

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Una Institución Adventista

**Aplicación de superficie de respuesta en la cuantificación y
remoción de plomo de aguas residuales empleando nanoarcilla
montmorillonita y residuos lignocelulósicos de arroz (*Oryza
Sativa*)**

Autoras:

Jacky Milagros Cisneros Gómez

Deysi Erica Laura Pezo

Asesor:

Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Lima, mayo de 2019

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulada: "Aplicación de Superficie de Respuesta en la Cuantificación y Remoción de Plomo en Aguas Residuales Empleando Nanoarcilla Montmorillonita y Residuos Lignocelulósicos de Arroz (*Oryza Sativa*), constituye la memoria que presenta a los Bachilleres: Jacky Milagros Cisneros Gómez y Deysi Erica Laura Pezo aspirar al Título 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 Lima, 17 de junio 2019.




Noé Benjamín Pampa Quispe


Aplicación de superficie de respuesta en la cuantificación y remoción de plomo de aguas residuales empleando nanoarcilla montmorillonita y residuos lignocelulósicos de arroz (*Oryza Sativa*)


TESIS


Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Secretario


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Vocal


Ing. Nancy Curasi Rafael
Vocal


Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe
Asesor

Lima, 30 de mayo de 2019

DEDICATORIA

A DIOS

Por darnos la oportunidad de vivir, por estar con nosotras en cada paso que damos y permitirnos el haber llegado hasta este momento de nuestra formación profesional.

CISNEROS GÓMEZ, JACKY MILAGROS

A mi madre Teófila Gómez por haberme forjado como una persona que soy en la actualidad; mucho de mis logros le debo a ella entre los que incluye este. Me formó con reglas y ciertas libertades, pero siempre me motivó para alcanzar mis sueños y anhelos. A mis hermanos Ana, Sarita, Patricia y Henry, por la confianza que siempre me han demostrado. A mis tíos Rodolfo Cisneros y Brígida Huamaní, por todo el aprecio y cariño incondicional que me demuestran siempre y por todas las palabras de aliento para conseguir cada uno de mis objetivos, a todos ellos les agradezco por ser parte de mi vida y de mi crecimiento personal.

LAURA PEZO, DEYSI ERICA

Esta tesis está dedicada a mis padres Julio Laura y Guillerma Pezo, quienes me inculcaron las virtudes de la perseverancia y el compromiso y me alentaron sin descanso a esforzarme por alcanzar mis objetivos, por su amor y aliento sin fin. A mis hermanos Narda y Randy por su apoyo moral para seguir con el desarrollo de esta investigación. A mi tía Yaneth por su apoyo y aprecio.

A todos mis amigos (as), gracias por su comprensión y aliento en mis muchos momentos de crisis. Tu amistad hace una experiencia maravillosa. No puedo enumerar todos los nombres aquí, pero siempre estás en mi mente.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a DIOS por darnos la vida, la sabiduría, conocimiento de poder realizar las cosas y concluir esta tesis.

Al Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Por su orientación y apoyo a lo largo de esta investigación con la cual se logró finalizar la tesis y especialmente por su confianza en nosotras. Nuestra más sincera gratitud por su actitud y soporte.

A nuestros Maestros

Por compartir con nosotros sus enseñanzas y sabiduría en el proceso de nuestra educación.

A los docentes encargados de los laboratorios Ginnie Diaz y Katherine Gamarra

Por las facilidades brindadas en las instalaciones de los laboratorios de Ingeniería Ambiental.

A nuestros amigos

INDICE

Resumen	15
Abstract	16
CAPITULO I	17
INTRODUCCIÓN	17
1.1. OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo General	24
CAPITULO II	25
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Agua	25
2.1.1. Calidad del agua	25
2.1.2. Contaminación del agua superficial	26
2.2. Aguas residuales	27
2.2.1. Clasificación de las aguas residuales	27
Aguas residuales domésticas	27
Aguas residuales industriales	27
Metales pesados y la salud humana	28
2.3. Metales pesados	28
2.3.1. Grupo de los metales pesados	28
2.3.2. Arsénico	29
2.3.3. Plomo	29
El Plomo en la industria	30
2.3.4. Cadmio	31
2.3.5. Cromo	32
2.4. Nanociencia y nanotecnología	32
2.5. Nanoarcillas montmorillonita	33
2.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	34
2.6.1. Factores que contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) 35	
2.6.2. Factores que Afectan la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	35
2.6.3. La capacidad de intercambio catiónico de la naturaleza de las partículas	35
2.6.4. Eliminación de metales pesados por arcillas naturales y modificadas	36
2.7. Arcillas flosilicatos	36
2.7.1. Características de las arcillas	37
2.7.2. Estructura de las arcillas	38
Lámina Tetraédrica	39

Lámina Octaédrica.....	39
2.1. Tipos de arcilla	40
Esmectita	40
Caolinita	41
Bentonita	41
2.1.1. Tipos de bentonita.....	41
Bentonitas cálcicas.....	41
Bentonitas sódicas	42
Montmorillonita.....	42
2.1.2. Origen y obtención de la Montmorillonita.....	42
2.1.3. Composición química	43
2.1.1. Montmorillonita modificada con sales de amonio cuaternario	43
2.2. Propiedades físico químicas de las arcillas	44
2.2.1. Área superficial	44
2.2.2. Capacidad de hinchamiento	45
2.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	46
2.3. Cascarilla de Arroz	46
Producción de arroz en el Perú	47
Descripción e historia	47
Composición de la cascarilla de arroz	48
Propiedades de la cascarilla de arroz	48
Aplicaciones de la cascarilla de arroz.....	49
2.4. Adsorción	50
2.4.1. Factores que intervienen en la adsorción	50
pH.....	51
Temperatura.....	51
Velocidad de agitación.....	51
El tamaño de la partícula.....	52
Efecto de la dosificación del adsorbente.....	52
Efecto del tiempo de contacto	52
2.4.2. Tipos de adsorción	52
Adsorción física o fisición.....	52
Adsorción química o quimisión.....	53
2.5. Modelos que describen las isotermas de adsorción	53
2.5.1. Modelo de Langmuir	53

2.5.2.	Modelo Freundlich.....	54
2.6.	Adsorción de cationes Metálicos Pesados.....	54
2.7.	Caracterización de las nanoarcillas.....	54
2.7.1.	La técnica de difracción de rayos X (DRX).....	54
2.7.2.	Fluorescencia de rayos X.....	56
2.7.3.	Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	56
2.8.	Metodología de superficie de respuesta.....	57
CAPITULO III		58
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	58
3.1.	Lugar de ejecución.....	58
3.2.	Características climatológicas	58
3.3.	Ubicación del lugar de muestreo	59
3.4.	Materiales e insumos.....	59
3.4.1.	Materia prima	59
3.4.2.	Materiales de laboratorio.....	60
	Equipos.....	60
	Reactivos	61
3.5.	Metodología.....	61
3.5.1.	Muestreo y caracterización de aguas de la laguna “La Mansión”	61
3.5.2.	Preparación de agua residual sintética con Plomo.....	61
3.5.3.	Cuantificación del Plomo	62
3.5.4.	Proceso tecnológico de obtención de nanoarcilla.....	62
a.	Obtención de la Montmorillonita.....	62
b.	Obtención de nanoarcilla orgánicamente modificada.....	63
c.	Obtención y caracterización de las partículas de cascarilla de arroz.....	63
3.6.	Diseño experimental y superficie de respuesta	65
3.6.1.	Diseño estadístico	65
CAPITULO IV		69
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1.	Propiedades estructurales y morfológicas de la nanoarcilla.....	69
4.2.	Resultados de la fibra lignocelulósica de arroz	81
4.3.	Resultados de los parámetros campo del agua residual	84
4.4.	Resultados de la cuantificación del Plomo.....	85
4.5.	Resultados de la remoción del Plomo	100
4.6.	Resultados del pH (post) en la remoción de Plomo.....	113

