

UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO_5 Y DQO
mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales
domésticas empleando organoarcilla

Por:

Isabel Maricielo Chacon Ramos

Claudia Teresa Ramos Zavala

Asesores:

Ph.D. Noe Benjamín Pampa Quispe

Lima, octubre de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Yo PhD Noe Benjamin Pampa Quispe,

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA REMOCIÓN DE TURBIDEZ, DBO₅ Y DQO MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EMPLEANDO ORGANOARCILLA”*** constituye la memoria que presentan las **Bachiller (es) Isabel Maricelo Chacon Ramos y Claudia Teresa Ramos Zavala** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección. Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 14 de octubre del año 2019



PhD Noe Benjámín Pampa Quispe

Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO
mediante procesos de Coagulación/Floculación de aguas residuales
domésticas empleando organoarcilla

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

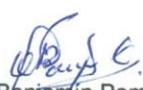
JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Secretaria


Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz
Vocal


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Vocal


Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe
Asesor

Lima, 14 de octubre de 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por la inspiración y darme la fuerza para seguir adelante en este proceso de obtener mi meta más deseada. A mis padres Lucía Gregoria Ramos Ramos y Leon Chacon Cochachi, por su esfuerzo, dedicación y el sacrificio en estos años, gracias a ustedes he logrado llegar a esta meta tan anhelada. Es una la alegría y una bendición de ser su hija, son los mejores padres. A mis hermanos por estar en todo este proceso conmigo y siempre dándome su apoyo moral.

ISABEL MARICIELO CHACON RAMOS

Agradecer a Dios por la bendición de tener a mis padres aún conmigo Enma Zavala Villanueva y Felipe Ramos Segura; quienes día a día lucharon, se esforzaron, me motivaron, confiaron en mí y me brindaron su apoyo absoluto para alcanzar cada objetivo trazado en mi vida. A mis tres hermanos mayores, Noemi, Jhoana y Víctor quienes son mi gran ejemplo que seguir, me impulsan a ser mejor persona y me brindan todo su amor. Finalmente, a mis campeones Steven y Moisés y a mi princesa Briguitte porque son motivo de muchas alegrías y logros.

CLAUDIA TERESA RAMOS ZAVALA

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por ser quien nos da la vida, nos llena de sabiduría y entendimiento y por permitirnos cumplir un objetivo más en nuestro proyecto de vida.

Gratitud a nuestros padres, hermanos y familiares quienes incondicionalmente nos apoyaron en todos los aspectos y nos brindaron los recursos necesarios para culminar nuestra tesis.

Un agradecimiento especial al Ph.D Pampa Quispe Noe y al MSc. López Gonzales Javier Linkolk quienes fueron nuestros asesores y por su constante apoyo en todo momento desde el inicio hasta el tramo final no sólo como maestros sino también como amigos. De igual manera, a los docentes Alex Huamán de la Cruz, Jackson Pérez Carpio, gracias por su apoyo, su tiempo, su dedicación y motivación en todo momento.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y a los encargados del Laboratorio de Saneamiento y Monitoreo por permitirnos el espacio y facilitarnos los equipos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

A nuestros amigos: Benjamín Hilaquita, Evelyn Atoche, Anthony Flores, Anita Ramírez, Kevin Rafael, Rocío Herrera, Wendy Mamani, Benson Canchaco, Miguel Egoavil, Julio Supo y Luis Enrique, que durante la etapa universitaria tuvimos el agrado de conocernos y poder compartir un sinfín de momentos dentro y fuera de las aulas. Asimismo, a todas aquellas personas que contribuyeron en nuestro logro mostrándonos su apoyo incondicional con palabras de ánimo y motivación, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
PRESUPOSICIÓN FILOSOFICA	5
1.1. OBJETIVOS.....	6
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO II	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	1
2.1. ANTECEDENTES	1
2.2. BASE LEGAL	2
2.2.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ.....	2
2.2.2. LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE N° 28611	3
2.2.3. DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM	3
2.3. MARCO TEÓRICO.....	3
2.3.1. AGUA	3
2.3.2. DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN EL MUNDO Y EL PERÚ.....	4
2.3.3. CALIDAD DEL AGUA	5
2.3.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL	13
2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	14
2.4.1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO	16
2.4.2. TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO	17
2.5. PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	17
2.6. COAGULACIÓN	18
2.6.1. MATERIAL COLOIDAL	18
2.6.2. PROPIEDADES CINÉTICAS DEL COLIDE	18
2.6.3. ESTABILIZACIÓN E INESTABILIDAD DE LOS COLOIDES	20
2.6.4. MECANISMO DE COAGULACIÓN.....	23
2.6.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	24
2.6.6. TIPOS DE COAGULACIÓN	27

2.7. FLOCULACIÓN	28
2.7.1. TIPOS DE FLOCULACIÓN	29
2.7.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN	29
2.8. SEDIMENTACIÓN	32
2.8.1. TIPOS DE SEDIMENTACIÓN.....	33
2.9. PRUEBA DE JARRAS	34
2.9.1. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	35
2.9.2. DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE AGITACIÓN Y GRADIENTE DE MEZCLADO.....	36
2.9.3. TOMA DE MUESTRAS	38
2.10. NANOCIENCIA	39
2.10.1. NANOTECNOLOGÍA.....	39
2.11. ARCILLAS FILOSILICATOS	40
2.11.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS	40
2.11.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS ARCILLAS.....	41
2.11.3. ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS.....	43
2.11.4. TIPOS DE ARCILLA.....	45
2.12. MONTMORILLONITA	48
2.12.1. ORIGEN Y OBTENCIÓN DE LA MONTMORILLONITA	48
2.12.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	49
2.12.3. MONTMORILLONITA MODIFICADA CON SALES DE AMONIO CUATERNARIO	49
2.13. ORGANOARCILLA	49
2.13.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ORGANOARCILLA	50
2.14. POLÍMEROS	52
2.14.1. POLÍMERO NATURAL.....	53
2.14.2. POLÍMERO SINTÉTICO.....	53
2.15. TARA (CAESALPINIA SPINOSA)	54
2.15.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA TARA.....	54
2.15.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA TARA.....	54
2.15.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ZONAS PRODUCTORAS	55
2.15.4. APROVECHAMIENTO DE LA TARA.....	56
2.15.5. GOMA DE TARA	56
2.15.6. USOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA.....	59
CAPÍTULO III	60
3. MATERIALES Y MÉTODOS	60
3.1. LUGAR DE ESTUDIO	60
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS	61
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	61
3.4. MATERIALES Y EQUIPOS	61
3.4.1. MATERIALES DE CAMPO	61
3.4.2. MATERIALES DE LABORATORIO	62
3.4.3. EQUIPOS	63
3.4.4. REACTIVOS.....	63
3.5. METODOLOGÍA	63
3.5.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA Y ANÁLISIS DE DBO ₅ , DQO Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	63
3.5.2. PROCESO TECNOLÓGICO DE OBTENCIÓN DE ORGANOARCILLA	65

3.5.3. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA DE JARRA APLICANDO LOS CÁLCULOS YA ESTABLECIDOS.	73
3.6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS	85
3.6.1. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	85
3.6.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	88
CAPÍTULO IV	92
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	92
4.1. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE LA ORGANOARCILLA.....	92
4.2. RESULTADOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO	96
4.2.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE FACTORIAL FRACCIONADO	93
4.2.2. SUPERFICIE DE RESPUESTA POR DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTACIONAL	98
CAPÍTULO V	116
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1. CONCLUSIONES.....	116
5.2. RECOMENDACIONES.....	118
6. BIBLIOGRAFÍA	120
7. ANEXOS	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de agua según el tipo de olor	9
Tabla 2. Resultados fisicoquímicos del preanálisis 1 y preanálisis 2, antes de someterse a la prueba de jarra.	64
Tabla 3. Concentración de organoarcilla, y concentración y dosis de goma de tara.	69
Tabla 4. Prueba 1	70
Tabla 5. Prueba 2	70
Tabla 6. Prueba 3	70
Tabla 7. Cálculos del tiempo y velocidad óptima en el proceso de floculación y sedimentación por cada prueba.....	71
Tabla 8. Cálculos establecidos para la aplicación de la prueba de jarra	75
Tabla 9. Variables del diseño experimental	85
Tabla 10. Niveles de variables independientes para el diseño factorial fraccionado	86
Tabla 11. Codificación de las variables independiente del diseño factorial fraccionado... ..	86
Tabla 12. Niveles para el diseño de superficie de respuesta (DCCR) para turbidez	87
Tabla 13. Variables de Superficie de respuesta para la remoción de turbidez, DBO ₅ y DQO.....	88
Tabla 14. Resultados de la Amplitud a diferentes ángulos	93
Tabla 15. Distancia interlaminar de la organoarcilla.....	94
Tabla 16. Composición química de la organoarcilla.....	94
Tabla 17. Combinación de niveles de la primera etapa Diseño Screening – Fraccionado 2n – x.....	93
Tabla 18. Combinación de niveles de la segunda etapa, Diseño Central Compuesto Rotacional - Superficie de Respuesta.....	98
Tabla 19. Resultados del análisis pre y post de cada parámetro, comparado con el ECA-004- 2017-MINAM, para riego de vegetales.....	99
Tabla 20. Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de DBO ₅ , Postratamiento.....	101
Tabla 21. Calculo del modelo predictivo para la remociones de DBO ₅	105
Tabla 22. Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de DQO, Postratamiento.....	106

Tabla 23. Calculo del modelo predictivo para la remociones de DQO	109
Tabla 24. Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de turbidez, Postratamiento	110
Tabla 25. Calculo del modelo predictivo para la remociones turbidez.....	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de Sistema de Tratamiento Primario	15
Figura 2. Tipo de Sistemas de Tratamiento Secundario	15
Figura 3. Tipos de Sistemas de Tratamiento Terciario.....	16
Figura 4. Configuración esquemática de la doble capa eléctrica.....	21
Figura 5. Energía potencial de interacción entre dos coloides.....	22
Figura 6. Alta concentración de iones monovalentes	22
Figura 7. Coagulación por el Proceso de Adsorción	27
Figura 8. Coagulación por el Proceso de Barrido.....	28
Figura 9. Floculación Pericinética y Ortocinética.....	29
Figura 10. Índice de Willcomb para clasificar los tamaños del floc que va de A–G	34
Figura 11. Prueba de Jarra	35
Figura 12. Gráfico para determinar el gradiente mezcla y/o de velocidad, en función de la velocidad de la agitación, para jarras redondas de dos litros.	36
Figura 13. Ábaco de gradiente de velocidad v/s las revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarra	37
Figura 14. Deflectores o latón para las pruebas de jarra	37
Figura 15. Determinación de la velocidad de agitación requerida para diferentes gradientes y tipos de jarras utilizadas.....	38
Figura 16. Sifón para la toma de muestras.....	39
Figura 17. Representación de la diferencia del hinchamiento entre bentonita sódica y bentónica cálcica	42
Figura 18. Diagrama de la capacidad de intercambio catiónico.....	43
Figura 19. Forma geométrica del Tetraedro	44
Figura 20. Se enfatiza que el catión (azul) ocupa el centro del tetraedro.....	44
Figura 21. Vista lateral mostrando la lámina tetraédrica	44
Figura 22. Forma geométrica del octaedro.....	45
Figura 23. Vista lateral mostrando la hoja octaédrica	45
Figura 24. Constituyentes de la Montmorillonita.....	49
Figura 25. Esquema de Difracción de ángulo y distancia interlaminar del DRX	51

Figura 26. Modelo de difracción de rayos X de una bentonita natural.....	51
Figura 27. Patrón de micrografías para: a) Arcilla natural y b) Arcilla activada	52
Figura 28. Árbol de Tara (Caesalpinia spinosa) y sus frutos	55
Figura 29. Estructura morfológica de la semilla de Tara	57
Figura 30. Composición galactomanano de la goma de tara.....	58
Figura 31. Mapa de ubicación de los lugares de ejecución ArGis.	60
Figura 32. Pesado de la goma de tara en una balanza analítica.	67
Figura 33. Pesado de 20, 25, 30, 35 y 40g de organoarcilla.....	69
Figura 34. Rotulado de cada vaso precipitado (a), Llenado de cada vaso con 2000 mL de agua residual doméstica (b).	73
Figura 35. Análisis fisicoquímicos realizados en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión antes de ejecutar la prueba de jarra.....	74
Figura 36. Pesado de la organoarcilla en 20, 25 y 30g.....	76
Figura 37. Mezcla con 150mL de agua residual doméstica.	76
Figura 38. Pesado de la goma de tara en 1, 1.5 y 2g (a), preparación de la solución madre al 10% mezclada con agua destilada (b), y preparación de la dilución al 0.5% de la solución madre mezclada con agua destilada (c).....	77
Figura 39. Llenado de las 11 jeringas con el volumen correspondiente (10, 15 y 20mL) de goma de tara al 0.5% previamente rotulado.....	77
Figura 40. Primeras 4 jarras en el equipo (Tratamiento 1, 4, 5 y 8).....	78
Figura 41. Sigüientes 4 jarras en el equipo (Tratamiento 2, 3, 6 y 7).	79
Figura 42. Últimas 3 jarras en el equipo (Tratamiento 9, 10 y 11).	79
Figura 43. Ejecución de la prueba de jarra.	80
Figura 44. Funcionamiento de Prueba de jarra.	80
Figura 45. Aplicación correcta de la goma de tara al centro de la jarra.....	81
Figura 46. Índice de Willcomb en prueba de jarras a escala laboratorio.	81
Figura 47. Proceso simulado de sedimentación (con sus sifones y sin deflectores).....	82
Figura 48. Retiro de los 10mL del agua atrapada en el sifón, pasado los cinco minutos del proceso de sedimentación.	82
Figura 49. Extracción de muestras para su posterior análisis.....	83

Figura 50. Las 11 Muestras de cada tratamiento y Envases con las muestras tomadas de DBO ₅ y DQO llevados al laboratorio	84
Figura 51. Análisis fisicoquímicos realizados en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión, después de ejecutar la prueba de jarra.....	84
Figura 52. Difracción de Rayos X de la muestra de organoarcilla en ángulo de 10° a 90°	92
Figura 53. Difracción de rayos X de la organoarcilla de un ángulo de 0°- 40°.....	93
Figura 54. Micrografía de la organoarcilla a una ampliación de 10.00 k	95
Figura 55. Micrografía de arcilla modificada a una ampliación de 1. 00 k.....	95
Figura 56. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DBO ₅	94
Figura 57. Interacción de factores en la remoción de DBO ₅ (velocidad rápida, velocidad lenta y concentración de organoarcilla).	95
Figura 58. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DQO.....	95
Figura 59. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DQO.....	96
Figura 60. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, turbidez.	96
Figura 61. Interacción de factores en la remoción de Turbidez (dosis de tara, velocidad rápida y concentración de organoarcilla).	97
Figura 62. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, DBO ₅	102
Figura 63. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la DBO ₅	102
Figura 64. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, DQO.....	106
Figura 65. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la DQO.....	107
Figura 66. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, Turbidez.	111
Figura 67. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la turbidez	112

Figura 68. Lugar de recojo del agua residual doméstica (a), Recolección de la muestra de agua (b), Toma de muestra control de DBO ₅ y DQO (c).	130
Figura 69. Toma de Pre-dato para tener en consideración.	131
Figura 70. Pesado de la arcilla montmorillonita (a) y mezclado con agua destilada (b).	131
Figura 71. Prueba de jarra de la mezcla de arcilla bentonita a 300 RPM durante 10 minutos.	132
Figura 72. Extracción de la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10 cm.	132
Figura 73. Centrifugación de la arcilla por 10 minutos a 4000 RPM (a), separación del líquido resultante (b).	133
Figura 74. Secado de la arcilla centrifugada y molienda de la montmorillonita hasta lo más fino.	133
Figura 75. Pesado de 15gr de montmorillonita (a), mezclado con agua destilada (b) y agitado a 2000 RPM por 24 horas (c).	134
Figura 76. Agregado de sales cuaternarias de amonio (a), y mezclado con el agitador magnético por 5 horas (b).	134
Figura 77. Centrifugado a 3500 RPM por 15 minutos (a) y secado a 100°C por 24 horas (b).	135
Figura 78. Almacenamiento de la organoarcilla para su posterior análisis (a) y Equipo de difracción de rayos X (DRX) y Microscopia de barrido (SEM) (b).	135
Figura 79. Especificación técnica de la goma de tara dado por el proveedor.	136

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para hallar el porcentaje de remoción final:	6
Ecuación 2. Fórmula para hallar la difracción de rayos X	50
Ecuación 3. Fórmula para hallar la concentración de la solución	66
Ecuación 4. Fórmula para hallar el volumen de dosificación	68
Ecuación 5. Fórmula para hallar la concentración de la solución	77
Ecuación 6. Modelo de primer orden	85
Ecuación 7. Modelo de segundo orden	87

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS	130
Muestreo y Caracterización de las aguas.....	130
Análisis fisicoquímicos de muestra antes de aplicar la prueba de jarras.....	131
Proceso de obtención de la Montmorillonita (MMT)	131
Proceso tecnológico de obtención de la organoarcilla	134
Caracterización de Organoarcilla	135
Proceso de obtención de la goma de tara	136
ANEXO II. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PRE Y POS DEL AGUA RESIDUAL.....	137
Informe del ensayo de Laboratorio para DBO ₅ y DQO - primera prueba	137
Cadena de custodia - primera etapa.....	139
Cadena de custodia - segunda etapa	144
Análisis Estadístico.....	146

SÍMBOLOS

OMS	: Organismo Mundial de la Salud
MINAM	: Ministerio de Ambiente
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit – Unidad Nefelométrica de Turbidez
OD	: Oxígeno Disuelto
L	: Litro
Floc	: Flóculos
RPM	: Revolución por minuto
pH	: Potencial de Hidrógeno
mg	: Miligramos
mm	: Milímetro
mg/L	: Miligramos por Litro
µm	: Micrómetros
Vel	: Velocidad
Vol	: Volumen
MMT	: Montmorillonita
DXR	: Difracción de rayos X
ANOVA	: Análisis de varianza

RESUMEN

Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, la coagulación y floculación, son intervenidas por insumos químicos (sales de aluminio), no obstante, diversas fuentes mencionan que la utilización de estas sales dejan mucho lodo; por ende propone experimentar el uso de coagulantes naturales que reemplacen a las sales usadas comúnmente. En esta investigación se evaluó la eficiencia de remoción de la turbidez, DBO5 y DQO mediante la optimización de parámetros, a base de organoarcilla y goma de tara. Se recolectaron muestras de la residencia de varones de la Upeu, posteriormente se realizaron ensayos a escala laboratorio mediante la prueba de jarras, empleando el diseño de experimentos de optimización de parámetros (Diseño Screening Fraccionado 2^{n-x} y Diseño Central Compuesto Rotacional – Superficie de Respuesta). Para la primera etapa los resultados demostraron que las variables más significativas y su efecto en la variable respuesta fueron cinco variables: concentración de organoarcilla 1.25, 1.5 y 2g/100mL, concentración de tara 1, 1.5 y 2g/100mL, dosis óptima de tara 10, 15 y 20mL, velocidad rápida 200, 250 y 300rpm y velocidad lenta 40, 45 y 50rpm; y para la segunda etapa los resultados demostraron dos variables significativas: concentración de organoarcilla 0.65, 1, 1.25, 1.5 y 1.85g/100mL y velocidad lenta 16, 30, 40, 50, 65rpm. Lográndose bajar en total de turbidez de 75.7 a 1.6 NTU con una eficiencia de remoción de 97.89%, DBO5 de 300 a 94.30mg/L con 68.56% y DQO de 628 a 191.33mg/L con 69.53%. Esta investigación concluye que la organoarcilla es más eficiente en la remoción de turbidez con un pH de 7.5 a diferencia del DBO5 y DQO que tuvieron baja remoción.

Palabras Clave: Optimización; Organoarcilla, Goma de tara (Caesalpinia Spinosa); DBO5 y DQO.

ABSTRACT

For the treatment of domestic wastewater, coagulation and flocculation, they are operated by chemical inputs (aluminum salts), however, several sources mention that the use of these salts leaves a lot of mud; therefore proposes to experience the use of natural coagulants that replace the commonly used salts. This investigation evaluated the efficiency of turbidity removal, BOD₅ and COD by optimizing parameters, an organo-clay base and tare gum. Samples from the Upeu male residence were collected, subsequently laboratory-scale tests were analyzed using the jar test, applying the statistical method of parameter optimization with its two levels (Screening Design Fractioned 2^{n-x} and Central Design Rotational Compound - Response Surface). For the first stage the results showed the most variable variables and their effect on the response variable were five variables: organo clay concentration 1.25, 1.5 and 2g/100mL, tare concentration 1, 1.5 and 2g/100mL, optimal tare dose 10, 15 and 20mL, fast speed 200, 250 and 300rpm and slow speed 40, 45 and 50rpm; and for the second stage the results showed two variable variables: organo clay concentration 0.65, 1, 1.25, 1.5 and 1.85g/100mL and slow speed 16, 30, 40, 50, 65rpm. Achieving a total turbidity decrease of 75.7 to 1.6 NTU with a removal efficiency of 97.89%, BOD₅ of 300 to 94.30mg/L with 68.56% and COD of 628 to 191.33mg/L with 69.53%. This investigation concludes by which organo clay is more efficient in turbidity removal with a pH of 7.5 unlike BOD₅ and COD that had low removal.

Keywords: Optimization; Organoarcilla, Tara gum (*Caesalpinia Spinosa*); BOD₅ and COD.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

A nivel mundial, uno de los problemas más importantes y preocupantes que afronta el planeta en pleno siglo XXI es la contaminación ambiental, año tras año se pierde la calidad de los recursos agua, aire y suelo, principalmente por el incremento exponencial de la producción agrícola (Villarroel, 2012). Organización Mundial de la Salud (2019) estima que, para los próximos años la contaminación del agua puede llegar hasta 2000 millones de metros cúbicos (m^3) y las enfermedades infecciosas seguirán siendo una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en la población, especialmente en los niños menores de cinco años (Silva et al., 2008), ya que la insuficiente cobertura de tratamiento de las aguas residuales domésticas y la existencia de miles de hectáreas de cultivos regados con aguas contaminadas con desagües domésticos que se vierten a los ríos sin un tratamiento adecuado, implican un alto riesgo de diseminación de estas enfermedades entéricas (Moscoso et al., 2005).

En Perú, el agua es un recurso natural estratégico para el desarrollo sostenible, por ello su real valor económico está en función de los costos que implican su disponibilidad y utilidad, tiene valor social, económico y ambiental (Amokrane et al., 1997); sin embargo, la gestión de los recursos hídricos se ha desarrollado en torno al sector agrario, el cual se ha reducido en los últimos 100 años de 600 a 125 km^2 (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019), debido al violento crecimiento urbano que ha determinado que las ciudades necesiten cada vez mayor cantidad de agua para satisfacer sus necesidades domésticas, industriales y comerciales (Moscoso y Alfaro, 2008). El área agrícola debe competir por los mismos recursos hídricos, por tanto, termina disponiendo de menos agua, que además es afectada por la contaminación generada por los vertimientos de las aguas residuales sin tratar o inadecuadamente tratadas (Chhetri et al., 2017).

Para conocer la situación actual del uso de las aguas residuales se han evaluado 541 distritos/ciudades con más de 10,000 habitantes en las 25 regiones del país, seleccionadas por sus poblaciones proyectadas a junio de 2015. La producción actual de aguas residuales se ha estimado teniendo en cuenta la tasa nacional de producción de 162 L/día.habitante y las tasas de cobertura urbana de saneamiento de cada región, reportadas por el MVCS para el 2014. Se puede deducir que el Perú estaría produciendo 42.5 m³/s de aguas residuales domésticas, siendo el aporte de la costa el 66% con 27.9 m³/s (Seth, 2010).

El Instituto del Agua de la ONU estima que existen a nivel mundial 20 millones de hectáreas agrícolas, a nivel de América Latina 500,000 ha y en Perú 12,680 ha regadas con aguas que contienen aguas residuales (Durán et al., 2001). Si bien la agricultura es la actividad más importante del uso de las aguas residuales, en los últimos tiempos han aparecido nuevos usuarios que utilizan las aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes urbanas (Ospina et al., 2016). Se trata de algunas instituciones privadas como clubes, colegios y cementerios, así como de municipios que han logrado sustituir el uso del agua potable por agua residual tratada, reduciendo así los costos de riego al 30% de los que inicialmente tenían (Chambi, 2013).

Teniendo en cuenta que la calidad de agua posee un efecto directo sobre la salud, se debe considerar las características físicas, químicas y microbiológicas inocuas para su uso indistinto, esto se logra gracias al proceso de tratamiento de agua residuales que son clarificación, desinfección y acondicionamiento (Galarza y Urrunaga, 1992), de tal forma, la clarificación conforma la coagulación y floculación, procesos en el cual las partículas coloidales son intervenidas por insumos químicos, coagulantes inorgánicos, siendo los más comunes el sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃) y el cloruro férrico (FeCl₃) debido a su fácil manejo y obtención (Wu y Ding, 2015); es en este proceso en donde se estabiliza las cargas negativas de los coloides, de esta forma la densidad de las mismas aumentan

formando flóculos más grandes, acelerando la sedimentación. No obstante, muchas fuentes mencionan que la utilización de sales de aluminio deja mucho lodo al final del tratamiento y que su consumo constante en las aguas tratadas pone en grave riesgo la salud de las personas, ya que parecen favorecer el desarrollo del mal de Alzheimer (Flores y Chávarry, 2005); pero no existe una afirmación concluyente sobre el problema.

Una de las alternativas para usar como adsorbentes no convencionales son las arcillas, debido a su abundancia en la mayoría de los continentes y presentan propiedades óptimas de adsorción e intercambio catiónico (Al-Ani y Sarapää, 2008). Su gran capacidad de adsorción es atribuida a su estructura cargada negativamente, elevada área superficial y gran porosidad (Uddin, 2008).

La arcilla en el Perú es uno de los materiales más abundantes y de bajo costo, fue utilizada de diversas maneras desde tiempos anteriores, pero su campo de aplicación más importante es la adsorción y descontaminación (Murray, 2006). La arcilla ha sido utilizada como descontaminante, en las industrias de colorantes, diversos metales, herbicidas y fenoles, también se reportó su uso en la purificación de aire contaminado, gases o vapores CO, NO_x, propanol (García et al., 2018). En las últimas décadas, las organoarcillas son aplicados en la prevención de contaminantes y remediación medioambiental mediante la absorción de contaminantes (García Romero y Suárez Barrios, 2018), metales pesados, y materia orgánica (Uddin, 2008).

Para lograr un agua residual aceptable necesariamente debe pasar por procesos de tratamiento, es entonces que Aguilar y Rigail (2006), indica la necesidad de disminuir el uso de los químicos y probar polímeros naturales ya que estos tienen nula toxicidad aparte de la excelente capacidad coagulante, entre ellos se tienen almidón de la papa, de maíz, cactus, aloe vera, penca de tuna, moringa oleífera, goma de tara, etc. Según Tripathy y Rajan De (2006); (Vigneswaran, 2009); Shammass (2005); Helgesson (1990) de todos los materiales naturales como coagulante el más efectivo en cuanto a remoción de

turbidez comparado con el alumbre ha sido el polvo procesado de la Moringa Oleífera y la Goma de Tara, además resaltan que estas semillas, más la tara que la moringa, posee propiedades antimicrobianas.

Debido a lo expuesto, existe una demanda cada vez mayor por tecnologías amigables con el ambiente que ha despertado el interés científico sobre el estudio de polímeros naturales con el objetivo de sustituir o reducir el empleo de agentes sintéticos en los procesos de purificación del agua (Bratskaya et al., 2004).

Es así como, con esta investigación, se determinó la eficiencia de remoción de turbidez y materia orgánica presentes en el agua con el uso de los derivados de la arcilla (organoarcilla) y biopolímeros orgánicos de goma de tara. Para ello, se contó con la ayuda del diseño estadístico optimización de procesos que permitió determinar los variables más significativos que tienen mayor influencia en la variable de respuesta, ya que con el análisis matemático se identificó cual es el insumo o conjunto de insumos que afectó más en la eficiencia de remoción. Permitiendo reducir el número total de experimentos, ahorrando esfuerzo y tiempo, así como gasto de insumos y componentes químicos en futuras investigaciones.

PRESUPOSICIÓN FILOSOFICA

Como parte de la creación, en Génesis 2:15 y 2 Reyes 2:20 y 21, menciona que Dios creó todo y lo entregó al ser humano para que lo administrara y a la vez el cuidado de los seres vivos como parte del rol encomendado. La contaminación no solo afecta y modifica la naturaleza, sino también a los seres humanos, crea sufrimiento en los animales que si bien Dios los sometió a ciertas características los creó sin de razón y espiritualidad, sin embargo, el hombre las posee, pero esta superioridad no les daba a los humanos licencia para ejercer autoridad sobre los animales a su antojo, sino de velar sus cuidados. La contaminación de los recursos hídricos conduce a problemas en el medio ambiente, así como en la salud del ser humano, somos parte de un sistema que esta interrelacionado. El Señor quiere que el ser humano viva en un ambiente saludable y que sea mayordomo de todo lo que Dios mismo hizo, esto también incluye los recursos naturales como el agua. Por tal motivo el ser humano debe cuidar el ambiente donde vive para asegurar el desarrollo sostenible de las generaciones futuras.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Optimizar los parámetros para la remoción de turbidez, DBO₅ y DQO mediante procesos de coagulación y floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Obtener las propiedades morfológicas y estructurales de la organoarcilla.
- Caracterizar las propiedades morfológicas y estructurales de la organoarcilla.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas (temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) y materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales domésticas, antes y después de aplicar el diseño experimental.
- Determinar la concentración óptima de la organoarcilla, concentración y dosis óptima de la goma de tara, tiempo de velocidad lenta, tiempo de velocidad rápida y tiempo de sedimentación, que serán aplicados de acuerdo con el tratamiento fisicoquímico del agua residual doméstica.
- Aplicar el diseño experimental de Screening Fraccionado de 2^{n-x} y Superficie de Respuesta de Diseño Central Compuesto Rotacional para la optimización de parámetros en la remoción de turbidez, DBO₅ y DQO.
- Estimar la eficiencia de remoción de la Turbidez, DBO₅ y DQO presentes en las aguas residuales domésticas, después de aplicar el tratamiento fisicoquímico.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

Según Durán (2017), en la investigación titulada “*Arcillas y biocarbones para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial*” aborda la aplicación de nano adsorbentes como una alternativa y ser usados para la descontaminación de las aguas para la reducción de dinero y plantear una solución hacia el medio ambiente. Se han planteado y evaluado varios diversos sistemas naturales basándose en nano adsorbentes, la utilización de los materiales son las arcillas que fueron extraídas en los yacimientos de Andalucía, así como modificadas y no modificadas.

Mientras Rojas (2018), menciona que la investigación realizada en este estudio fue con el propósito de determinar la factibilidad y la eficiencia de la semilla tara (*Casealpina spinosa*) con la finalidad de la remoción de residuos en el Rio Colpamayo, por ello, realizando pruebas experimentales donde la muestra de aguas residuales daban resultados de 204.4 NTU en turbidez, 7,65 en pH, 622 en SS, 515 en DBO₅ y 884.2 en DQO indicando que cada parámetro supera el Límite de Cuantificación del Método (LCM) los cuales determinan que existe alta contaminación del agua y luego se procedió a usar semillas de goma de tara, realizando 3 pruebas de C-F en los cuales los resultados que se mostraron fueron los siguientes: se incrementó en 6 NTU en la M1, disminuyó 19 NTU en la M2 y 14 NTU en la M3, el ph se disminuyó en 1.13 en la M1, 1.15 en la M2 y 1.5 en la M3, los sólidos suspendidos totales disminuyeron 496 mg/L en la M1, 452 en la M2 y 360 en la M3, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) indica que se disminuyó 58,5 mg/L en la M1, aumentó 146 mg/L en la M2 y disminuyó 111 mg/L en la M3, y la DQO disminuyó en 16.2 en la M1, aumentó 301.1 en la M2 y 8.1 en la M3 y de esa forma se demostró que da buenos resultados al usar semillas de goma de tara (Í. Rojas, 2018).

La finalidad de la investigación es de optimizar las nanoarcillas a partir de arcillas locales y del tipo de montmorillonita, se procede a retirar las impurezas como la materia orgánica y carbonatos para obtener la arcilla sódica, se hace un intercambio catiónico del catión de sodio. Se utiliza agua/etanol para esparcir la arcilla y el tiempo de mezclado de la arcilla y la solución de sal de alquilomonio más la cantidad de sal aplicada. Por lo tanto la variable de salida que se aplicó fue el espacio de intercapas de nanoarcilla producto a la difracción de los rayos-x. Con los resultados se ha concluido que la variable del espacio de intercapas influye de una manera significativa por el espacio de intercapas de nanoarcilla y la cantidad de sal alquilomonio (Apolo, 2016).

López et al., (2012), en su proyecto *“Uso de una arcilla orgánica como material de empaque de un filtro para depurar aire contaminado con tolueno”* se muestra a la arcilla orgánica con la capacidad de adsorber compuestos orgánicos volátiles (VOCs) por su característica hidrofóbica, la cual se genera producto a que la arcilla está en su estado natural y se modifica con moléculas orgánicas. En el presente trabajo se empleó una arcilla natural mexicana a la cual se le intercaló cloruro de cetil piridina (CPC) obteniendo la organoarcilla OC-CPC, la cual se caracterizó por análisis infrarrojo, termogravimétrico y difracción de rayos X. La OC-CPC obtenida se empleó para adsorber tolueno y posteriormente se trató a 120, 150 y 200°C durante tres intervalos de tiempo (4, 8 y 12h) para lograr su regeneración.

2.2. Base Legal

En la base legal se encuentran normativas destinadas a la conservación del medio ambiente y otras actividades económicas desarrolladas en el país, comenzando por leyes, reglamentos, decretos, protocolos, etc.

2.2.1. Constitución Política del Perú

La Constitución Política del Perú 1993, en el artículo 2 indican que “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así

como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”, asimismo en el artículo 66 mencionan que “Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El estado es soberano en su aprovechamiento”, de esta manera en el artículo 67 señalan que “El estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”.

2.2.2. Ley General del Medio Ambiente N° 28611

En el artículo 9 menciona “La Política Nacional del Ambiente tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona”.

2.2.3. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

El artículo 31 de la Ley N° 28611, numeral 31.1 detalla que el “Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Agua

Es una sustancia líquida inodora, insípida e incolora que se encuentra en la naturaleza en forma de ríos, lagos y mares (A. Fernández, 2012) y es un recurso natural muy importante para la vida en el planeta, por ello, los seres humanos dependemos de su disponibilidad. Se encuentra constituida por H₂O (Seth, 2010).

2.3.2. Disponibilidad del agua en el Mundo y el Perú

Se estima que en las próximas décadas la demanda mundial de agua aumentara considerablemente a causa de la acelerada urbanización, el desarrollo de sistemas de suministro de aguas municipales y de saneamiento (Hoekstra et al., 2012); además del sector agrícola, al que se destina el 70% de las extracciones mundiales, se esperan aumentos importantes en la demanda de agua para la producción industrial y energética (Vörösmarty et al., 2000). También, los diferentes cambios climáticos advierten que las variaciones espaciales y temporales de las dinámicas del ciclo del agua empeorarán, de modo que la brecha entre la oferta y la demanda de agua se agudizará cada vez más (Oki y Kanae, 2006). La frecuencia e intensidad de las sequías e inundaciones probablemente modificarán las cuencas hidrográficas del mundo, por todo esto dos tercios de la población mundial sufren escasez de agua al menos un mes al año y unos 500 millones de personas viven en zonas donde el consumo de agua supera los recursos hídricos renovables (Milly et al., 2005).

El Perú es un país privilegiado ya que cuenta con aproximadamente 1.89% de la disponibilidad de agua dulce del mundo, por eso, debemos cuidarla y administrarla (Burstein, 2018). Además, cuenta con tres vertientes en su territorio, con una disponibilidad de casi 2 billones de metros cúbicos de agua cada año, no obstante, por nuestra geografía, la vertiente del Pacífico donde reside el 66% de la población sólo cuenta con una disponibilidad de 2,2% de acceso al agua (ANA, 2019).

Del mismo modo un 60% de la población en territorios áridos e hiperáridos, cuenta con una disponibilidad de agua de menos del 2%. Por ello, la actividad agropecuaria depende de la disponibilidad de agua y esta se ha visto afectada por las sequías (UNESCO, 2019).

2.3.3. Calidad del Agua

Debido a sus propiedades como solvente y su capacidad para transportar partículas, incorpora en sí misma varias impurezas que caracterizan la calidad del agua. La calidad del agua es el resultado de fenómenos naturales y los actos de los seres humanos (Silva et al., 2008). En general, se puede decir que la calidad del agua es una función del uso del suelo en la zona de captación. Esto se debe a los siguientes factores (Corona, 2011):

- **Condiciones naturales:** Incluso con el área de captación preservada en su condición natural, la calidad del agua de la superficie se ve afectada por la escorrentía y la infiltración resultante de la lluvia (Raffo y Ruiz, 2014b). El impacto de estos depende del contacto del agua con partículas, sustancias e impurezas en el suelo (Fernández, 1999). Por lo tanto, la incorporación de sólidos suspendidos o sólidos disueltos ocurre incluso cuando el área de captación está totalmente preservada en su condición natural. En este caso, la protección y composición del suelo tienen una gran influencia.
- **Interferencia de los seres humanos:** La interferencia del hombre se manifiesta ya sea en forma concentrada, como en la descarga de aguas residuales domésticas o industriales, o en forma difusa, como en la aplicación de fertilizantes o pesticidas en el suelo (Villarreal, 2012). Ambos contribuyen a la introducción de compuestos en el agua, afectando así su calidad. Por lo tanto, la forma en que los seres humanos usan y ocupan la tierra tiene una implicación directa en la calidad del agua (Silva et al., 2008).

