largo del curso del río.

Tabla 5.5. Resumen de los índices de calidad de agua

Muestra	I.C.A	Evaluación
MA1	35%	Mala
MA2	32%	
MA3	32%	
Promedio	33%	

En las siguientes figuras 5.2, 5.3 y 5.4 se presentan los cálculos del ICA cada una de las muestras recolectadas en el sitio de captación de agua cruda:

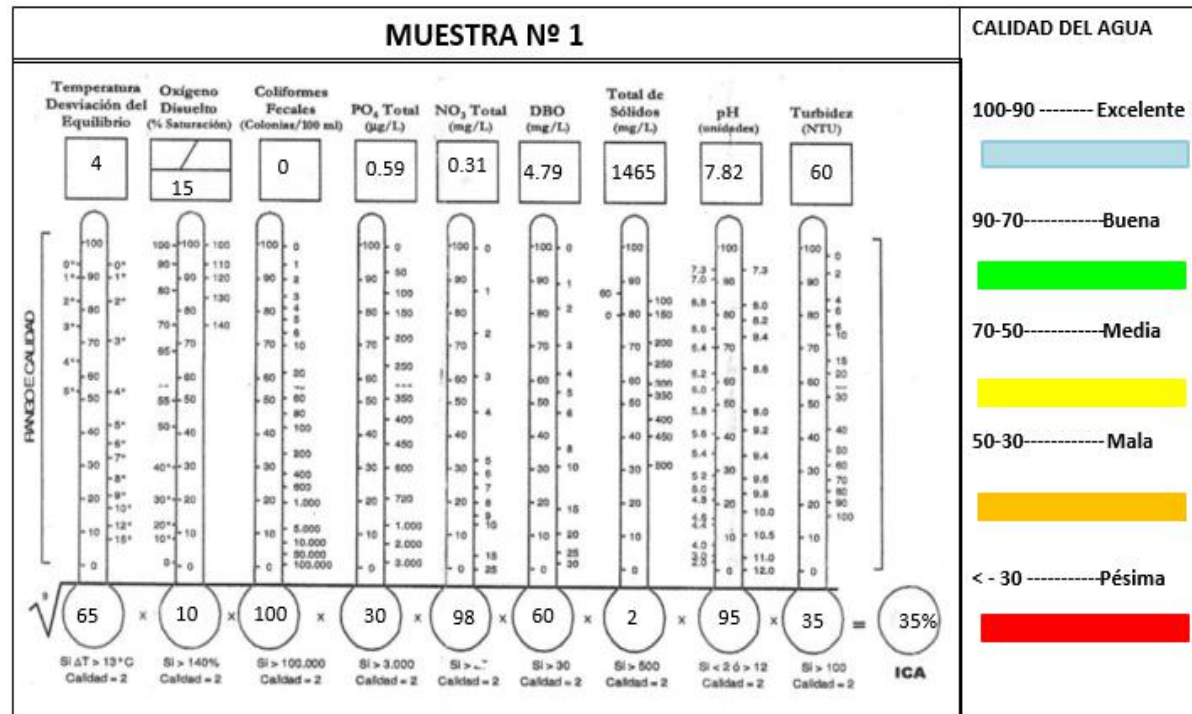


Figura 5.2. Resultado de ICA para la muestra MA1.

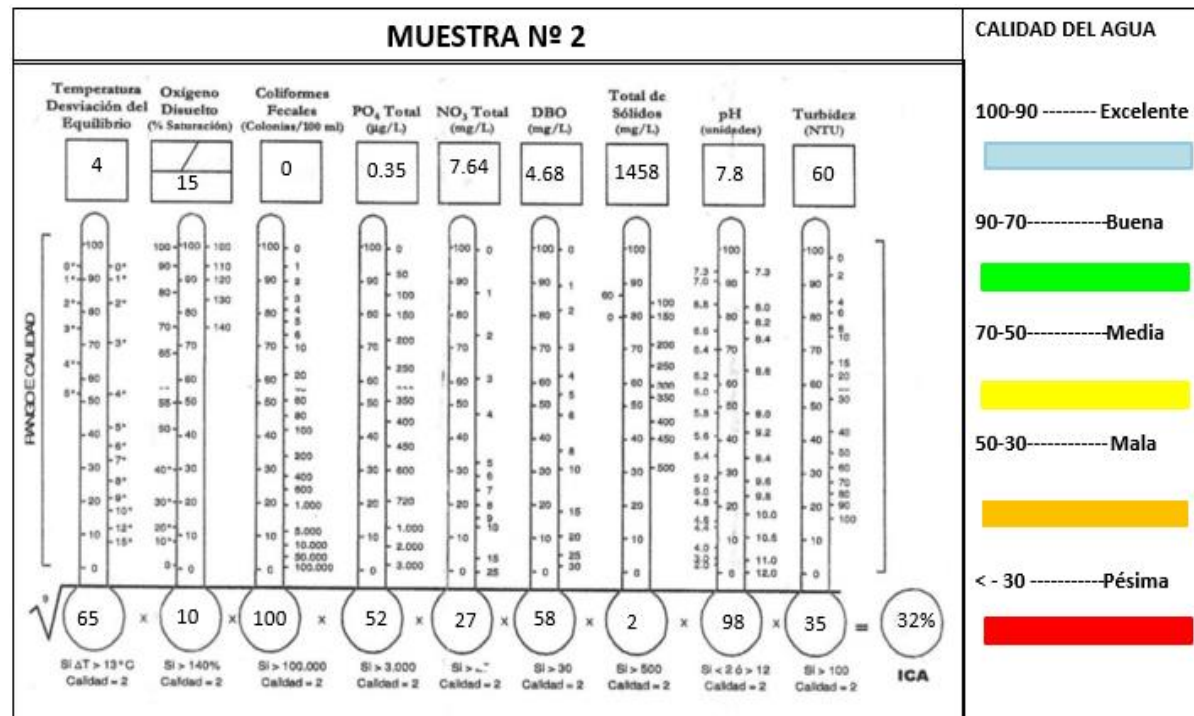


Figura 5.3. Resultado de ICA para la muestra MA2.

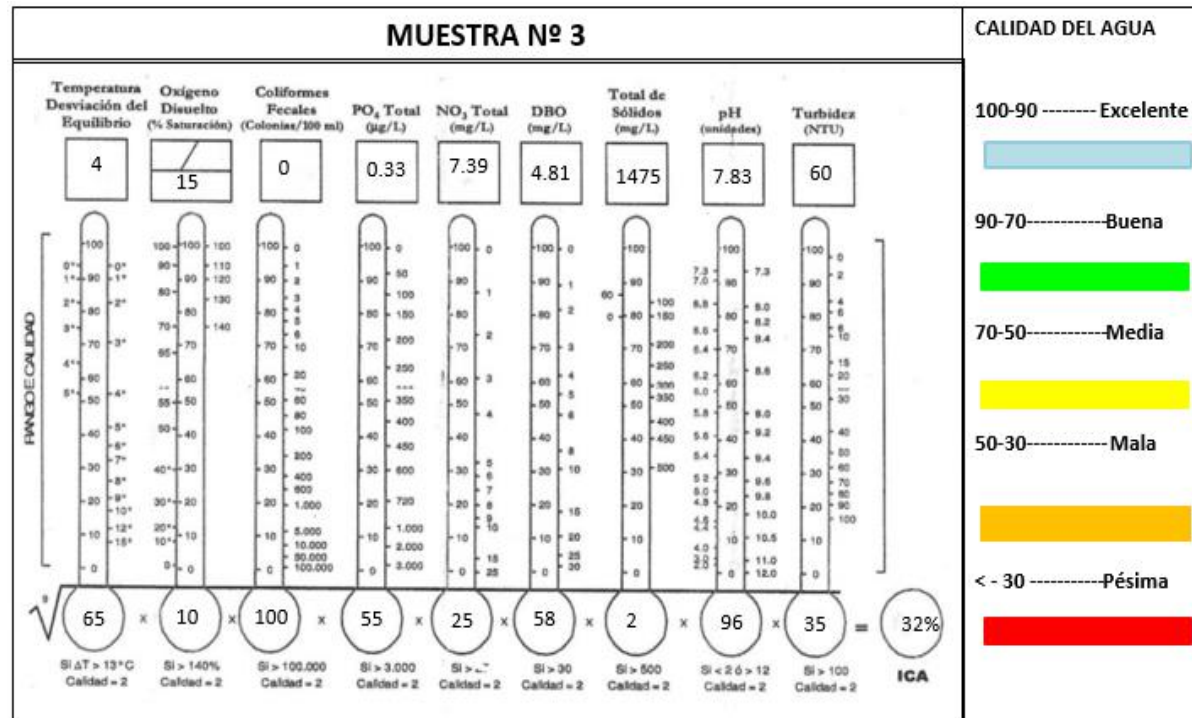


Figura 5.4. Resultado de ICA para la muestra MA3.

5.3 Determinación de la acumulación volumétrica de sedimentos

La cantidad de agua cruda de 510 l/seg (Tabla 5.1) que entra a la Planta Angostura con una turbiedad de 60 NTU (Tabla 5.2), una concentración de sólidos totales de 1513,33 mg/l (Apéndice A) y a una concentración agregada de Sulfato de Aluminio de 25 mg/l (Tabla 5.3) da como resultado una acumulación volumétrica de sedimento total de 47.40 m³ al día.