4.7.	Correlación de parámetros	122
4.8.	Test de muestras relacionadas	123
4.9.	Predicción y simulación de parámetros	124
4.9.1.	Predicción para la cuantificación de Plomo	125
4.9.2.	Predicción para la remoción de Plomo	128
4.9.3.	Predicción del pH (post) de Plomo	130
CAPITULO V.....		133
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
5.1.	Conclusiones.....	133
5.2.	Recomendaciones	134
6.	REFERENCIAS	135
7.	ANEXOS	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Uso de metales en las industrias.....	31
Tabla 2. Capacidad de CIC de algunos elementos de acuerdo a su naturaleza	35
Tabla 3. Capacidad de adsorción (mg/g) de metales pesados de distintos tipos de arcilla	37
Tabla 4. Constituyentes de la montmorillonita fuente	43
Tabla 5. Componentes de la cascarilla de arroz	48
Tabla 6. Propiedades y características de la cascarilla de arroz	48
Tabla 7. Componentes de la cascarilla de arroz	49
Tabla 8. Factores y niveles del diseño experimental	65
Tabla 9. Variables dependientes e independientes de diseño experimental.....	66
Tabla 10. Resultados de la Amplitud a diferentes ángulos	72
Tabla 11. Distanancia interlaminar de la nanoarcilla.....	72
Tabla 12. Composición química de la Nanoarcilla.....	72
Tabla 13. Resultados de las propiedades físicas de partículas de fibra cascara de arroz	82
Tabla 14. Resultados de los parámetros de campo de la muestra de agua residual.....	84
Tabla 15. Resultados del análisis de concentración de Pb de la Laguna La Mansión contaminado con Nitrato de Plomo	84
Tabla 16. Resultados de la cuantificación del Plomo	85
Tabla 17. Resultados de la Anova para la Cuantificación de Plomo (mg/L)	86
Tabla 18. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo en la cuantificación de Plomo (mg/L)	87
Tabla 19. Resultados efectos para la cuantificación del Plomo (mg/L).....	88
Tabla 20. Resultados de coeficiente de regresión para la cuantificación del Plomo (mg/L)	90
Tabla 21. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración Plomo pH en el agua	96
Tabla 22. Resultados de la remoción del Plomo	100
Tabla 23. Resultados de la Anova para la Remoción del Plomo.....	101
Tabla 24. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo para la remoción del Plomo	101
Tabla 25. Resultados de efectos para la remoción del Plomo	103
Tabla 26. Afinidad grupos funcionales e iones metálicos	106

Tabla 27. Resultados de coeficiente de regresión para la remoción del Plomo	106
Tabla 28. Resultados de pH Postratamiento.....	113
Tabla 29. Resultados de Anova para el pH Postratamiento	114
Tabla 30. Resultados efectos para el pH (post)	115
Tabla 31. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo para pH pos tratamiento.....	116
Tabla 32. Tabla Correlación de parámetros para análisis de Plomo.....	122
Tabla 33. Prueba de muestras relacionadas para la cuantificación y remoción del Plomo	123
Tabla 34. Resultados de la regresión lineal para la cuantificación del Plomo (mg/L) según el error puro.	175
Tabla 35. Resultados de la regresión lineal para la remoción del Plomo (%) según el error puro.....	175
Tabla 36. Resultados de la regresión lineal para la remoción del Plomo (%) según el error residual.....	176

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de intercambio de cationes inorgánicos por cationes orgánicos.....	34
Figura 2. Estructura química de una arcilla MMT.....	38
Figura 3. Formas geométricas Tetraédricas y octaédricas	40
Figura 4. Espacio de monocapa a) disposición monocapa, b) arreglo en bicapa	44
Figura 5. Representación de la diferencia del hinchamiento entre la bentonita cálcica y bentonita sódica	45
Figura 6. Diagrama de la capacidad de intercambio catiónico.....	46
Figura 7. Esquema de Difracción de ángulo y distancia interlaminar del DRX	55
Figura 8. Modelo de difracción de rayos X de una bentonita natural.....	55
Figura 9. Patrón de micrografías para a) Arcilla natural-b) Arcilla activada	56
Figura 10. Mapa de ubicación de la zona de estudio	58
Figura 11. Ubicación del punto de muestreo.....	59
Figura 12. Flujograma de proceso de obtención de la fibra lignocelulósica de arroz	64
Figura 13. Difracción de Rayos X de la muestra de nanoarcilla en ángulo de 10° a 90°	70
Figura 14. Difracción de rayos X de la nanoarcilla de un ángulo de 0°- 40°.....	71
Figura 15. Micrografía de la nanoarcilla a una ampliación de 10.00 k.....	75
Figura 16. Micrografía de arcilla modificada a una ampliación de 1. 00 k	76
Figura 17. a) Distribución normal de la granulometría de nanoarcilla MMT. b) distribución normal del tamaño laminar de la nanoarcilla MMT.	77
Figura 18: Microscopia de barrido electrónico de la MMT no activada (a) y activada con ácido clorhídrico a diferentes concentraciones (b) 0.06M; (c) 0.15 M; (d) 0.25 M; (e) 0.4 M; (f) 0.6M.....	81
Figura 19. Morfología de la fibra Lignocelulósica de Arroz.	82
Figura 20. Distribución normal de la granulometría de fibras de cascarilla de arroz.....	83
Figura 21. Diagrama de Pareto para la cuantificación del Plomo	87
Figura 22. Valores observados y predictivos del ajuste del modelo.....	88
Figura 23. Figura de medias marginales de parámetros.....	89
Figura 24. Superficie de Respuesta para la cuantificación del Plomo	90
Figura 25. Curvas de contorno para la cuantificación del Plomo.....	91
Figura 26. Superficie de respuesta para la cuantificación de Plomo	92
Figura 27. Contorno de respuesta para la cuantificación de Plomo	92
Figura 28. Análisis químico de la bentonita.....	95