2.3.3.1. Características Físicas del Agua

- **Turbidez**

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a

través de la muestra (Guzmán et al., 2013), en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia (Amokrane et al., 1997). Puede ser medida con un turbidímetro del tipo nefelométrico que se basa en el efecto de Tyndall y su unidad es definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada", la unidad nefelométrica de turbidez (NTU) equivale a 7,5 ppm de SiO₂ (Muthuraman et al., 2013).

Se evalúa la turbidez como parámetro de respuesta en cada caso, pudiendo evaluarse la eficiencia del proceso determinando el por ciento de remoción, por la siguiente ecuación (Šćiban et al., 2009):

$$\% \text{remoción} = \frac{\mathbf{Turb(i)} - \mathbf{Turb(f)}}{\mathbf{Turb(i)}} * \mathbf{100} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

- Temperatura

Es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (Rodríguez, 2009). Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Fúquene y Yate, 2018).

- pH

Es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrogeno presentes, el cual se mide en una escala a partir de 0 a 14, los

valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica (Rodríguez, 2009). Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Sin embargo, cuando el número de átomos de hidrógeno (H^+) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH^-), la sustancia es ácida (Umar et al., 2010).

Por eso, la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales, debido a que en todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, depende del pH (Umar et al., 2010).

- Oxígeno Disuelto (OD)

En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas (Vigneswaran, 2009). También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de OD dependerá del balance entre todos estos fenómenos (Chhetri et al., 2017).

El nivel de oxígeno disuelto en el agua es uno de los parámetros más importantes para determinar su calidad, porque indica indirectamente si existe algún tipo de contaminación (Walsh et al., 2011). Los procesos comunes que contaminan las aguas superficiales incluyen la descarga de materia orgánica derivada de aguas residuales o desechos industriales, y la escorrentía de los lotes agrícolas y los corrales de ganado. Dichas descargas afectan directamente el nivel de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua (Nandy et al., 2003). A largo plazo, las descargas de sustancias orgánicas o de nutrientes favorecen la eutrofización acelerada o el proceso de productividad con la proliferación de

algas. Como consecuencia, habrá una disminución del contenido de oxígeno disuelto y la "muerte" del sistema acuático (Saini et al., 2017).

- Conductividad Eléctrica

Es una medida de la facilidad con que la corriente eléctrica puede pasar a través del agua. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición (Zhang et al., 2015). Un aumento de conductividad indica una mayor presencia de sólidos disueltos totales o de minerales en el agua. Se puede medir con precisión en el campo usando una sonda de conductividad portátil y un medidor, y también se puede registrar electrónicamente con un registrador de datos (Rodríguez, 2009). Por lo tanto, la variabilidad espacial como la temporal de la conductividad eléctrica se puede medir con la resolución más alta que se desee.

- Color

El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales, de humus y turbas, plancton, restos vegetales y residuos industriales (D'Alessandri, 2012). También, el color causado por la materia en suspensión es llamado color aparente y es diferente al color debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales, al que se llama color real. En el análisis del agua es importante diferenciar entre el color aparente y el real (Blanco y Leon, 2010).

Se trata de un parámetro de significado predominantemente estético, tiene un sentido sanitario ya que puede indicar presencia de materia orgánica (Morán, 2014). Esta materia orgánica puede reaccionar durante la desinfección causando olores o sabores o subproductos de la desinfección (Pérez et al., 2013). Además, su presencia indicaría ineficiencia en el tratamiento de aguas y de la integridad del sistema de distribución y el

impedimento del paso de la luz para el desarrollo de la biodiversidad (A. Fernández, 2012).

- Olor

El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido (Vásquez y López, 2011). Se reconoce como factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable, que puede corromperse con la presencia de peces y otros organismos acuáticos y anular la estética de las aguas de instalaciones de recreo (Vásquez, 2013). Muchas sustancias orgánicas de algunas inorgánicas influyen en el gusto y el olor. Estas sustancias pueden tener su origen en vertido de residuos municipales e industriales, en factores naturales como la descomposición de materias vegetales o en una actividad microbiana asociada (Rodríguez, 2010).

Tabla 1.

Tipo de agua según el tipo de olor

TIPO DE OLOR	TIPO DE AGUA
Inodoro	Típico de aguas dulces y frescas
Olor metálico	Típico de aguas subterráneas
Olor a Sulfuro	Típico de ARD, de MO. y en general, de sistemas anaeróbicos
Olor vegetal	Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios.
Olor Pítrico	Típico de lixiviados de RS. y de aguas procedentes de PTARs
Olor a Pescado	Típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas

2.3.3.2. Características Químicas del Agua

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/L, el valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅ porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente, y su contenido es de materia orgánica: carbohidratos, proteínas, grasas e inorgánico (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros) (Dávila et al., 2009). Por ello, es una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del efluente; es decir, si hay una mayor presencia de DQO indica el predominio de contaminantes orgánicos no biodegradables (Umar et al., 2010).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los organismos biológicos aeróbicos en un cuerpo de agua para descomponer el material orgánico presente en una muestra de agua y aguas residuales (Raffo y Ruiz, 2014a). El valor de DBO₅ se expresa más comúnmente en miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra durante cinco días de incubación a 20°C y se usa a menudo como un sustituto robusto del grado de contaminación orgánica del agua (Ferrer et al., 2018). La DBO₅ se puede utilizar para medir la efectividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Las fuentes típicas de DBO₅ son el carbono orgánico fácilmente biodegradable y el amoníaco (Raffo y Ruiz, 2014). Estos compuestos son constituyentes comunes o subproductos metabólicos de desechos vegetales, animales y actividades humanas (aguas residuales domésticas e industriales) (Hernando et al., 2008). La descarga de desechos con altos niveles de DBO₅ puede causar problemas en la calidad del agua, como el agotamiento severo del oxígeno disuelto. Los métodos estandarizados para la cuantificación de DBO₅ en aguas residuales se han mantenido prácticamente sin cambios durante décadas a pesar de las numerosas deficiencias. (Muñoz et al., 2012).

2.3.3.3. Características Microbiológicas del Agua

- Bacterias

Las bacterias son las más comunes de los patógenos microbianos que se encuentran en las aguas residuales. Existe una amplia gama de patógenos bacterianos y patógenos oportunistas que pueden detectarse en aguas residuales (Guzmán et al., 2013). Muchos de los patógenos bacterianos son de origen entérico, sin embargo, los patógenos bacterianos que causan enfermedades no entéricas (por ejemplo, *Legionella spp.*, *Mycobacterium spp.* y *Leptospira*) también se han detectado en aguas residuales. Las infecciones gastrointestinales se encuentran entre las enfermedades más comunes causadas por patógenos bacterianos en las aguas residuales (Rodríguez, 2009).

Estos patógenos oportunistas se pueden aislar comúnmente de una amplia gama de muestras ambientales de agua, incluidas las aguas residuales (Muthuraman et al., 2013). A menudo son miembros de poblaciones microbianas naturales y, a veces, pueden ser miembros importantes de estas poblaciones (Šćiban et al., 2009). Muchos patógenos oportunistas, al ser miembros de la población microbiana natural, tienen la capacidad de aumentar rápidamente en cantidad cuando se les da suficientes nutrientes. Como las aguas residuales a menudo tienen altas cargas de nutrientes, puede haber un gran número de estos patógenos oportunistas, lo que aumenta el riesgo de que se produzcan infecciones (Dávila et al., 2009).

- Levadura y Mohos

La levadura es un tipo de microorganismo eucariótico ampliamente distribuido. Debido a su rápido crecimiento y alta eficiencia metabólica, ha atraído mucha atención (Raffo y Ruiz, 2014a). A principios de la década de 1990, el Instituto de Investigación Japonés realizó la aplicación de la tecnología de tratamiento de aguas residuales de levadura por primera vez en el mundo (Muñoz et al., 2012). Con la profundización de la investigación,

las nuevas tecnologías con levadura como núcleo se han aplicado cada vez más ampliamente en el tratamiento del agua en los últimos años, y mostraron un gran potencial y amplias perspectivas (Choque., 2018). En la actualidad, las levaduras se han aplicado en muchos tipos de tratamiento de aguas residuales industriales, purificación de aguas residuales domésticas y otros campos.

Los hongos son un gran grupo de organismos, que se componen de mohos, levaduras y hongos. Son quimio organótrofos, pueden ser aeróbicos o anaeróbicos y viven en una gran variedad de entornos (Canepa, 1992). El moho es natural y está en todas partes. Existen pequeñas partículas de moho tanto en el interior como en el exterior (Ospina et al., 2016). Los mohos son saprótrofos, lo que significa que recolectan sus alimentos de la materia orgánica húmeda y muerta. Los mohos desempeñan un papel importante en el ecosistema, ya que digieren la materia orgánica, como las hojas muertas, y evitan la acumulación de desechos de la naturaleza. Sería imposible eliminar los mohos de nuestro entorno (Vargas, 2010).

- Helmintos

Los helmintos (gusanos) son importantes porque algunos de ellos causan enfermedades y porque un grupo de ellos es altamente tolerante a la contaminación y al agotamiento de oxígeno en las aguas dulces (Lorenzo, 2006). Todos los gusanos caen en uno de tres tipos: nematodos (lombrices redondas), cestodos (lombrices planas) y trematodos (aletas) (Andía, 2000). Muchos, especialmente aquellos que son patógenos, tienen ciclos de vida complicados, a menudo tanto dentro como fuera del cuerpo humano, pero a pesar de que son parásitos humanos extremadamente exitosos: alrededor de un tercio de la población del mundo (es decir, 2 mil millones de personas) está infectada con uno o más gusanos (Seth, 2010). Como resultado, el número de huevos con gusanos en las aguas residuales de los países en desarrollo (en los cuales ocurren casi todas las infecciones por gusanos) es generalmente alto, hasta unos pocos miles en las

comunidades recién cosechadas, aunque con el tiempo (a medida que disminuyen las oportunidades de reinfección como resultado de más y más comunidades que están siendo arrastradas) los números disminuyen a <1000 y eventualmente a <100 o incluso <10 / l (Vargas y Romero, 2006).

2.3.4. Contaminación del Agua Superficial

2.3.4.1. Agua Residual Doméstica

Consisten en aguas negras (excrementos, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas residuales de la cocina, del lavado, limpieza y el baño), derivadas principalmente de viviendas, edificios comerciales, instituciones y similares; aguas residuales sanitarias (Corona, 2011). Las cuales han sido utilizadas por una comunidad y que contiene todos los materiales agregados al agua durante su uso (Villarroel, 2012). Dicha mezcla y composición dependerán del suministro de agua y las instalaciones de saneamiento disponibles, las prácticas de uso del agua y las normas sociales (Raffo y Ruiz, 2014b).

2.3.4.2. Agua Residual Industrial

Son las aguas residuales generadas desde las áreas industriales y comerciales. Estas aguas residuales contienen compuestos orgánicos e inorgánicos discutibles que pueden no ser susceptibles a los procesos de tratamiento convencionales (Fúquene y Yate, 2018). Debido a estas concentraciones orgánicas muy altas, las aguas residuales industriales también pueden ser muy deficientes en nutrientes (Amokrane et al., 1997). A diferencia de las aguas residuales, los valores de pH más allá del rango de 6-9 también se encuentran con frecuencia. Dichas aguas residuales también pueden estar asociadas con altas concentraciones de sales metálicas disueltas. El patrón de flujo de las corrientes de aguas residuales industriales puede ser muy diferente a las aguas residuales domésticas (Vigneswaran, 2009).

Es importante señalar que, en muchos casos, grandes volúmenes de aguas residuales industriales que se descargan a redes de alcantarillado en descomposición y/o mal funcionamiento, tanto combinado como separado, nunca llegan a una planta de tratamiento (Chhetri et al., 2017). Mucho se pierde en ruta a través de tuberías rotas o termina en drenajes de aguas superficiales con la consiguiente contaminación tanto de aguas subterráneas como de cursos de agua superficiales (Walsh et al., 2011).

2.4. Tratamiento de Aguas Residuales

Entre los tipos de tratamientos de aguas residuales se considera en muchos casos un pretratamiento o tratamiento preliminar, seguido por el tratamiento primario (Saini et al., 2017). Existen diversos tipos de tratamientos de aguas residuales estos son:

- **Tratamiento Primario:** Básicamente estos consisten en la eliminación de sólidos gruesos, resultando en una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales (Nandy et al., 2003). Dependiendo de la calidad requerida de sus efluentes finales usted puede necesitar ya sea un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación (Blanco y Leon, 2010). Si usted descarga su agua a un sistema de alcantarillado un tratamiento primario puede ser suficiente para lograr los requerimientos del efluente final (D'Alessandri, 2012). Entre ellos tenemos a los Sistemas de Filtración (filtros y rejillas), Separadores por gravedad, Sistemas de Flotación, Sistema de Coagulación y floculación, entre otros (Zhang et al., 2015).



Figura 1. Tipo de Sistema de Tratamiento Primario

Fuente: Nandy et al, (2003)

- Tratamiento Secundario: Conocida también como tratamiento biológico requerida para aquellos que descargan residuos al medio ambiente, como ríos u otro cuerpo de agua natural (Morán, 2014). Este tipo de Tratamiento hace uso de Bacterias para remover materia Biodegradable Disuelta en su Agua Residual. En general estos sistemas se dividen en dos grupos (Fernández, 2012). Entre ellas tenemos los Sistemas de tratamiento Aeróbicos, Sistemas de Tratamiento Anaeróbicos, Sistemas de Filtración, entre otros (Pérez et al., 2013).

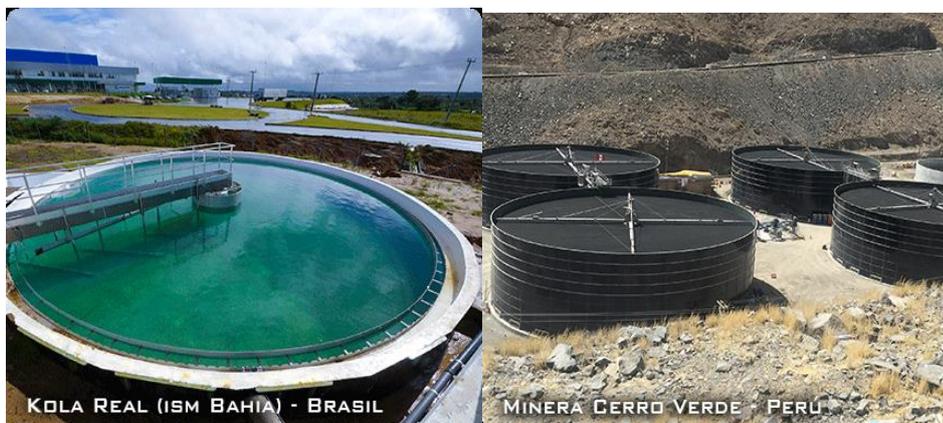


Figura 2. Tipo de Sistemas de Tratamiento Secundario

Fuente: Morán (2014)

- Tratamiento Terciario y Sistemas de reciclaje: Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc (Vásquez y López, 2011). De los tres tipos de tratamiento de aguas residuales este es más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias (Rodríguez, 2010). Muchas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno. Entre ellas tenemos a los Sistemas de recuperación de productos valiosos (PTAR Taboada, 2014).



Figura 3. Tipos de Sistemas de Tratamiento Terciario

Fuente: Vásquez y López (2011)

2.4.1. Tratamiento Biológico

Estos procesos biológicos reproducen, de cierta manera, los procesos naturales que tienen lugar en un cuerpo de agua después de una descarga de aguas residuales (Orozco, 2005). El tratamiento biológico utiliza microorganismos para eliminar los sólidos orgánicos y los nutrientes de las aguas residuales, y en general es considerada la más rentable y un método interesante, ya que es amigable con el medio ambiente al tratar aguas residuales de gran fortaleza orgánica, en comparación con los métodos de

tratamiento físico y químico (Sánchez et al., 2012). El tratamiento implica el uso de un reactor biológico que contiene aguas residuales ricas en sustancias orgánicas y nutrientes biodegradables, en el que la materia orgánica es utilizada por microorganismos para procesos vitales y como fuente de alimento para producir el crecimiento y la reproducción celular; los nutrientes disponibles en las aguas residuales aumentaron el crecimiento de microorganismos y permitieron que el tratamiento biológico fuera efectivo (Umar et al., 2010). La ruta de asimilación ocurre cuando los microorganismos utilizan el nitrato para producir amoníaco, que luego se utiliza como fuente de nitrógeno para generar biomasa (Camacho et al., 2011).

2.4.2. Tratamiento Fisicoquímico

Consiste en la eliminación de materiales finos en suspensión no decantables y de partículas coloidales (Hernando et al., 2008). Estas partículas coloidales se componen de arcilla, sílice coloidal y partículas orgánicas, las cuales muestran gran estabilidad en el agua con un tamaño comprendido entre 0,001 y 1 μm (Ramalho, 2003). Además, forman una parte significativa de la contaminación ya que es la causa principal de la turbidez y color del agua (Durán et al., 2001). Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro (Ferrer et al., 2018). El tratamiento fisicoquímico del agua residual tiene como finalidad, que, mediante la adición de ciertos productos químicos, se produzca una alteración del estado físico de estas sustancias (Guzmán et al., 2013). Ya que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable, para convertirse en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación. Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO_5 y del 30 al 40% de la DQO (Rodríguez, 2009).

2.5. Proceso de Coagulación-Floculación

Se denomina Coagulación-Floculación al proceso mediante el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, denominadas

flóculos (Choque, 2018). Este proceso se usa para lograr la remoción de la turbidez orgánica o inorgánica, la remoción del color verdadero y aparente, la eliminación de las sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos de precipitados químicos suspendidos, entre otros, la eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados y la destrucción de algas y plancton en general (Canepa, 1992).

2.6. Coagulación

De acuerdo con Chhetri et al., (2017), fundamentan que la coagulación es el proceso más importante en el tratamiento convencional del agua, siendo el objetivo principal la remoción y reducción de sólidos en suspensión y cualquier contaminante asociado con ellos, mediante la adición de coagulantes químicos o naturales. Es un proceso de formación de flóculos (partículas grandes) a partir de partículas finamente divididas y desestabilizadas, su aplicación trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho de que afectan el pH del agua tratada (Guzmán et al., 2013).

2.6.1. Material Coloidal

Ghosh (2010) dice que las partículas coloidales son de un diámetro que miden entre 1 y 1.000 milímetro y el comportamiento varío de acuerdo con su origen y naturaleza. Así mismo, las partículas actualmente son los primeros responsables de turbidez en el agua. Geng (2005) menciona que son nombrados coloides porque presentan un diámetro en algunas partículas, en la cual están las partículas en suspensión y solución verdadera. Por ello, es importante dar a resaltar, que las dimensiones de un coloide las define la naturaleza (Matusiak y Grzadka, 2017).

2.6.2. Propiedades Cinéticas del Colide

a) Movimiento Browniano

Son las partículas dispersas en una solución coloidal se dedican a un movimiento irregular incesante que se puede observar en el microscopio (Pillai, 2012). Las partículas adyacentes no se mueven en la misma dirección ni a la misma velocidad, lo que puede indicar que este movimiento no es el resultado de las corrientes de convección microscópicas en el sistema (Bin, 2016).

Einstein en 1905 y Smoluchovski en 1906 desarrollaron una teoría cuantitativa del movimiento browniano, según la cual el movimiento de los cuerpos microscópicos es una manifestación visible del movimiento térmico aleatorio de las moléculas del medio dispersante (Aldana, 2012). El movimiento browniano es causado por la diferencia en la suma de los impactos recibidos de las moléculas que golpean las partículas desde lados opuestos (Muthuraman et al., 2013). Es obvio que cuanto menor sea la partícula, menor será la probabilidad de que el bombardeo molecular sea exactamente equilibrado y, por lo tanto, más intenso será el movimiento. El movimiento térmico de las moléculas de fluido y de las partículas es la base de todas las propiedades, como la difusión y la ósmosis (Geng, 2005).

b) Difusión

La difusión de partículas coloides es una de las consecuencias del movimiento browniano. La difusión de coloides difiere solo en el grado de las moléculas y los electrolitos, y las tasas de difusión a menudo son de magnitud similar (Yariv y Cross, 1979). Cuando una cierta fase se dispersa a lo largo del eje x en ausencia de campos de fuerza externos y convecciones, la masa, se transfiere a través de un área, durante un intervalo, como resultado de un gradiente de concentración, viene dado por la primera ley de Fick (Ghosh, 2010).

c) Presión osmótica

Es el fenómeno del transporte de un solvente a través de una membrana semipermeable del solvente a una solución, o de una solución diluida a una solución concentrada se conoce como osmosis (Quispe, 2011). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el concepto de presión osmótica es más general que el discutido anteriormente (Matusiak y Grzadka, 2017). De hecho, no es necesario invocar la presencia de una membrana para definir la presión osmótica. La presión osmótica es una propiedad de la solución (Muthuraman et al., 2013). Por ejemplo, en la doble capa electrostática, la concentración de los contraiones en la población de la superficie es mayor que su concentración en la solución a granel. Esta diferencia en la concentración genera presión osmótica, que mantiene la doble capa (Bin, 2016).

2.6.3. Estabilización e Inestabilidad de los Coloides

a) Carga eléctrica del coloide / Fuerza de estabilización

David de Oliveira (2015) señala que, la gran cantidad de partículas y moléculas en el agua tienen materias húmicas que contienen en su superficie cargas eléctricas que generalmente es negativa y de ello depende tres procesos como los grupos presentes en la superficie sólida que son las que reciben y dan patrones que responden con el agua, los grupos superficiales las cuales responden al agua también con otros solutos como los protones y por lo tanto el sílice se considera como un óxido, sin embargo, sus cargas pueden derivar a los defectos de la estructura molecular así de igual con las arcillas que están varados en aguas turbias (Largo y Villamarin , 2013).

b) Doble Capa Eléctrica

Es un sistema coloidal que no presenta cargas eléctricas debido a que es líquido, dado que su carga de superficie negativa es balanceada con los iones de cargas contrarias que se presentan en el agua (Shammas, 2005).

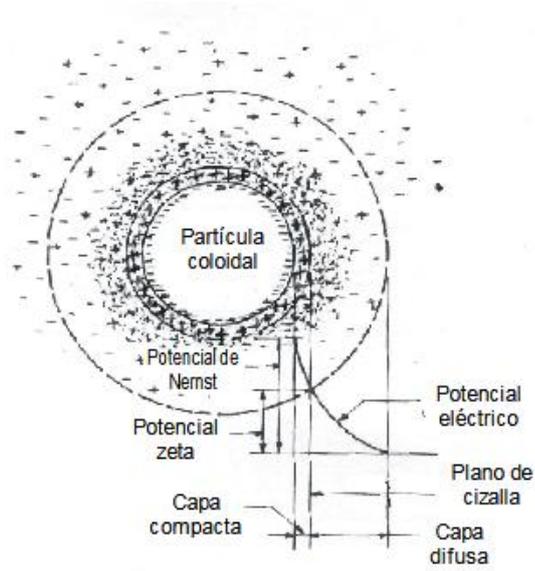


Figura 4. Configuración esquemática de la doble capa eléctrica

Fuente: Shamma (2005)

c) Energía potencial de interacción entre los coloides

Quando hay dos coloides semejantes que se acercan hay interacción de las capas difusas. Por ello, está comprobado que la energía potencial de repulsión disminuye la distancia al inicio de la superficie del coloide. Helgesson (1990) dice que para realizar el trabajo requerido para el acercamiento de dos de sus partículas coloidales, si lo dividimos en una distancia finita se le conoce como energía potencial de repulsión (Tripathy y Rajan, 2006).

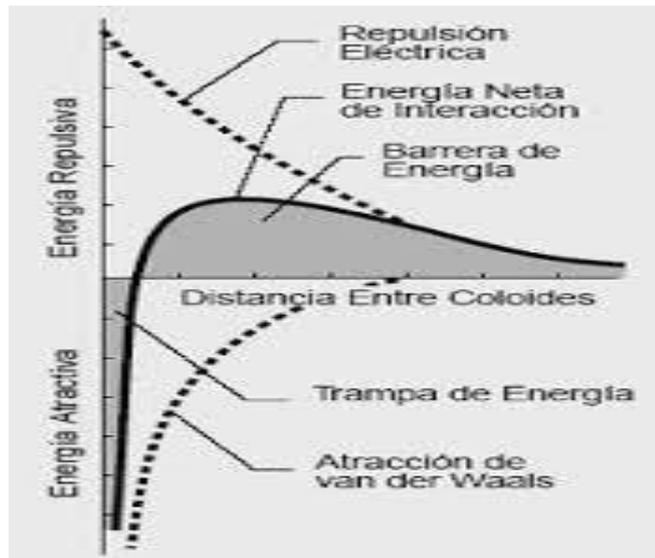


Figura 5. Energía potencial de interacción entre dos coloides

Fuente: Tripathy y Rajan (2006)

d) Efecto del aumento de la concentración iónica

Se muestran el efecto que emana en el incremento de la concentración iónica en la distribución de la carga, hay un crecimiento tope de electrolitos disminuyendo la distancia que se presenta en la carga y el efecto más notorio es que usan cationes polivalentes (Nandy et al., 2003).

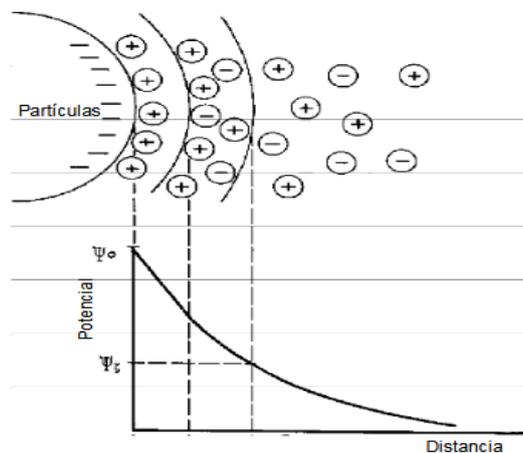


Figura 6. Alta concentración de iones monovalentes

Fuente: Nandy et al. (2003)

2.6.5. Mecanismo de Coagulación

Durante los procesos de coagulación, la agregación de partículas coloidales y material orgánico natural puede lograrse mediante cuatro mecanismos primarios, por ende debe tenerse en cuenta que puede ocurrir una combinación de estos mecanismos durante los procesos de coagulación (Ghosh, 2010).

- **Adsorción y Neutralización de Carga o Desestabilización**

Es la interacción directa de un producto de hidrólisis de Al (III) cargado como $Al(OH)_2^+$ con un coloide cargado negativamente (Shammas, 2005). Como se mencionó anteriormente, cuando se agrega alumbre o cloruro de polialuminio al agua, se forman especies monoméricas o poliméricas activas (Šćiban et al., 2009). Estas especies químicas que llevan una carga positiva son capaces de ser adsorbidas en la superficie de partículas coloidales. Por lo tanto, las partículas coloidales se desestabilizan (Walsh et al., 2011).

- **Coagulación de Barrido**

Se conoce como el mecanismo físico donde las partículas coloidales quedan atrapadas en el precipitado de hidróxido de aluminio formado a pH neutro o básico (Tripathy y Rajan, 2006). Cuando se agrega alumbre o cloruro de polialuminio al agua en cantidades suficientes, se producirá una rápida formación de precipitado de hidróxido de aluminio (Shammas, 2005). Las partículas coloidales pueden enredarse en estos precipitados, así como colisionar con ellas después. En comparación con otros mecanismos, el de barrido es relativamente más lento y generalmente brinda una mejor aclaración (Quispe, 2011).

- **Complejación o Precipitación**

Geng (2005) menciona que es la reacción química de las especies de hidrólisis metálicas positivamente cambiadas con la molécula orgánica negativa. Estas reacciones

químicas entre aluminio y ligandos orgánicos son bastante complejas y no se conocen bien (Matusiak y Grzadka, 2017). Sin embargo, los productos de estas reacciones pueden considerarse como un complejo de metal orgánico soluble aluminio - material orgánico natural, un precipitado de metal orgánico insoluble aluminio - material orgánico natural, o una combinación de esos dos productos (Ghosh, 2010).

- Adsorción y puenteo entre partículas

Es el material orgánico natural de adsorción que es capaz de ser adsorbida por precipitados de hidróxido metálico formados a través de reacciones de hidrólisis coagulante (Aguilar, 2010). Este mecanismo es bastante diferente del mecanismo de complejación o precipitación discutida anteriormente, donde el material orgánico natural se adsorbe en la superficie del precipitado, en lugar de formar un precipitado en sí mismo (Tapia et al., 2010).

2.6.6. Factores que Influyen en la Coagulación

- Influencia de la Turbidez

El agua de mayor turbidez que contiene una mayor cantidad de partículas generalmente requiere dosis más altas de coagulante. La turbidez se define como la cantidad de luz dispersada por las partículas en la solución de agua (Vargas y Romero, 2006). Es uno de los parámetros más utilizados para la evaluación del proceso de coagulación. A medida que aumenta el número de partículas, se dispersa una mayor intensidad de luz y se obtiene un mayor valor de turbidez. El proceso de dispersión de la luz por partículas es bastante complejo (Andía, 2000). La distribución angular de la luz dispersa está relacionada con condiciones tales como el tamaño de partícula, forma, composición y la longitud de onda de la luz incidente. Aunque la medición de la turbidez es bastante simple y fácil de operar, tiene limitaciones (Dávila et al., 2009).

- Influencia del pH

Es uno de los parámetros importantes de calidad del agua para la selección de coagulantes (Raffo y Ruiz, 2014b). Durante el proceso de coagulación, el pH del agua afecta la química del coagulante, como la solubilidad y la especiación, así como la carga en las partículas y material orgánico natural (Lorenzo, 2006). El pH se controla mediante el equilibrio alcanzado por los coagulantes disueltos en agua. En términos generales, el proceso de coagulación funciona mejor si el pH práctico está cerca del pH de solubilidad mínima del coagulante (Šćiban et al., 2009). El agua de mayor alcalinidad tiene un pH más alto. Como los coagulantes metálicos son ácidos, la adición de coagulantes consume alcalinidad. El agua de alta alcalinidad puede necesitar más adición de coagulante para disminuir el pH a un valor favorable para una coagulación efectiva (Muñoz et al., 2012).

- Influencia de la Temperatura

La temperatura del agua es otro parámetro importante de calidad del agua para la selección de coagulantes y dosis. Es bien sabido que la temperatura del agua superficial cambia gradualmente con las estaciones (Nandy et al., 2003). Esto da como resultado los efectos en los procesos de tratamiento del agua, como el tipo de coagulante y la velocidad a la que los químicos se disuelven y reaccionan (Ospina et al., 2016). También, la baja temperatura del agua disminuye las tasas de disolución de coagulante, precipitación, enredamiento celular y formación de flóculos (Shammas, 2005). El agua tibia a menudo causa un mayor nivel de algas y otra materia orgánica en el agua. La temperatura también afecta significativamente la turbidez y el recuento de partículas durante la coagulación (Choque, 2018). Sin embargo, el carbono orgánico disuelto y la eliminación del color no son sensibles a la temperatura (Bin, 2016).

- Influencia de Sales Disueltas

Estas sales que se encuentran dentro del agua llegan a influenciar sobre la coagulación como en la modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente, en el tiempo requerido para la floculación, el rango de pH óptimo y la cantidad de coagulantes requeridos (Aldana, 2012).

- Influencia de las Dosis de Coagulante

Según Geng (2005), la dosis de coagulante va influenciar sobre la eficiencia de la coagulación. Por ello, mientras más baja sea la cantidad del coagulante la carga de la partícula no se neutralizará totalmente y la formación de los microfloculos será escasa, haciendo que la turbidez residual sea alta. Así mismo Yariv y Cross (1979) indican que a más alta cantidad de coagulante la carga de la partícula origina una inversión y la formación de una gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuya velocidad de sedimentación es baja, haciendo que la turbidez residual sea alta. Además, se tiene que tener en cuenta que el tipo de coagulante y dosis optima se deberán determinar con pruebas de jarras, por lo tanto la selección de estas son importantes para el buen o mal funcionamiento de los decantadores y la calidad del agua (Matusiak y Grzadka, 2017).

- Influencia de Mezcla

Durante la adición del coagulante se ocasiona a la masa de agua una agitación, esta establece si la coagulación es completa; también se debe tener en cuenta que en la masa de agua la agitación sea uniforme e intensa, para cerciorar que la mezcla del coagulante y el agua estén correctos y que se produzca la neutralización de cargas (Ghosh, 2010). Bin Zainal (2016) menciona que en el momento del proceso de coagulación y floculación ocurre la mezcla de productos químicos en dos etapas, la primera es la mezcla rápida de

corta duración y energética y la segunda es la mezcla lenta la cual desarrolla los microfloculos.

2.6.7. Tipos de Coagulación

Dentro del proceso de la Coagulación, existen principalmente dos mecanismos predominantes (Andía, 2000).

- Por adsorción, ocurre cuando hay una elevada presencia de partículas coloidales en el agua, las especies hidrolíticas del coagulante son absorbidas por el coloide formando complejos superficiales y casi de forma instantánea lo desestabilizan desarrollando flóculos (Vargas y Romero, 2006).

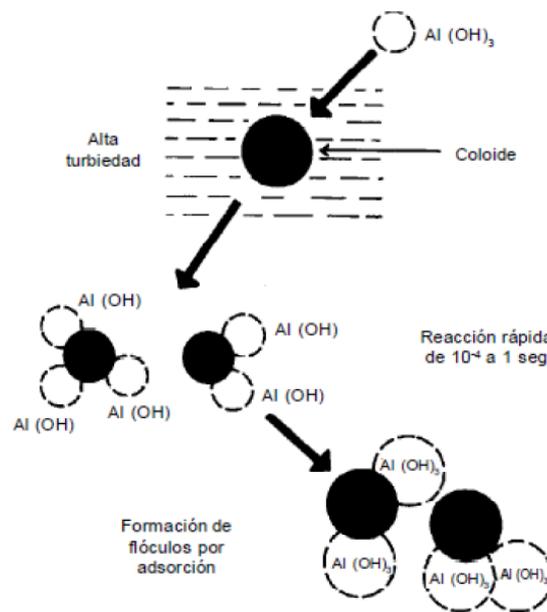


Figura 7. Coagulación por el Proceso de Adsorción

Fuente: Vargas y Romero (2006)

- Por Barrido, ocurre en un medio de baja turbidez, la poca cantidad de partículas coloidales son atrapadas por las especies hidrolíticas precursoras del hidróxido de aluminio, físicamente arrastra partículas desde la superficie (Tapia et al., 2010).

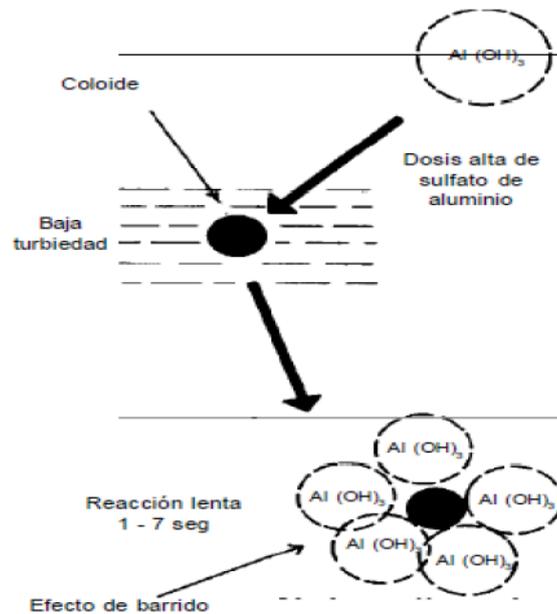


Figura 8. Coagulación por el Proceso de Barrido

Fuente: Tapia et al. (2010)

2.7. Floculación

El objetivo de la floculación es establecer las condiciones óptimas para la formación de flóculos, pero la naturaleza de la prueba puede verse muy influenciada por las consideraciones del proceso (Tripathy y Rajan, 2006). En ese sentido la función de la floculación es optimizar la tasa de contacto entre las partículas desestabilizadas, aumentando así su tasa de colisión y provocando la unión y agregación de las partículas en un floculo más grande y más denso, por lo tanto, el proceso permite partículas coloidales para unirse y formar flóculos más grandes que son más susceptibles a la separación mediante sedimentación o filtración (Shammas, 2005).

La técnica de floculación es compleja, no es solo el conocimiento del período de reacción y la velocidad de rotación, sino también el conocimiento de la turbulencia que ocurrirá cuando el agua que contiene los témpanos pase por medio de las aberturas en su camino hacia los tanques de sedimentación (Helgesson, 1990).

2.7.1. Tipos de Floculación

- Ortocinética o gradiente de velocidad, es el movimiento producido por una energía externa (mecánica o hidráulica) para logra un choque entre las partículas desestabilizadas. Este tipo de floculación promueve un desarrollo mayor del microfloculo (Andía, 2000).
- Pericinética o browniana, es el movimiento producido por la energía potencial de las moléculas del agua. Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizar las partículas, se puede observar la floculación pericinética para que las partículas coloidales de menor tamaño empiecen a aglutinarse (Andía, 2000).