5.4 Análisis de las características físicas del sedimento

Para la determinación de las características físicas de los sedimentos se consideraron los siguientes parámetros: peso, volumen y propiedades índices (Apéndice C) de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.

5.4.1 Pesos de las muestras de sedimento

El análisis de los pesos (Apéndice C, Tabla C.1) de las muestras de sedimento recolectadas en los tanques de sedimentación dieron como resultado para la muestra MS1 una fase sólida de 72,80 g y contenido de agua de 64,71 g; para la muestra MS2 una fase sólida de 72,90 g y contenido de agua de 64,64 g; para la muestra MS3 una fase sólida de 72,22 g y contenido de agua 64,56 g; se puede determinar que las muestras poseen en promedio un 88,98% de humedad, característico de las arcillas y lodos, los cuales son partículas con un tamaño limo y arcilla.

5.4.2 Volúmenes de las muestras de sedimento

El análisis de los volúmenes (Apéndice C, Tabla C.1) de las muestras de sedimento recolectadas en los tanques de sedimentación dieron como resultado para la muestra MS1 volumen sólido (Vs) 35,29 cm³ y volumen de agua 64,71 cm³, para la

muestra MS2 volumen solido (V_s) $35,36 \text{ cm}^3$ y volumen de agua $64,64 \text{ cm}^3$, para la muestra MS3 volumen solido (V_s) $35,44 \text{ cm}^3$ y contenido de agua $64,56 \text{ cm}^3$.

5.4.3 Propiedades índices del sedimento

El resultado de las propiedades índices determinadas (Apéndice C, Tabla C.2) dieron en promedio una densidad total (γ_t) de $1,373 \text{ g/cm}^3$; una humedad (ω) de 88,98%; una saturación de agua (S_w) de 100%, una porosidad (n) de 64,64%, una relación de vacíos (e) de 182,78%; estas propiedades índices son característico de las limos y arcillas.

5.5 Análisis de las características químicas del sedimento

La composición química obtenida mediante análisis químico por el método de espectrometría por absorción atómica de las muestras de sedimento recolectadas desde los tanques de sedimentación de la Planta Angostura (1 muestra por cada tanque, 3 muestras en total) arrojó los siguientes resultados:

5.5.1 Sílice

Los valores obtenidos (Figura 5.5 y Apéndice D) de Sílice en lo que respecta a la muestra MS1 es de 82,5%; muestra MS2 es de 83,0% y para la muestra MS3 es de 86,0%; y un valor promedio de 83,8%. Se puede decir que las variaciones encontradas para Sílice son debido a diferentes factores geológicos, tales como intemperismo, lixiviación, erosión y el aporte de sedimentos producto de todos estos procesos. De acuerdo al porcentaje de sílice que se presenta, estos sedimentos formaron parte de la Formación Mesa.

5.5.2 Aluminio

Los valores obtenidos (Figura 5.5 y Apéndice D), para el Aluminio se encuentran en la muestra MS1 es de 14,72%; muestra MS2 es de 14,50%; muestra MS3 es de 11,01%; un valor promedio de de 13,1 % es indicativo que se debe a la presencia de suelos producto de la descomposición y meteorización de las rocas del Complejo de Imataca y aporte de sedimentos de la Formación Mesa, además de trazas de aluminio remanente del proceso de potabilización del agua con coagulante de sulfato de aluminio.

5.5.3 Hierro

Los valores de Hierro reportados (Figura 5.5 y Apéndice D), para la muestra MS1 es de 0,31%, para la muestra MS2 es de 0,46%, para la muestra MS3 es de 0,76%, el promedio de este elemento corresponde a un 0,51%, esto se explica debido a que estos suelos forman parte de la Formación Mesa, los cuales se caracterizan por ser ricos en hierro y por la presencia de materia orgánica que produce disolución de hierro.

5.5.4 Calcio

Los valores reportados para Calcio (Figura 5.5 y Apéndice D), se encuentra para la muestra MS1 es de 0,89%; para la muestra MS2 es de 0,67%; para la muestra MS3 es de 0,55%, el promedio es de 0,70%; es un elemento muy importante debido a que forma parte de la química del agua; esto es producto del aporte de sedimentos y de materia orgánica que es arrastrado por el caudal del río.

5.5.5 Magnesio

Los resultados del Magnesio reportados (Figura 5.5 y Apéndice D), para la muestra MS1 es de 0,51%; para la muestra MS2 es de 0,64%, para la muestra MS3 es de 0,49%; el porcentaje promedio es de 0,54%; respectivamente donde se aprecia que son considerablemente elevados, lo cual es debido a la presencia de suelos arcillosos altamente meteorizados.

5.5.6 Sodio- Potasio

Los valores para el Sodio presente en las muestras (Figura 5.5 y Apéndice D), obtenidos para la muestra MS1 es de 0,23%, para la muestra MS2 es de 0,19%, para la muestra MS3 es de 0,21 %, de la cual se obtuvo un promedio de 0,21%. El Potasio presente en las muestras se determinó para la muestra MS1 es de 0,19%, para la muestra MS2 es de 0,21%, para la muestra MS3 es de 0,23%, con un promedio de 0,21%. El Sodio y el Potasio están presentes debido a que los suelos de las zonas cercanas forman parte de la Formación Mesa, los cuales son ricos en los elementos mencionados.

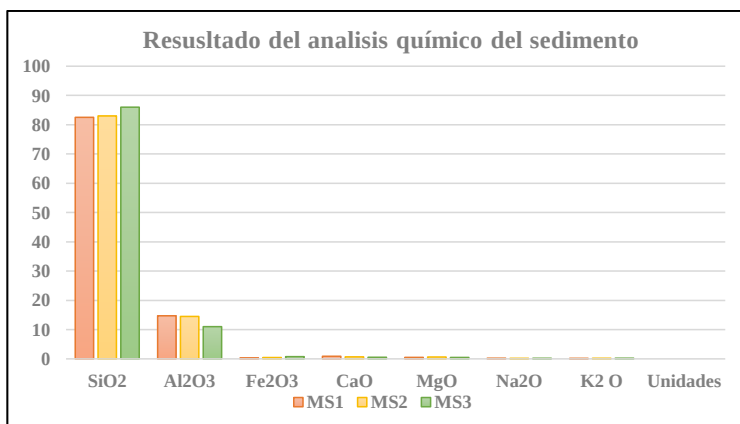


Figura 5.5. Grafica del análisis químico del sedimento.

5.6 Aplicación de ensayos geotécnicos al sedimento

5.6.1 Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro

Los ensayos de análisis granulométrico por tamizado (Apéndice E) se pudo observar que el porcentaje pasante por el tamiz 200 de las muestras MS1, MS2, MS3 son mayor al 12% siendo estos de 87,10%, 89,08% y 88,60% respectivamente; en estos casos no se calculó el C_u (coeficiente de uniformidad) ni el C_c (coeficiente de curvatura) y se procedió a realizar la granulometría por hidrómetro.

Luego de haber realizado la granulometría por hidrómetro (Ver Apéndice F) se aprecia que la mayoría de las partículas de las muestras son de tamaños menores a 0.075 mm, se combinaron los gráficos de análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro en un solo gráfico por cada muestra, como se observa en las figuras 5.6, 5.7 y 5.8.

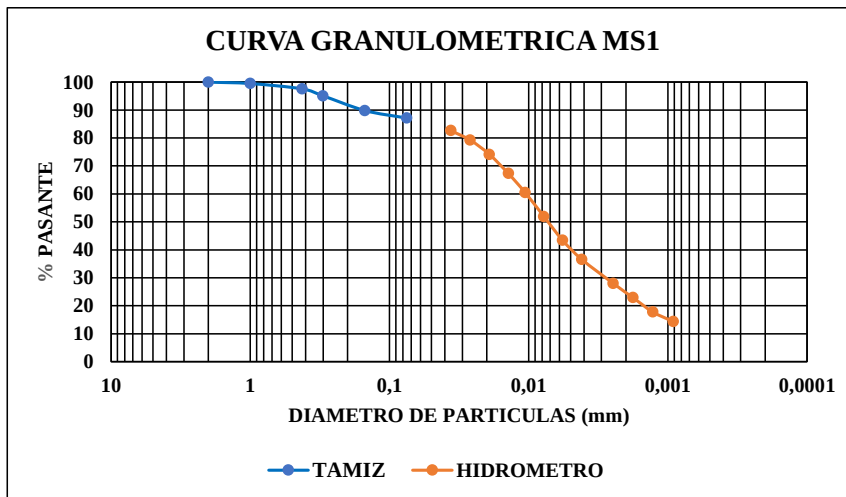


Figura 5.6. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS1.