Figura 29. Superficie de respuesta para la cuantificación de Plomo	97
Figura 30. Contorno de respuesta para la cuantificación de Plomo	97
Figura 31. Valores observados y predictivos del ajuste del modelo.....	102
Figura 32. Diagrama de Pareto para la Remoción de Plomo	103
Figura 33. Gráfica de medias marginales de parámetros	104
Figura 34. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo	107
Figura 35. Gráfica de contorno para la Remoción del Plomo	107
Figura 36. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo	109
Figura 37. Contorno de Respuesta para la Remoción del Plomo	109
Figura 38. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo	111
Figura 39. Contorno de Respuesta para la Remoción del Plomo	112
Figura 40. Resultados de pH Pre y Post para la remoción del Plomo	114
Figura 41. Diagrama de Pareto para pH post tratamiento	115
Figura 42. Graficas de medias marginales de parámetros a).....	117
Figura 43. Superficie de respuesta de pH post tratamiento.....	118
Figura 44. Gráfica de contorno de pH post tratamiento.....	118
Figura 45. Superficie de Respuesta de pH post tratamiento	119
Figura 46. Contorno respuesta del pH post tratamiento.....	120
Figura 47. Superficie de respuesta de pH post tratamiento.....	121
Figura 48. Superficie de contorno del pH post tratamiento	121
Figura 49. Correlación de parámetros a) remoción vs pH(pos), b) remoción vs cuantificación y c) pH(pos) vs Cuantificación	123
Figura 50. Gráficos Box Whisker a) Pre y Pos cuantificación de Plomo b) Pre y Post de la remoción del Plomo	124
Figura 51. Diagrama de regresión polinomial para la cuantificación del Plomo	125
Figura 52. Predicción de a) cuantificación del Plomo con respecto a la Nanoarcilla, b) log. Cuantificación de Pb (mg/L)	126
Figura 53. Predicción a) cuantificación del Plomo con respecto a pH, b) log. Cuantificación de Pb respecto a pH.....	127
Figura 54. Diagrama de regresión polinomial para la Remoción de Plomo	128
Figura 55. Predicción de la remoción del Plomo a) con respecto a la Nanoarcilla MMT, b) con respecto al pH	129
Figura 56. Diagrama de regresión polinomial para el pH postratamiento	130

Figura 57. Predicción pH (post) del Plomo a) con respecto a la Nanoarcilla MMT, b) con respecto al pH.....	131
Figura 58. Toma de muestra de agua residual Laguna la Mansión	142
Figura 59. Peso de Nitrato de Plomo para su posterior mezcla con la muestra de agua.	142
Figura 60. Mezcla del agua con el nitrato de plomo y toma de muestra para el análisis.	143
Figura 61. Muestra preservada de acuerdo al protocolo nacional de monitoreo.....	143
Figura 62. Pesaje de la arcilla montmorillonita (a) y mezclado con agua destilada (b).	144
Figura 63. Prueba de jarras de la mezcla de arcilla bentonita a 300 RPM durante 10 minutos.....	144
Figura 64. Extracción de la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10 cm (a), centrifugación de la arcilla (b).....	145
Figura 65. Secado de arcilla centrifugada (a), molienda de la montmorillonita (b)	145
Figura 66. Pesaje de arcilla montmorillonita (a), mezcla de arcilla con agua destilada(b)	146
Figura 67. Sales cuaternarias de amonio para la mezcla con la muestra de arcilla.	146
Figura 68. Muestra de arcilla mezclada con sales cuaternarias y control de temperatura.	147
Figura 69. Equipo de centrifugado (a) y estufa (b).....	147
Figura 70. Proceso de centrifugado de arcilla modificada	147
Figura 71. Preparación de la muestra de arcilla centrifugada para el posterior secado	148
Figura 72. Nanoarcilla seca y molienda.....	148
Figura 73. Equipo de difracción de rayos X (DRX) y Microscopia de barrido (SEM)	148
Figura 74. Secado de fibra de arroz previamente lavada, molienda de la fibra de arroz.	149
Figura 75. Tamizado de la fibra de arroz	149
Figura 76. Muestras de agua residual de acuerdo a los 3 niveles de pH trabajados	149
Figura 77. Pesaje de Fibra de Arroz a los tres niveles a los cuales se trabajó.....	150
Figura 78. Mezcla de agua residual con un nivel de pH, nanoarcilla y fibra de arroz..	150
Figura 79. Equipo de Centrifugado y proceso de centrifugación	150
Figura 80. Muestra de agua residual después del proceso de centrifugado y toma de muestra.	151

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	55
Ecuación 2	66
Ecuación 3	67
Ecuación 4	91
Ecuación 5	93
Ecuación 6	95
Ecuación 7	98
Ecuación 8	108
Ecuación 9	111
Ecuación 10	112
Ecuación 11	119
Ecuación 12	120
Ecuación 13	125
Ecuación 14	128
Ecuación 15	130

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO I. Implementación del proyecto de tesis	142
Muestreo y Caracterización de aguas	142
Preparación de agua residual sintética	142
Obtención de la Montmorillonita (MMT).....	144
Proceso de obtención de nanoarcilla orgánicamente modificada.....	145
Obtención de las partículas de la cascarilla de arroz	149
Cuantificación del Plomo	149
ANEXO II. Mapa de ubicación	152
ANEXO III. Resultados del análisis Pre de agua residual	153
ANEXO IV. Resultados de la aplicación de nanoarcilla análisis Post de agua residual	155

Símbolos

ANOVA	Análisis de varianza
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
CPb	Cuantificación del Plomo
DXR	difracción de rayos X
FF	Factoriales fraccionados
H	pH
MMT	Montmorillonita
N	Nanoarcilla montmorillonita
F	Fibra lignocelulósica
MINAM	Ministerio de Ambiente
OEFA	Organización de Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud
pH	Potencial de hidrógeno
Pb	Plomo
SEM	Microscopía electrónica de barrido
RPM	Revoluciones por minuto
RPb	Remoción de Plomo
α	Varianza
2θ	Ángulo de difracción
Bo	Coefficiente intercepto
$\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{iii}$	Coefficientes de modelo lineal, cuadrático e interacción
mg	Miligramo
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
μm	Micrómetros
R^2	Coefficiente de ajuste
χ_i y χ_j	Variable codificados de las variables independientes

Resumen

La nanotecnología es la ciencia que en el siglo XXI está en pleno auge, en la actualidad emerge como una interesante alternativa para sistemas de tratamiento de aguas residuales. El tamaño de las nanopartículas y sus características de los nanomateriales hacen que el potencial de la nanotecnología en este campo sea enorme. La presente investigación tiene por objetivo de aplicar la metodología de superficie de respuesta en la cuantificación y remoción de Plomo empleando nanoarcilla orgánicamente modificada y residuos particularizados lignocelulósicos de cascarilla de arroz como adsorbentes. Para la obtención de las nanopartículas de arcillas se realizó por la metodología de intercambio catiónico con sales cuaternarios. Para la remoción del plomo se aplicó diseño de experimentos de superficie de respuesta las siguientes condiciones: pH (3, 5.5 y 8), concentración de nanoarcilla (0,3, 0.5 y 0.7 g/100 mL) y fibra lignocelulósica de arroz (2, 3 y 4 g/100 mL) de concentraciones, teniendo como concentración inicial de Plomo 14.3 mg/L en agua residual. Las variables constantes fueron el tiempo y la velocidad de agitación. La composición química de la nanoarcilla es de Oxido de sílice tetraédrica y hexaédrica en mayor cantidad, seguida de Calcio, Magnesio, Aluminio, Silicatos. La estructura morfológica y estructural de la nanoarcilla tuvo una distancia interlaminar de la nanoarcilla fue de 18.025 Å (1.8025 nm) ángulo de $2\theta=4.902$ con 1.1 nm aproximado del espesor de la nanoarcilla en forma de empillamiento interlaminar. El tratamiento experimental óptimo para la cuantificación y remoción del plomo fue de 0.13 mg/L y 99.04% respectivamente con pH final de 7.1. El modelo polinomial predictivo de superficie de respuesta se ajustó significativamente a R^2 97.6 simulando a concentraciones de nanoarcilla de 6.6 g/100 mL y pH de 8.2 con un contenido y remoción de 0.005 mg/L y 99.9% respectivamente

Palabras clave: Nanoarcilla; Fibra; adsorción y plomo.