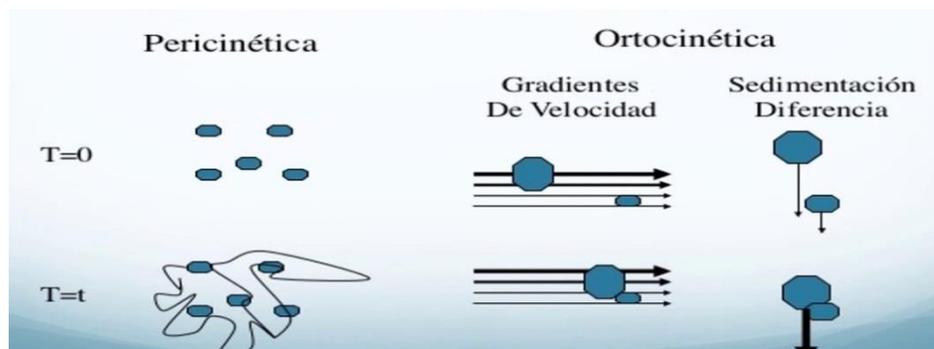


Figura 9. Floculación Pericinética y Ortocinética.

Fuente: Andía (2000)

2.7.2. Factores que Influyen en la Floculación

Varios factores pueden afectar la floculación individual y colectivamente, tienen una gran influencia en el tipo de floculante que proporcionará un rendimiento óptimo, una dosis óptima y puntos de adición (Quispe, 2011), estas son:

- Tipo de Polímero, como se mencionó anteriormente los floculantes utilizados en la industria del agregado son generalmente copolímeros de acrilamida y acrilato de sodio (Hermida, 2011), este copolímero y sus muchas variaciones pueden comportarse de manera muy diferente en diferentes sistemas. La fuerza motriz para la adsorción es controlada por las propiedades

mineralógicas de los sólidos suspendidos además del ambiente acuoso (Pillai, 2012). Los principales grupos moleculares en este tipo de polímero son areamide y carboxilato (Lorenzo, 2006). Se sabe que ambos grupos se adsorben sobre la superficie mineral; sin embargo, existen varios estudios que sugieren que estos grupos funcionales tienen diferentes roles principales (Rodríguez, 2009). La función principal del grupo amida en los copolímeros es la adsorción por enlaces de hidrógeno, mientras que del grupo carboxilato es extender la solución de la cadena de polímero en la repulsión electrostática, lo que permite que se produzca el puente (Vargas y Romero, 2006). Sin embargo, esto no significa que el grupo carboxilato sea incapaz de adsorción, sino que la extensión del polímero es su papel principal en las situaciones (Nandy et al., 2003).

- El pH del sistema varía de 0 a 14, la elección del floculante varía de no iónico a altamente aniónico (Helgesson, 1990); un pH de 4 y por debajo, los polímeros no iónicos muestran la mayor actividad. En este rango de pH, los polímeros aniónicos se enrollan como el polímero no iónico, pero muestran muy poca actividad (Tripathy y Rajan, 2006), esto se debe al hecho de que en los floculantes aniónicos, los grupos amida (que se encuentran en el polímero iónico) se reemplazan por los grupos carboxilato más inertes (a bajo pH) que reducen el número de sitios de enlace de hidrógeno disponibles en el floculante. Por lo tanto, los floculantes no iónicos funcionan mejor en un rango de pH más bajo (Pillai, 2012).
- Sólidos de la Suspensión, cuando se agrega un floculante completamente activado a una suspensión, la adsorción se lleva a cabo rápidamente, sin embargo, es importante que el floculante esté bien disperso en toda la suspensión (Pillai, 2012). La concentración de sólidos en la suspensión y el

tamaño de las partículas de alimentación tienen una fuerte influencia en la distribución del floculante en la suspensión, cuanto mayor sea la concentración de sólidos, más difícil será distribuir el floculante uniformemente a través de la suspensión y cuanto más pequeño sea el tamaño de partícula, mayor será la superficie (Amokrane et al., 1997). Por lo tanto, cuando el tamaño de partícula disminuye y la concentración de sólidos aumenta, la demanda de floculante aumenta (Shammas, 2005).

- Dilución Floculante, una mejora significativa en el rendimiento puede lograrse cambiando la dilución a la que se agrega el floculante a la suspensión (Geng, 2005). Al diluirlo, la distribución del floculante en la suspensión mejora, lo que mejora el rendimiento; sin embargo, el grado de dilución suele depender de los límites de capacidad del sistema de dilución (Quispe, 2011).
- Acción Mecánica, cuando es excesivo puede desgarrar aparte flóculos (Choque, 2018). Si bien la distribución del floculante en la suspensión es esencial, el exceso de mezcla es perjudicial debido a la resistencia a la cizalla de floc; por lo tanto, se debe encontrar un equilibrio entre la distribución y el corte de floc (Pillai, 2012).
- Peso Molecular, el puente entre partículas es un mecanismo importante por el cual el floculante funciona, y no es sorprendente que el peso molecular pueda afectar el rendimiento (Lorenzo, 2006). En la mayoría de las aplicaciones de espesantes, un mayor peso molecular resulta en una mejor actividad, aunque existen casos en los que el aumento de peso molecular más allá de cierto punto resulta en una pérdida de actividad (Vargas, 2010). Los floculantes de mayor peso molecular son generalmente más viscosos y no se distribuyen fácilmente a través de la suspensión (Pillai, 2012). Dado que la adsorción es muy rápida y generalmente irreversible, se produce una pérdida de actividad. A

medida que aumenta el peso molecular, también disminuye el número de unidades de peso de cadenas de polímeros (Choque., 2018).

- Naturaleza de agua, este proceso es muy sensible a las características fisicoquímicas del agua cruda, como la alcalinidad, pH y la turbidez (si la turbidez es mayor a 1000 UNT, es preferible a ver una pre-sedimentación) (Nandy et al., 2003).
- Variación del caudal, cuando se disminuye el caudal, entonces se eleva el tiempo de retención y baja el gradiente de velocidad (Pretell et al., 1985); mientras que, al aumentar el caudal, decrece el tiempo de retención e incrementa el gradiente de velocidad (Helgesson,1990). Las variaciones de caudal en el floculador mecánico son poco probables, puesto que la velocidad se mantiene constante y el tiempo de retención tiende a aumentar o disminuir, esto siempre y cuando exista variación del caudal (Shammas, 2005).
- Tiempo de Floculación, según estudios, el tiempo óptimo de floculación en la prueba de jarras se estima de 20 a 40 minutos: la variación superior o inferior al tiempo óptimo produce resultados inaceptables (Aguilar, 2010).
- Intensidad de Agitación, cuanto mayor sea la intensidad de agitación, más rápido será el aglutinamiento de partículas (Reynel y León, 1990). A medida que aumenta el tamaño de los microflóculos, también se eleva la probabilidad de cizallamiento, esto ocurrirá hasta llegar a un punto de quiebre en pequeñas partes reinvertiendo la turbidez (Tripathy y Rajan, 2006).

2.8. Sedimentación

La sedimentación, una operación unitaria fundamental y ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales, implica la sedimentación gravitacional de partículas pesadas suspendidas en una mezcla (Shammas et al., 2005). Este proceso se utiliza

para la eliminación de arenilla, partículas en la cuenca de sedimentación primaria, el flujo biológico en la cuenca de sedimentación de lodo activado y el flujo químico cuando se usa el proceso de coagulación química (Chambi, 2013). La sedimentación tiene lugar en un tanque de sedimentación, también conocido como un clarificador.

Existen tres diseños principales a saber, flujo horizontal, contacto de sólidos y superficie inclinada (Yang et al., 2007). Al diseñar una cuenca de sedimentación, es importante tener en cuenta que el sistema debe producir un efluente clarificado y un lodo concentrado (Cruz, 2004). Se producen cuatro tipos de sedimentación, dependiendo de la concentración de partículas, a saber, discreta, floculante, con impedimentos y compresión. Es común que ocurra más de un tipo de asentamiento durante una operación de sedimentación (Corona, 2011).

2.8.1. Tipos de Sedimentación

- Por caída libre o discretas, son aquellas que no sufren cambios en sus características. Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir (Chhetri et al., 2017), en cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual (Shammas et al., 2005).
- Interferida, cuando una partícula discreta sedimenta a través de un líquido en caída libre, el líquido desplazado por la partícula se mueve hacia arriba a través de un área suficientemente grande sin afectar el movimiento (Yang et al., 2007). Las partículas se encuentran colocadas a distancias tan reducidas que el líquido desplazado se confina como dentro de un tubo (Nandy et al., 2003) y la velocidad aumenta conforme se interfiere en los campos situados alrededor de las partículas individuales (Shammas et al., 2005). El flujo no sigue líneas paralelas, sino trayectorias irregulares, a causa de la interferencia

de las partículas en suspensión, lo que produce un fenómeno similar al que se genera en el retro lavado de un filtro (Veliz et al., 2009).

- De partículas floculentas, estas partículas floculentas son aquellos productos de la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos (Seth, 2010). “A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo si cambian durante la caída (Chui et al., 2009). Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida” (Vörösmarty et al., 2000). El tamaño de los flóculos van de 0.001 mm a 0.005 mm, esta depende de la gradiente de la velocidad con que se agita y el tiempo de retención para la formación del floc (Shammas et al., 2005). Willcomb clasifica los tamaños como se ve en la Figura 10.

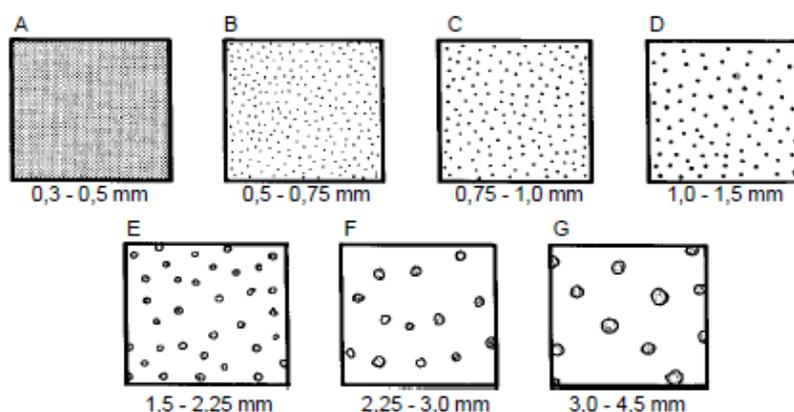


Figura 10. Índice de Willcomb para clasificar los tamaños del floc que va de A–G

Fuente: Seth (2010)

2.9. Prueba de Jarras

Ospina et al., (2016), menciona que esta prueba es la que mejor simula los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a escala laboratorio (Figura 11), es la técnica utilizada con mayor frecuencia para determinar la dosis y concentración óptima del

coagulante químico o natural, se determina la intensidad de agitación y el tiempo de mezcla (Choque, 2018).



Figura 11. Prueba de Jarra

Fuente: Choque (2018)

Lorenzo (2006), fundamentan que los factores químicos e hidráulicos que influyen en este proceso son: pH, Temperatura, Concentración de coagulante, Secuencia de aplicación de las sustancias químicas, Grado de Agitación y Tiempo de Sedimentación. La Prueba de Jarra con regularidad está compuesta de 6 paletas, aunque también existen otros modelos y marcas que constan de 1 o 4 paletas, que pueden operar de 0 a 300 RPM (revoluciones por minuto) (Aldana, 2012). Usualmente se utilizan vasos precipitados de 2L de capacidad, cada vaso cuenta con iluminación, el cual permite visualizar la formación de los flóculos. Para el funcionamiento de la prueba de jarra se requiere de una energía externa (Bin, 2016). Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de estos (Rojas y Zarate, 2015).

2.9.1. Sistema de dosificación

La dosificación de los coagulantes es un paso complicado para una sola persona, se requiere de exactitud y la aplicación debe ser simultánea y rápidamente en cada uno de

los vasos precipitados, puesto que en su mayoría los resultados erróneos son producto de este paso por las diferencias de tiempo al momento de la dosificación (Geng, 2005). Vargas (2010) recomienda, para efectuar la aplicación correctamente, tener por lo menos tres personas disponibles (considerando 1 por cada 2 vasos precipitados), a la vez tener listo y preparado los coagulantes que aplicar con sus respectivas dosis en jeringas hipodérmicas desechables. La aplicación del floculante se debe realizar muy cerca de la paleta de agitación o del también conocido agitador (Quispe, 2011).

2.9.2. Descripción del grado de agitación y gradiente de mezclado

Un criterio generalmente aceptado en el tratamiento de agua para describir la coagulación y floculación es el gradiente de la mezcla (Figura 12), de esto depende la formación de los flóculos dentro del vaso precipitado; Vargas (2010), recomienda utilizar deflectores o latón en cada jarra (Figura 13), ya que permite en corto tiempo (5 segundos) una mejor mezcla rápida, impidiendo la turbulencia o helicoide, en el caso de no usar los deflectores se recomienda elevar la velocidad de agitación superior a los normal. Los valores de gradiente de velocidad se miden con una tabla en relación los RPM (revolución por minuto) en ciertas temperaturas (Figura14-15).

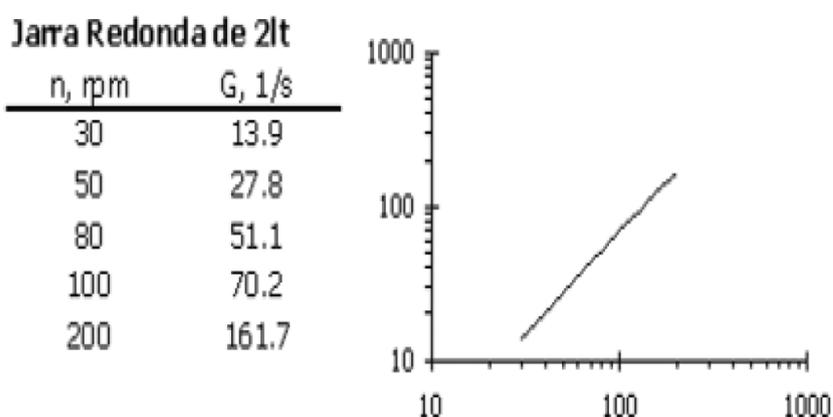


Figura 12. Gráfico para determinar el gradiente mezcla y/o de velocidad, en función de la velocidad de la agitación, para jarras redondas de dos litros.

Fuente: Vargas (2010)

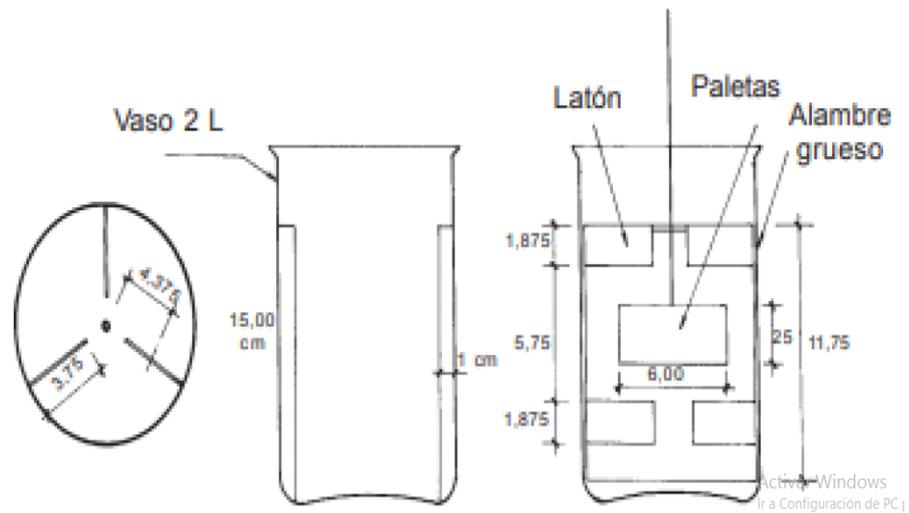


Figura 14. Deflectores o latón para las pruebas de jarra

Fuente: Quispe (2011)

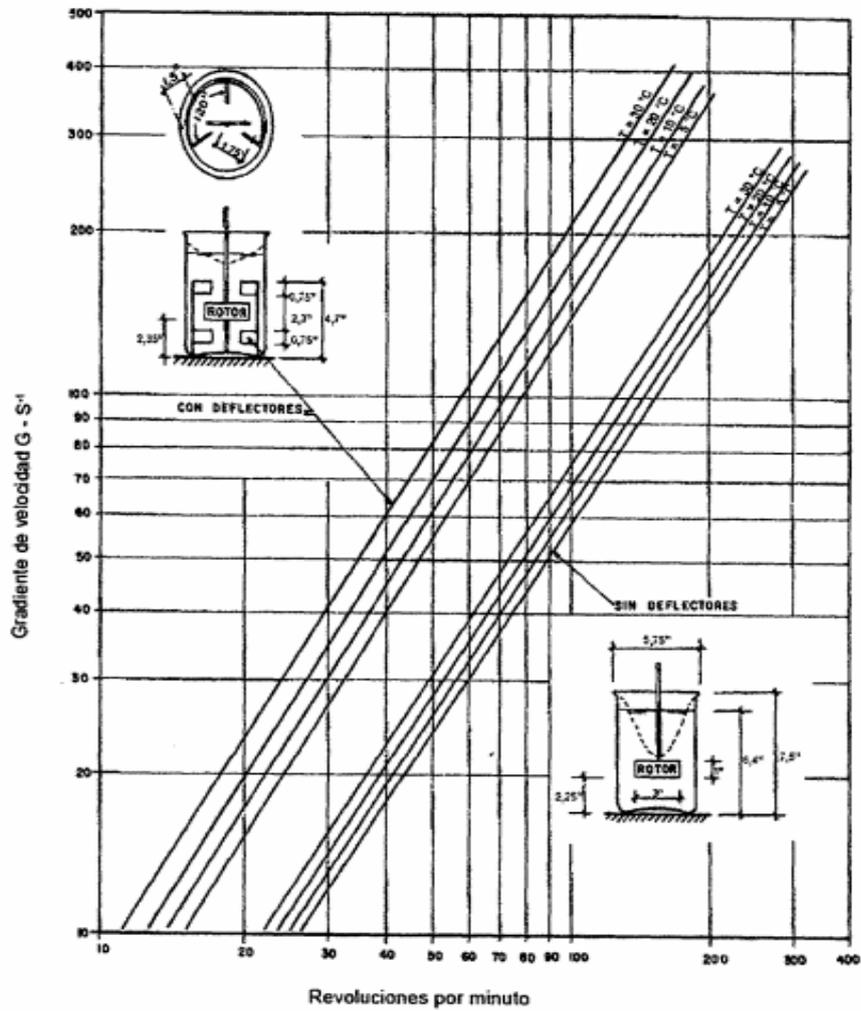


Figura 13. Ábaco de gradiente de velocidad v/s las revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarra

Fuente: Largo y Villamarin (2013)

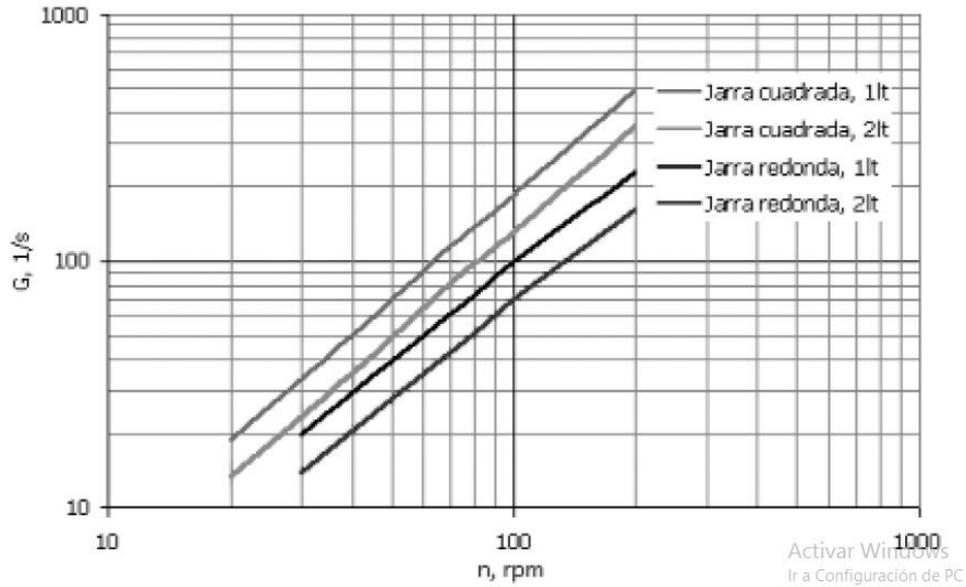


Figura 15. Determinación de la velocidad de agitación requerida para diferentes gradientes y tipos de jarras utilizadas

Fuente: Vargas (2010)

2.9.3. Toma de Muestras

Transcurrido el tiempo de la mezcla de la coagulación y floculación se retiran a un lado los vasos precipitados de la prueba de jarra y se deja sedimentar por un tiempo determinado, culminado ese tiempo se procede a sifonear colocando el sifón cuidadosamente (aparato sostenido por un flotador de Tecnopor y dotado de una cañita) por donde fluirá la muestra después del tratamiento (Figura 16), (Largo y Villamarin, 2013) recomiendan descartar los primeros 10 mL de agua y tomar en cuenta aproximadamente 30 mL de muestra para los respectivos análisis físico-químicos.

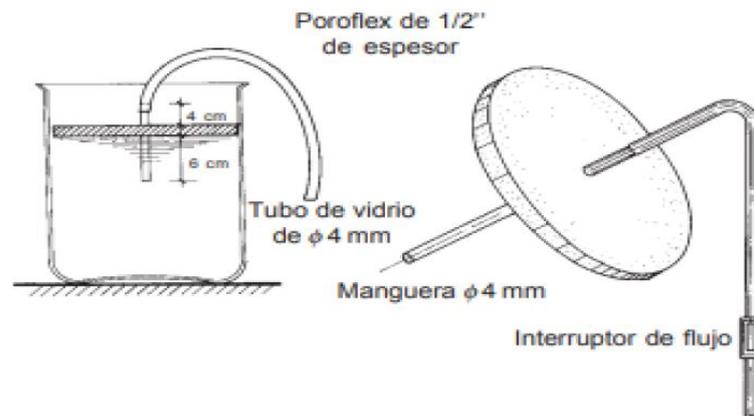


Figura 16. Sifón para la toma de muestras

Fuente: Largo y Villamarin (2013)

2.10. Nanociencia

Ramsden (2016) fundamenta que la nanociencia es el estudio de los procesos que ocurren en las estructuras, en el cual su tamaño oscila entre 1 y 100 nanómetros, denominadas también nanoestructuras; mientras que (Perugachi et al., 2006a), alude que la nanociencia es el estudio de fenómenos y manipulación de materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, donde sus propiedades son diferenciadas significativamente de larga escala.

2.10.1. Nanotecnología

La nanotecnología es el área de investigación que estudia, diseña y fabrica materiales o sistemas a escala manoscópica dándoles una aplicación práctica, por su habilidad de controlar la materia átomo a átomo (Economides, 2009). Dentro de todo su campo ha conseguido grandes resultados a nivel comercial con los nanomateriales, específicamente con los nanocompuestos de arcilla y polímeros (Perugachi et al., 2006b); el uso de estructuras, dispositivos y sistemas tienen propiedades y funciones novedosas debido a su pequeño tamaño; y la capacidad de controlar o manipular la materia en una escala atómica (Nigam et al., 2004). Además Martínez y Carbajal (2012), señalan que la nanotecnología se define como el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas controlando la forma y el tamaño en escala nano.

La nanotecnología es la manipulación de la materia para su uso en aplicaciones particulares a través de ciertos procesos químicos y/o físicos para crear materiales con propiedades específicas (Hashim, 2011). Según Camacho et al., (2011), existen procesos tanto "de abajo hacia arriba" (como el autoensamblaje) que crean materiales a nanoescala a partir de átomos y moléculas, así como procesos "de arriba hacia abajo" (como el fresado) que crean materiales a nanoescala a partir de sus equivalentes de macroescala.

2.11. Arcillas filosilicatos

Son un grupo importante de minerales que incluye las micas, el clorito, la serpentina, el talco y los minerales arcillosos (Nelson, 2015). Debido a la especial importancia de los minerales arcillosos como uno de los principales productos de la meteorización química y uno de los componentes más abundantes de las rocas sedimentarias (Oliveira, 2015).

Nelson (2015), indica que es un mineral de la subclase de los silicatos y se pueden encontrar en la corteza terrestre, está constituida por diferentes tipos de rocas como ígneas, metamórficas y sedimentarias. Según Guggenheim (2010), presenta una estructura basada en iones de oxígeno e hidroxilos, estas contribuyen en su característica de adsorción. Además, los grupos tetraédricos se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros, formando capas de extensión infinita, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos (Murray, 2006).

Inga (2008), menciona que, desde una perspectiva mineralógica, estos abarcan a un grupo de minerales de arcilla que son los filosilicatos en gran mayoría, cuyas propiedades fisicoquímicas dependen de su tamaño de grano fino inferior a 2 μm .

2.11.1. Características de las arcillas

Según Guerra y Hiyagon (2012), la arcilla tiene una amplia variedad de características tales como plasticidad, contracción bajo cocción y secado al aire, finura de grano, color después de la cocción, dureza, cohesión y capacidad de la superficie para tomar

decoración. Además, la superficie de la partícula de arcilla tolera una carga eléctrica negativa, cuya intensidad depende de su característica mineralógica y tamaño (García y Suárez, 2018). Estas cargas eléctricas, se reducen en cantidad a medida que el tamaño de las partículas aumenta y cambian de forma, partículas no laminares, esféricas o prismáticas y que representan una menor superficie expuesta, soportan una menor carga eléctrica (Al-Ani y Sarapää, 2008).

2.11.2. Propiedades fisicoquímicas de las arcillas

- Área superficial o Superficie Específica

Es el área de la superficie externa que está constituida por el área de la superficie interna de las partículas y unidad de masa en m^2/g (García y Suárez, 2018). Además Murray (2006), menciona que la arcilla tiene una elevada área superficial específica, por su morfología laminar y el tamaño de sus cristales pequeños.

- Capacidad de hinchamiento e Hidratación

Guerra y Hiyagon (2012), mencionan que es la absorción de agua en un espacio interlaminar, tiene como consecuencia la separación de estas láminas, y que da lugar a la propiedad de hinchamiento. Según Odoma et al., (2013), para que ocurra este fenómeno, va depender de la carga laminar y naturaleza del catión interlaminar, por lo tanto a medida que la separación entre láminas aumente y las capas de agua se intercalen, la fuerza de repulsión electrostática entre láminas será predominante, esto ayudara a que el proceso de hinchamiento llegue a disociar definitivamente unas láminas de otras (Figura 17).

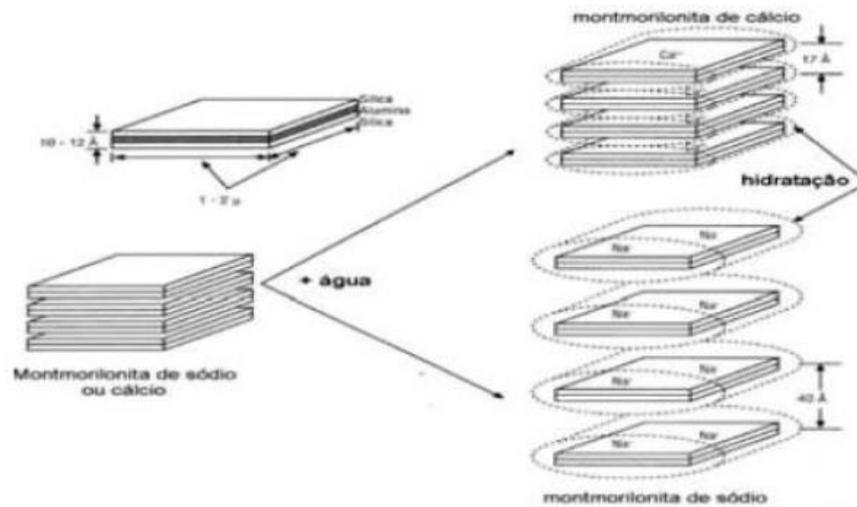


Figura 17. Representación de la diferencia del hinchamiento entre bentonita sódica y bentónica cálcica

Fuente: Guerra y Hiyagon (2012)

- Capacidad de Intercambio catiónico

Odoma et al. (2013), define la CIC como la suma de los cationes que un mineral puede absorber en un pH determinado. Asimismo representa una propiedad fundamental de las arcillas, ya que son capaces de transformar sencillamente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, espacios interlaminares y/o en espacios internos de sus estructuras por otras soluciones de agua envolventes (Oliveira, 2015). Además García y Suárez (2018), indican que pueden captar algunos cationes y aniones, y el valor de CIC se puede encontrar en un rango de 80 - 200 meq/100g (Figura 18).

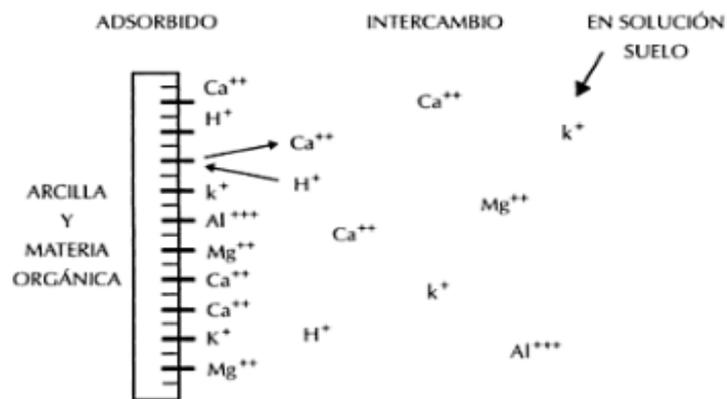


Figura 18. Diagrama de la capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Oliveira (2015)

2.11.3. Estructura de las arcillas

Los minerales arcillosos son comúnmente filosilicatos o silicatos de capa, estos minerales tienen una morfología laminar debido a la disposición de los átomos en la estructura (Al-Ani y Sarapää, 2008). Hay dos componentes básicos en la estructura, una hoja de tetraedros unidos a las esquinas y una hoja de octaedros para compartir bordes (Murray, 2006).

La estructura de los principales minerales arcillosos, es decir, caolinas, esmectitas, vermiculita, illita, clorita y sepiolita de palygorskita, son muy diferentes a pesar de que cada uno está compuesto de láminas octaédricas y tetraédricas como sus componentes básicos (Oliveira, 2015). La disposición y composición de las láminas octaédricas y tetraédricas son responsables de la mayoría de las diferentes propiedades físicas y químicas (Zhang et al., 2015).

2.11.3.1. Lámina Tetraédrica

El tetraedro es una de las formas geométricas sólidas que se utilizan para representar la disposición de los átomos en las estructuras de cristal mineral de arcilla (Figura 19) (Al-Ani y Sarapää, 2008). Se forma conectando los centros de los cuatro aniones de oxígeno que rodean un catión central. Además, en los minerales arcillosos, el catión central predominante del tetraedro es el silicio (Figura 20). Así también, un número limitado de

tetraédricos están ocupados por aluminio y ocasionalmente hierro férrico u otros elementos (Oliveira, 2015). El tetraedro aislado tiene una carga negativa neta de -4. El descanso tetraédrico en la cara triangular y las cuatro caras triangulares del tetraedro se forman uniendo los centros de los aniones (Figura 21) (Al-Ani y Sarapää, 2008).

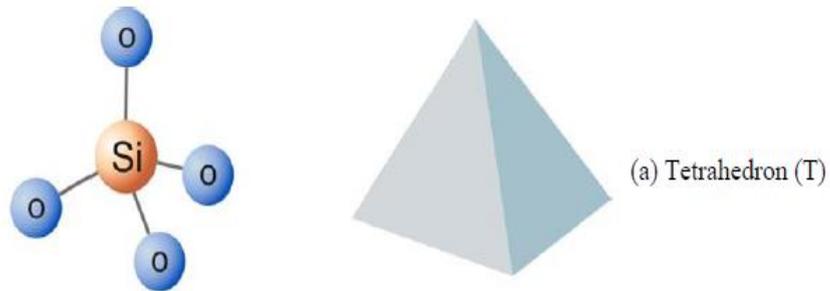


Figura 19. Forma geométrica del Tetraedro

Fuente: Al-Ani y Sarapää (2008)

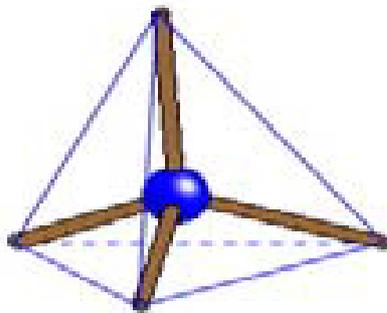


Figura 20. Se enfatiza que el catión (azul) ocupa el centro del tetraedro

Fuente: Al-Ani y Sarapää (2008)

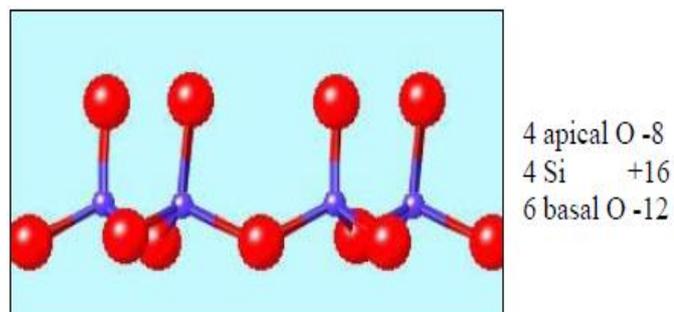


Figura 21. Vista lateral mostrando la lámina tetraédrica

Fuente: Al-Ani y Sarapää (2008)

2.11.3.3. Lámina Octaédrica

Al-Ani y Sarapää (2008) indica que en su estructura podemos encontrar átomos de hidroxilo en las esquinas y los cationes en el centro. Los cationes suelen ser átomos de aluminio (Al), hierro (Fe) y magnesio (Mg) (García León, Flóres Solano y Medina Cárdenas, 2018). La lámina octaédrica se compone de oxígenos e hidroxilos muy juntos en los que los átomos de aluminio (Al), fierro (Fe) y magnesio (Mg) están dispuestos en coordinación octaédrica (Figura 22) (Guggenheim, 2010). La carga neta en un octaedro de Al-OH aislado es -3. En la lámina octaédrica, la carga se reduce mediante el intercambio de aniones por octaédrica adyacente (Figura 23) (García y Suárez, 2018).

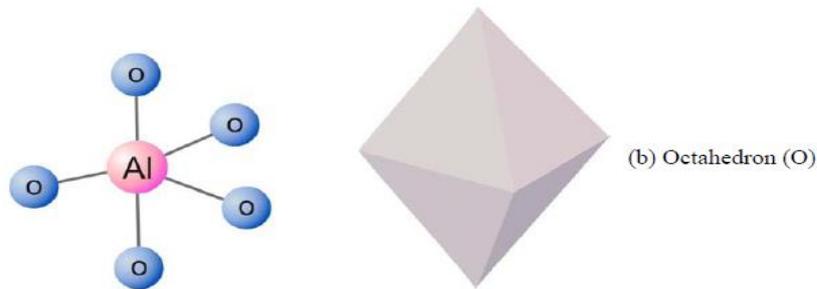


Figura 22. Forma geométrica del octaedro

Fuente: García y Suárez (2018)

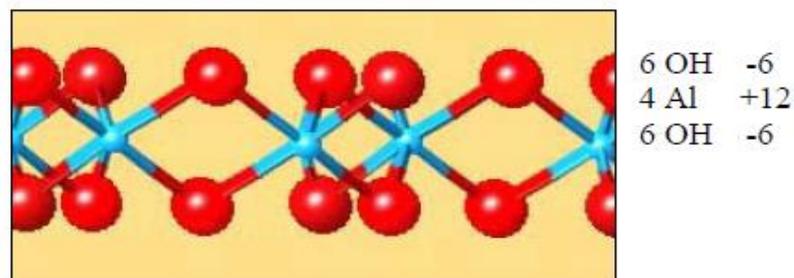


Figura 23. Vista lateral mostrando la hoja octaédrica

Fuente: García y Suárez (2018)

2.11.4. Tipos de arcilla

2.11.4.1. Esmectita

La esmectita se siente grasosa y parecida al jabón al tacto (Whitehouse y McCarter, 1956). Las propiedades especiales de la esmectita son la capacidad de formar geles

tixotróficos con agua, la capacidad de absorber grandes cantidades de agua con un aumento de volumen de 12 a 15 veces su volumen seco y una alta capacidad de intercambio catiónico (Katahara, 1996).

Los principales minerales de esmectita son montmorillonita de sodio, *montmorillonita* de calcio, saponita (montmorillonita de magnesio), nontronita (montmorillonita de hierro), hectorita (montmorillonita de litio) y beidel-lite (aluminio montmorillonita) (Al-Ani y Sarapää, 2008). Los minerales de esmectita se componen de láminas tetraédricas de dos silos con una lámina octaédrica central y se designan como un mineral de capa 2:1. Las moléculas de agua y los cationes ocupan el espacio entre las capas 2:1 (García y Suárez, 2018).