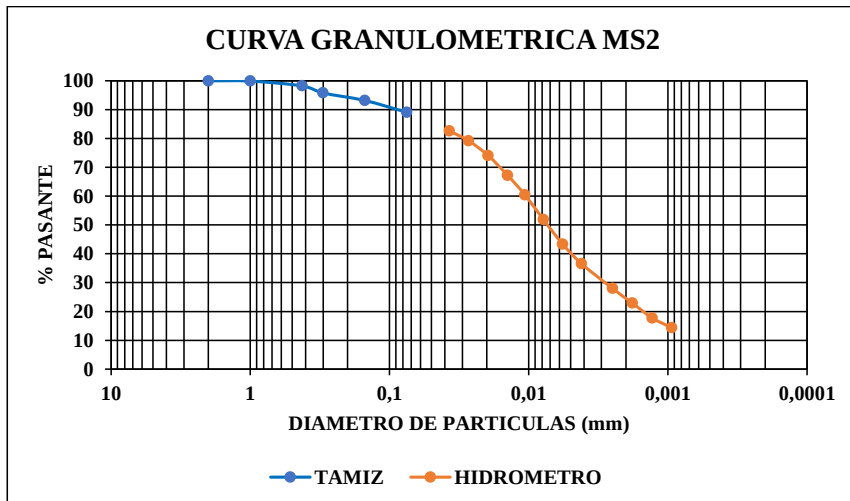


Figura 5.7. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS2.

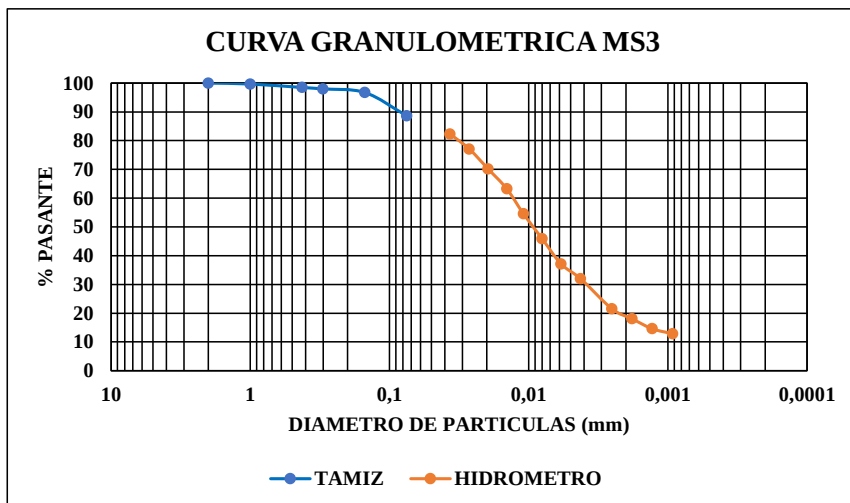


Figura 5.8. Curva granulométrica por tamizado e hidrómetro MS3.

5.6.2 Límites de consistencia

5.6.2.1 Limite líquido

Los ensayos de limite liquido aplicado (Ver Apéndice G) a las muestras MS1, MS2 y MS3, dieron como resultado un límite liquido de 63,01%, 64,15% y 63,28% respectivamente con un valor promedio de 63,48%. Estos límites de plasticidad se observan en las figuras 5.9, 5.10 y 5.11.

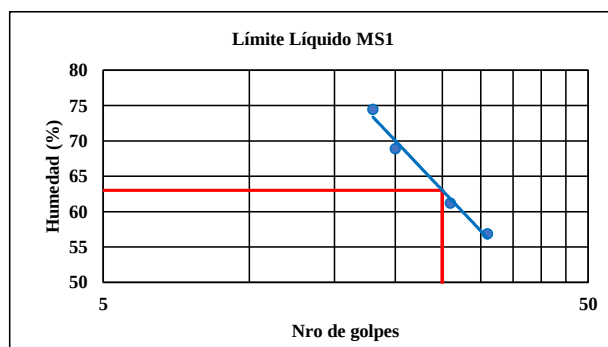


Figura 5.9. Limite líquido de la muestra MS1.

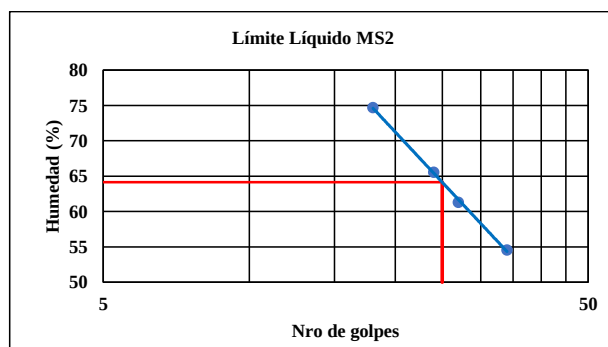


Figura 5.10. Limite liquido de la muestra MS2.

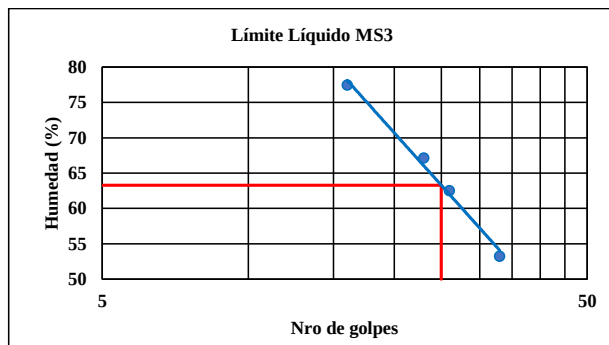


Figura 5.11. Límite líquido de la muestra MS3

5.6.2.2 Límite plástico

Los ensayos de límite plástico aplicado (Ver apéndice G) a las muestras MS1, MS2 y MS3, dieron como resultado un límite plástico de 50,66%, 52,07% y 50,64% respectivamente, dando como promedio un valor de 51,12%.

Además el índice de plasticidad promediado da un valor de 12,35%. Según Atterberg en Crespo, C. (2004), cuando el índice de plasticidad está comprendido entre 7% a 17%, se dice que el suelo es medianamente plástico.

5.6.3 Clasificación geotécnica

El sedimento fue clasificado según AASHTO y SUCS.

5.6.3.1 Clasificación según la AASHTO

Luego de realizar el procedimiento para clasificar las muestras según AASHTO, se obtuvo como resultado un suelo del subgrupo A-7-5, perteneciente al grupo A-7

(Tabla 5.9) que son suelos o sedimentos arcillosos, que tiene la característica de ser un material con baja permeabilidad, moderada elasticidad, un muy alto cambio de volumen; su uso como base, sub-base de pavimento y terraplenes es muy bajo o pobre.

Tabla 5.9. Característica de suelo según la AASHTO.

Grupo de suelo	Permeabilidad	Elasticidad	Cambio de volumen	Capilaridad	Base de pavimento	Sub-base de pavimento	Terraplenes	Escala de valoración	
A-1	--	---	--	-	++	++	++	+++	Sobresaliente
A-2	-	++	+	m	-	m	+	++	Muy alto
A-3	+	-	--	-	+	+	+	+	Alto
A-4	-	+	+-	+++	-	-	+-	m	Moderado
A-5	-	m	++	+++	---	-	--	-	Deficiente
A-6	---	-	++	++	--	--	-	--	Bajo
A-7	--	m	++	++	--	--	--	---	Muy bajo

5.6.3.2 Clasificación según SUCS

Luego de realizar el procedimiento para clasificar el sedimento según SUCS, se obtuvo como resultado la presencia de un sedimento o suelo MH (Tabla 5.10) para las muestras MS1, MS2, MS3, el cual es un limo inorgánico de alta plasticidad, este tipo de sedimento o suelo tiene la característica de ser un material inaceptable en cimentaciones o base (hinchable); generalmente tiende a tener baja facilidad de tratamiento en obra, deficiente permeabilidad, deficiente resistencia al corte y alta compresibilidad.

Tabla 5.10. Característica de suelo según la SUCS.

Grupo	VALORCION DE ATRIBUTOS				APTITUDES SEDUN SU USO
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.
SP	M	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud
SM	M	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento
ML	M	-	m	M	Inaceptable en pavimentos, licuable.
CL	+	--	m	M	Revestimiento de canales, pero es erodable.
OL	M	-	--	M	No recomendable, máximo si hay agua
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.
CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obras	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente +++
					Muy alto ++
					Alto +
					Moderado m
					Deficiente -
					Bajo --
					Muy bajo ---

5.6.4 Resistencia mecánica en seco

Los resultado obtenidos de los ensayos de resistencia mecánica en seco del sedimento (Tabla 5.11, Apéndice H) arrojan los siguientes resultados; 11,69 kgf/cm² para MS1, 10,72 kgf/cm² para MS2 y 11,52 kgf/cm² para MS3; dando como promedio una resistencia mecánica de 11,31 kgf/cm²; señalando que estos sedimentos no son factibles para la fabricación de bloques de arcilla debido a la baja resistencia mecánica, siendo considerada la más factible una resistencia mecánica de 45 kgf/cm² según la Norma Venezolana COVENIN 2 - 78.

Tabla 5.11. Resultados del análisis de resistencia mecánica en seco del sedimento.

RESISTENCIA MECÁNICA EN SECO	
Muestra	Resistencia
MS1	11,69 kgf/cm ²
MS2	10,72 kgf/cm ²
MS3	11,52 kgf/cm ²
Promedio	11,31 kgf/cm²

CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES

La numeración en la primera página de cada capítulo va abajo y en el centro, en las demás si va arriba y a la derecha

Conclusiones

1) La Planta Angostura actualmente cuenta con una producción de agua potable menor a la de sus inicios, dicha producción actual es de 510 litros por segundo con tres bombas o motores de captación en funcionamiento, en comparación con los 700 litros por segundo de producción con 5 motores en funcionamiento de aquel entonces.