Abstract

Nanotechnology is the science that in the XXI century is booming, because it is in full investigation showing the different fields in which it can be applied. One of the fields of application is the environment in its different aspects such as the treatment of contaminated water. The following research aims to apply the surface response methodology in the removal of lead using organically modified nanoclay and particularized lignocellulosic residues of rice husk as adsorbents. To obtain the nanoclays was developed by the cationic exchange methodology with quaternary salts, for the removal of the lead was applied design of response surface experiments under the following conditions: pH (3, 5.5 and 8), 3 concentration of nanoclay (0.3, 0.5 and 0.7 g/100 mL) and rice lignocellulosic fiber (2, 3 and 4 g / 100 mL) of concentrations, having as initial concentration of Lead 14.3 mg/L in residual water. The constant variables were time and agitation speed. The results of physical analysis of the particles was of. The chemical composition of the nanoclay is tetrahedral and hexahedral in more quantity, followed by Calcium, Magnesium, Aluminum, Silicates. The interlaminar distance of the nanoclay was 18.025 Å, (1.8025 nm) at an angle of $2\theta = 4.902$ with an approximate 1.1 nm thickness of the nanoclay. The maximized treatment for the quantification and removal of lead was 0.13 mg / L and 99.04 % respectively with final pH of 7.1. The predictive polynomial response surface models were adjusted significantly to R^2 97.6 simulating nanoclay concentrations of 6.6 g / 100mL and pH of 8.2 with a content and removal of 0.005mg / L and 99.9 % respectively.

Keywords: Nanoclay; Fiber; adsorption and lead

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es, uno de los problemas más importantes que afecta la sociedad en el siglo XXI. Se pierde la calidad de los recursos aire, agua y de suelo principalmente para la producción agrícola se ha visto el incrementado exponencialmente. Estimando que la contaminación de agua puede llegar a ser en 2000 millones de metros cúbicos (m³), haciendo evidente la crisis por este recurso en los próximos años Reyes, Vergara, Torres, Díaz, y Gonzáles, (2016).

La contaminación de agua, es uno de los problemas que mayor riesgo para la salud humana representa, pues tiene la tendencia de provocar efectos perjudiciales para la salud humana y diversas formas de vida que existe. Muchos componentes naturales, inorgánicos y orgánicos son los contaminantes presentes en el agua. Algunos de estos presentan toxicidad agua, siendo un veneno mortal y cancerígeno, considerándose una amenaza para el ecosistema. Los diversos tipos de contaminación del agua dan lugar a su escases a nivel mundial, en términos de calidad y cantidad, siendo una amenaza para el bienestar humano Dubey, Banerjee, Upadhyay y Sharma, (2017).

Por ello, uno de los desafíos más importantes con el cual lucha la humanidad de hoy, es la distribución de agua potable, a la gran mayoría de la población a nivel mundial. La necesidad de agua apta para el consumo humano es crítica en los países del tercer mundo, debido a que los ríos, canales, estuarios y otras fuentes de aguas son contaminados por la descarga indiscriminada de efluentes industriales, como también a las actividades antropogénicas y procesos naturales Cruz, (2013).

En estos últimos años los metales pesados están considerados dentro de los contaminantes más tóxicos Guerra y Hiyagon, (2012), la peligrosidad de los metales pesados aumenta al no ser degradables, ni por medio de procesos biológicos ni antropogénicos Vicente, (2010), se acumulan en el agua y subsuelo a concentraciones

más tóxicas para plantas, animales y seres humanos Peralta, (2011), estos elementos tienden a persistir indefinidamente en el ambiente, algunos de los metales presentan la capacidad de biomagnificación por medio de la cadena trófica, es decir incrementa su concentración en un organismo a medida que avanza en el nivel trófico Huancaré, (2014).

A nivel mundial se reportaron asuntos que dan a conocer las afecciones a la salud, un caso relevante aconteció en Japón en 1947, donde la población situada a la ribera del río Jitzu, aguas abajo de las Minas Kamioka y la fundición de Mitsui Ltd, fue afectada por consumir arroz contaminado con cadmio como residuo de la actividad, la cual produjo la enfermedad que es conocida como itai itai este afecta directamente el tejido óseo Larios, (2014).

La Organización Mundial de Salud (OMS) y otras autoridades ambientales establecieron los niveles de concentración de metales pesados para aguas de consumo humano y diversos alimentos. Los mapas elaborados en algunas regiones a nivel mundial revelan el incremento en la concentración, las que se clasifican como de alto riesgo Reyes et al, (2016).

En esta última década, se observa un incremento de la actividad minera, tanto artesanal como pequeña minería a nivel nacional. Las mineras artesanales identificadas trabajan ya hace muchos años en las zonas como el Sur Centro (Ica y Arequipa), algunas provincias del departamento de Puno, Madre de Dios y la Libertad, a ellos se le suma el norte del país con la intensificación de la actividad en algunos distritos de la región de Cajamarca y Piura. Incrementan la contaminación en las principales fuentes de agua Flores, (2009).

Los principales metales identificados por la autoridad de Salud a nivel nacional son: Mercurio, Aluminio, Plomo, Arsénico, Hierro, Cobre, Manganeso, Magnesio, Cianuro Ministerio de Salud [MINSA], (2014). Estos son esparcidos por las actividades

industriales y mineras, siendo perjudiciales para la salud humana y otras formas de vida. Las aguas residuales sin tratamiento provenientes de minas y fábricas son vertidas a fuentes naturales de agua y los subsuelos dañando la flora y fauna circundante. Los principales consumidores de estas aguas contaminadas son los pobladores campesinos y urbanos, tanto por consumo humano y actividades agrícolas Guerra y Hiyagon,(2012).

Las últimas investigaciones se reporta la presencia de metales pesados y diversos metaloides como mercurio (Hg), Arsénico (As), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), níquel (Ni) y Cromo (Cr) en plantas de tallo corto tales como papa, brócoli, lechuga, calabaza y repollo. Así mismo se ha reportado su presencia en los peces, leche y carne en distintas concentraciones, las cuales son resultado de la bio-acumulación, movilidad del medioambiente a las diversas fuentes de agua, tales casos siguen siendo temas por resolver. Por su alta toxicidad, el impacto que causa en la salud humana debido a la exposición prolongada, dependiendo del metal o metaloide, se originan diversas afecciones que van desde perjuicios en órganos hasta progresos cancerígenos Reyes et al, (2016), de los metales mencionados el plomo, cadmio y el mercurio causan daños neurológicos y renales Organización Mundial de Salud [OMS], (2015).