2.11.4.2. Caolinita

El nombre "caolín" se deriva de la palabra Kau-Ling, o cresta alta, el nombre dado a una colina cerca de Jau-chau Fu, China, donde se extrajo caolín por primera vez (García et al., 2018). El caolín, comúnmente conocido como arcilla china, es una arcilla que contiene 10 a 95% del mineral caolinita y generalmente consiste principalmente de caolinita (85 a 95%) (Katahara, 1996). Además de la caolinita, el caolín generalmente contiene cuarzo y mica y también con menos frecuencia, feldespato, illita, montmorillonita, ilmenita, anastasa, hematita, bauxita, circón, rutilo, cianita, siliminato, grafito, atapulgita y halloysita (Largo y Villamarin, 2013). Algunas arcillas utilizadas para fines similares a aquellos para los que se usa el caolín pueden contener cantidades sustanciales de cuarzo: las arcillas "similares al caolín" utilizadas en la cerámica sudafricana contenían 23–58% de cuarzo y, como el otro componente principal, 20–36% de caolinita (García et al., 2018).

La estructura de la caolinita es una lámina de sílice tetraédrica que alterna con una lámina de alúmina octaédrica (Inga, 2008). Estas láminas están dispuestas de manera

que las puntas de los tetraedros de sílice y las capas adyacentes de la lámina octaédrica forman una capa común (Odoma et al., 2013).

2.11.4.3. Bentonita

Jackson (2002), indica que es una roca formada por arcillas altamente coloidales y plásticas compuestas principalmente de montmorillonita, un mineral arcilloso del grupo esméctita, y es producida por la desvitrificación in situ de cenizas volcánicas. La transformación de cenizas en bentonita aparentemente tiene lugar solo en agua (ciertamente agua de mar, probablemente lagos alcalinos y posiblemente otra agua dulce) durante o después de la deposición (Williams, 2005). La bentonita lleva el nombre de Fort Benton (Wyoming, EE. UU.), la localidad donde se encontró por primera vez. Además de la montmorillonita, la bentonita también puede contener feldespato, biotita, caolinita, illita, cristobalita, piroxeno, circón y cuarzo cristalino (Murray, 2006).

Por extensión, el término bentonita se aplica comercialmente a cualquier arcilla plástica, coloidal e hinchada independientemente de su origen geológico. Dichas arcillas se componen generalmente de minerales del grupo de montmorillonita (Oliveira, 2015). La bentonita es un material industrial a base de roca o arcilla. Por lo tanto, es una mezcla de minerales.

a) Tipo de Bentonita

- Bentonita Cálcica

La bentonita de calcio es la arcilla no hinchable. Tiene una doble capa de agua con Ca^{2+} como ion intercambiable. También se le conoce como bentonita "Southern", adquiere la propiedad de decolorar muchos tipos de aceites en su estado natural (Hoekstra et al., 2012). Jackson (2002), señala que tiene una proporción muy baja de sodio intercambiable y una proporción muy alta de calcio intercambiable, aunque las proporciones varían considerablemente de un tipo de bentonita a otro. Tiene un índice de hinchamiento muy bajo (normalmente $\leq 0.5\%$) y un pH casi neutro (Ramos, 2000).

- Bentonita Sódica

La bentonita de sodio es el tipo de arcilla hinchada que puede aumentar tanto su volumen y peso, formando una masa plástica y deslizante de apariencia jabonosa (Jackson, 2002). Tiene partículas de una sola capa de agua que contienen Na^+ como ion intercambiable. Además Williams (2005) menciona que tiene proporciones moderadas y similares de sodio y calcio intercambiables, un índice de hinchazón moderado y un pH básico (cercano a 9).

2.12. Montmorillonita

Según Uddin (2008), fue descubierta en 1847 en Montmorillon en la prefectura de Viena de Francia. La montmorillonita es la composición principal de minerales arcillosos en sedimentos y partículas suspendidas, así pues el suelo o sedimentos que contienen arcilla de montmorillonita son reconocidos como buenos adsorbentes debido a la existencia de sitios activos variables como los sitios de intercambio iónico y de superficie (Flachberger, 2017).

Pertenece a la familia de las esmectitas y tiene propiedades de intercalación, adsorción y una afinidad elevada a las moléculas orgánicas y metales pesados debido a su nanoestructura intrínseca en capas inorgánicas (Aguilar y Rigail, 2006). De la misma manera está compuesta por dos láminas tetraédricas basadas en sílice con moléculas de agua dentro de las láminas de la capa intermedia y están fácilmente disponibles para los contaminantes entrantes (Lambert, 2014).

2.12.1. Origen y obtención de la Montmorillonita

Shetti (2018) menciona que lo podemos encontrar metamórficos y en depósitos de alimentos, se puede originar por la alteración de cineritas, rocas eruptivas y tobas volcánicas. Por lo tanto, su condición de formación se limita a ambientes con adecuado abastecimiento de iones alcalinotérreos (Calcio, Fierro, Magnesio), drenaje limitado y pendiente muy suave. Igualmente es el mineral de arcilla dominante en la bentonita, la

cual es una ceniza volcánica que tiene la propiedad poco común de aumentar de volumen varias veces cuando es sumergida en agua (Aguilar y Rigail, 2006).

2.12.2. Composición química

La composición química de la montmorillonita va a depender considerablemente del tipo de formación y/o del lugar de origen. Flachberger (2017) realizó una investigación en la cual se estimó un rango del porcentaje de los elementos constituyentes en forma de óxidos (Figura 24).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O
47,9-51,2	20,0-27,1	0,2-1,4	2,1-6,6	1,0-3,7	0,2-0,6	0,3-0,8	17,1-23,7

Figura 24. Constituyentes de la Montmorillonita

Fuente: Flachberger (2017)

2.12.3. Montmorillonita modificada con sales de amonio cuaternario

Las nanopartículas utilizadas hasta el presente son las derivadas del mineral natural montmorillonita; que son materiales de naturaleza hidrofílica, tratadas superficialmente con sales de amonio cuaternario para hacer la organoarcilla compatible con los materiales poliméricos (Rojas y Zarate, 2015). El mineral disperso forma plaquetas con una alta relación de aspecto, las cuales actúan como buenas barreras al flujo de gases y vapores (Mariel, 2017). Donde el agente modificante se une mediante fuerzas electrostáticas a la superficie de la arcilla para mejorar la dispersión en el polímero. Además Santarén y Cubillo (2012) indican que las sales cuaternarias de amonio son los compuestos orgánicos más ampliamente utilizados como modificadores en la obtención de organoarcillas.

2.13. Organoarcilla

La organoarcilla tiene aplicaciones en el área de híbridos orgánicos e inorgánicos, compuestos y compuestos a nanoescala (Oliveira, 2015b). Las bentonitas se utilizan en diversos campos de aplicaciones técnicas en ingeniería. Las arcillas modificadas se

utilizan como adsorbentes en la refinería de aceites vegetales y en la eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales (Oliveira, 2015). Las partículas orgánicas se han clasificado como los buenos adsorbentes para metales tóxicos como Cr, Pb, Cd, Hg y Zn. Las organoarcillas son híbridos derivados de un intercambio iónico de los cationes inorgánicos ubicados en la capa intermedia de arcillas naturales o sintéticas con sales de amonio cuaternario de cadena larga en condiciones hidrotermales (Banik et al., 2015).

2.13.1. Caracterización de la Organoarcilla

2.13.1.1. Técnica de Difracción de Rayos X (DRX)

Es la técnica más conveniente para determinar la fase cristalina de arcilla, que permite observar cómo es que están conectados los elementos químicos; debido a que, en la mayor parte de los cristales los átomos se ordenan en planos cristalinos separados uno de otro por distancias del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de los rayos X (Figura 25) (Ramos, 2000). Esta técnica se basa en el efecto de difracción de rayos X por los planos de retículas muestras cristalino de acuerdo con la Ley de Bragg (Oliveira, 2015b), el cual puede visualizarse en la siguiente ecuación para hallar la difracción de rayos X:

$$**$n\gamma = 2dsen\theta$**$$

Ecuación 2.

Dónde:

n: Número entero

γ : Longitud de onda de rayos X

d: El espacio interplanar

θ : Ángulo de difracción

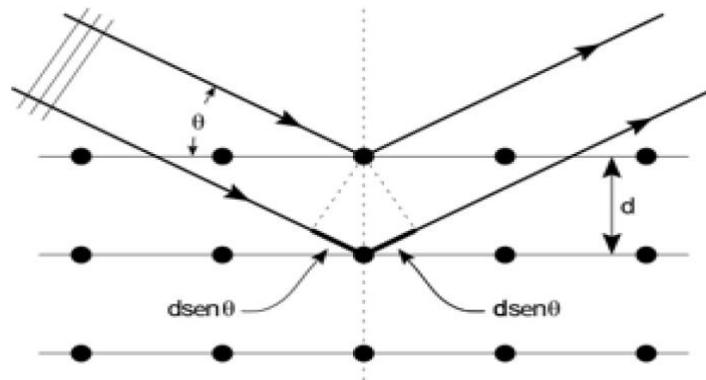


Figura 25. Esquema de Difracción de ángulo y distancia interlaminar del DRX

Fuente: Ramos (2000)

El origen del patrón de difracción se da por la interacción de los rayos X con la materia en estado cristalino, de los cuales se extrae la información acerca de la naturaleza de la estructura de una red o de los ciclos cristalinos de un material, por consiguiente, se da la valoración del volumen de las partículas, además de poder identificar unas con otras dentro de una misma muestra (Figura 26) (Leocárdio et al., 2013).

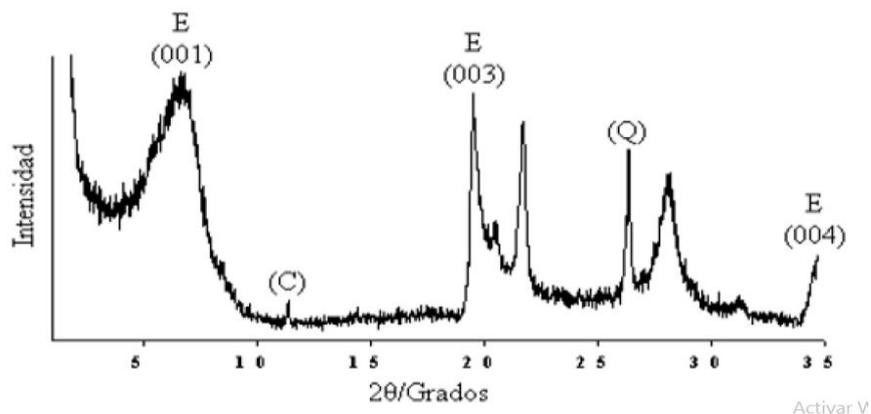


Figura 26. Modelo de difracción de rayos X de una bentonita natural

Fuente: Leocárdio et al. (2013)

2.13.1.2. Fluorescencia de Rayos X

Ferrero et al., (2011), sustentan que la técnica de fluorescente de rayos X (XRF) es energía dispersiva, empleada en el análisis no destructivo de la composición de arcilla,

este análisis cualitativo permite investigar variaciones en la composición de bentonita con y sin modificación química.

En la determinación de la composición química surgen como elementos esenciales de sílice (SiO_2) y la alúmina (Al_2O_3), adición de óxidos de hierro (Fe_2O_3) de magnesio (MgO), sodio (CaO), Sodio (Na_2O), potasio (K_2O) y otro (Chui et al., 2009).

2.13.1.3. Microscopía Electrónica de Barrido

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica que permite la evaluación de la morfología de las partículas de arcilla (Wu y Ding, 2015). El principio de un SEM consiste en utilizar un haz de electrones de pequeño diámetro en la superficie de la muestra, punto por punto, por líneas sucesivas y pasar la señal del deflector a una pantalla catódica cuyo barrido esta sincronizado con el haz incidente (Figura 27) (Perugachi et al., 2006b).

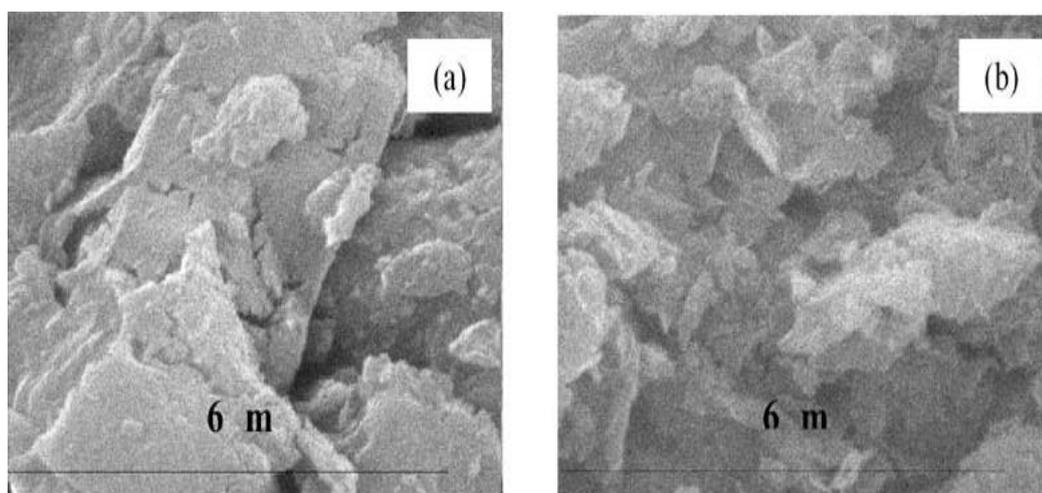


Figura 27. Patrón de micrográficas para: a) Arcilla natural y b) Arcilla activada

Fuente: Wu y Ding (2015)

2.14. Polímeros

Estos polímeros se encuentran en plantas y animales. La palabra "Polímero" se deriva de dos palabras griegas, "Poli" que significa muchas (numerosas) y "Mer" que significa unidades (Hoekstra et al., 2012). En términos básicos, un polímero es una molécula de

cadena larga que se compone de un gran número de unidades repetitivas de estructura idéntica. Estas estructuras idénticas, se entiende como una unidad formada por dos o más moléculas que se unen para formar una cadena larga (Hermida, 2011).

En otras palabras, los polímeros son moléculas gigantes de alto peso molecular, llamadas macromoléculas, que se acumulan mediante la unión de un gran número de moléculas pequeñas, llamadas monómeros (Milly et al., 2005). Esos monómeros pueden ser simples (solo un átomo o dos o tres) o pueden ser estructuras complicadas en forma de anillo que contienen una docena o más de átomos. La reacción por la cual los monómeros se combinan para formar un polímero se conoce como polimerización (Hermida, 2011). La polimerización es una reacción química en la que dos o más sustancias se combinan con o sin la evolución de algo como agua, calor o cualquier otro solvente para formar una molécula de alto peso molecular. El producto se llama polímero y el material de partida se llama monómero (Guerra y Hiyagon, 2012).

Dado que los polímeros son numerosos en número con diferentes comportamientos y se pueden encontrar de forma natural o sintética, se pueden clasificar de varias maneras. A continuación se presentan algunas formas básicas en que clasificamos los polímeros (Odoma et al., 2013).

2.14.1. Polímero Natural

Estos polímeros ocurren en la naturaleza, es decir, tienen un origen vegetal o animal. Incluyen almidón, celulosa, proteínas, ácidos nucleicos, residuos naturales, etc. (Hoekstra et al., 2012). La celulosa y los almidones son los polímeros de la glucosa. El caucho natural contiene la unidad de repetición de isopreno (2-metil-1, 3-butadieno) (Leocárdio et al., 2013).

2.14.2. Polímero Sintético

Son polímeros hechos por el hombre como el plástico (polietileno), fibras sintéticas (nylon 6,6) y cauchos sintéticos (Buna - S) son ejemplos de polímeros hechos por el

hombre ampliamente utilizados en la vida diaria y en la industria (Oliveira, 2015b). La mayoría de los polímeros sintéticos son moléculas orgánicas de cadena larga que contienen miles de unidades monoméricas (Quispe, 2011).

2.15. Tara (*Caesalpinia Spinosa*)

2.15.1. Clasificación Taxonómica de la Tara

Posee nombres comunes tales como: “Taya”, “Tara Spinosa”, “Divi divi de tierra fría”, “Cuica”, etc (Pretell et al., 1985). La Tara se ubica taxonómicamente en:

Reino	:	Plantae
División	:	Fanerógamas
Clase	:	Dicotiledoneas
Sub-Clase	:	Arquidomideas
Orden	:	Rosales
Familia	:	Fabaceae
Género	:	Caesalpinia
Nombre Científico	:	Caesalpinia Spinosa

2.15.2. Descripción Botánica de la Tara

Es un árbol de hasta 5 metros de altura, su tronco está cubierto de una corteza gris y agrietada provista de espinas triangulares, gruesas y cortas en su madurez; generalmente de los troncos nacen ramas abiertas densamente pobladas desde la base dando la impresión de poseer varios rallos (Reynel y León, 1990).

La copa del árbol de la tara es con frecuencia irregular, de forma aparasolada y poco densa, logrando alcanzar un diámetro de hasta 6.0 m en su madurez y presenta ramas ascendentes (Figura 28). Sus hojas son compuestas bipinadas, alternas y dispuestas en espiral, cuyos folios (de 6 a 8 pares) facilitan la forma de plumas con una longitud que varía entre 8 y 12 cm (Aguilar, 1996). Sus flores son hermafroditas, zigomorfas de cáliz

irregular, con un sépalo muy largo (aprox. 1 cm), tienen la forma de racimos color amarillento o amarillo rojizo, de aprox. 10 cm de largo por 3 de ancho. Cada vaina contiene de 4 a 7 granos ovoides de color marrón o pardo oscuro, con un diámetro de 0.7 cm (Aguilar, 2010). El árbol de la tara es una especie que no exige mucho en cuanto a la calidad del suelo y manejo técnico. La siembra se realiza por semilla (el número de semillas por kilogramo es de 6000 en promedio), la germinación se inicia entre los 8 y 12 días finaliza a los 20 días. El árbol es productivo a los 4 años, tiene un rendimiento promedio de 25 a 46 kg de vainas por planta en cada cosecha y se recolecta dos veces al año (Lojan, 1992). En la Figura 28 se observa el fruto de la tara en el mismo árbol.



Figura 28. Árbol de Tara (Caesalpinia spinosa) y sus frutos

Fuente: Aguilar (1996)

2.15.3. Distribución Geográfica y Zonas Productoras

La Tara (*Caesalpinia Spinosa*) es una planta nativa de Perú, su uso tradicional proviene desde las épocas arcaicas, donde los seres humanos lo utilizaban como material tintónico y para el curtido de cueros, en la actualidad es de uso alimenticio, medicinal y estético (Galarza y Urrunaga, 1992).

Su hábitat abarca desde las zonas áridas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia llegando hasta los 32° de latitud Sur al norte de Chile (Flores y Chávarry, 2005). En Perú se encuentra desde la Costa y Sierra Norte, a nivel mundial es uno de los mayores productores de Tara, con más del 80% de producción bruta a nivel de exportación a diferencia otros países sudamericanos, los principales productores son los departamentos de: Cajamarca, Ayacucho, La Libertad, Apurímac, Ancash, Junín, Huancavelica y Huánuco (MINAM, 2010).

Su producción y cultivo natural se presenta en diferentes zonas de país, en lugares semiáridos con poca precipitación que oscila de 230 a 500 mm de lluvia anual (Whitehouse y McCarter, 1956). En la vertiente del Pacífico se halla en los flancos occidentales, laderas, en lomas costeras, valles secos interandinos, riveras de los ríos y en terrenos ubicados entre los 1000 y 2900 m.s.n.m., llegando en algunos casos como en el valle de Apurímac, hasta los 3150 m.s.n.m. (Cruz, 2004).

2.15.4. Aprovechamiento de la Tara

La Tara desde la antigüedad ha sido útil en distintos campos, en el Campo de la Fabricación la madera en usos como cerco de corrales, leña para cocina, elaboración de utensilios, magos para herramientas, etc.; en el Campo de la Medicina sus hojas y vainas verdes en infusión han sido buenos para las amigdalitis, la tos y otras infecciones bucales; y en el Campo de la Industria Manufacturera, Alimenticia, Cosmética, etc., con el tiempo se han descubierto las mejores bondades de tara como la obtención de taninos, proteínas, grasas, gomas, ácido tánico, ácido gálico (Chicoma et al., 2018).

2.15.5. Goma de Tara

La goma de tara es el polvo que se obtiene de moler el endospermo de las semillas del arbusto *Caesalpinia spinosa*, luego de su separación de la cáscara y el germen, considerado como un hidrocoloide vegetal de alto peso molecular compuestos

principalmente de galactomananos, un tipo de polisacárido formados por ramas de manosa y unidades de galactosa ramificada (Chambi, 2013).

La goma en polvo adopta coloraciones caras o cremas, es de fácil obtención y conservación una vez secada y pulverizada, es inodora, insípida y muy estable a temperatura ambiente (Vargas, 2016). Tienen una gran capacidad de absorción de agua y en agua fría se dispersa lentamente; cuando se calienta se transforma en un gel homogéneo que mantiene sus propiedades al enfriar. Pérez (2011), comprobó el alto poder molecular de la goma de tara para aplicarlo como coagulante, obteniendo como resultando eficientes porcentajes de remoción.

2.15.5.1. Proceso de Obtención de la Goma de Tara

Basurto (2010), en el procesamiento comercial de la goma de tara, se separa el endosperma de la cáscara y del germen por un proceso térmico-mecánico, usándose una molienda diferencial ya que existe una diferencia en la dureza de cada componente (Ver Figura 29). Luego se clasifica e ingresa a un selector óptico; saliendo con una limpieza del 98%. Terminando después la limpieza. El endosperma separado, que contiene 80% galactomano, se muele finalmente a un tamaño de partícula fino y se vende como goma de Tara. Esta molienda se hace en varias fases y cernido (Sanabria, 2011).

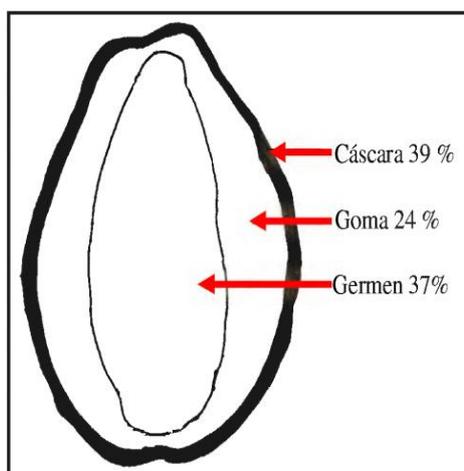


Figura 29. Estructura morfológica de la semilla de Tara

Fuente: Sanabria (2011)

2.15.5.2. Características Fisicoquímicas de la Goma de Tara

La Goma de Tara, es un polisacárido aniónico de elevado peso molecular. El componente principal consiste en una cadena lineal de unidades de (1->4)- β -Dmanopiranososa con unidades de α -D-galactopiranososa con enlaces (1->6) (Chicoma et al., 2018). Su propiedad coagulante se da por los galactomananos, los cuales son formados de 20 a 40% de galactosa y 60 a 80% de manosa (Wu y Ding, 2015). Estos galactomananos son muy solubles en el agua, su viscosidad es de 5 veces mayor que el almidón, en agua fría demora unas 4 horas en diluirse. Es soluble en agua, alcanza el 50% de solubilidad a 25°C y el 100% a 98°C (Figura 30).

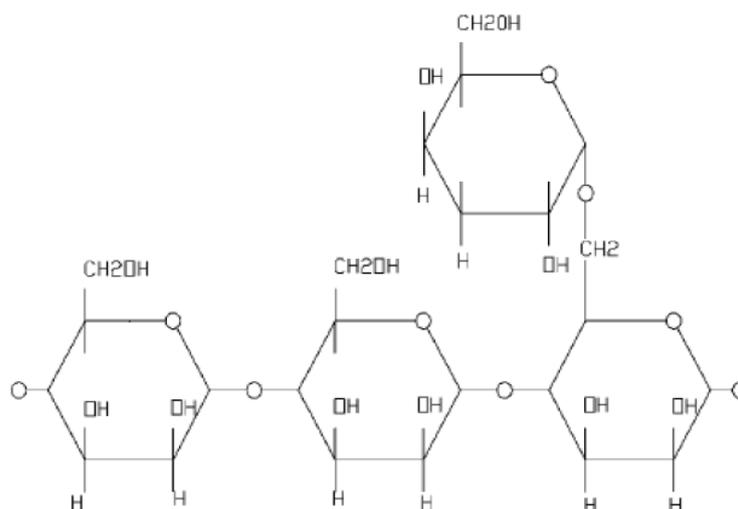


Figura 30. Composición galactomanano de la goma de tara

Fuente: Wu y Ding (2015)

Las características principales de la Goma de Tara son (Chambi, 2013):

Humedad	: 13.76%
Proteínas	: 2.50%
Cenizas	: 0.53%
Fibra Bruta	: 0.86 - 4%
Extracto Etéreo	: 0.48%

Grasa	: Máx. 0.75%
pH	: 5 - 7.5
Carbohidratos	: 81.87%
Azúcares totales	: 83.20%

2.15.6. Usos en el Tratamiento del Agua

Rodríguez et al., (2005), para el tratamiento de aguas, los biopolímeros generalmente son usados como coadyuvante de los coagulantes inorgánicos (sales de aluminio, sales de hierro y otros), a la vez posee el potencial de aumentar el tamaño de los flóculos formados inicialmente; asimismo se requieren de más estudios para ser utilizados como coagulantes directos.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Estudio

La presente investigación se desarrolló en los Laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental e Industrias Alimentarias, ubicados dentro del campus de la Universidad Peruana Unión – Ñaña, situado en el distrito de Lurigancho-Lima (Figura 31).

El muestreo se realizó de acuerdo con el Protocolo de Monitoreo de Agua (Barreto, 2010). La muestra fue recolectada de las tuberías de desagüe de la residencia de varones “Eduardo Forga”, ver ANEXO I Figura 68, ubicado dentro del Campus de la Universidad Peruana Unión. Se encuentra a una altitud de 525 msnm, en coordenadas UTM: -11.988440E -76.841780N, a la margen derecha del km 19.5 de la carretera central, pertenecientes a la jurisdicción del distrito de Lurigancho Chosica, Departamento de Lima.

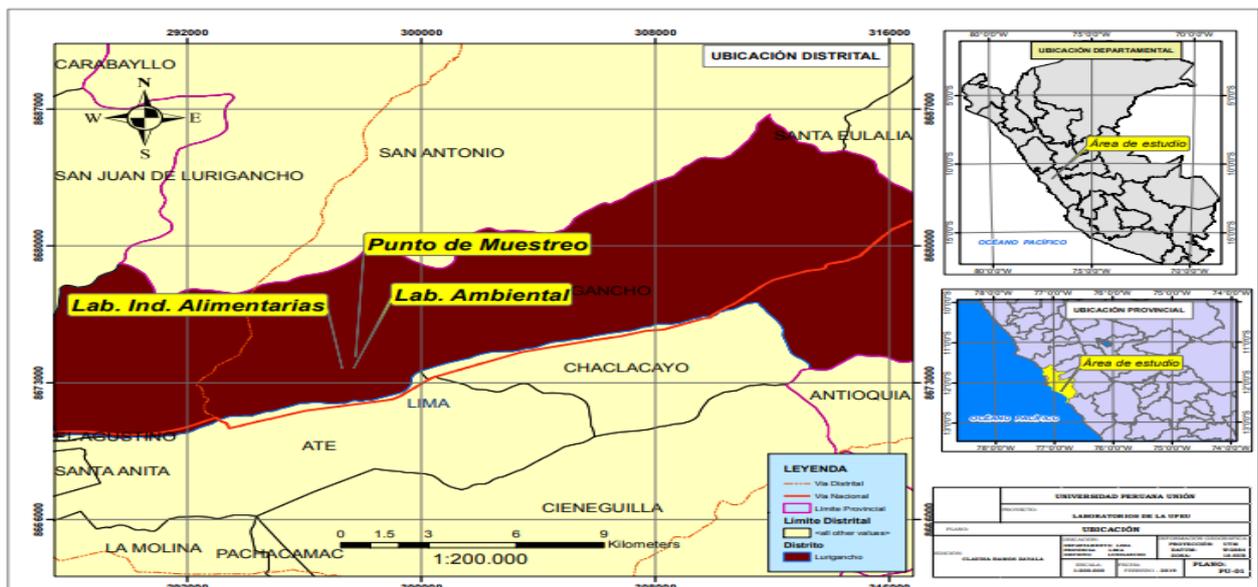


Figura 31. Mapa de ubicación de los lugares de ejecución ArGis.

3.2. Características Climatológicas y meteorológicas

La zona presenta un clima variado seco - templado, presentando estaciones de otoño-invierno entre los 22 °C a 13 °C (siendo las mañanas de cielo cubierto con ligeras nieblas, y a partir de las 11 h. brillo intenso de sol hasta el atardecer), mientras que en las estaciones de primavera-verano la temperatura varía entre los 13 °C a 25 °C (siendo la totalidad del día soleado), llegando incluso a temperaturas que superan los 28 °C (SENAMHI, 2019).

3.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es experimental, puesto que se requiere la manipulación de variables dependientes (remoción de DBO₅ y DQO) e independientes (concentración de organoarcilla, concentración de tara, dosis tara, velocidad baja, velocidad alta) (ver Tabla 9) para generar resultados de manera concluyente.

Se trabajó en 2 etapas y en cada etapa se recolectaron datos del experimento para después ver que causas produjeron los acontecimientos. Los datos recogidos fueron insertados y examinados mediante el software Statistic versión 13.4 para seguir con los diseños estadísticos.

Para lograr una adecuada remoción de DBO₅ y DQO, se utilizó organoarcilla y el biopolímero (*caesalpinia spinosa*) en cantidades variables dentro de condiciones estables. Para ello usamos un equipo de prueba de jarras, en donde se simula el proceso de mezcla, coagulación, floculación y sedimentación a escala real.

3.4. Materiales y Equipos

3.4.1. Materiales de Campo

- Bidón de agua de 30L
- Maldiles

- Mascarillas
- Guantes quirúrgicos
- Balde de 10L
- Rollo de pita y/o pabilo
- Rotuladores

3.4.2. Materiales de Laboratorio

- Jeringas Hipodérmicas desechables 25 mL
- Vaso precipitado de 2000, 500, 100, 250 y de 50mL
- Fiola de 100 mL
- Probeta de 2000 mL
- Varillas de Vidrio
- Pipetas volumétrica 10 mL
- Deflectores
- Sifón/ tomador de muestra
- Mortero con pilón de cerámica
- Pizetas de plástico
- Ligas
- Papel Toalla

- Los materiales para los análisis fisicoquímicos fueron alcanzados por el Laboratorio “DeltaLab S.A.C.”

3.4.3. Equipos

- Equipo de Prueba de Jarra, marca LIVOBOND – modelo ET750
- Medidor de Turbidez, marca HANNA INSTRUMENTS - modelo HI9703
- Multiparámetro, marca HANNA INSTRUMENTS – modelo H1 48-5
- Balanza analítica de gran exactitud, marca MA HENKI I
- Estufa
- Centrifuga – modelo H-2050R
- Agitador magnético – modelo HW KESSEL
- Equipo de Difracción de rayos X, marca BRUKER – modelo D8 advance
- Equipo de Microscopia de barrido, marca ZEISS – modelo EVO MA10
- Cronometro
- Cámara fotográfica

3.4.4. Reactivos

- Sales cuaternarias (Bromato hexadecil trimetil amonio = HDTMA; C₁₉H₄₂BrN)
- Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) 100% natural.

3.5. Metodología

3.5.1. Recolección de la muestra y análisis de DBO₅, DQO y parámetros fisicoquímicos

Las muestras se tomaron del agua residual doméstica de las tuberías de desagüe de la residencia de varones “Eduardo Forga”, (Anexo I, Figura 68) en dos períodos diferentes, el preanálisis 1 se realizó en el mes de Julio sin presencia de estudiantes (mostrando resultados mínimos), mientras que el preanálisis 2 se realizó en el mes de Agosto con presencia de estudiantes (por lo que los resultados salieron elevados)

. Para el preanálisis de materia orgánica se toma las muestras in-situ de la siguiente manera: para DBO₅ se toma la muestra de agua en una botella de 1000mL previamente rotulado y para DQO en una botella de 250mL (el cual nos sirvió como dato base); ya tomada la muestra, fueron enviados al laboratorio Delta Lab S.A.C (Acreditado por INACAL) (Anexo I, Figura 68) estos resultados se recibieron después de 1 semana, mientras que los análisis fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura) fueron recolectados en una botella de 500mL y fueron analizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión (Anexo I, Figura 69), teniendo los resultados al instante.

Tabla 2.

Resultados fisicoquímicos del preanálisis 1 y preanálisis 2, antes de someterse a la prueba de jarra.

	Preanálisis	
	1	2
Turbidez (NTU)	142	75.7
pH	8.01	6.17
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	1033	1793
PARÁMETROS		
Temperatura °C	23.4	22.7
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.28	9.04
DBO₅ (mg/L)	13	300
DQO (mg/L)	31.33	235

De acuerdo con el análisis estadístico de la primera etapa se tuvieron tres variables independientes (turbidez, DBO₅ y DQO), donde se identificaron diferentes factores significativos que alteraban la variable. Por lo cual se trabajó con dos diseños diferentes (Diseño Screening Fraccionado 2^{n-x} y Diseño Central Compuesto Rotacional - Superficie de Respuesta).

3.5.2. Proceso tecnológico de obtención de Organoarcilla

3.5.2.1. Obtención de la Montmorillonita

Para la obtención de la montmorillonita se utilizó la metodología descrita por (Arriola y Rojas, 2017).

- a) En una probeta de 1L se colocó 50g de bentonita natural sódica purificada previamente secada, luego se adicionó 1000mL de agua destilada (Anexo I, Figura 70).
- b) Se procedió a agitar en un tiempo de 10 minutos a 300 RPM (revoluciones por minuto) (Anexo I, Figura 71).
- c) Al culminar se aforó y se dejó reposar por 10 minutos. Se extrajo la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10cm (separación de base) con jeringas hipodérmicas desechables y se procedió a eliminar el sobrante para otros usos (Anexo I, Figura 72).
- d) Se centrifugó durante 10 minutos a 4000 RPM para luego separar el líquido de la solución (Anexo I, Figura 73).
- e) Se llevó a una estufa, se hizo secar la montmorillonita obtenida a 100°C por 24 horas y finalmente se trituró hasta lo más fino posible (Anexo I, Figura 74).

3.5.2.2. Obtención de la Organoarcilla

Se utilizó la metodología descrita por Arriola Marquez y Rojas Pomalima (2017):

- a) Se pesó 15g de montmorillonita, se procedió a mezclar con 700mL de agua destilada y se agitó por 24 horas a 2000 RPM (Anexo I, Figura 75).
- b) Se añadió 13mL de sales cuaternarias de amonio y con el agitador magnético se mezcló por 5 horas a una temperatura de 80°C (Anexo I, Figura 76).
- c) Seguidamente se centrifugó a 3500 RPM por 15 minutos hasta eliminar el exceso de agua, en una estufa se procedió a secarlo a 100°C por 24 horas, enseguida se llevó a pulverizar (Anexo I, Figura 77).
- d) Finalmente se almacenó la organoarcilla en frascos oscuros hasta su posterior análisis fisicoquímico, morfológico y estructural (Anexo I, Figura 76). La medición de los tamaños de las partículas de organoarcilla se realizó utilizando software de análisis de Medida de Imágenes 2.0 CDraw X7 (Anexo I, Figura 78).

3.5.2.3. Obtención de la Goma de Tara como ayudante y/o coagulante secundario

La goma de tara se adquirió de la empresa Peruvian Tara S.A.C., quien nos suministró en una bolsa hermética con su respectiva ficha técnica (Anexo I, Figura 79).

- a) Se trabajó con tres concentraciones de goma de tara al 1, 1.5 y 2%. Para obtener dicha concentración se aplicó la siguiente fórmula, empleado por Aldana Rivera, (2012).

$$\%C = \frac{W}{V} * 100\% \dots\dots\dots Ecuación 3.$$

Dónde:

C: Concentración de la solución del coagulante (%) (1000 mg/L = 10%)

W: Peso del coagulante en g.

V: Volumen de agua destilada usado para diluir en ml (L).

- b) Pesamos la goma de tara 1, 1.5 y 2g en la balanza analítica necesaria para lograr concentraciones del 1, 1.5 y 2% (Figura 32). Para tener una solución madre, la cantidad pesada se vierte en un vaso precipitado y se rellena con 100mL de agua destilada previamente aforada en una fiola, mezclando paulatinamente con una varilla de vidrio.



Figura 32. Pesado de la goma de tara en una balanza analítica.

Ejemplo, para lograr una concentración de 2%

$$\%C = \frac{W}{V} \times 100\% = \frac{2g \times \frac{1000 \text{ mg}}{g}}{0.1 L} \times 1000\%$$

$$\%C = 2000 \frac{\text{mg}}{L} = 2\%$$

- c) Para tener una solución del 1%, con una pipeta volumétrica se cogió 10mL del 1% y se vierte en un vaso precipitado y se rellena con 100mL de agua destilada, eso se realiza sucesivamente para 1.5 y 2%. En el caso de que faltara coagulante es preciso calcular otra vez en ese mismo momento, puesto que, según investigaciones, la pequeña y exacta proporción corre el riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulante.

d) Para el cálculo del volumen de dosificación del coagulante (goma de tara), se empleó la siguiente ecuación de balanceo de masa:

$$Q * D = q * C \quad \dots\dots\dots Ecuación 4.$$

Dónde:

Q: Volumen del agua de la jarra de floculación (2L) en mL.

D: Dosis del coagulante en mg/L.

q: Volumen de la solución de coagulante en mL.