2) La red de distribución de agua potable actual de la Planta Angostura se hace llamar “Sistema Bolívar”, cuenta con tres subsistemas los cuales son: a) Subsistema La Sabanita, que abastece hacia la zona alta de La Unión y parte alta de La Sabanita; b) Subsistema Caja de Agua, que abastece a todo el casco histórico y centro de Ciudad Bolívar; y c) Subsistema El Perú, que abastece a los sectores Las Flores, Agua Salada, Los Próceres y la parte vieja de El Perú.

3) La Planta Angostura se encuentra operando con el mínimo de personal requerido para su correcto funcionamiento, opera con equipos y/o maquinaria vieja y desgastada la cual recurrentemente necesita reparaciones debido a falta de mantenimiento, causando falla recurrente en el suministro de agua potable a la población.

4) El índice de calidad de agua (ICA) del agua cruda se encuentra en el rango de clasificación de “Mala” con un valor promediado de 33%; esto es debido al alto nivel de sólidos totales y bajo nivel de oxígeno que contiene la fuente de captación de la Planta Angostura en el río Orinoco.

5) La concentración de oxígeno disuelto de la fuente de captación de la Planta Angostura presentó alteraciones con respecto al Decreto 883 – Gaceta Oficial 5.021 “Normas para clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, ya que su valor promediado de 2,27 mg/l es menor al límite mínimo permisible que es de 4,0 mg/l. Esto puede asociarse a los compuestos orgánicos y biodegradables que se encuentran en el fondo del río, así como también las descargas de contaminantes orgánicos.

6) La cantidad de agua cruda de 510 l/s que entra a la Planta Angostura con una turbiedad de 60 NTU, una concentración de sólidos totales de 1466,11 mg/l en promedio y a una concentración agregada de Sulfato de Aluminio de 25 mg/l da como resultado una producción volumétrica de sedimento total de 47,40 m³ al día en época de sequía.

7) La composición química de los sedimentos obtenidos de los tanques de sedimentación son los siguientes: Sílice se observa un promedio de 83,80%; Aluminio un promedio de 13,14%; Hierro un promedio de 0,51 %; Calcio un promedio de 0,70%; Magnesio un promedio de 0,54%; Sodio un promedio de 0,21%; y Potasio un promedio de 0,21%. El porcentaje predominante de sílice y de aluminio del sedimento se interpreta como el aporte de la meteorización mecánica de las rocas graníticas que pertenecen a la provincia geológica de Imataca y de la degradación de la Formación Mesa. Además del aporte de aluminio remanente de la coagulación en el proceso de potabilización del agua en los tanques de sedimentación.

8) El sedimento posee en promedio una densidad total de 1,373 g/cm³; una humedad de 88,98%; una saturación de agua de 100%; una porosidad de 64,64%; y una relación de vacíos de 182,78%. Propiedades características de limos y arcillas altamente absorbentes de agua e inestables.

9) Según el análisis granulométricos por tamizado e hidrómetro en promedio el 88,26% de las partículas son menores de 0,075 mm diámetro, es decir, de tamaño limo y arcilla.

10) Según los ensayos de límites de consistencia en promedio el LL es 63,48%; el LP es 51,12%; y el IP es 12,35%. Se interpreta que es un sedimento medianamente plástico.

11) Según AASHTO, se obtuvo como resultado un sedimento o suelo del subgrupo A-7-5, perteneciente al grupo A-7 los cuales son un material arcilloso, que tiene la característica de ser un material con baja permeabilidad, moderada elasticidad, un muy alto cambio de volumen; su uso como base, sub-base de pavimento y terraplenes es muy bajo o pobre.

12) Según SUCS, se obtuvo como resultado la presencia de un sedimento o suelo MH el cual es un limo inorgánico de alta plasticidad, este tipo de sedimento o suelo tiene la característica de ser un material inaceptable en cimentaciones o base (hinchable); generalmente tiende a tener baja facilidad de tratamiento en obra, deficiente permeabilidad, deficiente resistencia al corte y alta compresibilidad.

13) La resistencia mecánica en seco del sedimento es de 11,31 kgf/cm²; señalando que estos sedimentos no son viables para la elaboración de bloques para la construcción debido a su baja resistencia mecánica, siendo considerada la más factible una resistencia mecánica de 45 kgf/cm² según la Norma Venezolana COVENIN 2 - 78.

Recomendaciones

1) Realizar a la Planta Angostura un diagnóstico desde el punto de vista de ingeniería industrial.

2) Ejecutar un cálculo de producción volumétrica más amplio que tome en cuenta cada uno de los tanques de sedimentación de manera individual, con un número mayor de muestras, y realizar el cálculo de manera mensual para obtener un valor más efectivo de la producción de sedimento.

3) Realizar análisis físico, químico y bacteriológico a las aguas del cauce del río Orinoco en el sitio de captación de agua cruda de la Planta Angostura, tanto en época de sequía como de lluvia.

4) Realizar un número mayor de análisis químico a un número mayor de muestras de sedimento que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura para así obtener un valor más efectivo de su composición química.

5) Realizar análisis mineralógico al sedimento que se produce en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura.

6) Efectuar ensayos de resistencia mecánica en seco a los sedimentos producidos en la Planta Angostura mezclándolo con otros tipos de arcillas que puedan tener un potencial de aprovechamiento.

La numeración en la primera página de cada capítulo va abajo y en el centro, en las demás si va arriba y a la derecha

REFERENCIAS

Arias, F. (2012) **EL PROYECTO DE LA INVESTIGACIÓN INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. 6ta Edición. Editorial Episteme, Caracas, 13 de agosto de 2018, pp 24, 27, 68, 83.

ASTM Internacional. “FREQUENTLY ASKED QUESTIONS”. 18 de marzo de 2020. [<https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor2>].

Bernal, A. y Rivadulla, R. (2009) “**PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS DE LA ISLA Y LA BARRERA OROCOPICHE, RÍO ORINOCO, UBICADA AL NOROESTE DE CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**”. GEOMINAS. Ciudad Bolívar. Volumen 47. Nro 49, pp 159-164.

Brown, R. y Rengel, A. (2014) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO MARHUANTA EN ÉPOCA DE LLUVIA (MAYO-SEPTIEMBRE). MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR. AÑO 2013**. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo de grado para optar al título de Geología. Ciudad Bolívar -Estado Bolívar.

Chapman D, V. Kimstach. (2003) **SELECTION OF WATER QUALITY VARIABLES**. Actualización de la segunda edición, 10 septiembre 2009, [http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/wqassess/ch08.htm].

Crespo, C. (2004). **MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES**. Editorial Limusa. Quinta edición. pp 70.

Corona J. (2011) **ESTADO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA**. [Consulta: 2018, 17 de diciembre]. [<http://www.redalyc.org/html/904/90421972003/>]

Das, Braja. (2011) **FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**. Cengage Learning Editores. Séptima edición, pp 2, 3, 5, 7, 16, 18, 19.

Das, Braja. (2013) **FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA**. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. Cuarta edición, pp 33, 34, 34, 35, 36, 37, 38, 39.

García, A. (2007) **EVALUACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS DESCARGAS SOBRE EL RÍO ORINOCO Y SU INFLUENCIA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN CIUDAD BOLÍVAR – ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente - Núcleo Bolívar. Escuela de Ciencia de la Tierra. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Recursos Naturales. Ciudad Bolívar - Estado Bolívar, Venezuela, pp 19-20-21-105.

Gonzales de Juana. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Tomo I. Ediciones Foninves. Caracas. Venezuela, pp 712 – 713.

González de Vallejo, J. Ferrer, M. Ortuño, L. Oteo, C. (2002) **INGENIERÍA GEOLÓGICA**. Editorial PRENTICE HALL, Madrid, pp 22-23

Hidrobolivar. “**HIDROBOLÍVAR WEB**”. [Consulta: 2018, 17 de diciembre]. [<http://190.9.132.54/web/>].

Hurtado de Barrera, Jacqueline, 2008. **CÓMO FORMULAR OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**. 2da edición. Ediciones Quirón, Sypal. Caracas.

Instituto Nacional De Canalizaciones. (2003) **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL RÍO ORINOCO, TRAMO MATANZAS – BOCA GRANDE, PUERTO ORDAZ, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**, pp 13-14.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez. (2005) **FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS**. Tomo I. Editorial Limusa. México, D.F., pp 37-38-39.

López Díaz (2014). **PROYECTO DE PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO UN PROCESO DE TIPO BIOLÓGICO-ANAEROBIO, EN LA POBLACIÓN DE NAIGUATÁ, ESTADO VARGAS**. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA, CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.

Norma Venezolana. “**BLOQUES DE ARCILLA PARA PAREDES. ESPECIFICACIONES**”. COVENIN 2 – 78. Caracas, 4 de abril de 1978.

Mendoza, V. (2000) **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO)**. Geología de Venezuela. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. Venezuela., pp 26.

Molina, M. y Tigreros, J. (2005) **” EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARAUCA, COLOMBIA”**. [Consulta: 2018, 17 de diciembre]. [<http://bdigital.unal.edu.co/4864/1/tesissas.pdf>]

Oronoz, K. (2018) **CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO**. Informe Alfarería Bolívar C.A. Ciudad Bolívar. Venezuela, pp 3.

PDVSA-Intevep. (1999-2001) **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Versión electrónica en CD.

Ramírez, G. (2003) **MANEJO DE LODOS PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, PLANTA II, DEL MUNICIPIO DE CARTAGO, VALLE**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería y arquitectura. Colombia.