Según el informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el 2014 la concentración de algunos metales pesados en el Río Rímac fueron las siguientes: Hierro (Fe) en el mes de enero presento una decreción de 70,2% a diferencia del año anterior, en el 2013 alcanzó un promedio de 59,18 mg/L y en el 2014 fue de 17,65 mg/L. La presencia de Plomo (Pb), en enero del año 2014 tuvo una concentración de 0,8 mg/L cifra que es superior respecto al año anterior en 56,9 %. La concentración de Cadmio (Cd) en el río fue de 0,0104 mg/L, teniendo un incremento de 103,9 % a diferencia del año 2013. El Aluminio (Al), en enero del 2014 registro una concentración máxima de 19,16 mg/L, el cual disminuyó al reporte del año anterior Informática, (2014), la concentración

de estos metales está por encima de lo que permite el Reglamento de Calidad del Agua para consumo Humano (D.S. 031-2010-SA).

El arsénico es un metal que se puede encontrar en aguas subterráneas y superficiales de forma natural, pero el que alguien este expuesto al arsénico así sea en pequeñas dosis, según estudios estos generadores de diversos tipos de cáncer; pulmonar, de piel, próstata y vejiga Mohan y Pittman, (2007).

Guerra y Hiyagon (2012) indican que los procesos de remoción de los metales en su mayoría son de naturaleza química, uso de membranas permeables como el carbón activado, nanofiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa, que son muy eficientes pero la inversión es muy costosa para una aplicación de manera doméstica. Otro de los problemas existentes es la disponibilidad de materiales absorbentes que combinen de manera óptima su costo y efectividad, además poseen propiedades mecánicas adecuadas que permitan su fácil manipulación en los sistemas de adsorción.

Considerando que los procesos de remoción de los metales pesados con diferentes tecnologías son de alto costo, se opta por otro tipo de material para el proceso de remoción de metales, los materiales cerámicos, tienen algunas ventajas debido a sus propiedades mecánicas.

Los métodos convencionales utilizados para tratar el agua incluyen: precipitación, intercambio iónico, filtración, reducción, tratamiento electroquímico y otras tecnológicas como recuperación por evaporación y de membrana, resultan ser de alto costo y son ineficaces principalmente cuando los metales pesados están en baja concentración Cruz, (2013), por ello que se opta por un material diferente para el proceso de eliminación de metales, los materiales cerámicos, tienen algunas ventajas debido a sus propiedades mecánicas.

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. Su gran capacidad de adsorción es atribuida a su estructura cargada negativamente, elevada área superficial y gran porosidad Rojas y Zarate, (2015).

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. 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, NOx, propanol Julca y Pérez, (2015).

La nanotecnología y la nanociencia, abren muchas posibilidades, para el desarrollo de las áreas científicas, tecnológicas y económicas de cualquier país que desee progresar Arnall y Parr, 2005; Schummer, 2007 y Quintili, (2012). En la actualidad la nanotecnología emerge como una interesante alternativa para el diseño de sistemas para el tratamiento de aguas. El pequeño tamaño de las nanopartículas y las características de los nanomateriales hacen que el potencial de la nanotecnología en este campo sea enorme Chávez-Lizárraga, (2018).

En estas últimas décadas, las nanoarcillas son aplicados en la prevención de contaminantes y remediación medioambiental mediante la absorción de contaminantes Lee, Kim, Chung, Jeong, (2004) y remoción de metales pesados Cruz-Guzman, Celis, Hermosin, Koskinen, Nater y Cornejo, (2006)

El diseño de experimentos de superficie de respuesta es una estrategia muy esencial que permite alcanzar conclusiones más relevantes en forma eficaz y económica.

De tal manera el investigador podrá tomar decisiones correctas a cerca de la variable del objeto de estudio y de una manera más confiable Molina, (2016).

“Entonces él dijo: Traedme una vasija nueva, y poned en ella sal. Y se la trajeron. Y saliendo él a los manantiales de las aguas, echo dentro la sal, y dijo: así ha dicho Jehová: Yo sané estas aguas, y no habrá más en ellas muerte ni enfermedad” (2 Reyes 2:20-21).

Los metales pesados son los componentes más peligrosos presentes en aguas residuales, que si se encuentran por encima de los niveles permitidos generan impactos negativos en la salud humana y el ambiente. Para el aprovechamiento adecuado de este recurso, existen diferentes métodos y técnicas para el tratamiento de aguas que ayudan a remover los contaminantes.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la metodología de superficie de respuesta en la cuantificación y remoción de Plomo en aguas residuales empleando nanoarcilla orgánicamente modificada y residuos particularizados lignocelulósicos de cascarilla de arroz como agente bioadsorbente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Obtener nanoarcilla orgánicamente modificada empleando sales cuaternarias por intercambio catiónico.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales de la nanoarcilla montmorillonita.
- Obtener y caracterizar las partículas de residuos lignocelulósicos de fibra de cascarilla de arroz.
- Evaluar la aplicación de superficie de respuesta a concentraciones de nanoarcilla, fibra lignocelulósica y pH para la cuantificación, eficiencia de la remoción del Plomo y pH postratamiento de agua residuale.
- Predecir y simular las correlaciones de los parámetros en el modelo polinomial de segundo orden.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Agua

En el mundo el agua dulce constituye un recurso escaso, que se encuentra en peligro y amenaza. Los estudios sobre balance hídrico del planeta muestran que solamente el 0,007 % de aguas dulce se encuentra disponible para el uso directo de los seres humanos. Todos los procesos vitales dependen de esta pequeña porción, las evaluaciones recientes de los especialistas y organizaciones internacionales interesados en los problemas de contaminación del agua, mencionan que para el año 2025 más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirán algún estrés por falta de este recurso Cruz, (2013).

2.1.1. Calidad del agua

En estos 5 últimos años el abastecimiento de agua para el consumo humano se dispone de diversas fuentes superficiales y subterráneas, las cuales han sido contaminados por las diversas actividades del hombre o por eventos naturales, generando daños en la salud del ser humano y de las especies de la fauna, también altera la calidad del agua para consumo humano y de uso agrícola. Uno de los principales problemas son los sistemas fluviales del país es la elevada contaminación a la cual está expuesta por diversos factores como son: descargas industriales, municipales o de aguas procedentes del escurrimiento de drenajes en zonas urbanas o campo agropecuario, que provoca alteraciones en el ecosistema acuático Cruz, (2013).

La calidad del agua es una de las cuestiones que preocupa a todos los países a nivel mundial, desarrollados o en desarrollo, por la repercusión que tiene en la salud de la población Organización Mundial de la Salud [OMS], (2009).