C: Concentración en mg/L.

e) Ya teniendo la concentración del coagulante al 1, 1.5 y 2%, despejamos la fórmula para cada vaso, ejemplo:

$$q = \frac{Q \times D}{C} = \frac{2000ml \times \frac{2mg}{L}}{200000 \frac{mg}{L}}$$

$$q = 20mL$$

f) Para la determinación de los cálculos de la concentración organoarcilla, paulatinamente trabajamos con cinco concentraciones básicas de la organoarcilla de 20, 25, 30, 35 y 40%, para lo cual se aplicó la Ecuación 3 anteriormente utilizada, empleado por Aldana Rivera (2012).

$$\%C = \frac{W}{V} * 100\%$$

g) Pesamos la organoarcilla 20, 25, 30, 35 y 40g en la balanza analítica necesaria para lograr la concentración de 20, 25, 30, 35 y 40% respectivamente (Figura 33). La cantidad pesada, vertemos en un vaso precipitado y se rellena con 100mL de agua destilada previamente aforada en una fiola, mezclando paulatinamente con una varilla de vidrio.



Figura 33. Pesado de 20, 25, 30, 35 y 40g de organoarcilla.

Ejemplo, para lograr una concentración de 20%

$$\%C = \frac{W}{V} \times 100\% = \frac{20g \times \frac{1000 \text{ mg}}{g}}{0.1 L} \times 1000\%$$

$$\%C = 20\,000 \frac{\text{mg}}{L} = 20\%$$

h) Se utilizó 45 vasos precipitados de 2000mL, con concentraciones de organoarcilla de 20, 25, 30, 35 y 40g y con volúmenes de dosificación de goma de tara de 1, 1.5 y 2%, en concentraciones de 10, 20 y 40mL de la misma, distribuidos en cada vaso estadísticamente.

Tabla 3.

Concentración de organoarcilla, y concentración y dosis de goma de tara.

Dosis de goma de (%) tara	Concentración de goma de tara (mL)	Concentraciones de Organoarcilla (g)														
		20			25			30			35			40		
1	Concentración de goma de tara (mL)	10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40
1.5		10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40
2		10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40

Tabla 4.

Prueba 1

Dosis de goma de (%) tara		Concentración de organoarcilla (g)				
		20	25	30	35	40
1%	Concentración de goma de tara (mL)	10	10	10	10	10
		20	20	20	20	20
		40	40	40	40	40

Tabla 5.

Prueba 2

Dosis de goma de (%) tara		Concentración de organoarcilla (g)				
		20	25	30	35	40
1.5%	Concentración de goma de tara (mL)	10	10	10	10	10
		20	20	20	20	20
		40	40	40	40	40

Tabla 6.

Prueba 3

Dosis de goma de (%) tara		Concentración de organoarcilla (g)				
		20	25	30	35	40
2%	Concentración de goma de tara (mL)	10	10	10	10	10
		20	20	20	20	20
		40	40	40	40	40

3.5.2.4. Determinación de los cálculos de las velocidades y tiempo óptimo del proceso de floculación y sedimentación

- a) Se determinó la calidad del agua en estudio: Temperatura, turbidez, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.
- b) Se trabajó con 54 jarras (6 jarras por cada prueba). Se da inicio al funcionamiento del equipo con la mezcla rápida aplicando en forma simultánea e instantánea el coagulante (organoarcilla) y enseguida el ayudante de

coagulación (goma de tara) a todas las jarras, de acuerdo con lo calculado anteriormente, esto se lleva a cabo durante los 60 primeros segundos cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida. Luego de ocurrido la mezcla rápida, la velocidad de rotación de las paletas se disminuye, a eso se le llama floculación y/o mezcla lenta. Luego de iniciado la floculación, a los 5 minutos se retiró la primera jarra, a los 10 minutos se retiró la segunda y así sucesivamente hasta que a los 30 minutos se retiró la última jarra; cada vez que se retira se coloca el sifoneador a cada uno y se deja sedimentar por 30 minutos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Cálculos del tiempo y velocidad óptima en el proceso de floculación y sedimentación por cada prueba

JARRAS	COAGULACIÓN		FLOCULACIÓN		SEDIMENTACIÓN	
	*Tiempo	V. Rápida	Tiempo	*V. Lenta	Tiempo	RPM
1	60 seg	300 rpm	5 min	60 rpm	20 min	0
		200 rpm			40 min	
					60 min	
2	60 seg	100 rpm	10 min	50 rpm	20 min	0
		300 rpm			40 min	
					60 min	
3	60 seg	200 rpm	15 min	60 rpm	20 min	0
		100 rpm			40 min	
					60 min	
4	60 seg	300 rpm	20 min	40 rpm	20 min	0
		300 rpm			40 min	
					60 min	

					40 min	
					60 min	
		200 rpm		50 rpm	20 min	0
					40 min	
					60 min	
		100 rpm		40 rpm	20 min	0
					40 min	
					60 min	
		300 rpm		60 rpm	20 min	0
					40 min	
5	60 seg	200 rpm	25 min	50 rpm	60 min	0
					20 min	
		100 rpm		40 rpm	40 min	0
					60 min	
					20 min	
		300 rpm		60 rpm	40 min	0
					60 min	
6	60 seg	200 rpm	30 min	50 rpm	20 min	0
					40 min	
		100 rpm		40 rpm	60 min	0
					20 min	
					40 min	
					60 min	

**La velocidad irá variando en cada prueba de jarra hasta escoger la óptima.*

*t1 y **v1 se obtienen de la prueba de floculación.

- c) Terminado todo el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, se procede a tomar las muestras de cada jarra y se mide la turbidez, pH, Conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.
- d) En seguida se determinó la turbidez residual (Tf) para cada muestra, se calculó la eficiencia remocional (Tf/To), se repitió el ensayo incrementando el gradiente de velocidad de acuerdo con el intervalo seleccionado y el procedimiento con cada una de las condiciones de turbidez, representativas a la calidad del agua de estudio existente.
- e) Se graficó en escalas aritméticas la eficiencia remocional (Tf/To) versus los tiempos de floculación de cada una de las jarras de las que proceden las

muestras analizadas. En este grafico se determinó el tiempo total de floculación, en función del punto en que se produce el menor valor de (T_f/T_o) .

- f) Posteriormente, se graficó los valores de T_f/T_o versus gradientes de velocidad, para cada tiempo de floculación analizado. En cada curva de tiempo se produce un punto mínimo (punto de inflexión de la parábola), que corresponde al gradiente de velocidad que optimiza con ese tiempo de retención. Este punto mínimo es el de máxima eficiencia remocional para el tiempo de retención correspondiente. En cada curva de tiempo se identifica el punto mínimo tomado el gradiente de velocidad óptimo correspondiente.

3.5.3. Ejecución de la Prueba de Jarra aplicando los cálculos ya establecidos

Para la prueba de jarras se tomó aproximadamente 35L en un bidón de 50L de envergadura, donde se requirió de 24L de agua residual (2L para cada jarra y 2L para la muestra control) (Figura 34).



Figura 34. Rotulado de cada vaso precipitado (a), Llenado de cada vaso con 2000 mL de agua residual doméstica (b).

Antes de aplicar los coagulantes y esperar que el proceso de coagulación, floculación y sedimentación culmine, se tomó la muestra control donde se requirió de 2 botellas (1 para DBO₅ de 1000mL y 1 para DQO de 250mL) (Anexo I, Figura 68), ya tomada la muestra, fueron enviados al laboratorio Delta Lab S.A.C, mientras que los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura) se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión (Figura 35).



Figura 35. Análisis fisicoquímicos realizados en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión antes de ejecutar la prueba de jarra.

Para la ejecución de la Prueba de Jarra se aplicó el diseño estadístico Diseño Central Compuesto Rotacional – Superficie de Respuesta con 11 tratamientos, esperando alcanzar el menor número posible de turbidez, DBO₅ y DQO. Para ello se empleó el siguiente procedimiento:

- a) Ya realizado los cálculos y las pruebas en el Laboratorio, con ayuda del Diseño experimental que aplicar, se ordena la concentración de organoarcilla, concentración de tara, dosis de tara, tiempo y velocidad (rápida y lenta) de la siguiente manera:

Tabla 8.

Cálculos establecidos para la aplicación de la prueba de jarra.

TRAT.	Concent. de Org. (gr)	Concent. de Tara (gr)	Dosis de Tara (ml)	Velocidad/tiempo alta (RPM)	Velocidad/tiempo baja (RPM)	Tiempo de Sedimen.
1	20	1	10	200 / 1´	50 / 15´	60´
2	30	1	10	300 / 1´	40 / 15´	60´
3	20	2	10	300 / 1´	50 / 15´	60´
4	30	2	10	200 / 1´	40 / 15´	60´
5	20	1	20	200 / 1´	40 / 15´	60´
6	30	1	20	300 / 1´	50 / 15´	60´
7	20	2	20	300 / 1´	40 / 15´	60´
8	30	2	20	200 / 1´	50 / 15´	60´
9	25	1.5	15	250 / 1´	45 / 15´	60´
10	25	1.5	15	250 / 1´	45 / 15´	60´
11	25	1.5	15	250 / 1´	45 / 15´	60´

- b) Se trabajó con 11 tratamientos o también llamados jarras, es decir, con 11 vasos precipitados de 2000mL en 2 equipos (4 vasos en dos repeticiones y 3 vasos en una repetición), cada vaso fue llenado con 2L del agua residual doméstica ya recolectada y se colocaron sus respectivos deflectores dentro (Figura 34).
- c) Se preparó 11 sifones para retirar la muestra, 11 vasos precipitados de 1000mL, 1 phmetro, 1 oxímetro, 1 conductímetro y 1 turbidímetro para analizar las

muestras después de aplicar el proceso de coagulación-floculación y sedimentación.

- d) Se pesó 20, 35 y 30g de organoarcilla (Figura 36) y se mezcló uniformemente con 150mL del agua residual doméstica de cada tratamiento (Figura 37).

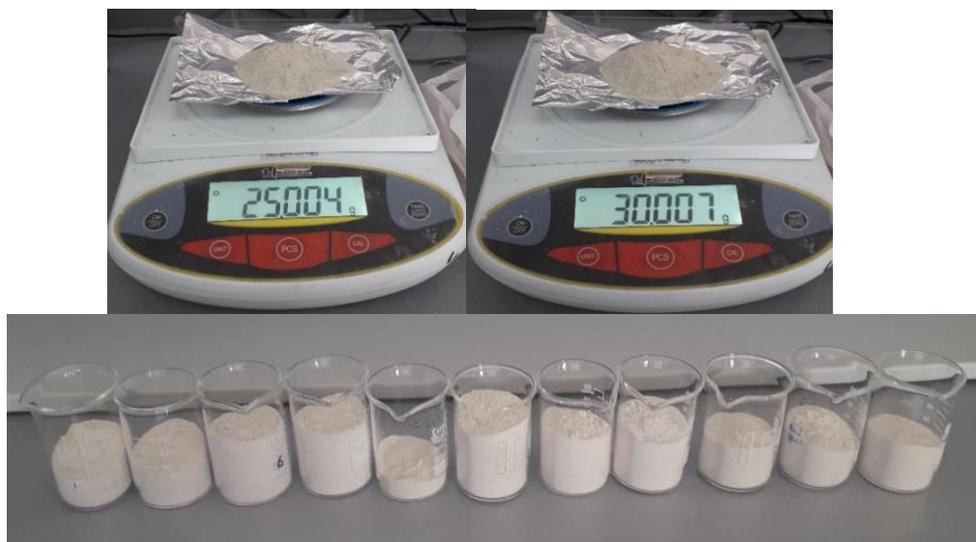


Figura 36. Pesado de la organoarcilla en 20, 25 y 30g.



Figura 37. Mezcla con 150mL de agua residual doméstica.

- e) Se pesó 1, 1.5 y 2g de goma de tara respectivamente, enseguida para tener una solución madre (10%) se agrega en una fiola de 100mL a cada cantidad

previamente pesada y se envasa con agua destilada. Para tener una dilución del 0.5%, con una pipeta se retira 50mL de la solución madre, se coloca en una fiola de 100mL y se envasa con agua destilada (Figura 38).

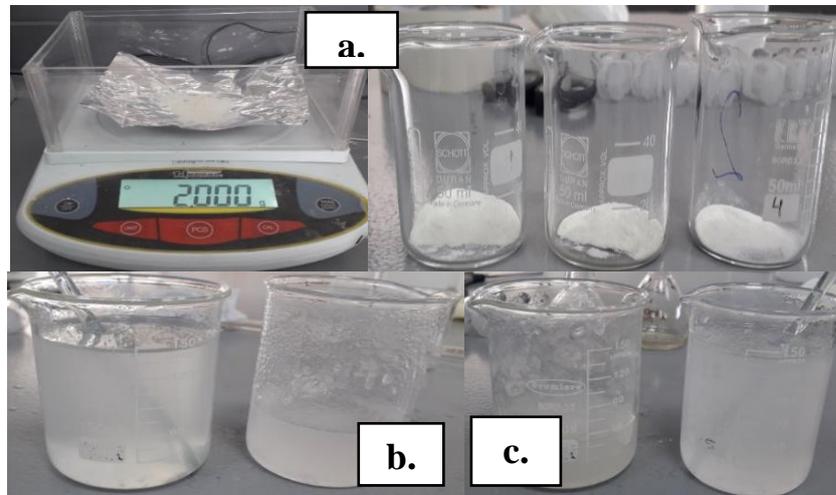


Figura 38. Pesado de la goma de tara en 1, 1.5 y 2g (a), preparación de la solución madre al 10% mezclada con agua destilada (b), y preparación de la dilución al 0.5% de la solución madre mezclada con agua destilada (c).

f) Preparado las soluciones de tara al 0.5%, se procedió a alistar el volumen del coagulante en cada jeringa hipodérmica rotulada para cada tratamiento, los volúmenes fueron: 10, 15 y 20mL respectivamente (Figura 39).



Figura 39. Llenado de las 11 jeringas con el volumen correspondiente (10, 15 y 20mL) de goma de tara al 0.5% previamente rotulado.

g) Una vez listo todos los cálculos, materiales e insumos destinados a cada jarra, arrancamos con el funcionamiento del equipo en 3 etapas:

- Primera etapa: Se colocan las 4 primeras jarras en el equipo (Tratamiento 1, 4, 5 y 8), con una velocidad de 200 RPM por 60 segundos (en este lapsus de tiempo se añade primero la organoarcilla previamente mezclada y seguido la goma de tara) y al culminar el primer tiempo se reduce la velocidad a 50 RPM por 15 minutos (Figura 40 – 41,42).



Figura 40. Primeras 4 jarras en el equipo (Tratamiento 1, 4, 5 y 8).

- Segunda etapa: Culminado la primera etapa, se colocan las 4 siguientes jarras en el equipo (Tratamiento 2, 3, 6 y 7), con una velocidad de 300 RPM por 60 segundos (en este lapsus de tiempo se añade primero la organoarcilla previamente mezclada y seguido la goma de tara) y al culminar el primer tiempo se reduce la velocidad a 40 RPM por 15 minutos (Figura 40 – 41,42).



Figura 41. Siguientes 4 jarras en el equipo (Tratamiento 2, 3, 6 y 7).

- Tercera etapa: Culminado la segunda etapa, se colocan las 3 últimas jarras en el equipo (Tratamiento 9, 10 y 11), con una velocidad de 250 RPM por 1 minuto (en este lapsus de tiempo se añade primero la organoarcilla previamente mezclada y seguido la goma de tara) y al culminar el primer tiempo se reduce la velocidad a 45 RPM por 15 minutos (Figura 40 – 41,42).

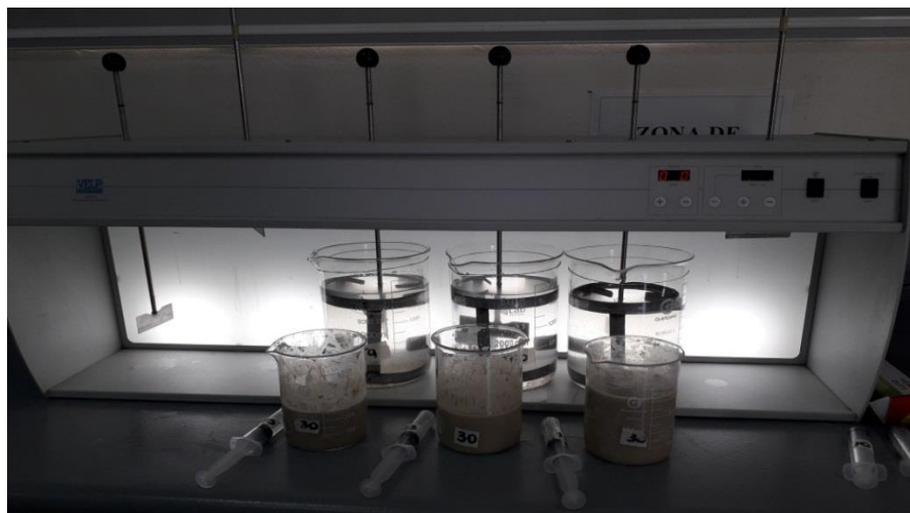


Figura 42. Últimas 3 jarras en el equipo (Tratamiento 9, 10 y 11).



Figura 44. Ejecución de la prueba de jarra.

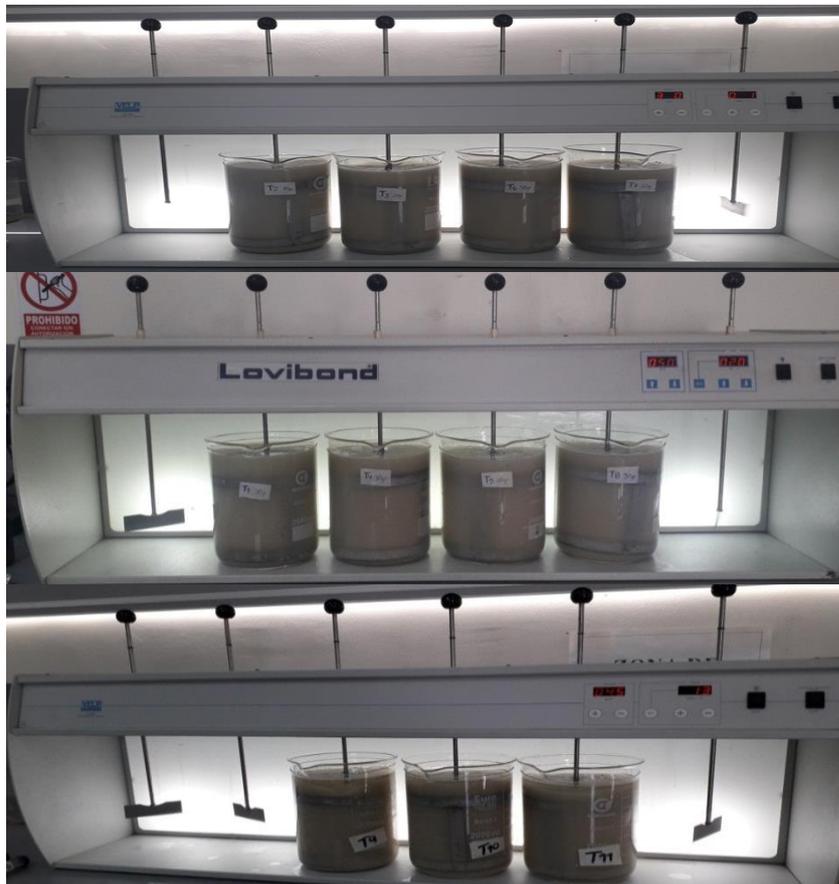


Figura 43. Funcionamiento de Prueba de jarra.

- h) Se debe tener en cuenta que la aplicación de los coagulantes debe ser al centro de la jarra, de forma correcta (Figura 45).



Figura 45. Aplicación correcta de la goma de tara al centro de la jarra.

- i) En este transcurso nos fijamos en la primera formación de los flóculos y ya se puede comprobar el índice de Willcomb (Figura 46).

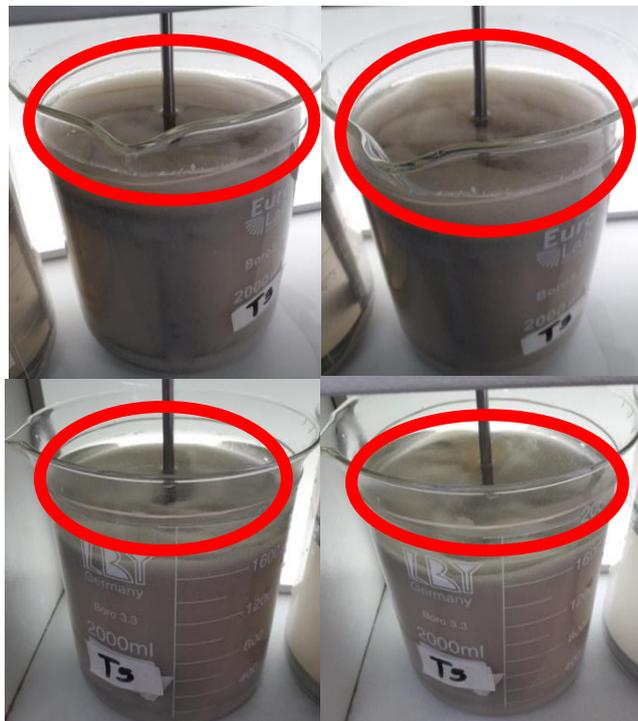


Figura 46. Índice de Willcomb en prueba de jarras a escala laboratorio.

- j) Al finalizar el tiempo con los procesos simulados de mezcla, coagulación y floculación, se colocan las jarras en una mesa, se retiran con mucho cuidado los

deflectores, se colocan los sifones sujetos con una liga alrededor de la jarra y se controla 60 minutos para el proceso simulado de sedimentación (Figura 47).

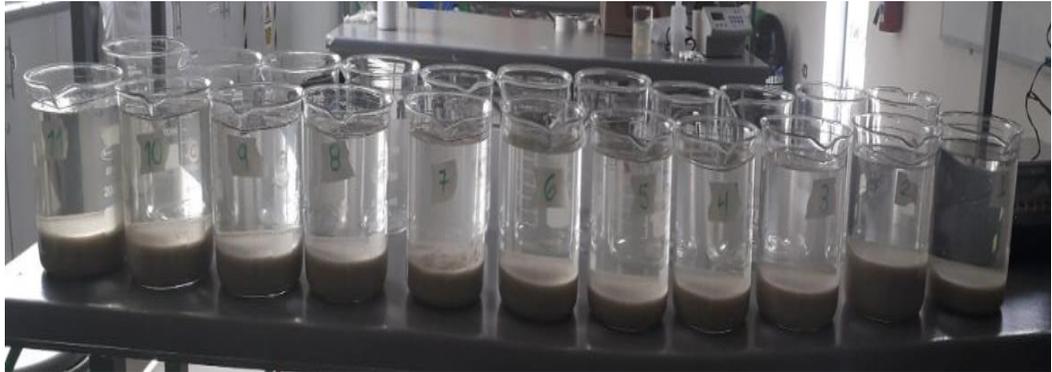


Figura 47. Proceso simulado de sedimentación (con sus sifones y sin deflectores).

- k) Cinco minutos antes de que culmine todo el proceso de sedimentación con mucho cuidado se retira 10 ml del agua atrapada en el sifón (Figura 48).



Figura 48. Retiro de los 10mL del agua atrapada en el sifón, pasado los cinco minutos del proceso de sedimentación.

- l) Finalmente pasamos a extraer las muestras en 11 vasos precipitados de 1000mL que alistamos inicialmente (Figura 49), para el análisis de turbidez, DBO₅, DQO, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH.

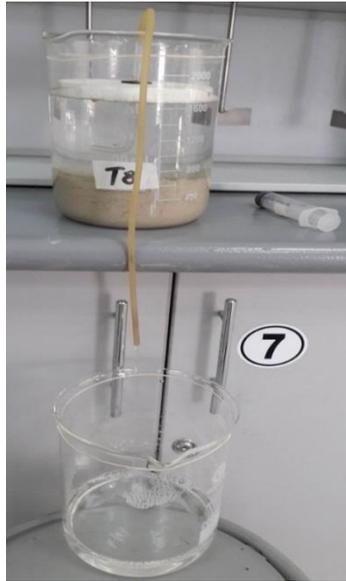


Figura 49. Extracción de muestras para su posterior análisis.

m) Después de aplicar los coagulantes y esperar que el proceso de coagulación, floculación y sedimentación culmine, se tomaron las muestras de cada tratamiento para cada análisis, donde se requirieron de 22 botellas (11 para DBO_5 de 1000mL y 11 para DQO de 250mL), ya tomada la muestra, fueron enviados al laboratorio Delta Lab S.A.C (Figura 51), mientras que los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura) se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión (Figura 50).

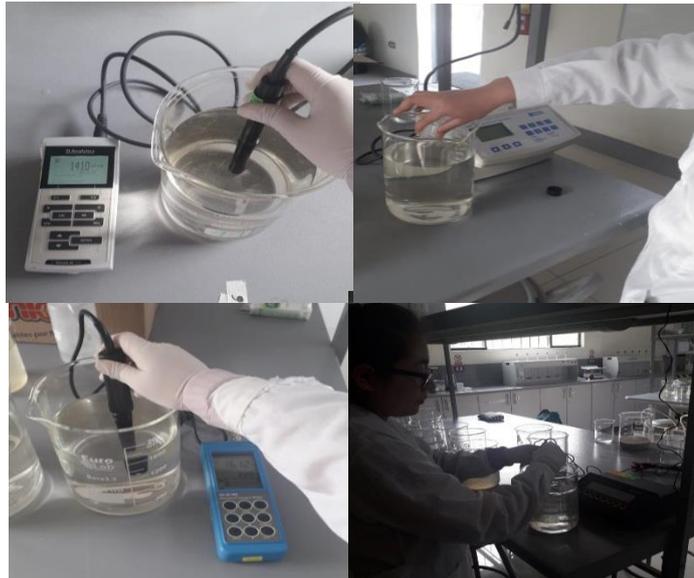


Figura 50. Las 11 Muestras de cada tratamiento y Envases con las muestras tomadas de DBO₅ y DQO llevados al laboratorio



Figura 51. Análisis fisicoquímicos realizados en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión, después de ejecutar la prueba de jarra.

3.6. Diseño de experimentos y optimización de procesos

3.6.1. Diseño estadístico

El diseño experimental esta dividió en 2 etapas, cada etapa estructurado por un diseño estadístico. Primera etapa por el Diseño Screening Fraccionado 2^{n-x} , segunda etapa el Diseño Central Compuesto Rotacional - Superficie de Respuesta).

Las variables independientes y dependientes del diseño experimental son mostradas en la Tabla 9.

Tabla 9.

Variables del diseño experimental

Tipo de Variables	Variables	Unidad
Dependiente	Turbidez	NTU
	DBO ₅	mg/L
	DQO	mg/L
Independiente	Concentración de Organoarcilla	g/100mL
	Concentración de Goma de tara	g/100mL
	Dosis de Goma de Tara	mL
	Velocidad Lenta	RPM
	Velocidad Rápida	RPM

3.6.1.1. Diseño experimental factorial fraccionado

Para analizar los efectos de los parámetros, fueron evaluadas mediante el diseño experimental Screening 2^{n-x} con replica, totalizando 11 tratamientos (Rodrigues y Lemma, 2014), teniendo como variables independientes con sus niveles menores y mayores mostrados en la Tabla 10. La función de la respuesta (Y) fue generada en los componentes lineales e interactivos y los datos experimentales serán ajustados al modelo de primer orden como se muestra a continuación (Rodrigues y lemma, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 5.}$$

Dónde:

Y es la respuesta predicha medida (Turbidez, DBO₅ y DQO).

β_0 es el intercepto.

β_i y β_{ij} son los coeficientes del modelo (lineal e interacción, respectivamente).

X_i y X_j son los valores codificados de las variables independientes.

Tabla 10.

Niveles de variables independientes para el diseño factorial fraccionado.

Niveles		
Parámetros (variables independientes)	+1	-1
A: Concentración de Organoarcilla (g/100mL)	30 (1.50)	20 (1.00)
B: Concentración de Goma de Tara (g/100mL)	2	1
C: Volumen de Dosis de Goma de Tara (%) (mL)	20	10
D: Velocidad Rápida (RPM)	200	300
E: Velocidad Lenta (RPM)	50	40

Tabla 11.

Codificación de las variables independiente del diseño factorial fraccionado

Variables Independientes Codificados					
Tratamientos	A	B	C	D	E
1	20 (1.00)	1	10	200	50
2	30 (1.50)	1	10	300	40
3	20 (1.00)	2	10	300	50
4	30 (1.50)	2	10	200	40
5	20 (1.00)	1	20	200	40
6	30 (1.50)	1	20	300	50
7	20 (1.00)	2	20	300	40
8	30 (1.50)	2	20	200	50

Para ejecutar el primer nivel del diseño de optimización de procesos se definió los niveles de concentración o condición de los diferentes factores que se muestran en el Tabla 11, este mismo diseño usó Moreno et al., (2011) donde se identificó factores

independientes que podrían tener efecto en la variable respuesta permitiendo maximizar diferentes combinaciones entre las variables independientes.

3.6.1.2. *Diseño central compuesto rotacional (DCCR)*

Para optimizar los parámetros por superficie de respuesta de segundo orden para la turbidez se empleó el diseño central compuesto (DCCR) con 2 repeticiones en los puntos centrales, dado un total de 11 tratamientos (Rodrigues y lemma, 2014). Los rangos y niveles de las variables independientes utilizados en la forma codificada y no codificada se muestran en la Tabla 12 y 13.

Los experimentos fueron ejecutados en orden aleatorio y el tratamiento de datos para comparar el efecto de los tratamientos. La variable dependiente (Y) fue generada en modelos de función lineal, cuadrática e interacción y los datos experimentales fueron ajustados al modelo polinomial de segundo orden como se muestra en la siguiente ecuación (Rodrigues y lemma, 2014):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^z \beta_i X_i + \sum_{i=1}^z \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^z \beta_{ij} X_i X_j \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 6.}$$

Dónde:

Y: es la variable dependiente predicha.

β_0 : Coeficiente intercepto.

β_i , β_{ii} y β_{ij} : Coeficientes del modelo lineal, cuadrático e interacción, respectivamente.

X_i y X_j : Valores codificados de las variables independientes.

Tabla 12.

Niveles para el diseño de superficie de respuesta (DCCR) para turbidez

	Niveles				
Parámetros (variables independientes)	-1.414	-1	0	+1	1.414
A: Concentración de Organoarcilla (gr/100mL)	12.9 (0.6465)	20 (1)	25 (1.25)	30 (1.5)	36.5 (1.8535)
B: Concentración de Goma		1	2	3	

de Tara (gr/100mL)					
C: Volumen de Dosis de Goma de Tara (%) (mL)		10	20	30	
D: Velocidad Rápida (RPM)		200	300	400	
E: Velocidad Lenta (RPM)	15.86	30	40	50	64.14

Tabla 13.

VARIABLES DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ, DBO₅ Y DQO.

Tratamiento	Concentración de Organoarcilla g/100 ML	Velocidad Lenta (RPM)
1	20 (1)	30
2	20 (1)	50
3	30 (1.5)	30
4	30 (1.5)	50
5	12.93 (0.65)	40
6	37.07 (1.85)	4
7	25 (1.25)	15.86
8	25 (1.25)	64.14
9	25 (1.25)	40
10	25 (1.25)	40
11	25 (1.25)	40

3.6.2. Análisis estadístico

Para el diseño factorial fraccionada fueron analizados la significancia de los parámetros mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el coeficiente de determinación (R^2), donde se generó el modelo de primer orden con coeficiente significantes.

Para optimizar los parámetros (variables independientes) fue utilizada la metodología de superficie de respuesta por DCCR para generar un modelo cuadrático, se analizó por ANOVA a intervalo de confianza de 90%, el coeficiente de determinación del modelo (R^2 y R^2_{adj}), tabla de efectos, regresiones en error puro para generar el ajuste del modelo.

Según Barros et al., (2001) y Khru y Cornell (1996) mencionan que el coeficiente de determinación (R^2) mide la proporción de variación total de la respuesta que es explicada por el modelo, de modo cuanto mayor R^2 , esto es cuando más cercano a 1, menor será el

error y mejor será el ajuste del modelo a las respuestas observadas (Barros et al., 2003).
Fueron realizados utilizando el programa Statistica 13.4 A través de este programa fue posible analizar los efectos de las variables independientes sobre las variables de respuesta.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de las propiedades morfológicas y estructurales de la organoarcilla.

La composición mineralógica y la distancia interlaminar de los componentes de la organoarcilla fue determinada mediante Difracción de Rayos X (DRX), la organoarcilla fue preparada con sales cuaternarias de amonio, a una temperatura de 80°C. En la Figura 52 y 53 se muestra el difractograma de Rayos X con los picos principales y sus distancias interlaminares. Los picos de la organoarcilla fueron analizados en un ángulo de 0°-90°. En la Tabla 16, se muestra la composición química de la organoarcilla del tipo bentonita después del proceso de activación química, donde los resultados muestran que predomina el óxido de silicio (SiO) tetraédrico y hexaédrico, Magnesio, Aluminio y Calcio. En la Tabla (14 y 15) muestran los resultados de los picos en un ángulo de $2\theta=3.4788^\circ$ el cual tiene un espacio interlaminar de 25.39 (Å) pero este pico no presenta ningún descenso, pero se puede observar que en el ángulo $2\theta=4.902^\circ$ presenta un pico ascendente y decreciente teniendo un espacio interlaminar de 18.025 (Å) y 1.8025 de distancia interlaminar que se observa en la Tabla 14.

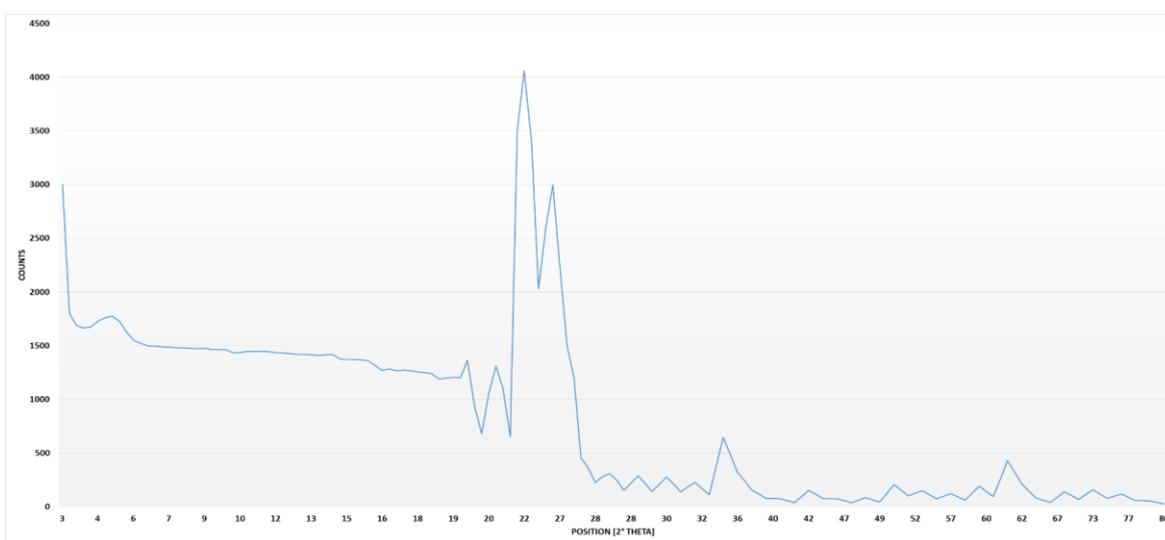


Figura 52. Difracción de Rayos X de la muestra de organoarcilla en ángulo de 10° a 90°

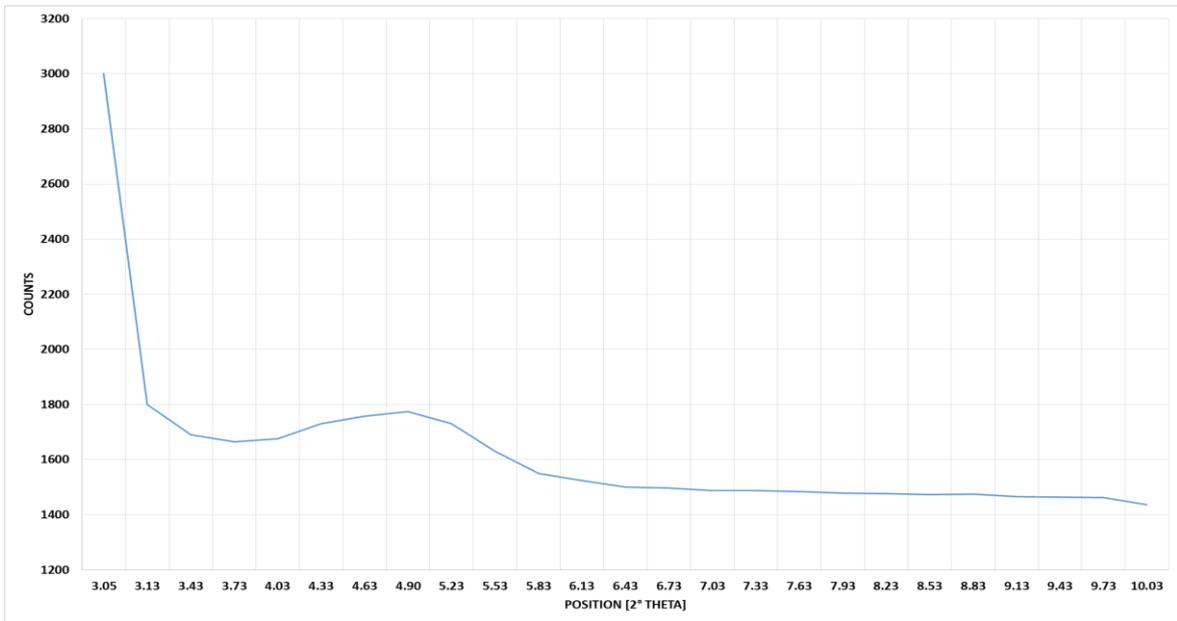


Figura 53. Difracción de rayos X de la organoarcilla de un ángulo de 0°- 40°.