Ramos, J. (2016) **TEMA N° 3; CLASIFICACIÓN DE SUELOS**. Universidad de Oriente. Escuela de Ciencias de la Tierra. Departamento de Ingeniería Geológica. Mecánica de Suelos. Ciudad Bolívar. Venezuela.

Rodríguez, J. (2013) **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN EN LA SABANA DE BOGOTÁ (ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)**. [Consulta: 2018, 17 de diciembre]. [<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%20695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1>].

Rosales, J. Suárez, C. y Lasso, C. (2010) **DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL DE LA CUENCA DEL ORINOCO**. Bogotá (Colombia), 10 de marzo de 2020. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=transporte+de+sedimento+en+el+rio+orinoco&oq=#d=gs_qabs&u=%23p%3DUaRLVfYhBDUJ], pp 51-53.

Sabino, C (1992) **COMO HACER UNA TESIS**. Editorial Panapo, Caracas, 13 de agosto de 2018, pp 27.

The National Sanitation Foundation - NFS International, (2003), **WATER QUALITY INDEX**, 22 de junio del 2013, [<http://www.nsfconsumer.org/environment/wqi.asp>].

APENDICES

APÉNDICE A
ANÁLISIS DE SÓLIDOS TOTALES DE LOS SEDIMENTOS

A.1 Análisis de sólidos totales de las muestras de agua cruda MA1, MA2 y MA3.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS									
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO						Muestra: Agua Cruda			
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR						Lugar: Toma Rio Orinoco			
Fecha: 22/ Marzo / 2019						Planta Angostura			

DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES AGUA CRUDA

Item	Peso beaker limpio (Po)	Volumen de muestra filtrada (ml)	Peso beaker calcinado (Pf)	Sólidos Disueltos (SD)	Peso papel filtrante (Po)	Peso papel filtrante con sólidos (Pf)	Millilitros filtrados	Sólidos Suspendidos (SS)	Sólidos Totales (ST)
Unidad	gr	ml	Gr	mg/l	gr	gr	ml	mg/l	mg/l
Muestra 1	30,000	40	30,019	475,00	1,000	1,099	100	990,00	1465,00
Muestra 2	30,000	40	30,020	500,00	1,000	1,115	120	958,33	1458,33
Muestra 3	30,000	40	30,019	475,00	1,000	1,100	100	1000,00	1475,00
Promedio	-	-	-	483,33	-	-	-	982,78	1466,11

Qim. Isidro Farias
[Signature]
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
[Signature]
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Perfeú-la sabanita Ciudad Bolívar-8001-
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf 042 66960539.



APÉNDICE B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA

B.1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua cruda de las muestras MA1, MA2 y MA3.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLOGIO DEL AGUA				
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO		Muestras: Ma1, Ma2, Ma3		
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR		Lugar: Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3		
Fecha: 22/ Marzo / 2019		Planta Angostura		

Parámetro	Ma1	Ma2	Ma3	Unidades
T. Agua	28	28	28	*C
T. Ambiente	32	32	32	*C
Turbiedad	60	60	60	U.T. N
pH	7.82	7.81	7.83	---
Ox, Disuelto	2.31	2.29	2.27	mg/l
D.B.O ₅₋₂₀	4.79	4.68	4.81	mg/l
Nitratos	0.31	7.64	7.39	mg/l
Fosfatos	0.59	0.35	0.33	mg/l
Sol. Totales	1465.00	1458.33	1475.00	mg/l
Coli. Fecales	---	---	---	NPM/100ML
Coli. Totales	9x10 ³	9,2x10 ³	9,1x10 ³	NPM/100ML

Qim. Isidro Farias
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campus Universitario J.N. Perelló la sabana-Ciudad Bolívar-8001.
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tel:061 66960539.



APÉNDICE C
ANÁLISIS FÍSICO DE LOS SEDIMENTOS

C.1. Peso y volumen de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS						
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO			Muestra: Sedimento seco			
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLIVAR			Lugar: Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3			
Fecha: 22/ Marzo / 2019			Planta Angostura			

PESO						
Muestra	Envase (g)	Muestra + Envase (g)	Muestra (g)	Envase + Muestra seca (g)	Muestra seca (g)	Agua (g)
-	-	-	Wt	-	Ws	Ww
MS1	120	257,51	137,51	192,80	72,80	64,71
MS2	120	257,54	137,54	192,90	72,90	64,64
MS3	120	256,78	136,78	192,22	72,22	64,56

VOLUMEN						
Muestra	Envase (cm3)	Muestra (cm3)	Agua (cm3)	Solido (cm3)	Aire (cm3)	Vacios (cm3)
-	-	Vt	Vw	Vs	Va	Vv
MS1	100	100	64,71	35,29	0	64,71
MS2	100	100	64,64	35,36	0	64,64
MS3	100	100	64,56	35,44	0	64,56

Qim. Isidro Farias
(Signature)
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
(Signature)
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N. Peretti-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001.
E-mail : ifarias@odo.edu.ve 06-02-66960539.



C.2. Propiedades índices de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS			
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO		Muestra: Sedimento seco	
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLIVAR		Lugar: Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3	
Fecha: 22/ Marzo / 2019		Planta Angostura	

ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS

PROPIEDADES INDICE								
Muestra	Densidad total	Densidad de la fase solida	Humedad	Saturación de agua	Porosidad	Relación de vacios	Gravedad específica del sedimento	Gravedad específica de la fase solida
-	γ_t	γ_s	ω	Sw	n	e	Gt	Gs
-	g/cm3	g/cm3	%	%	%	%	-	-
MS1	1,375	2,063	88,89	100,00	64,71	183,37	1,375	2,063
MS2	1,375	2,062	88,67	100,00	64,64	182,81	1,375	2,062
MS3	1,368	2,038	89,39	100,00	64,56	182,17	1,368	2,038
Promedio	1,373	2,054	88,98	100,00	64,64	182,78	1,373	2,054

Qim. Isidro Farías
(Signature)
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Perfeí-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001.
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf:0-02-66960539.



APÉNDICE D
ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SEDIMENTOS

D.1. Análisis químico de las muestras de sedimento MS1, MS2 y MS3.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SEDIMENTOS			
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO		Muestras: Ms1, Ms2, Ms3	
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR		Lugar: Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3	
Fecha: 22/ Marzo / 2019		Planta Angostura	

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Unidades
Ms1	82,53	14,72	0,31	0,89	0,51	0,23	0,19	%

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Unidades
Ms2	83	14,5	0,46	0,67	0,64	0,19	0,21	%

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Unidades
Ms3	86	11,01	0,76	0,55	0,49	0,21	0,23	%

Qim. Isidro Farias
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra



DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Peretti-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001 -
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf:0-42-66960539.

APÉNDICE E
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS POR TAMIZADO

E.1 Análisis granulométrico por tamizado de MS1.

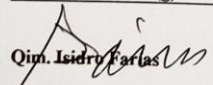


**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO			
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO		Muestra: MS1, Sedimento seco	
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR		Lugar: Tanque 1	
Fecha: 22/ Marzo / 2019		Planta Angostura	

Tamiz Nro	mm	Peso Ret. (g)	Ret. (%)	Ret. Acum. (%)	Pasante (%)
10	2	0,17	0,03	0,03	99,97
20	1	2,50	0,50	0,53	99,47
40	0,425	9,50	1,90	2,43	97,57
50	0,3	12,50	2,50	4,93	95,07
100	0,15	26,34	5,27	10,20	89,80
200	0,075	13,50	2,70	12,90	87,10
PAN		435,50	87,10	100,00	0,00
TOTAL		500,00	100,00		

Peso muestra inicial (g):	500,00
Peso muestra final (g):	500,00


Qim. Isidro Farías
Analista Centro de Geociencias



Prof. Francisco Montenegro
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N. Peretti-la salomita-Ciudad Bolívar-8001.
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf:04266960539.

E.2 Análisis granulométrico por tamizado de MS2.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO			
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO		Muestra: MS 2, Sedimento seco	
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR		Lugar: Tanque 2	
Fecha: 22/ Marzo / 2019		Planta Angostura	

Tamiz Nro mm	Peso Ret (g)	Ret (%)	Ret Acum. (%)	Pasante (%)
10 2	0,00	0,00	0,00	100,00
20 1	0,50	0,10	0,10	99,90
40 0,425	8,30	1,66	1,76	98,24
50 0,3	12,25	2,45	4,21	95,79
100 0,15	13,20	2,64	6,85	93,15
200 0,075	20,35	4,07	10,92	89,08
PAN	445,20	89,08	100,00	0,00
TOTAL	499,80	100,00		

Peso muestra inicial (g):	500,00
Peso muestra final (g):	499,80

Qim. Isidro Farias
[Signature]
Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde
[Signature]
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Perfeí-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001-
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf.042 66960539.

E.3 Análisis granulométrico por tamizado de MS3.