La calidad del agua representa un valor ecológico y esencial para la salud de las diferentes especies que habitan la tierra, y una fuente de crecimiento económico. El Perú es un país de naturaleza mineralógica debido a la presencia del sistema montañoso de los Andes, su economía depende de la actividad extractiva de los minerales. Esta actividad genera la dispersión de los contaminantes químicos, especialmente metales, que incluso pone en riesgo al agua potable, y si la población alcanza un determinado nivel de exposición generalizada pone en riesgo crónico la salud que en un determinado punto puede llegar a ser inmanejable Agua y Sostenible, (2018).

2.1.2. Contaminación del agua superficial

La contaminación del agua es la alteración de la composición natural de la misma, debido a que se agregan sustancias que no pertenecen a esta. La elevada concentración de contaminantes puede originar efectos adversos en la salud humana. El agua es considerada contaminada cuando sus propiedades físicas, químicas, biológicas son alteradas Cruz, (2013).

En los últimos años, la contaminación por metales en el medio acuático. Ha atraído la atención mundial debido a su toxicidad ambiental, persistencia y abundancia. Grandes cantidades de sustancias químicas peligrosas, especialmente metales pesados, en todos los mundos se han liberado en los ríos de todo el mundo, debido al rápido crecimiento de la población mundial y las actividades domésticas intensivas, así como la expansión de la producción industrial y agrícola Islam, Ahmed, Raknuzzaman, Habibullah -Al- Mamun e Islam, (2015).

Los ríos en las zonas urbanas también se han asociado con problemas de calidad de agua. Debido a la práctica de la descarga de residuos domésticos e industriales no

tratados en los cuerpos de agua, esto lleva al aumento del nivel de metales en el agua de los ríos Srebotnjak, Carr, De Sherbinin y Rickwood, (2012).

El comportamiento de los metales en el agua natural es una función de la composición del sedimento del sustrato, la composición del sedimento suspendido y la química del agua. Durante el transporte, los metales pesados pueden sufrir numerosos cambios en su especiación debido a fenómenos de disolución, precipitación, sorción y complejación que afectan su comportamiento y biodisponibilidad Mohiuddin, Otomo, Ogawa y Shikazono, (2012).

2.2. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características iniciales fueron modificadas por las diversas actividades que realiza el ser humano, estas necesitan de un previo tratamiento antes de ser vertidas en los cuerpos superficiales, o red de alcantarillado o destinada a reutilizarse Núñez, (2016). Son procedentes del uso doméstico, comercial, agropecuario y proceso industrial o una combinación de estas que dan lugar a las aguas residuales Herrera y Lopez, (2015).

2.2.1. Clasificación de las aguas residuales

Aguas residuales domésticas

Son las aguas que tiene origen en las viviendas, instituciones y comercio. Los cuales están compuestos por; las aguas grises que provienen de las duchas, lava-plato y lavadoras, las aguas negras son producto del uso en los inodoros Reyna, (2016).

Aguas residuales industriales

Estas aguas provienen de las actividades que realizan las diferentes industrias, dentro de ellas la minería cuyos principales contaminantes son los metales pesados, estas son sustancias tóxicas para los cuerpos receptores y la salud humana Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental [OEFA], (2014).

Metales pesados y la salud humana

Los metales pesados están presentes en el medio ambiente de manera natural a diferentes concentraciones, que por lo general no son perjudiciales para las diferentes formas de vida Londoño et al, (2016).

Según Zubero et al. (2008) los metales pesados en mayor concentración son una preocupación para la salud pública por su toxicidad aguda y crónica, por su gran variedad de fuentes de exposición.

Cada metal y elemento químico tiene un diferente mecanismo de acción y lugar de acumulación definido, el Plomo afecta a diversos sistemas, al sistema nervioso, la médula ósea y otro de los lugares donde se puede encontrar con frecuencia es en los riñones Romero, (2009).

Entre los metales que generan preocupación, se encuentra el plomo, cadmio y mercurio. El cromo y cadmio son considerados cancerígenos, el plomo y mercurio generan preocupación por su neurotoxicidad. El cromo también es alergénico. El cadmio genera afección pulmonar, renal, osteomalacia y osteoporosis Londoño et al, (2016).

2.3. Metales pesados

2.3.1. Grupo de los metales pesados

Existen dos grupos de metales pesados Mohan y Pittman, (2007)

Los micronutrientes: necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos, son requeridos, en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran As, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn.

Los metales pesados no esenciales: metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos vivos. Son principalmente: Be, Cu, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn Y Ti.

2.3.2. Arsénico

El arsénico es un elemento ubicuo que ocupa el 20avo° en abundancia en la corteza terrestre, 14° en agua de mar, y 12° en el cuerpo humano. Su concentración en la mayoría de las rocas varía de 0.5 a 2.5 mg/kg, aunque concentraciones más altas se encuentran en los sedimentos arcillosos y fosforitas de grano más fino. El arsénico existe en los estados de oxidación -3.0 +3 y +5 y se moviliza a través de reacciones naturales de meteorización geoquímicas, emisiones volcánicas y otras antropogénicas. La mayoría de los problemas de arsénico ambiental son el resultado de la movilización en condiciones naturales. Sin embargo, las actividades mineras, la combustión de combustibles fósiles, el uso de pesticidas de arsénico, herbicidas y desecantes de cultivos y el uso de aditivos de ganado crean impactos Mohan y Pittman, (2007).

2.3.3. Plomo

El plomo (Pb) presenta las siguientes características, es de color blanco azulado con tendencia al gris plateado, de alta densidad (11.35 g/m³). En su estado puro es blando y maleable y mal conductor de electricidad. El plomo no es soluble en el agua, presenta resistencia a la acción del ácido sulfúrico, se llega a disolver de manera lenta en soluciones de agua ácida con ácidos débiles Oriundo y Robles, (2009). Es un metal tóxico en altas concentraciones, no biodegradable y que a nivel mundial se ha incrementado a más de 2000 veces su emisión atmosférica.

En los últimos años la puesta en operación de muchos proyectos mineros en nuestro país, ha generado que las aguas contaminadas por relaves mineros se incrementen,

porque los ríos, lagos, lagunas y el mar son los receptores finales de las evacuaciones residuales provocadas por el hombre.

Félix Huaranga Moreno, Eduardo Méndez García, Vito Quilcat León, Félix Huaranga Arévalo (2012) afirman que la contaminación química de los ríos Mantaro (Huancayo) y Rímac (Lima), encontraron concentraciones de Fe superiores a 260 veces de lo establecido como límite máximo permisible, y para el caso del Manganeso (Mn) fue de 55 veces mayor, encontrándose además concentraciones relativamente elevadas de Cd, Pb, Cr y Zn originadas por acción antrópica.

El Perú es un país eminente minero, es el cuarto productor en el mundo, por lo que está expuesto a la contaminación ambiental producida por la explotación minera formal e informal, así como relaves productos de esta actividad. Se han realizado diferentes estudios en zonas mineras como La Oroya o en lugares donde es depositado el plomo antes de su explotación como el Callao, donde se ha encontrado altos niveles de plomo en sangre de personas en la población que vive en zonas. No se encontraron estudios nacionales que evalúen la presencia de intoxicación por plomo en poblaciones aledañas, a relaves mineros, aunque si se ha estudiado la presencia de alteraciones dermatológicas Huaranga, et al, (2012).