Aplicando la expresión de la Ley de Bragg los resultados son los que se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14.

Resultados de la Amplitud a diferentes ángulos.

Pos. [°2Th]	Altura [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-espaciado [Å]	Rel. Int. [%]
3.4788	18717.7	0.3739	25.39877	100
4.9026	1774.73	0.3739	18.02525	9.48
9.8888	224.32	0.3491	8.93736	1.2
19.8099	1738.15	0.187	4.48181	9.29
22.0321	6403.41	0.1496	4.03455	34.21
26.6822	3858.24	0.1309	3.34104	20.61
27.9113	507.58	0.3739	3.19664	2.71
31.5600	297.29	0.5983	2.83491	1.59
34.9076	531	0.5983	2.57033	2.84
36.1577	1169.06	0.2991	2.48428	6.25

Tabla 15.

Distancia interlaminar de la organoarcilla.

2θ	Distancia (d) interlaminar [Å]	Distancia (d) interlaminar [nm]
4.902	18.025	1.8025

Tabla 16.

Composición química de la organoarcilla.

Visible	Ref. Code	Puntuación	Nombre del compuesto	Desplazamiento [$^{\circ}2\theta$]	Factor de escala	Formula química
*	01-077-1316	61	Óxido de Silicio	0	0.936	SiO ₂
*	03-065-0466	58	Óxido de Silicio	0	0.459	SiO ₂
*	00-003-0428	24	Calcio Magnesio Aluminio Silicato	0	0.139	Ca - Mg - Al - Si - O

El análisis se realizó con el equipo de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con la cual se identifica el tamaño y la forma de la organoarcilla, como se muestra en la Figura 54 muestra los resultados del análisis a 500 nm, 3.0 kVx8.5 mm x 100 k SE (U), en la Figura 55 muestra los resultados del análisis de acuerdo a las siguientes características 1um 20.00kV magnitud de 10.00 KX 7.0 mm.

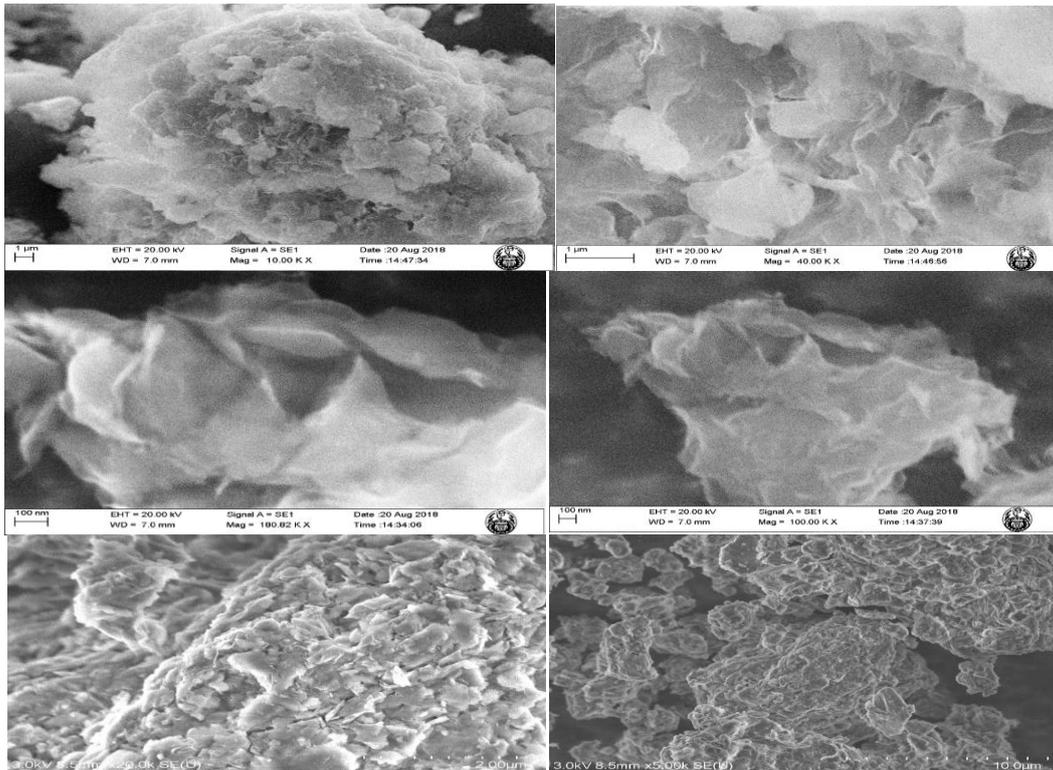


Figura 54. Micrografía de la organoarcilla a una ampliación de 10.00 k

En la micrografía es posible observar claramente la extensión del material empleado, la organoarcilla MMT cuyas micropartículas presentan superficie tanto lisa como rugosa en la cual predomina ésta última si se observa a nivel tridimensional, puesto que si se observa la micrografía que da un tamaño de 2 a 3 μm aproximadamente con una vista ampliada unidimensional se observa una amplia superficie lisa.

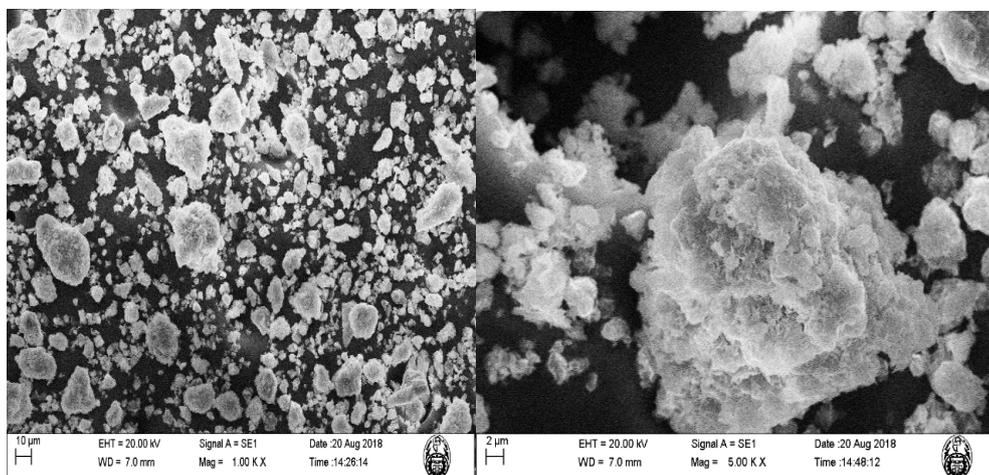


Figura 55. Micrografía de arcilla modificada a una ampliación de 1. 00 k

Según la micrografía de las Figuras (54 y 55), se puede apreciar que para la organoarcilla sódica activada con Sal Cuaternaria de Amonio no presenta uniformidad en el tamaño de la partícula debido a que en el fondo de las imágenes se distinguen partículas de un tamaño mucho menor.

4.2. Resultados del diseño de experimento

A continuación, se muestran los resultados de la combinación de niveles.

4.2.1. Diseño de experimentos de Factorial Fraccionado

Tabla 17.

Combinación de niveles de la primera etapa Diseño Screening – Fraccionado 2^{n-x}

Código de muestra	VARIABLES INDEPENDIENTES (factores)						VARIABLES DE RESPUESTA					
	Concent. de Organoarcilla (g/100mL)		Concent. de Tara (g/100mL)	Dosis de Tara (%) (mL)	Velocidad máxima (RPM)	Velocidad mínima (RPM)	Turbidez (NTU)	pH	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
T1	1.00	20	1	10	200	50	6.94	7.96	8.10	38.00	879	18.95
T2	1.50	30	1	10	300	40	6.70	8.04	8.60	38.00	1013	19.16
T3	1.00	20	2	10	300	50	4.61	7.94	13.60	44.67	883	19.58
T4	1.50	30	2	10	200	40	16.85	7.98	8.10	48.00	1011	19.89
T5	1.00	20	1	20	200	40	6.31	7.93	8.00	41.33	872	19.95
T6	1.50	30	1	20	300	50	9.37	7.94	14.60	44.67	987	20.86
T7	1.00	20	2	20	300	40	1.53	7.92	9.80	44.67	867	21.47
T8	1.50	30	2	20	200	50	10.56	7.91	12.10	44.67	1008	21.40
T9	1.25	25	1.5	15	250	45	9.10	7.93	10.50	41.33	949	22.33
T10	1.25	25	1.5	15	250	45	5.21	7.87	12.30	38.00	942	23.01
T11	1.25	25	1.5	15	250	45	3.67	7.92	10.50	48.00	936	23.45

En la Tabla 17, se detalla las combinaciones de los niveles para la primera etapa de optimización de procesos, donde cada factor interactúa a diferentes niveles o condiciones.

4.2.1.1. Remoción de DBO_5 .

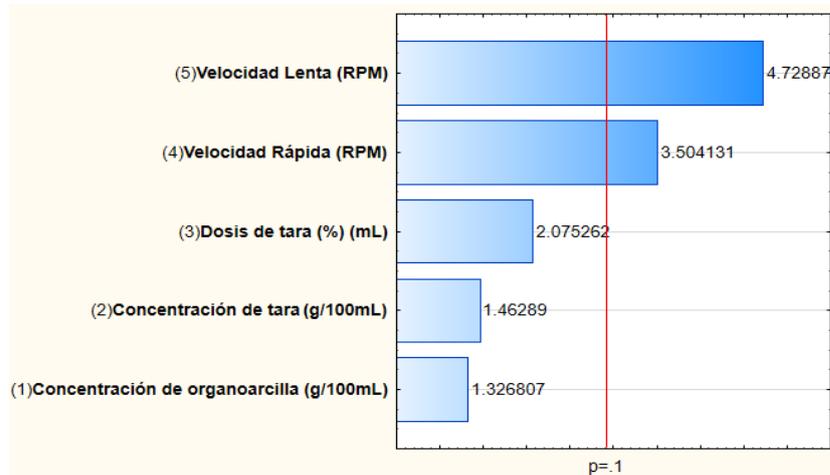


Figura 56. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DBO_5 .

En la Figura 56, se presenta el diagrama de Pareto, el cual muestra gráficamente los factores más importantes en las variables respuesta que viene a ser la remoción de DBO_5 .

A continuación, se detalla gráficamente diferentes interacciones entre las variables independientes y su efecto en la variable de respuesta.

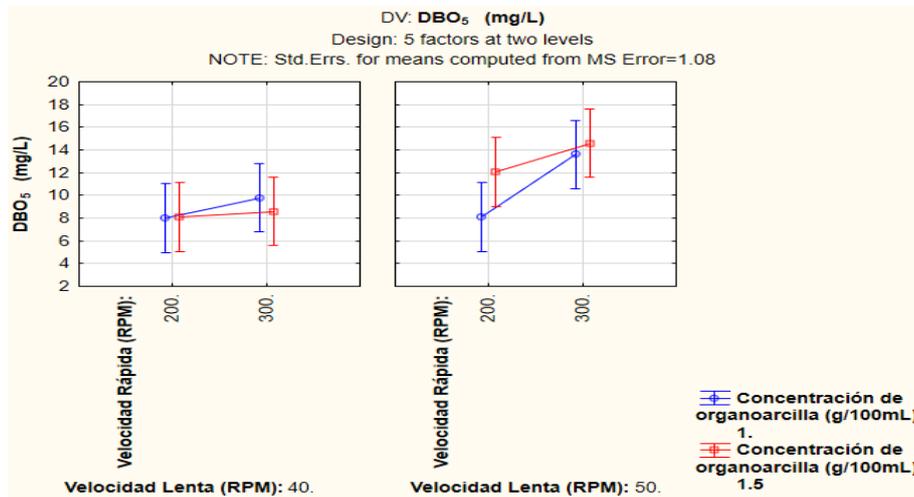


Figura 57. Interacción de factores en la remoción de DBO₅ (velocidad rápida, velocidad lenta y concentración de organoarcilla).

En la Figura 57, se detallan las interacciones entre tres factores independientes (velocidad rápida, velocidad lenta y concentración de organoarcilla) sobre los efectos que tienen en la remoción de DBO₅, mostrando que el resultado mejor en la remoción de DBO₅, es a una condición, donde la velocidad rápida (200 rpm), velocidad lenta (40 rpm) y concentración de organoarcilla (1.5 g/100mL).

4.2.1.2. Remoción de DQO

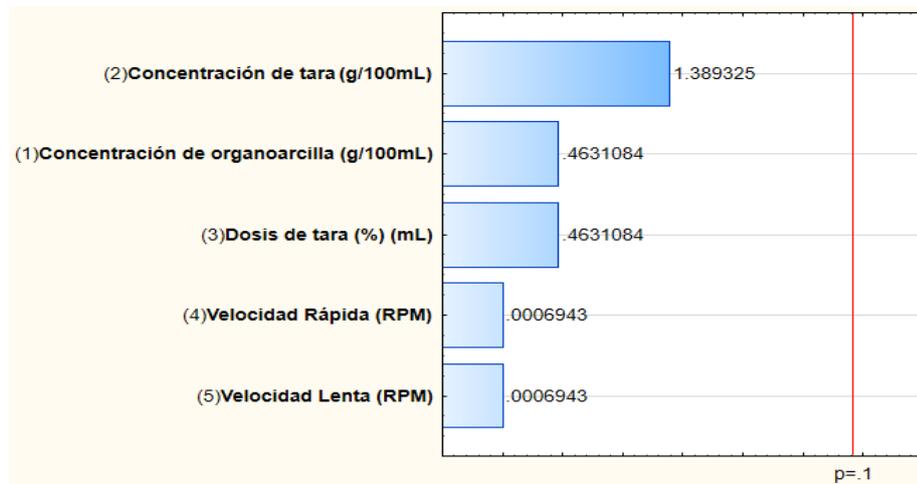


Figura 58. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DQO.

En la Figura 58, se presenta el diagrama de Pareto, el cual muestra gráficamente los factores más importantes en las variables respuesta que viene a ser la remoción de DQO.

A continuación, se detalla gráficamente diferentes interacciones entre las variables independientes y su efecto en la variable de respuesta.

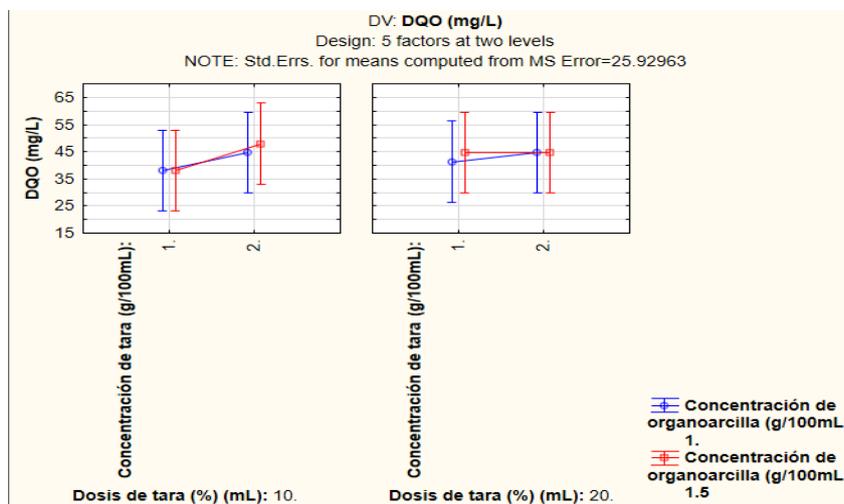


Figura 59. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, DQO.

En la Figura 59, se detallan las interacciones entre tres factores independientes (concentración de tara, dosis de tara y concentración de organoarcilla), sobre los efectos que tienen en la remoción de DQO, mostrando que el resultado óptimo en la remoción de DQO, es a una condición, donde la concentración de tara (1 g/100mL), dosis de tara (10 mL) y concentración de organoarcilla (1.5 g/100mL).

4.2.1.3. Remoción de Turbidez

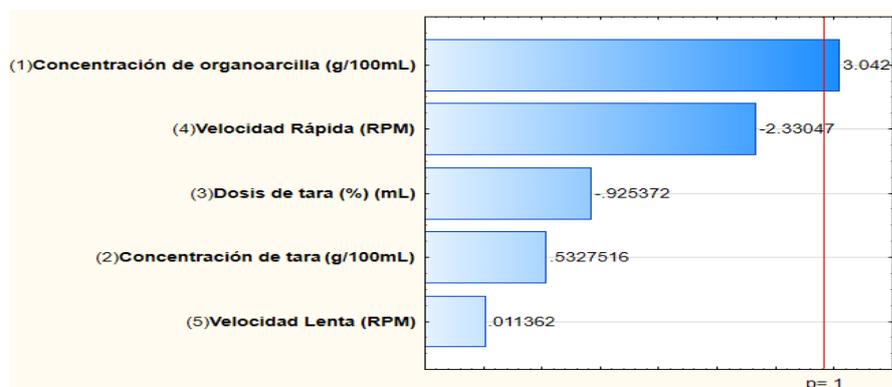


Figura 60. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta, turbidez.

En la Figura 60 se presenta el diagrama con Pareto, el cual muestra gráficamente los factores más importantes en las variables respuesta que viene a ser la remoción de turbidez.

A continuación, se detalla gráficamente diferentes interacciones entre las variables independientes y su efecto en la variable de respuesta.

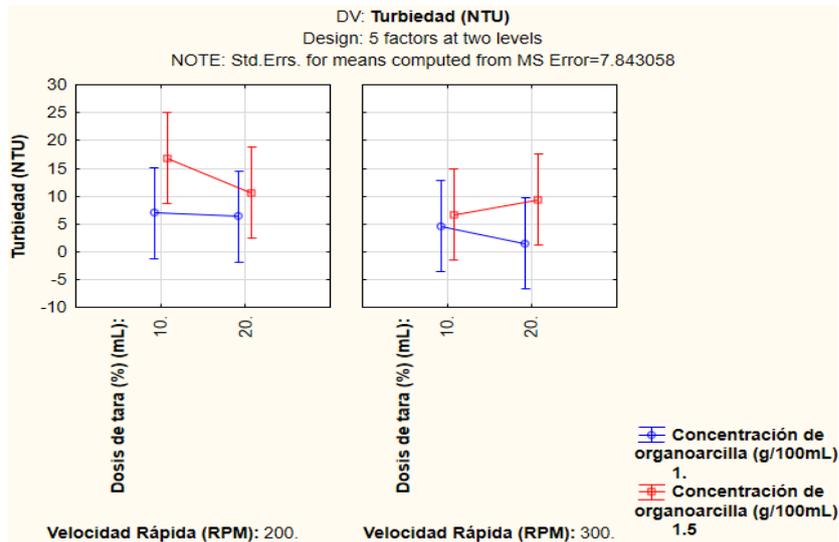


Figura 61. Interacción de factores en la remoción de Turbidez (dosis de tara, velocidad rápida y concentración de organoclay).

En la Figura 61, se detallan las interacciones entre tres factores independientes (dosis de tara, velocidad rápida y concentración de organoclay) sobre los efectos que tienen en la remoción de turbidez, mostrando que el resultado óptimo en la remoción de turbidez es a una condición, donde la dosis de tara (20mL), velocidad rápida (300 rpm) y concentración de organoclay (1 g/100mL).

4.2.2. Superficie de Respuesta por Diseño Central Compuesto Rotacional

En la Tabla 18, se detalla las combinaciones de los niveles para la segunda etapa de optimización de procesos, donde cada factor interactúa a diferentes niveles o condiciones.

Tabla 18.

Combinación de niveles de la segunda etapa, Diseño Central Compuesto Rotacional - Superficie de Respuesta.

Código de muestra	VARIABLES INDEPENDIENTES (factores)						VARIABLES DE RESPUESTA				
	Concent. de Organoarcilla (g/100mL)		Concent. de Tara (g/100mL)	Dosis de Tara (%)	Velocidad rápida (RPM)	Velocidad lenta (RPM)	Turbidez (NTU)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Conductividad Eléctrica (us/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
T1	20	1	2	20	300	30	2.82	111.30	235.00	1233	21.67
T2	20	1	2	20	300	50	2.12	107.30	221.33	1184	21.88
T3	30	1.5	2	20	300	30	3.13	120.00	251.33	1263	22.38
T4	30	1.5	2	20	300	50	2.67	94.30	191.33	1116	23.00
T5	12.93	0.65	2	20	300	40	5.39	110.00	228.00	1277	24.28
T6	37.07	1.85	2	20	300	40	2.10	108.30	224.67	1253	36.72
T7	25	1.25	2	20	300	15.86	6.36	107.30	224.69	1129	37.69
T8	25	1.25	2	20	300	64.14	2.11	94.70	201.33	1112	38.17
T9	25	1.25	2	20	300	40	2.04	107.30	224.67	1393	37.38
T10	25	1.25	2	20	300	40	1.85	112.70	241.33	1416	38.63
T11	25	1.25	2	20	300	40	1.60	108.30	228.00	1403	39.04

Si se precisa reutilizar estas aguas tratadas, su empleo sería de acuerdo con el ECA-004--2017-MINAM, para Riego de Vegetales, sin embargo, los valores que aplican sería pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto y no DBO₅ y DQO puesto que los valores se mantienen por demás de los valores establecidos en la normativa peruana como lo muestra en la Tabla 19.

Tabla 19.

Resultados del análisis pre y post del Tratamiento 2 para cada parámetro, comparado con el ECA-004- 2017-MINAM, para riego de vegetales.

PARÁMETROS	Turbidez	DBO ₅	DQO	pH	Temp.	Cond. Eléctrica	O. Disuelto
ECA-004--2017-MINAM, para Riego de Vegetales	-	15 mg/L	40 mg/L	6.5-8.5	3 °	2500 us/cm	>4 mg/L
Valor Inicial Pre-análisis 2	75.7	300	628	6.17	23.4	1793	9.04
Tratamientos	Valores Post Tratamiento						
1	2.815	111.30	235.00	7.96	21.5	1233	21.67
2	2.115	107.30	221.33	8.04	21.7	1184	21.88
3	3.125	120.00	251.33	7.94	22	1263	22.38
4	2.665	94.30	191.33	7.98	21.3	1116	23
5	5.39	110.00	228.00	7.93	21.6	1277	24.28
6	2.1	108.30	224.67	7.94	21.9	1253	36.72
7	6.355	107.30	224.69	7.92	22.03	1129	37.69
8	2.105	94.70	201.33	7.91	22.05	1112	38.17
9	2.04	107.30	224.67	7.93	22.09	1393	37.38
10	1.845	112.70	241.33	7.87	22.05	1416	38.63
11	1.6	108.30	228.00	7.92	22.01	1403	39.04

Según Hoekstra et al. (2012), la temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (Rodríguez, 2009). Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la

desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Fúquene y Yate, 2018).

Muthuraman et al. (2013) afirman que, la producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas (Vigneswaran, 2009). La concentración total de Oxígeno Disuelto dependerá del balance entre todos estos fenómenos (Chhetri et al., 2017). El nivel de oxígeno disuelto en el agua es uno de los parámetros más importantes para determinar su calidad, porque indica indirectamente si existe algún tipo de contaminación bacteriológico (Walsh et al., 2011).

Estudios realizados por (Aguilar et al., 2014) mencionan que la Conductividad Eléctrica es una medida de la facilidad con que la corriente eléctrica puede pasar a través del agua. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, de su valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición (Zhang et al., 2015), un aumento de conductividad indica una mayor presencia de sólidos disueltos totales o de minerales en el agua (Aguilar y Rigail, 2006).

Según Acosta, (2006) el gradiente de mezclado también llamado velocidad de agitación, es definido como medida de la frecuencia de los cambios de dirección de un proceso de mezclado, además detalla que los polímeros orgánicos se desplazan más lento que los iones metálicos. En los estudios desarrollados por Hernando et al. (2008), sobre el estado del arte del tratamiento de agua mencionan, que es importante considerar el tiempo que se realiza a la prueba de jarra, su recomendación es de 15 minutos y un tiempo de reposo de 30 minutos, se menciona también que a tiempos prolongados de agitación la muestra tiende a elevar la temperatura y los flóculos formados se rompen y el tiempo de sedimentación se incrementa; mientras que Aguilar (2010), fundamenta que el tiempo óptimo de floculación en la prueba de jarras se estima de 20 a 40 minutos: la variación superior o inferior al tiempo óptimo produce resultados inaceptables.

4.2.2.1. Resultados de la remoción de DBO₅

Tabla 20.

Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de DBO₅,
Postratamiento.

Factores	SS	df	MS	F - valor	p - valor
(1) Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (L)	4.5083	1	4.5083	0.54624	0.536827
Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (Q)	0.1789	1	0.1789	0.02168	0.896441
(2) Velocidad Lenta (RPM)(L)	231.4951	1	231.4951	28.04868	0.033852*
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	91.7638	1	91.7638	11.11839	0.079379*
1L by 2L	117.7225	1	117.7225	14.26363	0.063503*
Lack of Fit	70.1837	3	23.3946	2.83456	0.271553
Error Puro	16.5067	2	8.2533		
Total, SS	543.3691	10			

(*) Significativo $p < 0.10$ y efecto significativo. $R^2 = 0.84046$, R^2 -ajustado = 0.68092

En la Tabla 20, se muestran los resultados de la ANOVA con respecto a la DBO₅ luego de aplicar el tratamiento, indicando un coeficiente de determinación (R^2) de 84%. Para identificar estos factores más influyentes ubicamos que el p – valor sea menor que el nivel de significancia que es de 0.10%, y las que cumplen esta condición predeterminada son los factores de mayor importancia que inciden en la variable respuesta, en este caso fueron velocidad lenta (rpm) (L) fue significativa, seguida de la velocidad lenta (rpm) (Q); así mismo la interacción de la concentración de la organoarcilla y la velocidad lenta fueron significativas. La falta de ajuste muestra no significancia, quiere decir que el ajuste del modelo es estadísticamente significativo por lo tanto el modelo es representativo y predictivo.

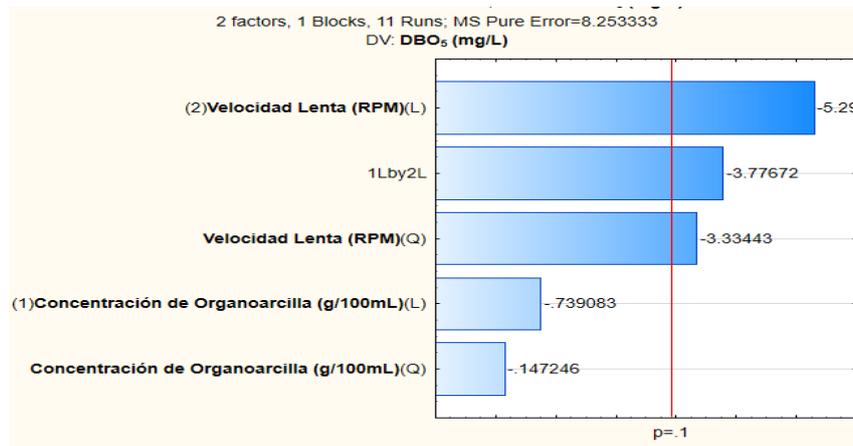


Figura 62. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, DBO₅.

En la Figura 62, se presenta el diagrama de Pareto, donde se muestra gráficamente los factores más importantes en la variable de respuesta, que en este caso para la remoción de DBO₅.

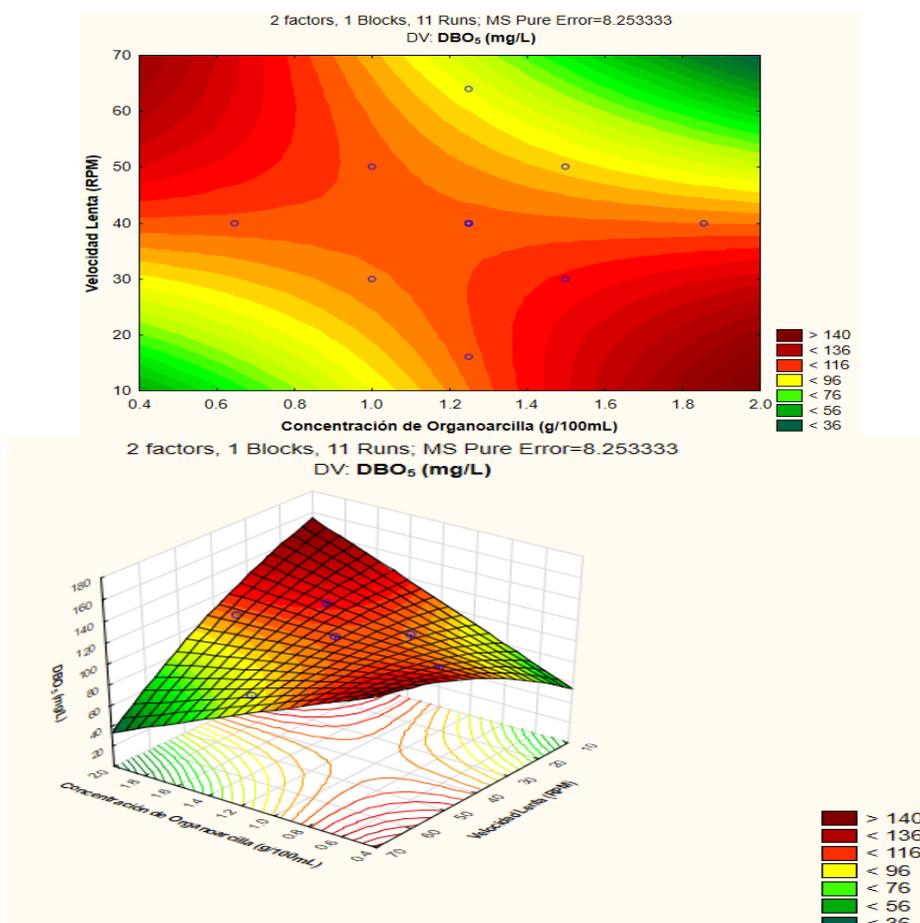


Figura 63. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la DBO₅.

De acuerdo con la Figura 63, se muestra la interacción de dos variables independientes entre la concentración de organoarcilla y la velocidad lenta en la remoción de DBO_5 (mg/L), la combinación de concentración de organoarcilla (2.0g/100 mL) y velocidad lenta (70 rpm) muestra que obtendremos resultados de remoción de DBO_5 más próximos a (< 36 mg/L) que se encuentra en la región verde oscuro; sin embargo, cuando las condiciones de concentración de organoarcilla y velocidad lenta son las más elevadas existirá mayor remoción pudiendo alcanzar valores más próximos al 0 mg/L. Esta superficie de contorno evalúa más valores donde se puede ver como se altera la variable respuesta al someterse a diferentes interacciones de las dos variables independientes que al interactuar dan resultados predictivos.

La superficie de respuesta se presenta en tres dimensiones, cada una de estas Figuras presenta un pictograma de tipo semáforo donde el color verde representa mejor remoción de DBO_5 y el color rojo poca remoción, de igual forma este método tiene la ventaja de predecir resultados dando un modelo matemático con el cual se podría pronosticar o modelar las variables de interés, a continuación, se detalla el modelo matemático a partir de las variables más significativas que interactúan:

Ecuación 8. Modelo matemático de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, para DBO_5 .

$$\text{DBO}_5 = 109.6 - 1.07 \times O - 0.13 \times O^2 - 7.72 \times V - 2.96 \times V^2 - 10.85 \times O \times V$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L)

V = Velocidad lenta (L)

En la ecuación 8, se detalla el modelo matemático de la superficie de respuesta para la DBO_5 .

$$Eficiencia = \frac{DBO5\ Inicial\ (mg/L) - DBO5\ Final\ (mg/L)}{DBO5\ Inicial\ (mg/L)} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{300 - 94.30}{300} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 68.56$$

En la remoción de DBO₅, el mejor tratamiento fue el Tratamiento 4, siendo 68.56 % (94.30 mg/L) el mejor porcentaje de eficiencia de remoción, los valores más significativos fueron la concentración de organoarcilla y velocidad lenta; en este caso el incremento de la eficiencia se debe a que se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.5g/100mL (30g), concentración de tara de 2gr/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 50 rpm; sin embargo el menor porcentaje de eficiencia fue el Tratamiento 3, siendo 60% (120 mg/L) respectivamente, en este caso se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.5g/100mL (30g), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 30 rpm.

Arias et al., (2017) ,en su investigación determinaron que según los resultados obtenidos en las pruebas de eficiencia se evidencia remoción y abatimiento de todos los parámetros establecidos para este estudio, obteniendo unos porcentajes para DBO₅ del 55,2%, DQO de 49,4%, SST de 41,7%, siendo estos resultados similares a los obtenidos por (debe de salir parecido a este: Santarén y Cubillo (2012) quien trabajo con aguas residuales de matadero logrando altos porcentajes de remoción con derivados de la arcilla y semilla de Moringa Oleífera.

Tabla 21.
Calculo del modelo predictivo para las remociones de DBO₅

Factor	Regressn Coeff.	Value	Coeff.* Value
Constant	-6.08071		
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	87.23723	2.200	191.922
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	-1.03352	4.840	-5.002
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	3.51067	75.000	263.300
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	-0.01480	5625.000	-83.276
1L by 2L	-2.17000	165.000	-358.050
Predicted DBO₅ (mg/L)			2.812
Predicted Remoción de DBO₅ (%)			99.06
-96.% Conf.			-82.485
+96.% Conf.			88.109
-96.% Pred.			-83.253
+96.% Pred.			88.878

Ecuación 9. Modelo predictivo para las remociones de DBO₅

$$DBO_5 = -6.08 + 87.24 \times O - 1.03 \times O^2 + 3.51 \times V - 0.01 \times V^2 - 2.17 \times O \times V$$

$$DBO_5 = 2.81 \text{ mg/L}$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L) =2.2

V = Velocidad lenta (L)=75

El análisis desarrollado en la tabla 21 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir de la regresión, con la finalidad de predecir resultados de remoción de DBO₅ de forma teórica sin la necesidad de ejecutar pruebas de laboratorio. Según los datos analizados el modelo predice que se podría llegar a remover hasta 2.81 mg/L.

4.2.2.2. Resultados de la remoción de DQO

Tabla 22.

Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de DQO, Postratamiento.

Factores	SS	df	MS	F - valor	p - valor
(1) Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (L)	30.005	1	30.005	0.38605	0.597763
Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (Q)	22.202	1	22.202	0.28566	0.646476
(2) Velocidad Lenta (RPM)(L)	1084.466	1	1084.466	13.95310	0.064782*
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	387.762	1	387.762	4.98907	0.155110
1L by 2L	536.617	1	536.617	6.90429	0.119438
Lack of Fit	582.753	3	194.251	2.49930	0.298596
Error Puro	155.444	2	77.722		
Total, SS	2784.656	10			

(*) Significativo $p < 0.10$ y efecto significativo. $R^2 = 0.73491$, R^2 -ajustado = 46981

En la Tabla 22, se muestran los resultados de la ANOVA con respecto a la DQO luego de aplicar el tratamiento, indicando un coeficiente de determinación (R^2) de 73.4 %. Para identificar estos factores más influyentes ubicamos que el p – valor sea menor que el nivel de significancia que es de 0.10%, y las que cumplen esta condición predeterminada son los factores de mayor importancia que inciden en la variable respuesta, en este caso fue velocidad lenta (rpm) (Q) que fue significativa. La falta de ajuste muestra no significancia, quiere decir que el ajuste del modelo es estadísticamente significativo por lo tanto el modelo es representativo y predictivo.

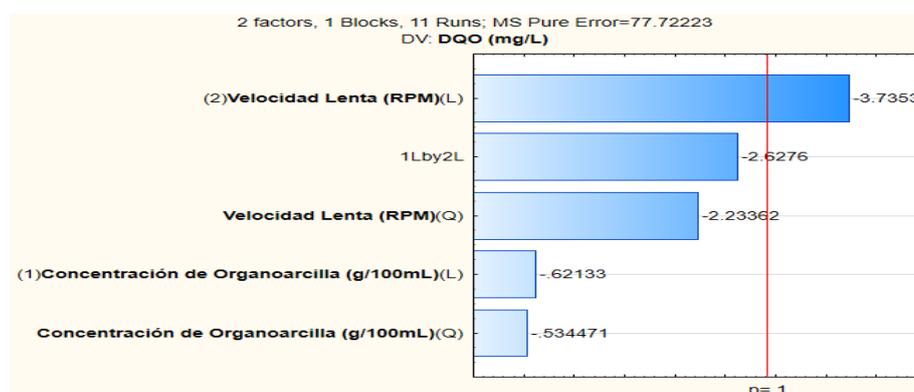


Figura 64. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, DQO.

En

la Figura 64, se presenta el diagrama de Pareto, donde se muestra gráficamente los factores más importantes en la variable de respuesta, que en este caso para la remoción de DQO.