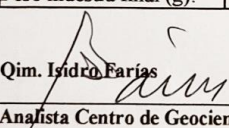


**UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NUCLEO DE BOLIVAR ESCUELA
CIENCIAS DE LA TIERRA - CENTRO DE GEOCIENCIAS**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
Solicitantes: JOSE PERDOMO Y JAVIER MONASTERIO			Muestra: MS 3, Sedimento seco		
PLANTA ANGOSTURA, CIUDAD BOLÍVAR			Lugar: Tanque 3		
Fecha: 22/ Marzo / 2019			Planta Angostura		

Tamiz Nro	mm	Peso Ret (g)	Ret (%)	Ret Acum. (%)	Pasante (%)
10	2	0,00	0,00	0,00	100,00
20	1	1,60	0,32	0,32	99,68
40	0,425	6,00	1,20	1,52	98,48
50	0,3	2,50	0,50	2,02	97,98
100	0,15	6,34	1,27	3,29	96,71
200	0,075	40,50	8,11	11,40	88,60
PAN		442,60	88,60	100,00	0,00
TOTAL		499,54	100,00		

Peso muestra inicial (g):	500,00
Peso muestra final (g):	499,54

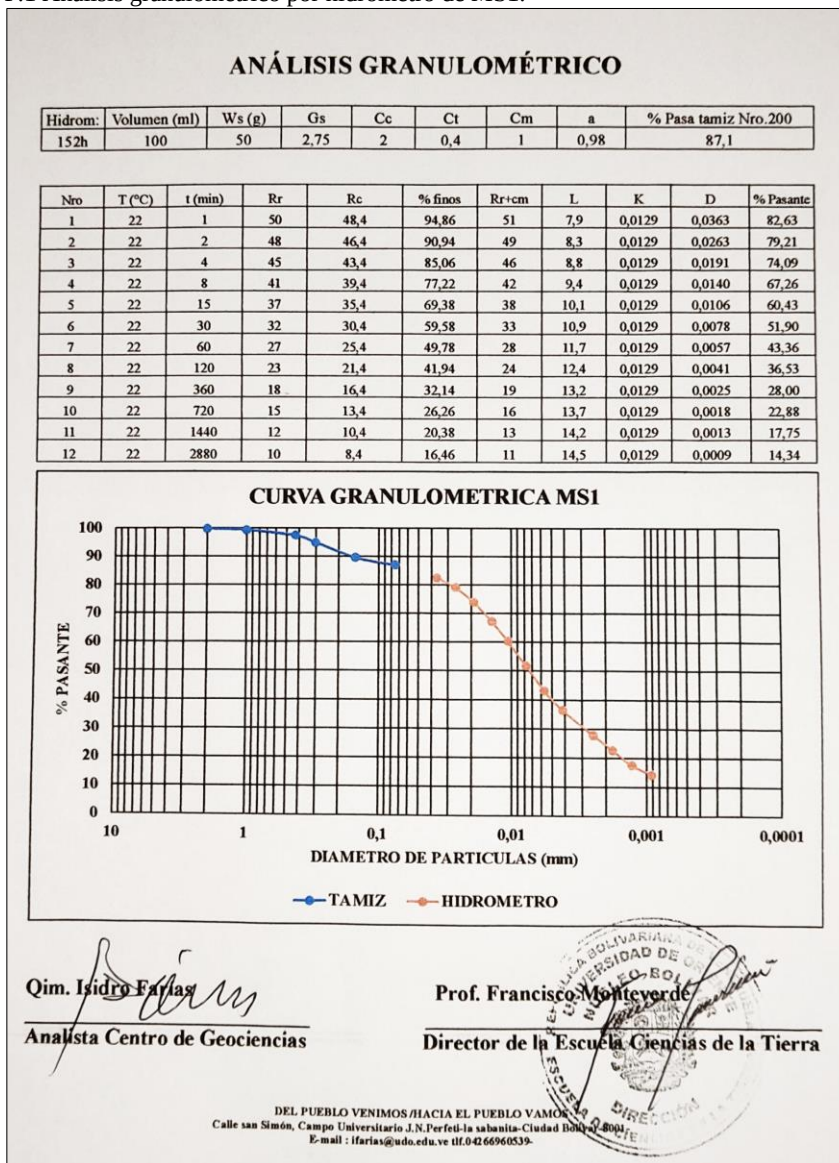

Qim. Isidro Farias
Analista Centro de Geociencias


Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

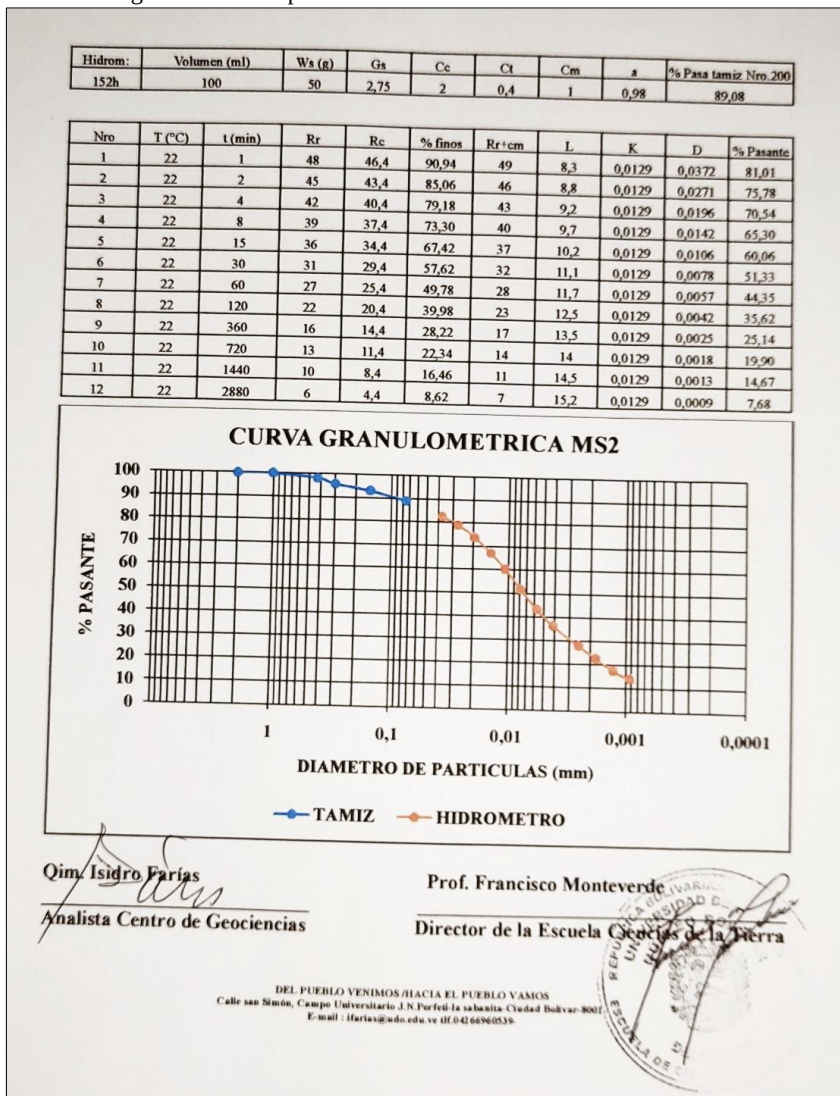
DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Peretti-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001.
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf.0-42-66960539.

APÉNDICE F
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS POR HIDRÓMETRO

F.1 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS1.



F.2 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS2.



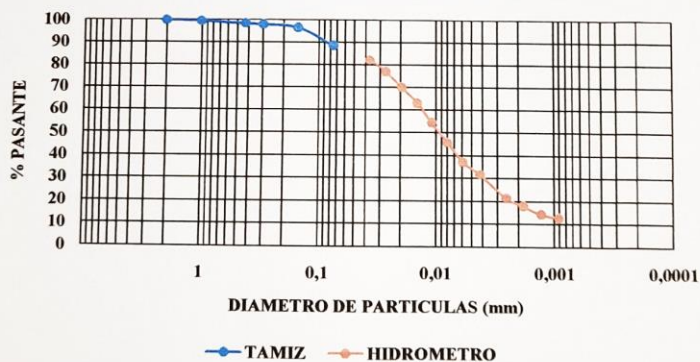
F.3 Análisis granulométrico por hidrómetro de MS3.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Hidrom	Volumen (ml)	Ws (g)	Gs	Cc	Ct	Cm	a	% Pasa tamiz Nro 200
152h	100	50	2,75	2	0,4	1	0,98	88,6

Nro	T (°C)	t (min)	Rr	Re	% finos	Rr+cm	L	K	D	% Pasante
1	22	1	49	47,4	92,90	50	8,1	0,0129	0,0367	82,31
2	22	2	46	44,4	87,02	47	8,6	0,0129	0,0268	77,10
3	22	4	42	40,4	79,18	43	9,2	0,0129	0,0196	70,16
4	22	8	38	36,4	71,34	39	9,9	0,0129	0,0144	63,21
5	22	15	33	31,4	61,54	34	10,7	0,0129	0,0109	54,53
6	22	30	28	26,4	51,74	29	11,5	0,0129	0,0080	45,85
7	22	60	23	21,4	41,94	24	12,4	0,0129	0,0059	37,16
8	22	120	20	18,4	36,06	21	12,9	0,0129	0,0042	31,95
9	22	360	14	12,4	24,30	15	13,8	0,0129	0,0025	21,53
10	22	720	12	10,4	20,38	13	14,2	0,0129	0,0018	18,06
11	22	1440	10	8,4	16,46	11	14,5	0,0129	0,0013	14,59
12	22	2880	9	7,4	14,50	10	14,7	0,0129	0,0009	12,85

CURVA GRANULOMETRICA MS3



Qim. Isidro Farias

Analista Centro de Geociencias

Prof. Francisco Monteverde

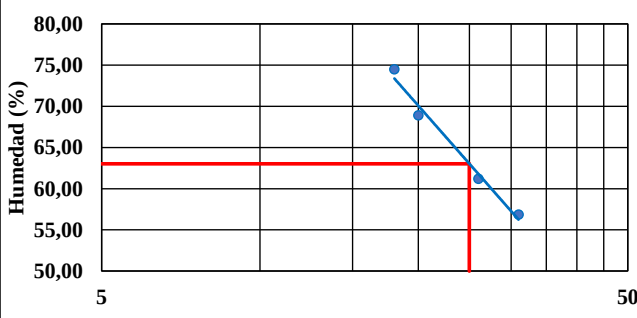
Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

DEL PUEBLO VENIMOS/HACIA EL PUEBLO VAMOS
Calle san Simón, Campo Universitario J.N. Perfección Sabanita-Ciudad Bolívar-8001-
E-mail : ifarias@udo.edu.ve tlf.042-66960539.