El Plomo en la industria

El plomo es un origen natural de color gris azulado, metal presente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Aunque el plomo se produce naturalmente en el medio ambiente, las actividades antropogénicas tales como la quema de combustibles fósiles, la minería y la fabricación contribuyen a la liberación de altas concentraciones. Actualmente se utiliza en la producción de baterías de plomo-ácido, en la fabricación de pantallas de TV y de ordenador, forros para cables, municiones, elementos de construcción, productos

de metal anticorrosivo del acero y en fundiciones, dispositivos para proteger rayos X, en las soldaduras o tuberías con plomo, en tintes para cabello actualmente, etc. Tchounwou, et al., (2012)

Tabla 1. Uso de metales en las industrias Tchounwou et al., (2012)

	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Al	Sn	Sb
Refinería de petróleo	x		x	x	x		x		x				
Pulpa y papel			x	x	x	x	x		x				
Textiles	x	x	x	x	x		x	x	x				
Metalúrgicos	x		x		x		x	x	x	x			x
Química orgánica	x		x			x	x	x	x	x	x	x	
Química Inorgánica	x		x			x	x	x	x	x	x		
Plásticos	x												
Curtiembres									x				
Mineras		x		x		x	x	x		x			
Drenaje ácido de minas	x	x	x	x									
Galvanoplastia		x	x	x	x		x		x				

2.3.4. Cadmio

El cadmio es un elemento de la Tabla Periódica de número atómico 48, peso atómico 112,40 Da y una densidad de 8650 kgm^{-3} a 20° C , se encuentra libre en la naturaleza, la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral del cadmio, pero no es una fuente comercial, casi todo el cadmio se obtiene como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, pigmentos de las industrias textiles, subproductos del reciclaje a base de hierro y aceite para motores y el uso de fertilizantes Morales y Ruiz, (2008).

De acuerdo a la OMS, el cadmio es un potente carcinógeno y teratógeno capaz de infectar órganos, viscerales tales como los pulmones, hígado, riñones y los órganos reproductores. De acuerdo a la directriz de la OMS, la concentración máxima de cadmio en el consumo humano es 0,003 mg/L Dubey et al, (2017).

2.3.5. Cromo

El cromo en la naturaleza se halla en estado libre y constituye el 0.030 % de la corteza terrestre. Se encuentra combinado principalmente con los compuestos de nombre cromita ($\text{Fe}(\text{Cr}_2\text{O}_3)_2$), cromo ferroso, en la crocoita o cromato de plomo (PbCrO_4), sólido y de color rojo Rojas y Zarate, (2015). El cromo también se encuentra en varias formas cromo trivalente (III), como hexavalente (VI), el cromo (III) es un esencial nutriente para los seres humanos, pues promueve la acción de la insulina, el cromo metálico (0) y cromo hexavalente generalmente son de origen antropogénico Sociedad Mexicana de Toxicología, (1988).

2.4. Nanociencia y nanotecnología

La nanociencia es el estudio de los procesos que ocurren en las estructuras de un tamaño entre 1 y 100 nanómetros, las cuales se conocen como nanoestructuras Shelley, (2009). La nanotecnología es el área de investigación que estudia, diseña y fabrica materiales o sistemas a escalas nanoscópico y les da alguna aplicación práctica. Sin embargo, en ocasiones se denominan nanotecnología a la habilidad de contralar la materia átomo a átomo. Un nanómetro (nm) es una millonésima parte ($1/1\ 000\ 000\ 000$) de un metro. Para tener una idea de que tan pequeño es un nanómetro, pensemos en el diámetro de un cabello humano, el cual mide aproximadamente 75 000 nm Takeuchi., (2009).

La nanotecnología son el conjunto de ciencias y tecnologías aplicadas tanto en el control y la manipulación de la materia en una escala nanométrica. Un nanómetro es la millonésima parte de un metro; a esta escala, la materia adquiere características fisicoquímicas diferentes a su escala micro o macro Závago, (2016).

La nanociencia es el estudio de fenómenos y la manipulación de materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, en el cual las propiedades son diferenciadas significativamente de la larga escala. 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 Perugachi, (2006).

2.5. Nanoarcillas montmorillonita

En la década de 1950 los nanocompuestos de arcilla fueron tomadas en interés Garde, (2014), es importante tener conocimiento del significado de nanotecnología y nanociencia para así definir las nanoarcillas y visualizar el campo de estudio y evitar no solo la percepción dimensional del prefijo nano Perugachi et al, (2006).

Las nanoarcillas son modificadas a través de la manipulación controlada a nivel nanométrico, con un diseño específico de su estructura de acuerdo a su aplicación, el nombre de nanoarcillas es dado por las empresas comercializadoras, otro nombre con el que se le conoce también es organoarcillas Perugachi, (2006).

En la Figura 1 se muestra, que las organoarcillas son un material híbrido, donde los cationes inorgánicos de arcillas como Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , etc., que se encuentran entre las capas, son sustituidos por cationes orgánicos, haciendo que haya un rendimiento entre las capas tetraédricas de silicio, originado por la prospección de modificadores biológicos entre las capas Rodrigo, Cecília, y Mauricio, (2006).

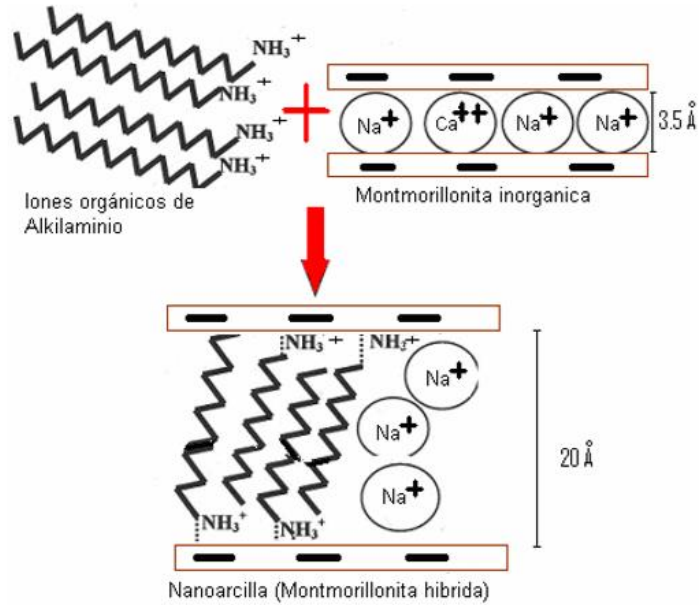


Figura 1. Proceso de intercambio de cationes inorgánicas por cationes orgánicas
Rodrigo et al., (2006)

Normalmente las partículas de las arcillas están fusionadas a una distancia de 3.5 Å, el cual a través de un tratamiento de superficie (intercambio catiónico) disminuye la atracción partícula-partícula, dando como resultado la ampliación de la distancia entre las capas cerca de 20 Å Rodrigo et al., (2006).