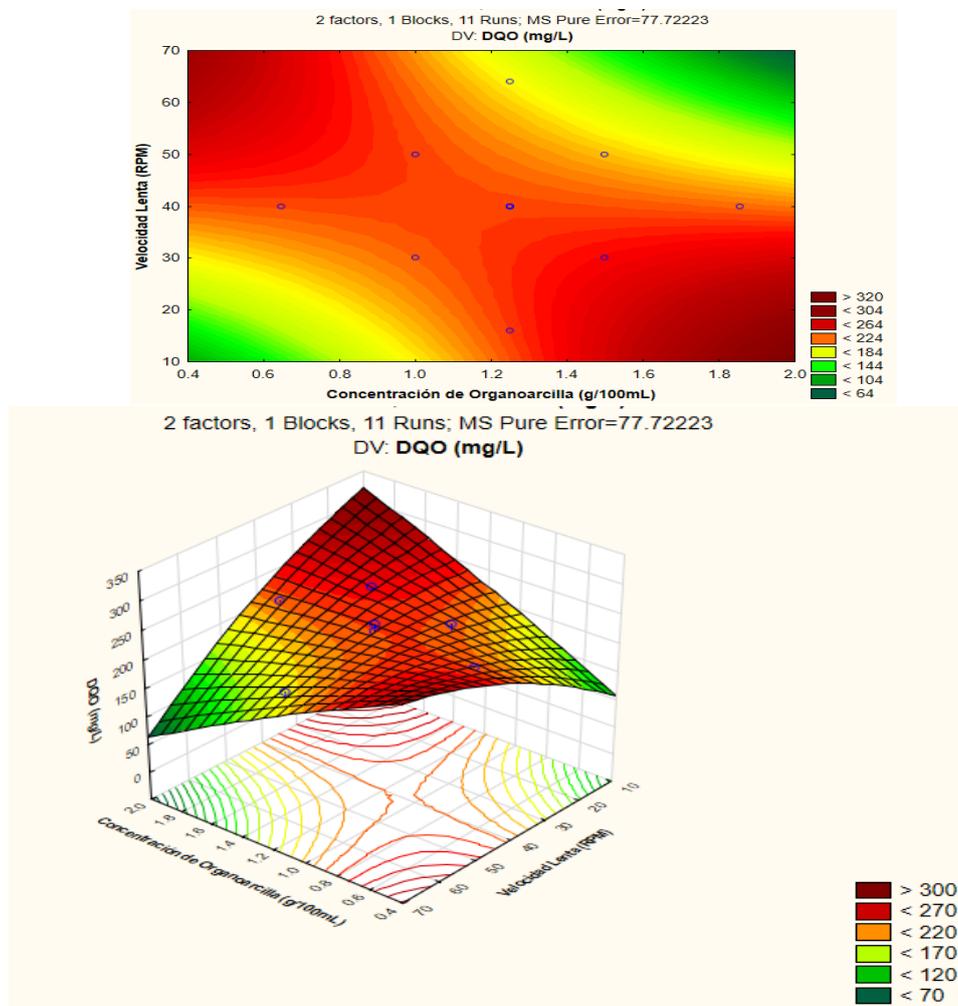


Figura 65. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la DQO.

De acuerdo con la Figura 65, se muestra la interacción entre la concentración de organoarcilla y la velocidad lenta en la remoción de DQO (mg/L), la combinación de concentración de organoarcilla (2.0 g/100 mL) y velocidad lenta (70 rpm) muestra que obtendremos resultados de remoción de DQO más próximos a (< 64 mg/L) que se encuentra en la región verde oscuro; sin embargo, cuando las condiciones de

concentración de organoarcilla y velocidad lenta son las más elevadas existirá mayor remoción pudiendo alcanzar valores más próximos al 0 mg/L.

En la Figura 65, se detalla la interacción de dosis de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción de DQO, a continuación, se detalla el modelo matemático a partir de las variables más significativas que interactúan:

Ecuación 10. Modelo matemático de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, para DQO.

$$DQO = -27.96 + 208.5 \times O - 11.5 \times O^2 + 7.4 \times V - 0.03 \times V^2 - 4.6 \times O \times V$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L)

V = Velocidad lenta (L)

En la ecuación 10, se detalla el modelo matemático de la superficie de respuesta para DQO.

$$Eficiencia = \frac{DQO \text{ Inicial (mg/L)} - DQO \text{ Final (mg/L)}}{DQO \text{ Inicial (mg/L)}} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{628 - 191.33}{628} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 69.53$$

En la remoción de DQO, el mejor tratamiento fue el Tratamiento 4, siendo 69.53% (191.33 mg/L) el mejor porcentaje de eficiencia de remoción, los valores más significativos fueron la concentración de organoarcilla y velocidad lenta; en este caso el incremento de la eficiencia se debe a que se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.5 g/100mL (30gr), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 50 rpm; sin embargo el menor porcentaje de eficiencia fue en

Tratamiento 3, siendo 59.98% (251.33 mg/L) respectivamente, en este caso se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.5 g/100mL (30gr), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 30 rpm.

Según Ramírez et al., (2014), evaluaron el proceso de coagulación-floculación como una etapa de pretratamiento de las aguas residuales domésticas, el interés en esta investigación se centró en evaluar la eficiencia obtenida en el tratamiento con nuevos productos de C-F comparada con la obtenida con productos comerciales de probada eficacia; de acuerdo a modelos matemáticos de remoción de parámetros fisicoquímicos, los mejores coagulantes y floculantes fueron los derivados de las arcillas, goma de tara y semilla de moringa, a una concentración de 20 mg/L y 0,1 mg/L, respectivamente, a pH de 6.0 y 7.5 Con estos compuestos se obtienen eficiencias para turbidez de 98%, DQO de 82%, DBO₅ del 88% y color del 92%, finalmente concluyen que el mejor coagulante para la remoción de materia orgánica de los efluentes de aguas residuales domésticas son los derivados de las arcillas, habiendo logrado una remoción de turbidez del 98,1% y una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno de 96,58%.

Tabla 23.
Calculo del modelo predictivo para la remociones de DQO.

Factor	Regressn Coeff.	Value	Coeff.* Value
Constant	-27.9555		
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	208.5627	2.100	437.982
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	-11.5122	4.410	-50.769
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	7.3900	76.000	561.639
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	-0.0304	5776.000	-175.782
1L by 2L	-4.6330	159.600	-739.427
Predicted DQO (mg/L)			5.688
Predicted Remoción de DQO (%)			99.09
-96.% Conf.			-223.271
+96.% Conf.			234.647
-96.% Pred.			-225.708

Ecuación 11. Modelo predictivo para las remociones de DQO

$$DQO = -27.96 + 208.56 \times O - 11.51 \times O^2 + 7.40 \times V - 0.03 \times V^2 - 4.63 \times O \times V$$

$$DQO = 5.68 \text{ mg/L}$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L) =2.1

V = Velocidad lenta (L)=76

El análisis desarrollado en la tabla 23 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir de la regresión, con la finalidad de predecir resultados de remoción de DQO de forma teórica sin la necesidad de ejecutar pruebas de laboratorio. Según los datos analizados el modelo predice que se podría llegar a remover hasta 5.68 mg/L.

4.2.2.3. Resultados de la remoción de Turbidez

Tabla 24.

Resultados de ANOVA de la relación de los factores en la remoción de turbidez, Postratamiento

Factores	SS	df	MS	F - valor	p - valor
(1) Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (L)	3.21755	1	3.217549	66.1934	0.014773*
Concentración de Organoarcilla (g/100mL) (Q)	4.47793	1	4.477928	92.1226	0.010681*
(2) Velocidad Lenta (RPM)(L)	8.31505	1	8.315052	171.0623	0.005795*
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	7.07769	1	7.077686	145.6064	0.006798*
1L by 2L	0.01440	1	0.014400	0.2962	0.640816
Lack of Fit	3.47901	3	1.159671	23.8575	0.040498*

Error Puro	0.09722	2	0.048608
Total, SS	23.67516	10	

(*) Significativo $p < 0.10$ y efecto significativo. $R^2 = 0.84895$, R^2 -ajustado = 0.69789

En la Tabla 24, se muestran los resultados de la ANOVA con respecto a la Turbidez luego de aplicar el tratamiento, indicando un coeficiente de determinación (R^2) de 84.8 %. Para identificar estos factores más influyentes ubicamos que el p – valor sea menor que el nivel de significancia que es de 0.10%, y las que cumplen esta condición predeterminada son los factores de mayor importancia que inciden en la variable respuesta, en este caso fueron concentración de organoarcilla (g/100mL) (L y Q) que fueron significativas, seguidas de la velocidad lenta (rpm) (L y Q) que fueron significativas. La falta de ajuste muestra no significancia, quiere decir que el ajuste del modelo es estadísticamente significativo por lo tanto el modelo es representativo y predictivo.

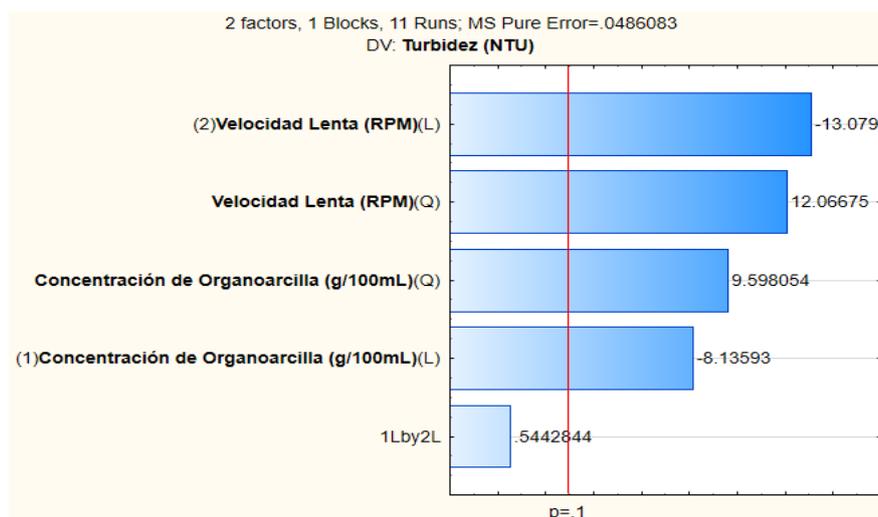


Figura 66. Diagrama de Pareto, para variable de respuesta, Turbidez.

En la Figura 66, se presenta el diagrama de Pareto, donde se muestra gráficamente los factores más importantes en la variable de respuesta, que en este caso para la remoción de Turbidez.

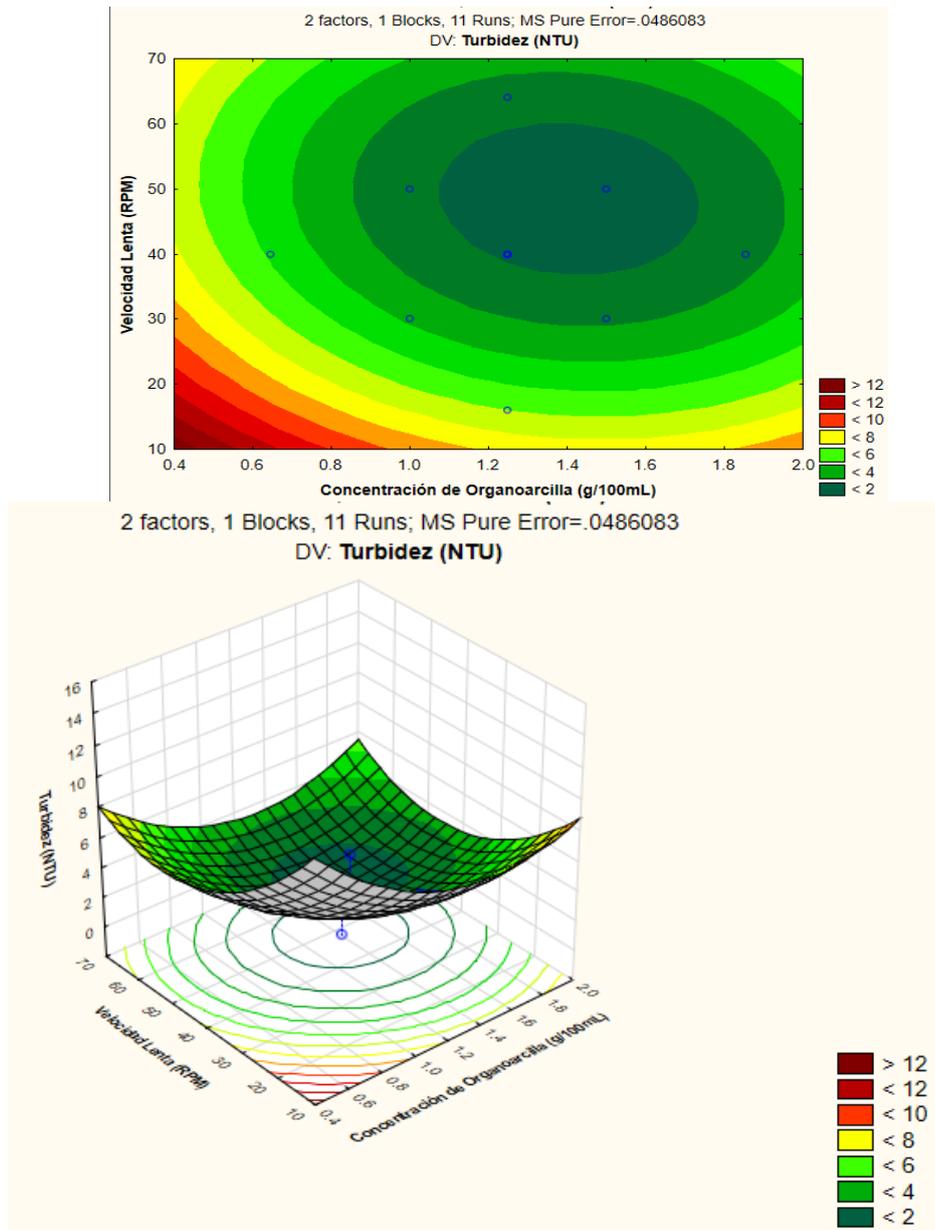


Figura 67. Superficie de contorno de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, y Superficie de respuesta de variables de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción con la turbidez

De acuerdo con la Figura 67, se muestra la interacción entre la concentración de organoarcilla y la velocidad lenta en la remoción de Turbidez (NTU), la combinación de concentración de organoarcilla (1.5 g/100 mL) y velocidad lenta (49 rpm) muestra que obtendremos resultados de remoción de turbidez más próximos a (< 2 NTU) que se encuentra en la región verde oscuro; sin embargo, el punto central de dicha región

muestra la optimización exacta de la turbidez demostrando mayor remoción , pudiendo alcanzar valores más próximos al 0 NTU.

En la Figura 67, se detalla la interacción de dosis óptima de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, en la remoción de turbidez, a continuación, se detalla el modelo matemático a partir de las variables más significativas que interactúan:

Ecuación 12. Modelo matemático de la interacción de concentración de organoarcilla y velocidad lenta, para turbidez.

$$T = 1.9 - 0.91 \times O + 0.65 \times O^2 - 1.46 \times V + 0.822 \times V^2 + 0.12 \times O \times V$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L)

V = Velocidad lenta (L)

En la ecuación 12, se detalla el modelo matemático de la superficie de respuesta

$$Eficiencia = \frac{Turbidez Inicial (NTU) - Turbidez Final (NTU)}{Turbidez Inicial (NTU)} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{75.7-1.6}{75.7} \times 100 \quad \%Eficiencia = 97.89$$

En la remoción de turbidez, el mejor tratamiento fue el Tratamiento 7, siendo 97.89% (1.6 NTU) el mejor porcentaje de eficiencia de remoción, los valores más significativos fueron la concentración de organoarcilla y velocidad lenta; en este caso el incremento de la eficiencia se debe a que se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.25 g/100mL (25g), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 40 rpm; sin embargo el menor porcentaje de eficiencia fue el Tratamiento 7 siendo 91.61% (6.36 NTU) respectivamente, en este caso se trabajó con un nivel de pH de 6.17 (ligeramente ácido), concentración de organoarcilla de 1.25 g/100mL (25g),

concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de tara de 20mL, velocidad rápida de 300 rpm y velocidad lenta de 16 rpm.

Según recomienda Saranya (2017), para el incremento de la eficiencia se debe trabajar con bajos niveles de pH (2 a 4) y velocidades lentas (30 a 50 rpm); mientras que Aguilar-Galvez et al. (2014), afirman que al disminuir el pH, los biopolímeros son más efectivos y tienden a mejorar la remoción de coloides; por otro lado Katahara (1996) añaden que un gran influyente como ayudante es la goma de tara puesto que tiene un efecto de neutralizar medios ácidos actuando como solución buffer, en su investigación mencionan que las proteínas o polisacáridos son electrolitos anfóteros, permitiendo que los polisacáridos cedan protones en un medio ácido cargándolo positivamente hasta llegar a un equilibrio o a un pH neutro, de la misma manera sucede en un medio básico pero con carga negativa; generalmente provienen de una mezcla de un ácido débil y una base conjugada interviniendo así en la transferencia de protones, es decir, un ácido es una especie química que tiene la capacidad de transferir protones y una base es la especie capaz de recibirlos.

Tabla 25.
Calculo del modelo predictivo para las remociones turbidez.

Factor	Regressn Coeff.	Value	Coeff.* Value
Constant	22.9348		
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	-15.6987	1.390	-21.8212
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	5.1701	1.932	9.9891
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	-0.4321	49.000	-21.1740
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	0.0041	2401.000	9.8719
1L by 2L	0.0240	68.110	1.6346
Predicted Turbidez (NTU)			1.4353
Predicted Remoción de Turbidez (%)			98.10
-96.% Conf.			0.2113
+96.% Conf.			2.6594
-96.% Pred.			-1.1977
+96.% Pred.			4.0684

Ecuación 13. Modelo predictivo para las remociones de Turbidez

$$T = 22.93 - 15.6 \times O + 5.17 \times O^2 - 0.43 \times V + 0.004 \times V^2 + 0.024 \times O \times V$$

$$T = 1.43 \text{ NTU}$$

Dónde:

O = Concentración de Organoarcilla (L) =1.39

V = Velocidad lenta (L)=49

El análisis desarrollado en la tabla 25 detalla el cálculo del modelo predictivo que es construido a partir de la regresión, con la finalidad de predecir resultados de remoción de turbidez de forma teórica sin la necesidad de ejecutar pruebas de laboratorio. Según los datos analizados el modelo predice que se podría llegar a remover hasta 1.43 NTU.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró obtener organoarcilla mediante sales cuaternarias a través de la metodología utilizada, este resultado se avala de acuerdo con la caracterización de las propiedades morfológicas y estructurales obtenidas de la muestra analizada después de aplicar la metodología para la obtención de organoarcilla.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas y materia orgánica del agua residual doméstica antes de aplicar el diseño estadístico, fueron los siguientes: para el preanálisis 1, DBO₅ 13mg/L, DQO 31.33mg/L, Turbidez 142 NTU, pH 8.01, Conductividad Eléctrica 1033 us, Oxígeno Disuelto 6.28mg/L y Temperatura de 23.4° y para el preanálisis 2 DBO₅ 300mg/L, DQO 628mg/L, Turbidez 75.7 NTU, pH 6.17, Conductividad Eléctrica 1793 us, Oxígeno Disuelto 9.04 mg/L y Temperatura de 22.7°; mientras que las propiedades fisicoquímicas y materia orgánica del agua residual doméstica después de aplicar el diseño estadístico, fueron las siguientes: para el mejor tratamiento (Tratamiento 4), DBO₅ 94.30mg/L, DQO 191.33mg/L, Turbidez 2.66 NTU, pH 7.98, Conductividad Eléctrica 1116 us, Oxígeno Disuelto 23mg/L y Temperatura de 23.4° y para el tratamiento con menor remoción (Tratamiento 3) DBO₅ 120mg/L, DQO 251.33mg/L, Turbidez 3.12 NTU, pH 6.17, Conductividad Eléctrica 1263 us, Oxígeno Disuelto 22.38mg/L y Temperatura de 22.7°.

Con respecto a la determinación de las concentraciones óptimas fueron las siguientes: Concentración de organoarcilla 30 g/100mL, concentración de tara de 2g/100mL, dosis de tara de 100 mL al 2%, Velocidad rápida de 200 RPM por 60 segundos, velocidad lenta de 40 RPM por 15 minutos y tiempo de sedimentación de 60 minutos.

La aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR) empleando el diseño central compuesto rotacional (DCCR) Screening Fraccionado 2^{n-x} consiguió evaluar y optimizar parámetros (variables dependientes: turbidez, DBO₅ y DQO) y niveles de estudio, lográndose la eficiencia de remoción de la turbidez al 97.89% post tratamiento, empleando organoarcilla como coagulante natural y goma de tara como coadyudante, mientras que para la DBO₅ y DQO no se logró la optimización propuesta inicialmente pero si se alcanzó la remoción para cada uno.

Los parámetros óptimos para la remoción de DBO₅ aplicando el Diseño Central Compuesto Rotacional fue a un pH de 6.17, concentración de organoarcilla de 1.5g/100mL (30gr), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de 20 mL, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 50 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con estos niveles se podrían obtener DBO₅ final menores de 94.30 mg/L de un inicial de mg/L con una remoción de 68.56%; los parámetros óptimos para la remoción de DQO aplicando el Diseño Central Compuesto Rotacional fue a un pH de 6.17, concentración de organoarcilla de 1.5gr100mL (30g), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de 20 mL, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 50 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con estos niveles se podrían obtener DQO final menores de 191.33 mg/L de un inicial de mg/L con una remoción de 69.53%; y los parámetros óptimos para la remoción de turbidez aplicando el Diseño Central Compuesto Rotacional fue a un pH de 6.17, concentración de organoarcilla de 1.25gr/100mL (25g), concentración de tara de 2g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de 20 mL, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 40 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con estos niveles se podrían obtener turbidez final menores de 1.6 NTU de un inicial de NTU con una remoción de 97.89%. De acuerdo con el modelamiento matemático de segundo orden predictivo, los parámetros y puntos óptimos para la remoción de DBO₅ es a una concentración de organoarcilla de 2.2 g/100mL (g), concentración de tara de 2 g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de

10 mL al 2%, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 75 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con una cuantificación y remoción de DBO₅ final de 2.81 mg/L respectivamente; para la remoción de DQO es a una concentración de organoarcilla de 2.1 g/100mL (g), concentración de tara de 2 g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de 10 mL al 2%, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 76 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con una cuantificación y remoción de DQO final de 5.68 mg/L respectivamente; y para la remoción de turbidez es a una concentración de organoarcilla de 1.39 g/100mL, concentración de tara de 2 g/100mL, volumen de dosis de goma de tara de 10 mL al 2%, velocidad rápida de 300 rpm, velocidad lenta de 49 rpm y tiempo de sedimentación de 30 minutos, con una cuantificación y remoción de turbidez final de 1.43 UNT respectivamente.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda para futuros proyectos de investigaciones de optimización de procesos de remoción de DBO₅ y DQO, se trabaje con parámetros optimizados (2.0 g/100mL (30 g) de Organoarcilla, 2.0 g/100mL de Goma de tara con una dosis de 20 mL, Velocidad rápida de 250 a 300 rpm, Velocidad lenta de 40 a 50 rpm y a pH de 7.5) cuando son aguas que presentan una contaminación >20 y <100 mg/L de DBO₅ y >80 y < 160 mg/L de DQO.

Obtener y estudiar organoarcilla de tipo grafenos para la remoción de DBO₅ y DQO en aguas con elevadas cargas orgánicas.

Elaborar una metodología de Prueba de Jarra, teniendo en cuenta todas las consideraciones bibliográficas, para seguir paso a paso cada procedimiento y evitar cometer mínimos errores que alteran significativamente los resultados.

Realizar ensayos similares con otras especies oriundas del país, con el fin de generar mayor conocimiento sobre el uso de otros biopolímeros coadyudantes a la organoarcilla para la remoción de turbidez, DBO_5 y DQO del agua.

Incluir en el estudio la tasa de sedimentación para tener en cuenta la cantidad de material o lodos generados en cada prueba con el uso del derivado de las arcillas y polímeros, para comparar la influencia de cada uno de los parámetros.

Optimizar parámetros empleando diseños Fraccionados y DCCR en el proceso coagulación y floculación, para obtener mayores niveles de turbidez, DBO_5 y DQO.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A., Oratto, G., Chambi, F., Debaste, F., y Campos, D. (2014). Potential of tara (caesalpinia spinosa) gallotannins and hydrolysates as natural antibacterial compounds. *Food Chemistry*, 156, 301–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.110>
- Aguilar, E. (1996). *La tara caesalpinia spinosa alternativa para el desarrollo de la sierra*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PE1996101735>
- Aguilar, E. (2010). *Utilización de las semillas de tara (Caesalpinia Spinoza) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/495>
- Aguilar, E., y Rigail, A. (2006a). *Evaluación de pinturas anticorrosivas de nanocompuestos a base de resinas epóxicas y nanoarcillas*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/4d1e/e4afa7faec16309ec486d80f5b7a1941bc8c.pdf>
- Aguilar, E., y Rigail, A. (2006b). *Propiedades anticorrosivas de un recubrimiento nanocompuesto de epóxica/amina/nanoarcillas*. 19(1). Recuperado de <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/206/149>
- Al-Ani, T., y Sarapää, O. (2008). *Clay and clay mineralogy*. Recuperado de http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_3232_2008_41.pdf
- Aldana, E. (2012). *Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulación natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3387/1/aldana_re.pdf
- Amokrane, A., Comel, C., y Veron, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research*, 31(11). [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00147-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00147-4)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA), (2019). El agua en cifras. Recuperado de <http://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Apolo, A. (2016). *Optimización de una metodología para modificar a nivel nanomolecular las propiedades de las arcillas tipo montmorillonita*. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31686>
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., y Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacraficio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, (1), 29–39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(Edición\)](https://doi.org/10.18684/BSAA(Edición))
- Arriola, M., y Rojas, P. (2017). *Síntesis y caracterización de nanoarcillas a partir de montmorillonita utilizando sales de amonio* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3791/Arriola MarquezRojas Pomalima.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3791/Arriola_MarquezRojas_Pomalima.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Banik, N., Jahan, S., Mostofa, S., Kabir, H., Sharmin, N., Rahman, M., y Ahmed, S. (2015). *Synthesis and characterization of organoclay modified with cetylpyridinium chloride*. 50(1), 65–70. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i1.23812>

- Barreto, P. (2010). *Protocolo de monitoreo de agua*. Recuperado de https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf
- Basurto, L. (2010). Taninos vegetales. Recuperado de <http://taninos.tripod.com/taninos.html>
- Bin, M. (2016). *Optimisation of coagulation process in water treatment plant using statistical approach* (Universiti Teknologi Malaysia). Recuperado de <http://eprints.utm.my/id/eprint/79415/1/MuzaffarZainalAbideenPFKA2016.pdf>
- Blanco, K., y Leon, D. (2010). *Diseño hidraulico de la planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de guacamayas* (Universidad industrial de santander). Recuperado de https://www.academia.edu/12475079/DISEÑO_HIDRAULICO_DE_LA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_PARA_EL_MUNICIPIO_DE_GUACAMAYAS
- Bratskaya, S., Schwarz, S., y Chervonetsky, D. (2004). *Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate*. 38(12). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.03.033>
- Burstein, T. (2018). *Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú*. 35(2), 297. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3641>
- Camacho, M., Vega, J., y Campos, A. (2011). Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(4). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3719/371937624007.pdf>
- Canepa, L. (1992). *Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano*. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/programa-regional-hpeopscepis-de-mejoramiento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano/oclc/46749491>
- Chambi, D. (2013). *Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (Caesalpinia spinosa) pods*. 47, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.009>
- Chhetri, R., Klupsch, E., Andersen, H., y Jensen, P. (2017). Treatment of arctic wastewater by chemical coagulation, UV and peracetic acid disinfection. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8585-5>
- Chicoma, I., y Vigo, L. (2018). *Eficiencia de la goma de caeslpinia spinosa de la remoción de sólidos suspendidos, en las aguas del Río Chonta, Los Baños del Incas* (Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo). Recuperado de http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/781/tesis_publica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choque, D. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq08218.pdf>
- Chui, B., Miramira, T., Olivera, L., y Jacay, H. (2009). *Determinación de metales pesados en sedimentos del Río Chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X*. 12(2), 9–14. Recuperado de http://200.62.146.19/bibvirtual/Publicaciones/ing_quimica/v12_n2/pdf/a02v12.pdf
- Corona, J. (2011). Estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

- de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Multiciencias*, 11, 345–352. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/904/90421972003/>
- Cruz, P. (2004). *Aprovechamiento integral y racional de la tara caesalpinia spinosa - caesalpinia tinctoria*. 7(14), 64–73. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/733/584>
- D'Alessandri, M. (2012). *Caracterización y tratamiento de agua residual proveniente de las plantas de producción* (Universidad Simón Bolívar). Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000155546.pdf>
- Dávila, J., Machuca, F., y Marrianga, N. (2009). Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electroflotación/oxidación. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 35–38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/643/64329105/>
- Durán, A., Gonzáles, E., y Ramírez, R. (2001). Comparación de dos procesos fisicoquímicos para el pretratamiento de aguas residuales. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 16(1), 28–41. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48216105.pdf>
- Durán, E. (2017). *Arcillas y biocarbones para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial*. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/161986>
- Economides, L. (2009). Recycled creatures and rogue genomes: biotechnology in mary shelley's frankenstein and david mitchell's cloud atlas. *Literature Compass*, 6(3), 615–631. <https://doi.org/10.1111/j.1741-4113.2009.00627.x>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11, 147–170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Fernández, C. (1999). *El agua como fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo*. 179–194. <https://doi.org/10.2307/40586156>
- Ferrer, J., Seco, A., y Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/113132>
- Ferrero, J., Roldán, C., Juanes, D., Lluch, J., y Ardid, M. (2011). *Evolución de la instrumentación de fluorescencia de rayos X en la unidad de arqueometría del ICMUV*. Recuperado de http://ge-iic.com/files/1congreso/Ferrero_J_L.pdf
- Flachberger, H. (2017). *Montmorillonite*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/montmorillonite>
- Flores, F., y Chávarry, L. (2005). *Criterios y pautas para la selección de árboles plus caesalpinia spinosa (molina) kuntze "tara o taya."* Recuperado de <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/f5e5b805269347d9201c65e9e4d05c11.pdf>
- Fúquene, D., y Yate, A. (2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales*. (1). Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>
- Galarza, E., y Urrunaga, R. (1992). *La economía de los recursos naturales: políticas extractivas y ambientales*. (30), 45–61. <https://doi.org/10.21678/apuntes.30.346>
- García, E., y Suárez, M. (2018). *Las arcillas: propiedades y usos*. Recuperado de <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>

- García, R., Flóres, E., y Medina, Y. (2018). Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander (Colombia). *Espacios*, 39(53), 6. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-06.pdf>
- Geng, Y. (2005). *Application of flocc analysis for coagulation optimization at the split lake water treatment plant* (University of Manitoba). Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/1275/0cece630cbc259a586b8a8a20cbbc4511378.pdf>
- Ghosh, P. (2010). *Colloidal materials: part II*. Recuperado de <https://nptel.ac.in/courses/103103033/module1/lecture3.pdf>
- Guerra, A., y Hiyagon, G. (2012). *Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3362/1/guerra_aa.pdf
- Guggenheim, S. (2010). *Introduction to the properties of clay minerals*. Recuperado de http://www.minsocam.org/msa/Monographs/Mngraph_03/MG003_371-388.pdf
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*. 16(1), 253–262. Recuperado de <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/881>
- Hashim, A. (2011). *Advances in nanocomposite technology / monograph*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=N9CPDwAAQBAJ&pg=PA145&lpg=PA145&dq=Epoxy-montmorillonite+clay+nanocomposites:+Synthesis+and+characterization",+Journal+applied+polymer+science,+2004&source=bl&ots=Px0xQR3oJg&sig=ACfU3U2g3-W3eTFVhcQmZf1](https://books.google.com.pe/books?id=N9CPDwAAQBAJ&pg=PA145&lpg=PA145&dq=Epoxy-montmorillonite+clay+nanocomposites:+Synthesis+and+characterization)
- Helgesson, I. (1990). Flocculation in static mixer. In *Chemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 85–90). https://doi.org/10.1007/978-3-642-76093-8_6
- Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Recuperado de http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf
- Hernando, B., Prida, V., Sanchez, M., Olivera, J., y Garcia, C. (2008). *Thermal annealing dependence of high-frequency magnetoimpedance in amorphous and nanocrystalline FeSiBCuNb ribbons*. 8(7), 3790–3801. <https://doi.org/10.1166/jnn.2008.008>
- Hoekstra, A., Mekonnen, K., Chapagain, K., Mathews, E., y Richter, D. (2012). *Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability*. 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Inga, J. (2008). *Fabricación de cerámicos porosos adsorbentes a base de arcilla para la retención de contaminantes en efluentes industriales* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/932/3/inga_mj.pdf
- Jackson, R. (2002). *Bentonite*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/bentonite>
- Katahara, K. (1996). *Clay mineral elastic properties*. <https://doi.org/10.1190/1.1826454>
- Lambert, J. (2014). *Montmorillonite*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/montmorillonite>

- Largo, D., y Villamarin, K. (2013). *Caracterización y activación química de arcilla tipo bentonita para su evaluación en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales* (Universidad Tecnológica de Pereira). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3838/55361L322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leocárdio, G., Gabriel, A., Castro, L., y Dias, V. (2013). *Remoção de corantes têxteis a partir de soluções aquosas por quitosana modificada com tioacetamida*. 8(1). <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Lojan, L. (1992). *El verdor de los Andes: Proyecto desarrollo forestal participativo en los andes*. Recuperado de <https://searchworks.stanford.edu/view/2806467>
- López, M., Osorio, G., Gallardo, T., y Arellano, S. (2012). *Uso de una arcilla orgánica como material de empaque de un filtro para depurar airecontaminado con tolueno*. 37(8), 614–620. Recuperado de http://www.redalyc.org/pdf/339/Resumenes/Resumen_33925396009_1.pdf
- Lorenzo, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. (2), 10–17. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Mariel, V. (2017). *Estudio de nanocompuestos basados en copolímeros de propileno y montmorillonita organofílica* (Universidad Nacional del Sur). Recuperado de [http://200.49.237.216/bitstream/123456789/3440/1/TESIS Verónica Riechert 2017.pdf](http://200.49.237.216/bitstream/123456789/3440/1/TESIS%20Verónica%20Riechert%202017.pdf)
- Martínez, D., y Carbajal, G. (2012). Hidróxidos dobles laminares: arcillas sintéticas con aplicaciones en nanotecnología. *Avances En Química*, 7(1), 87–99. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/933/93322655011.pdf>
- Matusiak, J., y Grzadka, E. (2017). *Stability of colloidal systems - a review of the stability measurements methods*. <https://doi.org/10.17951/aa.2017.72.1.33>
- Milly, P., Dunne, K., y Vecchia, A. (2005). *Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate*. 438(7066), 347–350. <https://doi.org/10.1038/nature04312>
- Ministerio del Ambiente (MINAM), (2010). Producción de tara total y por tipo durante el periodo 2005-2008. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2791-produccion-de-tara-total-y-por-tipo-durante-el-periodo-2005-2008>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), (2019). Gestión de los recursos hídricos. Recuperado de <https://www.gob.pe/minagri>
- Morán, D. (2014). *Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2014/06/15/Macloni-Diego.pdf>
- Moreno, A., Rojas, D., y Bonilla, R. (2011). Sequential statistical design application in identification of azotobacter chroococcum AC1 nutritional sources. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 151–158.
- Muñoz, H., Suárez, J., Vera, A., Orozco, S., y Batlle, J. (2012). *Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México*. 28(1), 27–38. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100003
- Murray, H. (2006). *Chapter 2 structure and composition of the clay minerals and their*

physical and chemical properties. 2, 7–31. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(06\)02002-2](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(06)02002-2)

Muthuraman, G., Sasikala, S., y Prakash, N. (2013). *Proteins from natural coagulant for potential application of turbidity removal in water*. 3(1). Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/46ad/1d140c801e62b456d1b303220846dc9de4c9.pdf>

Nandy, T., Shastry, S., Pathe, P., y Kaul, S. (2003). Pre-treatment of currency printing ink wastewater through coagulation-flocculation process. *Water, Air, and Soil Pollution*, 148(1/4). <https://doi.org/10.1023/A:1025454003863>

Nelson, S. (2015). *Phyllosilicates (sheet silicates)*. Recuperado de <https://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/phyllosilicates.pdf>

Nigam, V., Setua, D., Mathur, G., y Kar, K. (2004). *Epoxy-montmorillonite clay nanocomposites: synthesis and characterization*. 93(5), 2201–2210. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.20736?scrollTo=references#accessDenialLayout>

Odoma, A., Obaje, N., Omada, J., y Idakwo, S. (2013). *Paleoclimate reconstruction during mamu formation (cretaceous) based on clay mineral distributions*. 1(5), 40–46. Recuperado de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jagg/papers/vol1-issue5/F0154046.pdf?id=6950>

Oki, T., y Kanae, S. (2006). *Global hydrological cycles and world water resources*. 313(5790), 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>

Oliveira, M. (2015). *Remoção de corantes têxteis em solução aquosa utilizando bentonita natural e organofílica* (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Recuperado de https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/20384/1/MaryelzyFelipeDavidDeOliveira_TESE.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS), (2019). Contaminación del Agua. Recuperado de <https://www.who.int/es>

Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=t5w5EZf1VhMC&oi=fnd&pg=PP17&dq=uso+del+tanque+imhoff+para+aguas+residuales&ots=MxX3jGHqPb&sig=DCGDyEO0DG31W8yl-rbOZoaLxV4#v=onepage&q=uso+del+tanque+imhoff+para+aguas+residuales&f=false>

Ospina, O., García, G., Gordillo, J., y Tovar, K. (2016). *Assessment of murky water and its conductivity during dry and rainy seasons in combeima river (Ibagué, Colombia)*. Recuperado de <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/1191>

Pérez, C., León, F., y Delgadillo, G. (2013). *Tratamiento de aguas manual de laboratorio*. Recuperado de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_manualprac.pdf