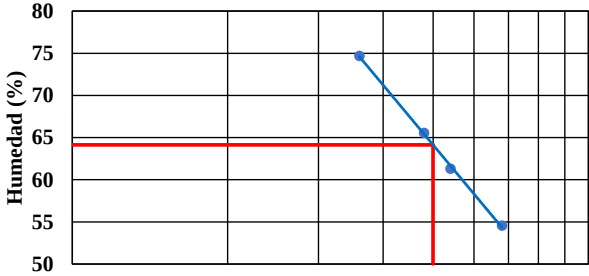


APÉNDICE G
ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

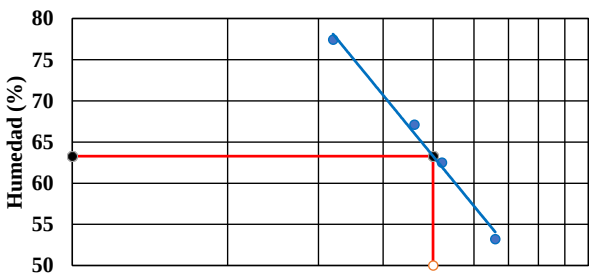
G.1. Límites de consistencia de MS1.

		ENSAYO DE COEFICIENTE DE PLASTICIDAD				CÓDIGO	
						AB-CDC-FM-036/15	
						FECHA DE VIGENCIA	10/12/2015
						ACTUALIZACIÓN N°	00
FECHA	HORA	SEMANA N°	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA				
28/3/2019	12:00PM	13	FOSA DE MADUREZ 1	ALMACÉN DE PLANTA	MINA	EXTERNA	
			FOSA DE MADUREZ 2				
NOMBRE DE LA MUESTRA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		N° DE ENSAYO		HORA INICIO DE ENSAYO	
TESIS-MAR-28 (MS1)		SEDIMENTOS DEL TANQUE DE HIDROBOLIVAR		01		9:00:00 a. m.	
DATOS DEL ENSAYO							
MS1	LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D423)				LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D424)		
Nro de capsula	L1	L2	L3	L4	P1	P2	
Nro de golpes	31	26	20	18	-	-	
Whum + cápsula (g)	30,00	32,60	31,00	31,30	23,70	23,10	
Wseco + capsula (g)	21,30	22,50	20,80	20,50	17,80	17,30	
Wcapsula (g)	6	6	6	6	6	6	
Wsuelo (g)	15,30	16,50	14,80	14,50	11,80	11,30	
Wagua (g)	8,70	10,10	10,20	10,80	5,90	5,80	
Humedad (%)	56,86	61,21	68,92	74,48	50,00	51,33	
LL	63,01		N° de golpes	25	LP	50,66	
IP	12,35						
IF							
SUCS	MH	Límite Líquido MS1  Nro de golpes $y = -31,51 \ln(x) + 164,44$					
AASHTO	A-7-5						
IP < LL-30							

G.2. Límites de consistencia de MS2.

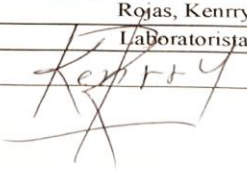
		ENSAYO DE COEFICIENTE DE PLASTICIDAD						CÓDIGO	
								AB-CDC-FM-036/15	
								FECHA DE VIGENCIA	10/12/2015
								ACTUALIZACIÓN N°	00
FECHA	HORA	SEMANA N°	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA						
28/3/2019	12:00PM	13	FOSA DE MADUREZ 1		ALMACÉN DE PLANTA		MINA		EXTERNA
			FOSA DE MADUREZ 2						
NOMBRE DE LA MUESTRA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				N° DE ENSAYO		HORA INICIO DE ENSAYO	
TESIS-MAR-28 (MS2)		SEDIMENTOS DEL TANQUE DE HIDROBOLIVAR				01		9:00:00 a. m.	
DATOS DEL ENSAYO									
MS2		LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D423)				LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D424)			
Nro de capsula	L1	L2	L3	L4	P1	P2			
Nro de golpes	34	27	24	18	-	-			
Whum + capsula (g)	29,80	31,00	30,50	34,30	31,00	32,40			
Wseco + capsula (g)	21,40	21,50	20,80	22,20	22,40	23,40			
Wcapsula (g)	6	6	6	6	6	6			
Wsuelo (g)	15,40	15,50	14,80	16,20	16,40	17,40			
Wagua (g)	8,40	9,50	9,70	12,10	8,60	9,00			
Humedad (%)	54,55	61,29	65,54	74,69	52,41	51,73			
LL	64,15				N° de golpes	25	LP	52,07	
IP	12,08								
IF									
SUCS	MH	Límite Líquido MS2  $y = -31,86 \ln(x) + 166,7$							
AASHTO	A-7-5								
IP < LL-30									

G.3. Límites de consistencia de MS3

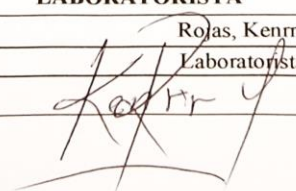
		ENSAYO DE COEFICIENTE DE PLASTICIDAD										CÓDIGO	
												AB-CDC-FM-036/15	
												FECHA DE VIGENCIA	10/12/2015
												ACTUALIZACIÓN N°	00
FECHA	HORA	SEMANA N°	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA										
28/3/2019	12:00PM	13	FOSA DE MADUREZ 1		ALMACÉN DE PLANTA		MINA		EXTERNA				
			FOSA DE MADUREZ 2										
NOMBRE DE LA MUESTRA			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				N° DE ENSAYO		HORA INICIO DE ENSAYO				
TESIS-MAR-28 (MS3)			SEDIMENTOS DEL TANQUE DE HIDROBOLIVAR				01		9:00:00 a. m.				
DATOS DEL ENSAYO													
MS3		LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D423)				LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D424)							
Nro de capsula	L1	L2	L3	L4	P1	P2							
Nro de golpes	33	26	23	16	-	-							
Whum + cápsula (g)	29,90	30,70	30,90	33,50	29,40	29,60							
Wseco + capsula (g)	21,60	21,20	20,90	21,50	21,50	21,70							
Wcapsula (g)	6	6	6	6	6	6							
Wsuelo (g)	15,60	15,20	14,90	15,50	15,50	15,70							
Wagua (g)	8,30	9,50	10,00	12,00	7,90	7,90							
Humedad (%)	53,21	62,50	67,11	77,42	50,97	50,32							
LL	63,28				N° de golpes	25	LP	50,64					
IP	12,64												
IF													
SUCS	MH	Límite Líquido MS3  $y = -33,2\ln(x) + 170,18$											
AASHTO	A-7-5												
IP < LL-30													

APÉNDICE H
ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA

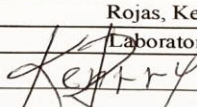
H.1. Resistencia mecánica de MS1.

		ENSAJO DE RESISTENCIA MECÁNICA				CÓDIGO AB-CDC-FM-034/15	
						FECHA DE VIGENCIA 10/12/2015	
						ACTUALIZACIÓN N° (0)	
FECHA 28/3/2018	HORA 12:00PM	SEMANA N° 13	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA ☐ FOSSA DE MAD. 1 ☐ FOSSA DE MAD. 2 ☐ ALMACÉN DE PLANTA ☐ MPA ☒ EXTERNA				
NOMBRE DE LA MUESTRA Tesis-Mar-28 (MS1)		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Sedimentos Planta Angostura Tanque 1			PORCENTAJE DE HUMEDAD (%) 		
ENSAJO N° 01	N° 01 Abertura mm Velocidad % Densificación % Materia Prima		N° 02 Abertura mm Velocidad % Densificación % Materia Prima		N° 03 Abertura mm Velocidad % Densificación % Materia Prima		
	Resistencia Mecánica en Seco						
	Resistencia Húmedo - Seco 11,69 kg/cm ²		Retracción Húmedo - Seco 4,0 %				
	N°	Peso de Probeta Húmeda (gr)	Peso de Probeta Seca (gr)	Compresión en Seco (mm)	Espesor de Probeta (cm)	Largo de Probeta (cm)	Fuerza de Rotura de Probeta (kg)
	1	117,3	79,6	86,30	0,99	4,84	8,9
2	119,40	80,6	86,40	0,97	4,79	3,9	
3	129,6	87,7	86,40	0,98	4,80	5,2	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Promedio	122,10	82,63	86,37	0,98	4,81	6,00	
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEÑALAN QUE ESTOS SEDIMENTOS NO SON FACTIBLE PARA LA REALIZACIÓN DE BLOQUES DE ARCILLA DEBIDO A LA BAJA RESISTENCIA MECÁNICA (11,69 KG/F) SIENDO CONSIDERADA LA MAS FACTIBLE UNA RESISTENCIA MECÁNICA DE 45KG/F SEGUN LA NORMA COVENIN 2-78. Además la retracción del material refleja una baja plasticidad siendo un material el cual seca muy rapido bajo condiciones de humedad controlada.							
Húmedo - Seco % 47,76		Húmedo - Cocido % #REF!		TESISTA Nombre y Apellido: Monasterio, Javier Perdomo, Jose			
LABORATORISTA							
Nombre y Apellido:		Rojas, Kenrry					
Cargo:		Laboratorista					
Firma							

H.2. Resistencia mecánica de MS2.

		ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA				CÓDIGO AB-CDC-FM-034/15	
						FECHA DE VIGENCIA 10/12/2015	
						ACTUALIZACIÓN N° 00	
FECHA	HORA	SEMANA N°	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA				
28/3/2019	12:00PM	13	☐ FORA DE MAD. 1 ☐ FORA DE MAD. 2 ☐ ALMACÉN DE PLANTA ☐ MINA ☒ EXTERNA				
NOMBRE DE LA MUESTRA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)		
Tesis-Mar-28 (MS2)		Sedimentos Planta Angostura Tanque 2					
ENSAJO N°		SEPS					
01		N° 01		N° 02		N° 03	
		Abertura mm		Abertura mm		Abertura mm	
		Velocidad %		Velocidad %		Velocidad %	
		Densificación %		Densificación %		Densificación %	
		Materia Prima		Materia Prima		Materia Prima	
Resistencia Mecánica en Seco							
Resistencia Humedo - Seco		10,72		kg/cm2		Retracción Humedo - Seco	
						4,1	
N°	Peso de Probeta Húmeda (gr)	Peso de Probeta Seca (gr)	Compresión en Seco (mm)	Espesor de Probeta (cm)	Largo de Probeta (cm)	Fuerza de Rotura de Probeta (kg)	
1	115,7	78,50	85,70	0,97	4,78	6,0	
2	115,7	78,50	86,80	0,96	4,79	5,0	
3	122,7	83,3	86,50	0,97	4,80	5,0	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Promedio	118,03	80,10	86,33	0,97	4,79	5,33	
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEÑALAN QUE ESTOS SEDIMENTOS NO SON FACTIBLE PARA LA REALIZACIÓN DE BLOQUES DE ARCILLA DEBIDO A LA BAJA RESISTENCIA MECÁNICA (10,72 KG/F) SIENDO CONSIDERADA LA MAS FACTIBLE UNA RESISTENCIA MECÁNICA DE 45KG/F SEGUN LA NORMA COVENIN 2-78. Además la retracción del material refleja una baja plasticidad siendo un material el cual seca muy rapido bajo condiciones de humedad controlada.							
Húmedo - Seco		Húmedo - Cocido		TESISTA			
%		%		Nombre y Apellido:			
47,76		#REF!		Monasterio, Javier Perdomo, Jose			
LABORATORISTA							
Nombre y Apellido:		Rojas, Kenrry					
Cargo:		Laboratorista					
Firma							

H.3. Resistencia mecánica de MS3.

ALFARERÍA		ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA				CÓDIGO	
						AB-CDC-FM-034/15	
						FECHA DE VIGENCIA	
						10/12/2015	
						ACTUALIZACIÓN N°	
						00	
FECHA	HORA	SERIAL N°	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA				
28/3/2019	12:00PM	13	☐ FOSEA DE MAD. 1 ☐ FOSEA DE MAD. 2 ☐ ALMACÉN DE PLANTA ☐ MPA ☒ EXTERNA				
NOMBRE DE LA MUESTRA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)		
Tesis-Mar-28 (MS3)		Sedimentos Planta Angostura Tanque 3					
ENSAYO N°	N° 01		N° 02		N° 03		
	Abertura mm	Abertura mm	Abertura mm	Abertura mm	Abertura mm	Abertura mm	
	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	
	Densificación %	Densificación %	Densificación %	Densificación %	Densificación %	Densificación %	
	Materia Prima	Materia Prima	Materia Prima	Materia Prima	Materia Prima	Materia Prima	
Resistencia Mecánica en Seco							
Resistencia Humedo - Seco		11,52		kg/cm ²		Retracción Humedo - Seco	
						4,6	
						%	
N°	Peso de Probeta Húmeda (gr)	Peso de Probeta Seca (gr)	Compresión en Seco (mm)	Espesor de Probeta (cm)	Largo de Probeta (cm)	Fuerza de Rotura de Probeta (kg)	
1	110,1	81,0	86,28	0,98	4,80	5,6	
2	115,2	78,3	85,60	0,97	4,75	3,3	
3	72,6	49,5	85,60	0,96	4,81	8,4	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Promedio	99,29	69,61	85,83	0,97	4,79	5,77	
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEÑALAN QUE ESTOS SEDIMENTOS NO SON FACTIBLE PARA LA REALIZACIÓN DE BLOQUES DE ARCILLA DEBIDO A LA BAJA RESISTENCIA MECÁNICA (11,52 KG/F) SIENDO CONSIDERADA LA MAS FACTIBLE UNA RESISTENCIA MECÁNICA DE 45KG/F SEGUN LA NORMA COVENIN 2-78 . Ademas la retraccion del material refleja una baja plasticidad siendo un material el cual seca muy rapido bajo condiciones de humedad controlada.							
Húmedo - Seco		Húmedo - Cocido		TESISTA			
%		%		Nombre y Apellido:			
47,76		#REF!		Monasterio, Javier Perdomo, Jose			
LABORATORISTA							
Nombre y Apellido:		Rojas, Kenrry					
Cargo:		Laboratorista					
Firma							

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Caracterización de los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la planta angostura de hidrobolivar c. A., ubicada en Ciudad Bolívar – Estado Bolívar
Subtítulo	

Autor(es):

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Monasterio, Javier Valentin	CVLAC	V25.914.501
	e-mail	javiervalentinm95@gmail.com
	e-mail	
Perdomo M., José E.	CVLAC	V18.948.347
	e-mail	joseperdomo0110@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Sedimento
Agua cruda
Índice de calidad de agua
Acumulación volumétrica
Análisis físico
Análisis químico
granulometría
Límites de consistencia
Clasificación geotécnica
Resistencia mecánica en seco

Líneas y sub-líneas de investigación:

Área	Sub-área
Ingeniería geológica	Ingeniería ambiental
	Mecánica de suelos
	Sedimentología

Resumen (abstract):

Las descargas de lodos de la planta potabilizadora de agua hacia los cauces de ríos representan una acción perjudicial para estos cuerpos de agua, en tales casos se puede reducir esta fuente de contaminación utilizando los sedimentos de los lodos en el área industrial, debido a esto, es fundamental conocer el tipo de sedimento. Considerando estos aspectos la investigación tuvo como objetivo principal realizar una "Caracterización de los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentación de la Planta Angostura de Hidrobolívar C.A., ubicada en Ciudad Bolívar - Estado Bolívar". La investigación se considera de tipo descriptiva, y de diseño de campo. Está consistió básicamente en un diagnóstico de la situación actual de la Planta Angostura en la cual se procedió a determinar el Índice de Calidad de agua (ICA) del agua cruda, determinar la acumulación volumétrica de sedimento producido en los tanques, analizar químicamente mediante espectrofotometría por absorción atómica el sedimento, analizar las dimensiones peso-volumétricas del sedimento y sus propiedades índice, clasificar geotécnica según ASHTOO y SUSCS el sedimento y determinar su Resistencia Mecánica en Seco para la elaboración de bloques de arcilla. Dicha caracterización arrojó como resultados más destacados que el ICA del agua cruda se clasifica como "Mala"; los tanques producen un volumen diario de 47,40 m³/día de sedimento seco el análisis químico demostró que el sedimento es mayormente sílice y en porcentaje más bajo alúmina debido al sulfato de aluminio utilizado para potabilizar el agua, la propiedad índice más destacada del sedimento es la humedad con un 88,18% in situ, la clasificación geotécnica según ASHTOO resulta ser un sedimento arcilloso A-7-5 y según SUCS un sedimento limoso de alta compresibilidad MH; la Resistencia Mecánica en Seco del sedimento de 11,37 kgf/cm² demostrando que no es factible para la realización de bloques para la construcción según la norma COVENIN 2-78

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Abud S., Jorge	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☒ JU ☐
	CVLAC	V4.984.842
	e-mail	jorgeabud@yahoo.com
	e-mail	
	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2021		

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-(Caracterizacion de los sedimentos que se producen en los tanques de sedimentacion de la Planta Angostura de Hidrobolivar C. A., ubicada en Ciudad Bolivar – Estado Bolivar).doc	Aplication/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Ingeniería Geológica

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

Derechos:

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado de Pregrado "Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario"

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Autor 1
Monasterio, Javier
V25.914.501

Autor 2
Perdomo, José
V18.948.347

Tutor
Abud S., Jorge
V4.984.842