Perugachi, R., Paredes, C., y Cornejo, M. (2006a). Las nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador. *Revista Tecnológica*, 19(1), 121–124. Recuperado de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/213/156>

Pillai, J. (2012). *Flocculants and coagulants: the keys to water and waste management in aggregate production*. Recuperado de [http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Flocculants and Coagulants NALCO \(LIT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Flocculants+and+Coagulants+NALCO+(LIT).pdf)

- Pretell, J., Ocana, D., Jon, R., y Barahona, E. (1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016063395>
- PTAR Taboada. (2014). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taboada. Recuperado de <http://www.tedagua.com/es/news/actualidad/ptar-taboada-lima-peru-la-mayor-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-sudamerica>
- Quispe, M. (2011). *Uso y selección de coagulantes y floculantes orgánicos en la industria minero metalúrgica* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.pe/bitstream/uni/11110/1/quispe_om.pdf
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71–80. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/816/81640855010/>
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+biologico&ots=OCugDYIzqd&sig=fa0OCWID3I6UeR2GPhSvEBmBIY0#v=onepage&q=tratamiento biologico&f=false>
- Ramírez, R., Durán, A., y Bernal, A. (2014). *Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0199.pdf>
- Ramos, L. (2000). *Empleo de la técnica de difracción por rayos X, en el estudio de terracotas arquitectónicas romanas de ampurias y tarraco*. 121–136. Recuperado de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/562/21076_21076.pdf?sequence=1
- Ramsden, J. (2016). *Nanotechnology: an introduction*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=VWcMCAAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=+definicion+of+nanotechnology&ots=tcq_akGGDA&sig=j_91-1Slbiqx--pB7x93tpgALC4#v=onepage&q&f=false
- Reynel, C., y León, J. (1990). *Arboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PE1990102711>
- Rodríguez, J. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre*. 9, 125–134. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>
- Rodríguez, J. (2010). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- Rodríguez, S., Muñoz, R., García, O., y Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 36. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511037.pdf>
- Rojas, Í. (2018). *Eficiencia de las semillas de tara (Caesalpinia Spinosa) en la remoción de sólidos suspendidos del Río Colpamayo, Chota-2018* (Universidad César Vallejo). Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/33969?show=full&locale-attribute=en>
- Rojas, Y., y Zarate, C. (2015). *Efecto del pH el tiempo de contacto en la adsorción de*

- romo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1012/Rojas Villalva Yelitsa %2B.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1012/Rojas_Villalva_Yelitsa%2B.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Romé, J., y Esteban, A. (2012). *Método de obtención de un compuesto basado en silicatos pseudolaminares y su uso como carga para materiales poliméricos*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2012104460A1/es>
- Saini, R., Kumar, P., Hira, S., y Manna, P. (2017). Evaluation of carbofuran-mediated toxicity against human lymphocytes and red blood cells in simulated wastewater degraded by coagulation–flocculation. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(18). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9098-y>
- Sanabria, N. (2011). *Extracción de goma a partir de semillas de tara (Caesalpinia spinosa) y evaluación de sus propiedades reológicas* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1216/TESIS NOEMI SANABRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1216/TESIS_NOEMI_SANABRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sánchez, I., y Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHASolteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/852/85224945005/>
- Saranya, R. (2017). *Experimental study on treatment of sullage waste water using coagulants*. Recuperado de [http://www.internationaljournals.org/uploads/specialissuepdf/ICRTCETM/2017/CE /IJCE-ICRTCETM-P115.pdf](http://www.internationaljournals.org/uploads/specialissuepdf/ICRTCETM/2017/CE/IJCE-ICRTCETM-P115.pdf)
- Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., y Škrbić, B. (2009). *Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn*. 100(24). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2019). Condiciones meteorológicas actuales y futuras. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=sinoptica>
- Seth, O. (2010). *Physico-chemical and bacteriological quality of water from five rural catchment areas of lake victoria basin in kenya*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/9f9f/2aa3c15d2d7069276b6537f48520e5c2ffa1.pdf>
- Shammas, N. (2005). Coagulation and flocculation. In *Physicochemical Treatment Processes* (pp. 103–139). <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:103>
- Shammas, N., Kumar, I., Chang, S., y Hung, Y. (2005). Sedimentation. In *Physicochemical Treatment Processes* (pp. 379–429). <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:379>
- Shetti, N. (2018). *Montmorillonite: an introduction to properties and utilization*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77987>
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26, 347–359. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf>
- Tapia, N., Mamani, S., Rojas, N., y Yarango, A. (2010). *Estudio de la coagulación del sistema coloidal de Fe(OH)₃ por acción de la goma de tara*. 2(18), 104–108. Recuperado de

[https://www.google.com/search?q=Tapia%2C+N.%2C+Mamani%2C+S.%2C+Rojas%2C+N.%2C+%26+Yarango%2C+A.++\(2010b\).+Estudio+De+La+Coagulación+Del+Sistema+Coloidal+De+Fe\(OH\)+3+Por+Acción+De+La+Goma+De+Tara.+Tapia+Ma+mani%2C+Yarango%2C+13\(2\)%2C+104-10](https://www.google.com/search?q=Tapia%2C+N.%2C+Mamani%2C+S.%2C+Rojas%2C+N.%2C+%26+Yarango%2C+A.++(2010b).+Estudio+De+La+Coagulación+Del+Sistema+Coloidal+De+Fe(OH)+3+Por+Acción+De+La+Goma+De+Tara.+Tapia+Ma+mani%2C+Yarango%2C+13(2)%2C+104-10)

Tripathy, T., y Rajan, B. (2006). Flocculation : a new way to treat the waste water. *Journal of Physical Sciences*, 10. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/284044586_Flocculation_A_New_Way_to_Treat_the_Waste_Water

Uddin, F. (2008). *Clays, nanoclays, and montmorillonite minerals*. 39(12), 2804–2814. <https://doi.org/10.1007/s11661-008-9603-5>

Umar, M., Aziz, H. A., y Yusoff, M. S. (2010). Variability of parameters involved in leachate pollution index and determination of LPI from four landfills in Malaysia. *International Journal of Chemical Engineering*, 6. <https://doi.org/10.1155/2010/747953>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), (2019). Informe UNESCO da cuenta sobre vulnerabilidad de Perú ante sequías. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/lima/work-areas/unidad-informacion-publica/office-news/informe-unesco-da-cuenta-sobre-vulnerabilidad-de-peru-ante-sequias/>

Vargas, J. (2016). *Análisis de la rentabilidad de la tara (Caesalpinia spinosa) en la región Apurímac* (Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2825>

Vargas, L. (2010). *Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/once.pdf>

Vargas, M., y Romero, L. (2006). *Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica* (Vol. 19). Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/37

Vásquez, G. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana* (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de [http://bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnologia anaerobia en la costa atlantica colombiana.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama%20del%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20con%20tecnologia%20anaerobia%20en%20la%20costa%20atlantica%20colombiana.pdf)

Vásquez, M., y López, G. (2011). *Evaluación técnica de un tanque imhoff para el tratamiento de aguas residuales en centro, Tabasco*. Recuperado de http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_enero_junio11/tema_5_evaluacion_tecnica_de_un_tanque.pdf

Veliz, E., Llanes, J., Asela, L., y Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. valoración crítica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 40(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/1812/181221574007/>

Vigneswaran, S. (2009). *Water and wastewater treatment technologies; Vol. 2*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=Zw9xCwAAQBAJ&pg=PA256&lpg=PA256&dq=U.+Welander,+T.+Henryson,+T.+Welander,+Nitrification+of+landfill+leachate+using+suspended-carrier+biofilm+technology,+Water+Res.+31+\(1997\)+2351-2355.&source=bl&ots=8wEWverwCA&](https://books.google.com.pe/books?id=Zw9xCwAAQBAJ&pg=PA256&lpg=PA256&dq=U.+Welander,+T.+Henryson,+T.+Welander,+Nitrification+of+landfill+leachate+using+suspended-carrier+biofilm+technology,+Water+Res.+31+(1997)+2351-2355.&source=bl&ots=8wEWverwCA&)

Villarroel, J. (2012). *Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales*

artificiales en la comunidad de rumichaca (Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/proyecto_AQUAtech/Diplomado_III/monografias/pdf_doc/MILLARROEL.pdf

- Vörösmarty, C., Green, P., Salisbury, J., y Lammers, R. (2000). *Global water resources: vulnerability from climate change and population growth*. 289(5477), 284–288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
- Walsh, M., Zhao, N., y Gagnon, G. (2011). Development of a bench-scale immersed ultrafiltration apparatus for coagulation pretreatment experiments. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 46(6). <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.562860>
- Whitehouse, U., y McCarter, S. (1956). *Diagenetic modification of clay mineral types in artificial sea water*. 5(1), 81–119. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1956.0050108>
- Williams, R. (2005). *Bentonite, kaolin, and selected clay minerals*. Recuperado de https://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_231.pdf
- Wu, Y., y Ding, W. (2015). *The rheological properties of tara gum (Caesalpinia spinosa)*. 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.083>
- Yang, Z., Peng, X., Chu, C., Lee, D., y Su, A. (2007). Sedimentation of permeable floc. *Drying Technology*, 24(10). <https://doi.org/10.1080/07373930600840393>
- Yariv, S., y Cross, H. (1979). Kinetic properties of colloid solutions. In *Geochemistry of Colloid Systems* (pp. 231–245). https://doi.org/10.1007/978-3-642-67041-1_6
- Zhang, D., Jinadasa, K., Gersberg, R., Liu, Y., Tan, S., y Ng, W. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental Sciences*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.013>

7. ANEXOS

ANEXO I. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

Muestreo y Caracterización de las aguas

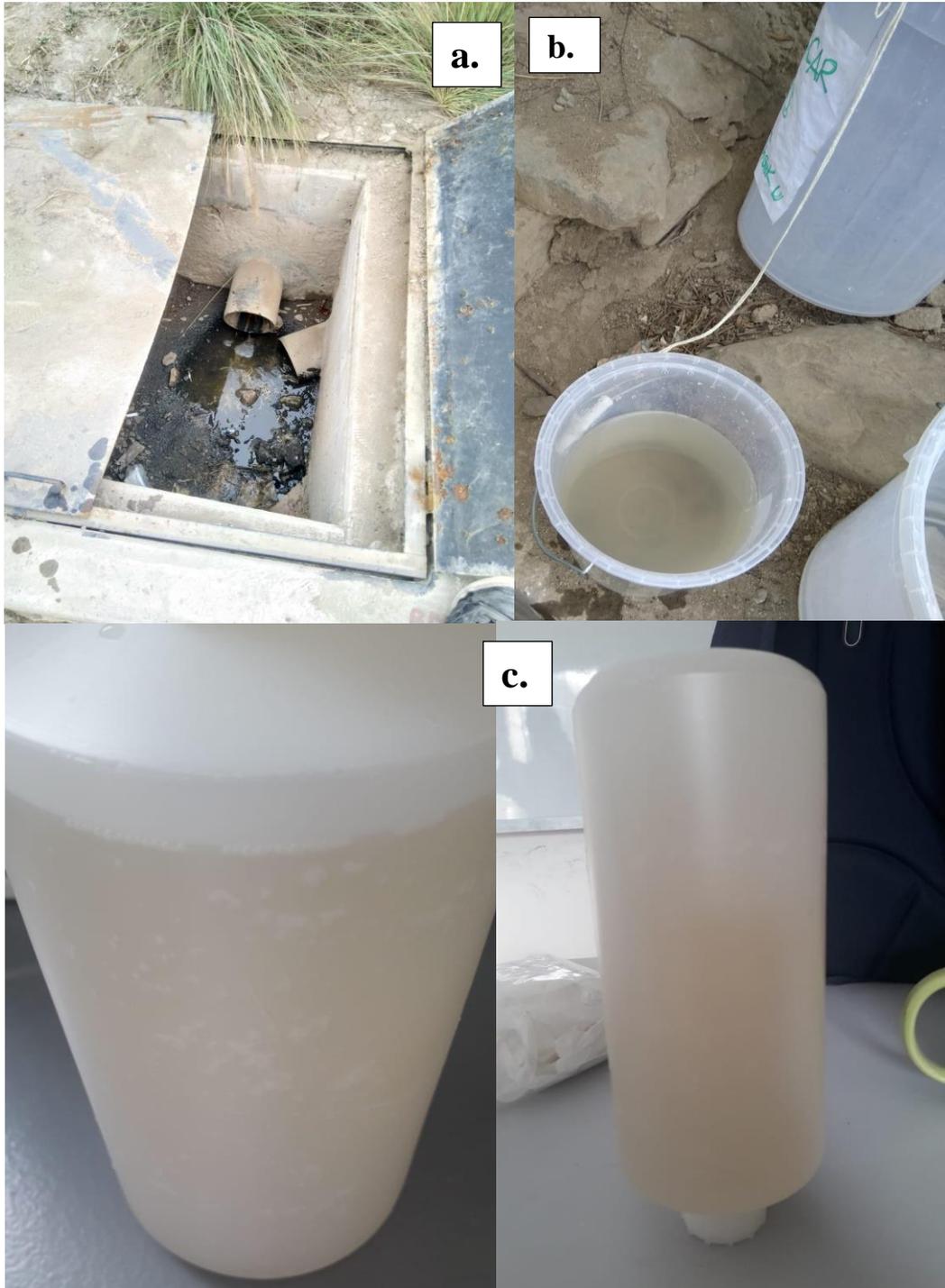


Figura 68. Lugar de recojo del agua residual doméstica (a), Recolección de la muestra de agua (b), Toma de muestra control de DBO_5 y DQO (c).

Análisis fisicoquímicos de muestra antes de aplicar la prueba de jarras



Figura 69. Toma de Pre-dato para tener en consideración.

Proceso de obtención de la Montmorillonita (MMT)

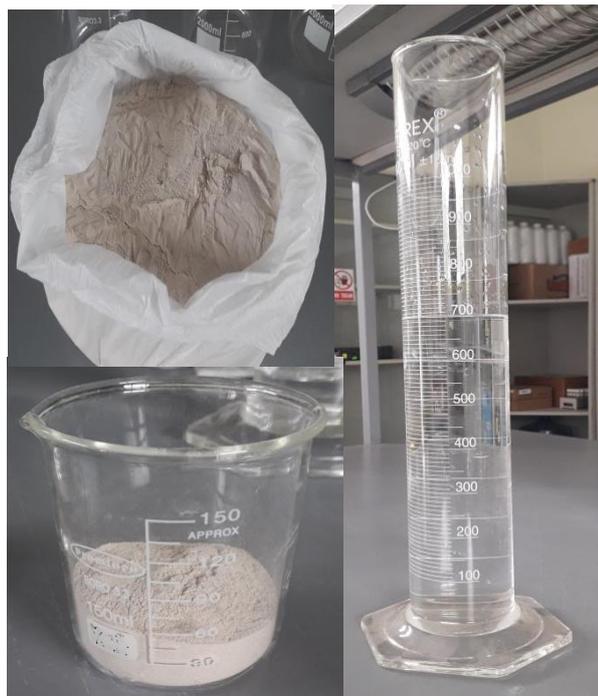


Figura 70. Pesado de la arcilla montmorillonita (a) y mezclado con agua destilada (b).



Figura 71. Prueba de jarra de la mezcla de arcilla bentonita a 300 RPM durante 10 minutos.



Figura 72. Extracción de la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10 cm.

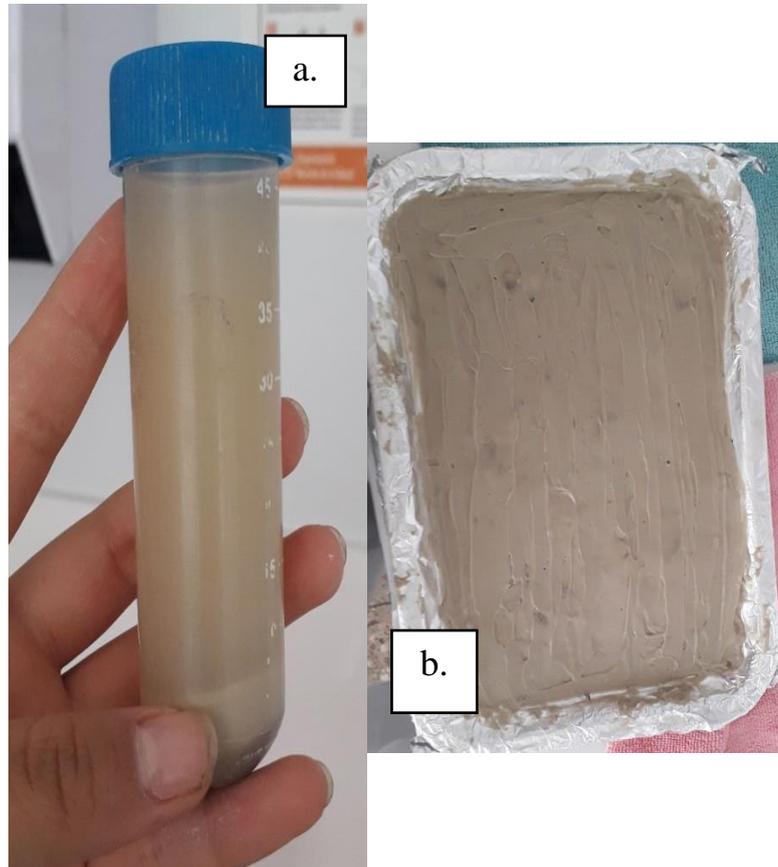


Figura 73. Centrifugación de la arcilla por 10 minutos a 4000 RPM (a), separación del líquido resultante (b).



Figura 74. Secado de la arcilla centrifugada y molienda de la montmorillonita hasta lo más fino.

Proceso tecnológico de obtención de la organoarcilla

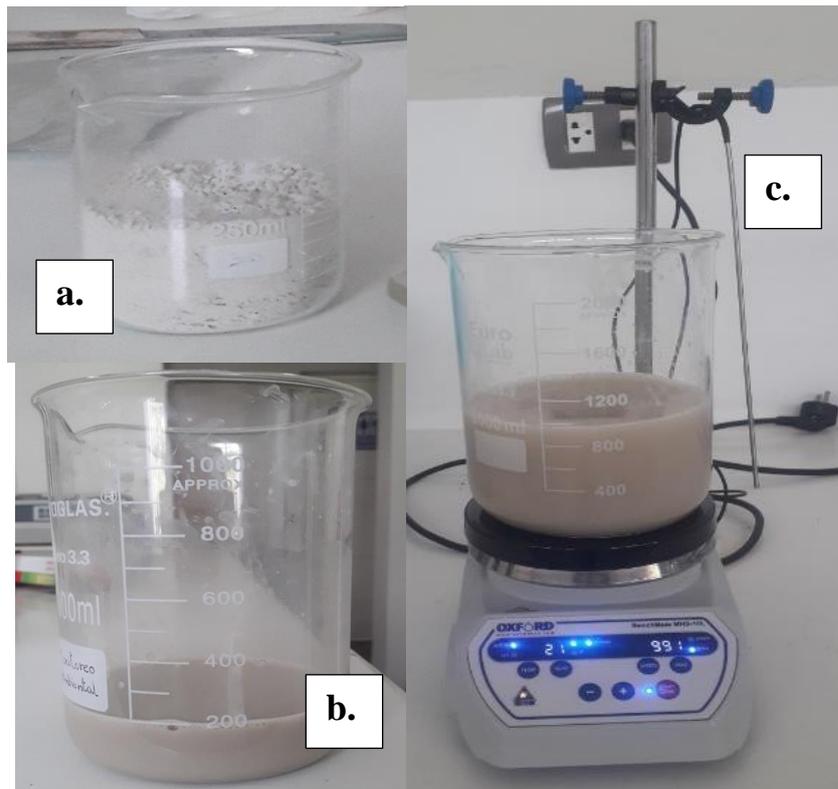


Figura 75. Pesado de 15gr de montmorillonita (a), mezclado con agua destilada (b) y agitado a 2000 RPM por 24 horas (c).



Figura 76. Agregado de sales cuaternarias de amonio (a), y mezclado con el agitador magnético por 5 horas (b).

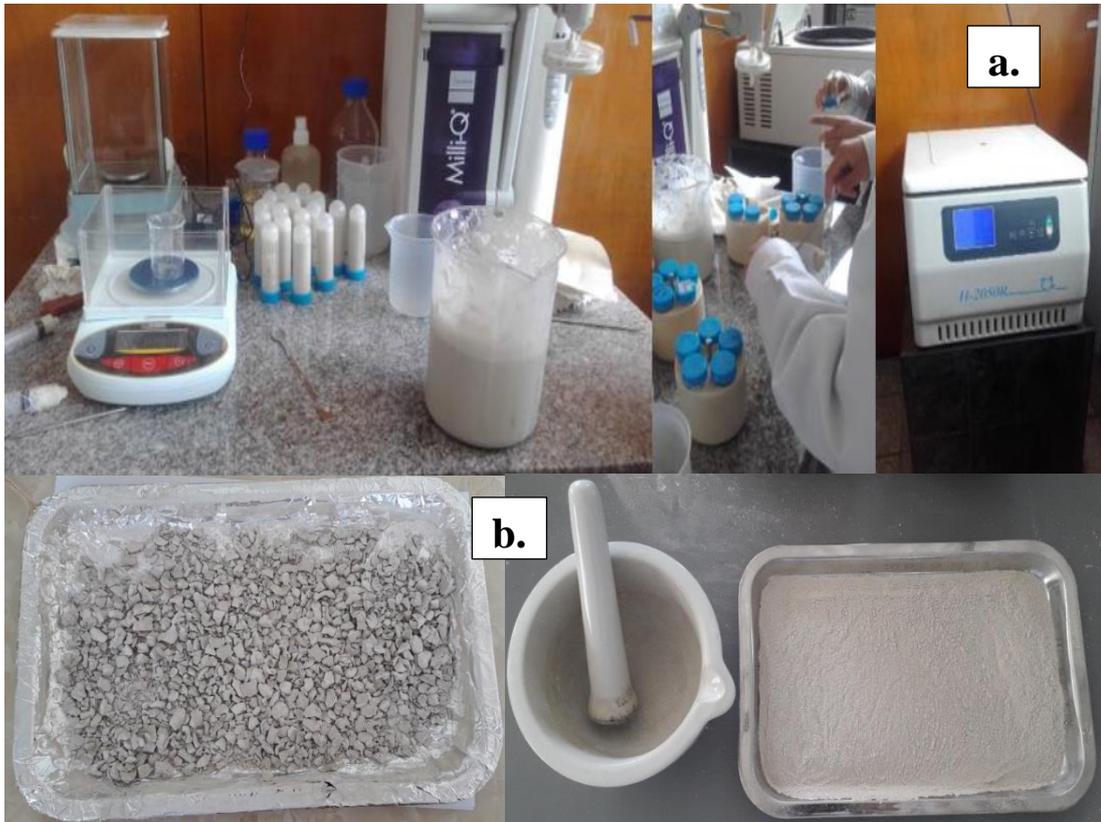


Figura 77. Centrifugado a 3500 RPM por 15 minutos (a) y secado a 100°C por 24 horas (b).

Caracterización de Organoarcilla

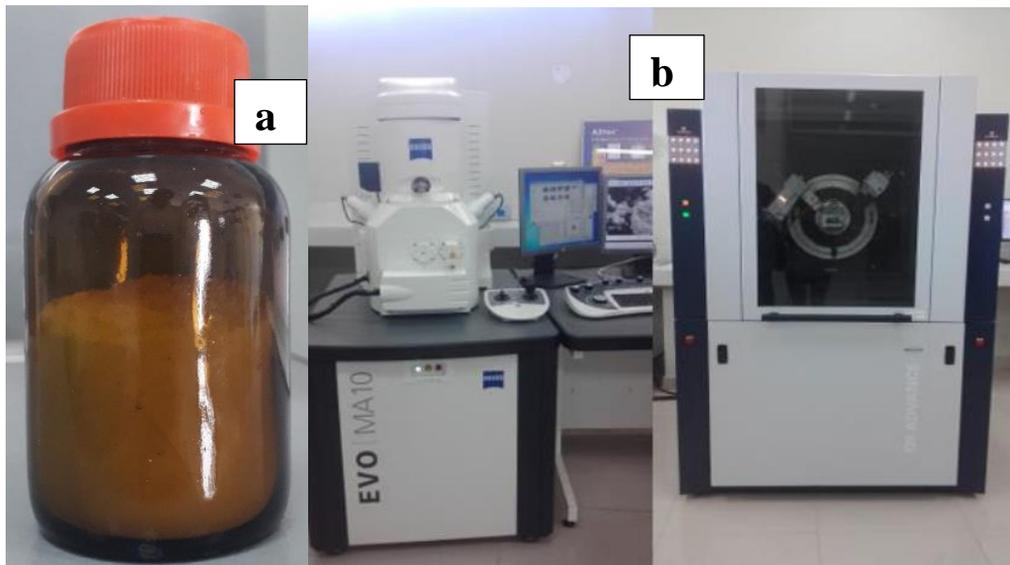


Figura 78. Almacenamiento de la organoarcilla para su posterior análisis (a) y Equipo de difracción de rayos X (DRX) y Microscopia de barrido (SEM) (b).

Proceso de obtención de la goma de tara

ESPECIFICACION TECNICA				
E 417: GOMA DE TARA				
EINECS	254-409-6			
ASPECTO	Polvo Blanco – Blanco amarillento			
OLOR	Sin olor			
HUMEDAD	≤ 15 %			
MATERIA INSOLUBLES EN ÁCIDO	≤ 2%			
GALACTOMANANOS	≥ 80%			
PROTEINAS (N x 5.7)	≤ 3.50%			
GRASAS	≤ 0.95%			
CENIZAS	≤ 1.5%			
PLOMO	≤ 2 ppm			
ARSÉNICO	≤ 3ppm			
MERCURIO	≤ 1ppm			
CADMIO	≤ 1ppm			
TOTAL DE METALES PESADOS (Cu + Zn)	≤ 20ppm			
ALMIDON	Ausente			
pH (Solución 1%)	5,0 - 7,0			
VISCOSIDAD EN CALIENTE / (Sol. 1%, 25°C, 20r.p.m. spindle #4)	4000 – 6800cps			
GRANULOMETRIA	Goma de Tara	A través de Malla 200 (75µm)	A través de Malla 100 (150µm)	A través de Malla 60 (250µm)
	FINA	70-90%	≥ 90 %	100%
	ESTANDAR	30-70%	≥ 80%	99%
	GRUESA	15-20%		95%
AEROBIOS MESÓFILOS	<5000 u.f.c./g			
MOHOS Y LEVADURAS	< 500 u.f.c./g			
E. COLI - COLIFORMES	Ausente/ 1g			
D. SALMONELLA (DETECCIÓN)	Ausente/ 25g			
INGREDIENTE	Es una goma 100% natural obtenida del endospermo molido de la semilla de Tara (Caesalpinia Spinesc).			
ALMACENAMIENTO	Se debe almacenar en un lugar frío y seco, el tiempo de vida útil es de 24 meses en su empaque original y bajo las condiciones requeridas			
OBSERVACION	No contiene: GMO, GLUTEN; ninguno de los ingredientes presentes en la lista según directiva: 2003/89 CE - Anexo 3ª			
USOS	Aditivo alimentario. Utilizado como espesante, aglomerante, estabilizador. Posee la ventaja de ser incolora, insipida, muy estable y altamente resistente a la descomposición			
PRESENTACION	Sacos de papel con bolsa interior de polietileno de 25Kg neto cada una.			

Figura 79. Especificación técnica de la goma de tara dado por el proveedor.

ANEXO II. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PRE Y POS DEL AGUA RESIDUAL

Informe del ensayo de Laboratorio para DBO₅ y DQO - primera prueba



DELTA LAB S.A.C.



Registro N° LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/2

INFORME DE ENSAYO N° 1907114

Cliente : CLAUDIA TERESA RAMOS ZAVALA/
 ISABEL MARICIELO CHACÓN RAMOS
Domicilio legal : Mz. G1 Lote 3 Cooperativa 27 de Abril Ate, Lurigancho – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual
Referencia del cliente : Proyecto "Optimización de Procesos para remoción de DBO₅ y DQO mediante coagulación y floculación de Aguas Residuales Domesticas empleando Organoarcilla"
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Naña – Universidad Peruana Unión. Tubería de desagüe.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/07/23
Fecha de inicio del ensayo : 2019/07/23
Fecha de término del ensayo : 2019/07/31

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	mg/L

Fecha de muestre: 2019/07/22

Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica

Código de Laboratorio	Estación de Muestreo	Hora de Muestreo	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
1907114-1	T inicial	14:20	13	< 50
1907114-2	T1	14:25	8	< 50
1907114-3	T2	14:30	9	< 50
1907114-4	T3	14:35	14	< 50
1907114-5	T4	14:40	8	< 50
1907114-6	T5	14:45	8	< 50
1907114-7	T6	14:50	15	< 50
1907114-8	T7	14:55	10	< 50
1907114-9	T8	15:00	12	< 50
1907114-10	T9	15:05	11	< 50
1907114-11	T10	15:10	12	< 50
1907114-12	T11	15:15	11	< 50

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux Method.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.

Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 2/2

INFORME DE ENSAYO N° 1907114

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 01 de agosto del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
EDSON CASTANEDA OSORIO
JEFE DE LABORATORIO DE FISICOQUIMICA



DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
SUB GERENTE DE LA CALIDAD
CIP N° 209612



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Cadena de custodia - primera etapa

DETA S.A.C.		CADENA DE CUSTODIA							
DATOS DEL CLIENTE		DATOS DEL MUESTREO							
ENTE:	Claudiva Teresa Ramos Zavala	CONTACTO:	934595061	CADENA DE CUSTODIA N°:					
RECCION:	Isabel Mariela Chacón Ramos	DISTRITO:	Lugando	PROVINCIA:	LIMA				
	Mz G1 Lote 3 Cooperativa 21 de Abril - Abc	MUESTREO POR:	<input checked="" type="checkbox"/> CLIENTE <input type="checkbox"/>	ORDEN DE TRABAJO (1):					
	Narra - Universidad Peruana Unión	DISTRITO:		PROVINCIA:					
	plimización de procesos para emisión de DBO ₅ y DBO ₂ mediante cogulación y floculación de aguas residuales domésticas empleando								
ESTACION DE MUESTREO	TIPO DE MATRIZ (2)	FECHA (aa-mm-aa)	HORA (24:00)	N° DE ENVASES	DESCRIPCION DEL PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCION DEL MUESTREO	ENSAYO (S) SOLICITADO (S)	PARAMETROS EN CAMPO	
T1	ARD	19-07-22	14:20	2	Tubería de Desagüe N°	Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcentro (S)		pH (Unidad de pH)	
T2	ARD	19-07-22	14:25	2	Tubería de Desagüe N°			Temperatura (°C)	
T3	ARD	19-07-22	14:30	2	Tubería de Desagüe N°			Oxígeno Disuelto (mg/L)	
T4	ARD	19-07-22	14:35	2	Tubería de Desagüe N°			Conductividad (µS/cm)	
T5	ARD	19-07-22	14:45	2	Tubería de Desagüe N°			Cloro Total (mg/L)	
T6	ARD	19-07-22	14:50	2	Tubería de Desagüe N°			Cloro Residual Libre (mg/L)	
T7	ARD	19-07-22	14:55	2	Tubería de Desagüe N°			Cloro Residual Total (mg/L)	
OBSERVACIONES DE CAMPO: Uso contenedor para el Laboratorio AR = Agua Residual ARD = Agua Residual Doméstica ARS = Agua Residual Sanitaria ARS = Agua Residual Sanitaria ARS = Agua Residual Sanitaria									
Nombre y Apellidos:		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
Claudiva Ramos Zavala				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	
Fecha y Hora:		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
19-07-22				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	
SERVICIOS:		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	
Dirección: Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "X" Lt. 6 - Asociación Narra. Sm. De la Merced - Alta Villa - Lima. - Teléfono: (01) 356-0230 anexos: 20/24. Celular: 947148184. - Web: www.deltalabsac.com - mail: servicioalcliente@deltalabsac.com / rm@deltalabsac.com		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	
SERVICIOS:		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	
Dirección: Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "X" Lt. 6 - Asociación Narra. Sm. De la Merced - Alta Villa - Lima. - Teléfono: (01) 356-0230 anexos: 20/24. Celular: 947148184. - Web: www.deltalabsac.com - mail: servicioalcliente@deltalabsac.com / rm@deltalabsac.com		Firma:		Fecha y Hora:		Recepcionado por:		Firma:	
				19-07-22		Cliente (Supervisor)		Recepcionado por:	

Informe de ensayo de Laboratorio para DBO₅ y DQO - segunda prueba



Pág. 1/1

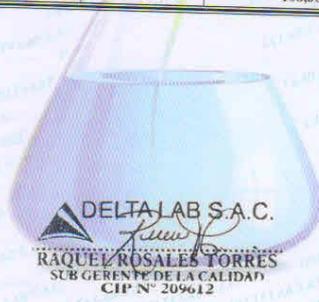
ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1908026

Cliente	: CLAUDIA TERESA RAMOS ZAVALA/ ISABEL MARICIELO CHACÓN RAMOS
Domicilio legal	: Mz. G1 Lote 3 Cooperativa 27 de abril Ate, Lurigancho – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: Proyecto "Optimización de Procesos para remoción de DBO ₅ y DQO mediante coagulación y floculación de Aguas Residuales Domesticas empleando Organocelulosa"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Naña – Universidad Peruana Unión. Tubería de desague.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/08/09

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Estación	Hora	Fecha	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
T inicial	11:30	2019/08/08	300,00	628,00
T1	14:30	2019/08/08	111,30	235,00
T2	14:35	2019/08/08	107,30	221,33
T3	14:40	2019/08/08	120,00	251,33
T4	14:45	2019/08/08	94,30	191,33
T5	14:50	2019/08/08	110,00	228,00
T6	14:55	2019/08/08	108,30	224,67
T7	15:00	2019/08/08	107,30	224,69
T8	15:05	2019/08/08	94,70	201,33
T9	15:10	2019/08/08	107,30	224,67
T10	15:15	2019/08/08	112,70	241,33
T11	15:20	2019/08/08	108,30	228,00

Lima, 20 de agosto del 2019.



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1908026

Cliente: CLAUDIA TERESA RAMOS ZAVALA/
ISABEL MARICIELO CHACÓN RAMOS
Domicilio legal: Mz G1 Lote 3 Cooperativa 27 de abril Ate, Lurigancho – Lima – Lima.
Producto: Agua Residual
Referencia del cliente: Proyecto "Optimización de Procesos para remoción de DBO5 y DQO mediante coagulación y floculación de Aguas Residuales Domesticas empleando Organoarcilla"
Procedencia de las muestras: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Naña – Universidad Peruana Unión. Tubería de desague.
Referencia del plan de muestreo: No Aplica
Procedimiento de muestreo: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras: 2019/08/09
Fecha de inicio del ensayo: 2019/08/09
Fecha de término del ensayo: 2019/08/19

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	mg/L

Fecha de muestra: 2019/08/08

Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica

Código de Laboratorio	Estación de Muestreo	Hora de Muestreo	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
1908026-1	T inicial	11:30	300	628
1908026-2	T1	14:30	111	235
1908026-3	T2	14:35	107	221
1908026-4	T3	14:40	120	251
1908026-5	T4	14:45	94	191
1908026-6	T5	14:50	110	228
1908026-7	T6	14:55	108	225
1908026-8	T7	15:00	107	225
1908026-9	T8	15:05	95	201
1908026-10	T9	15:10	107	225
1908026-11	T10	15:15	113	241
1908026-12	T11	15:20	108	228

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux Method.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

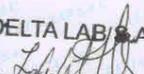
Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1908026

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 20 de agosto del 2019.



DELTA LAB S.A.C.
EDSON CASTANEDA OSORIO
JEFE DE LABORATORIO DE FISCOQUIMICA



DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
SUB GERENTE DE LA CALIDAD
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

Análisis Estadístico

DBO5

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-6.08071	32.34711	-0.18798	0.868235	-100.534	88.3724
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	87.23723	29.06557	3.00139	0.095390	2.366	172.1083
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	-1.03352	7.01899	-0.14725	0.896441	-21.529	19.4618
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	3.51067	0.80456	4.36346	0.048716	1.161	5.8600
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	-0.01480	0.00444	-3.33443	0.079379	-0.028	-0.0018
1L by 2L	-2.17000	0.57457	-3.77672	0.063503	-3.848	-0.4923

DQO

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-27.9555	99.26438	-0.28163	0.804695	-317.806	261.8951
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	208.5627	89.19424	2.33830	0.144326	-51.883	469.0086
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	-11.5122	21.53936	-0.53447	0.646476	-74.407	51.3825
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	7.3900	2.46897	2.99314	0.095843	0.181	14.5993
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	-0.0304	0.01363	-2.23362	0.155110	-0.070	0.0094
1L by 2L	-4.6330	1.76320	-2.62760	0.119438	-9.782	0.5155

Turbidez

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	22.9348	2.482425	9.23887	0.011514	15.6862	30.18345
(1)Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(L)	-15.6987	2.230589	-7.03790	0.019597	-22.2120	-9.18538
Concentración de Organoarcilla (g/100mL)(Q)	5.1701	0.538661	9.59805	0.010681	3.5972	6.74298
(2)Velocidad Lenta (RPM)(L)	-0.4321	0.061745	-6.99856	0.019812	-0.6124	-0.25183
Velocidad Lenta (RPM)(Q)	0.0041	0.000341	12.06675	0.006798	0.0031	0.00511
1L by 2L	0.0240	0.044095	0.54428	0.640816	-0.1048	0.15276