2.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades del suelo de retener y liberar iones positivos. Las arcillas que son parte del suelo, están cargadas negativamente, por lo que los suelos que tienen mayor concentración de arcilla exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores Arriola et al, (2017).

El intercambio iónico es definido como el proceso reversible por el cual las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, haciendo que se establezca el equilibrio en ambas fases. Usualmente los minerales de arcilla presentan valores de CIC entre 10 y 150 meq/100 g Arriola et al, (2017).

2.6.1. Factores que contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

- La cantidad, combinación y clase de los diversos minerales arcillosos.
- La cantidad de materia orgánica y su estado de descomposición.
- Las arcillas con gran capacidad de intercambio catiónico tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{++} y el Mg^{++} , con más energía que el K^+ .

2.6.2. Factores que Afectan la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

- Tamaño de la partícula.
- Cuanto más pequeño sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio.
- Naturaleza de las partículas.
- La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes. Tipo de cationes cambiables (monovalentes, divalentes, de gran tamaño, etc.)
- pH
- los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH.

2.6.3. La capacidad de intercambio catiónico de la naturaleza de las partículas

Tabla 2. Capacidad de CIC de algunos elementos de acuerdo a su naturaleza Arriola et al, (2017)

NATURALEZA DE LA PARTÍCULA	CIC, MEQ/100G SUELO
cuarzo y feldespatos	1-2
Oxidos e hidróx Fe y Al	4
caolinita	3-15
ilita y clorita	10-40
montmorillonita	80-150
vermiculita	100-160
materia orgánica	300-500

2.6.4. Eliminación de metales pesados por arcillas naturales y modificadas

Estudios llevados a cabo para eliminar Cd (II), Plomo (III), y los iones de cromo (VI) de las aguas residuales en arcilla de origen natural. Los resultados confirmaron que la arcilla era un buen adsorbente para la eliminación de estos metales.

2.7. Arcillas flosilicatos

Son minerales pertenecientes a la familia de los flosilicatos; que contienen iones hidroxilo, las cuales ejercen gran influencia sobre su característica de adsorción Osorio et al, (2004), además son componentes muy importantes en la mayor parte de los suelos y sedimentos, provenientes de la desintegración de rocas que contienen feldespato, por ejemplo el granito, producida en un proceso original de meteorización de los silicatos, que desarrollados a altas presiones y temperaturas, en el medio exógeno, se hidrolizan Cruz y Gutierrez, (2008). Son aluminosilicatos de estructura laminar, que se originan por la división y/o por la variación de silicatos que se hidrolizan en los procesos geológicos que se desarrollan a elevadas temperaturas y presiones Espinoza, (2011).

Del punto de la mineralogía, la arcilla engloba a un grupo de minerales, en su mayoría son parte de los flosilicatos, cuyas propiedades fisicoquímicas penden de su tamaño y estructura. El diámetro de las partículas de arcilla es inferior a 2u Romero y Barrios, s.f.

Tabla 3. Capacidad de adsorción (mg/g) de metales pesados de distintos tipos de arcilla
Romero y Barrios, s.f.

Material	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Referencia
Montmorillonita				0,68	0,72	Srivastava <i>et al.</i> (1989)
	4,9				4,78	Undabeytia <i>et al.</i> (1996)
Caolinita	1,25					Singh <i>et al.</i> (1988)
				0,12	0,32	Srivastava <i>et al.</i> (1989)
				1,41		Chantawong <i>et al.</i> (2001)
	1,8	0,8			0,8	Chantawong <i>et al.</i> (2003)
Ilita				4,29		Chantawong <i>et al.</i> (2001)
		1,9			3,7	Arias <i>et al.</i> (2002)
Bentonita	52,91					Mellah y Chegrouche (1997)
				20		Naseem y Tahir (2001)
Paligorskita		30,7	33,4	62,1		Potgieter <i>et al.</i> (2006)

2.7.1. Características de las arcillas

Según Alves, (2015) la arcilla tiene algunas características típicas de ese material, que son:

- a. **Hidroplasticidad:** adquiere plasticidad cuando se añade agua;
- b. **Tamaño de las partículas:** tiene dimensión muy pequeña de tamaño de partícula en el intervalo de 2A.
- c. **Alta superficie específica:** propiedad que hace que sea reactivo.
- d. **Sonoridad:** La arcilla tiene la propiedad de emitir sonidos a través de pequeños latidos después de la cocción.
- e. **Resistencia al agua:** después de la cocción y piezas esmaltadas de barro vuelto más impermeable.
- f. **Resistencia:** es la propiedad que las arcillas adquieren después del secado y luego de cocinar, no sufren deformación de su apariencia, resistente al calor y la corrosión.

2.7.2. Estructura de las arcillas

Las propiedades que determinan la composición de un mineral derivan de su base química, geométrica disposición de átomos e iones, y las fuerzas eléctricas que los unen. Dado que hay ocho elementos que los constituyen más del 99 % de la corteza terrestre. No obstante, la prevalencia silicio y oxígeno en el flosilicato, la estructura es lógica Barton y Karathanasis, (2002).

Los minerales de arcilla son comúnmente flosilicatos o silicatos de capa, que están compuestas además por láminas de silicato e hidróxido de aluminio conectados paralelos entre sí. Estos minerales tienen una morfología laminar debido a la disposición de los átomos en la estructura. Hay dos componentes básicos en la estructura: una hoja de tetraedros (T) unidos por esquinas y una hoja de octaedros (O) compartidos por los bordes. La composición estructural de los flosilicatos 2:1 varía mucho en la naturaleza. Las variaciones más importantes son sustituciones isomórficas que son elementos que aparecen en el lugar de aluminio o silicio sin causar cambios significativos a la estructura de la capa Guggenheim, s.f.

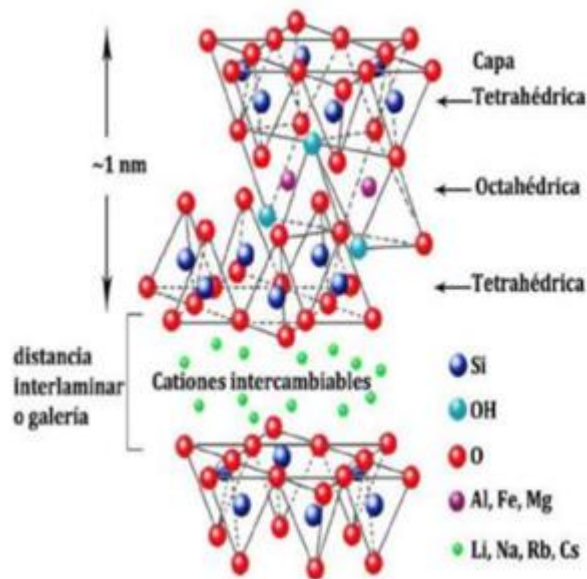


Figura 2. Estructura química de una arcilla MMT Guggenheim, s.f.

Lámina Tetraédrica

El grupo tetraédrico está conformado principalmente por (Si) y ocasionalmente (Al y Fe) Agouborde, (2008). El tetraedro es una de las formas geométricas sólidas utilizadas para representar la disposición de los átomos en estructuras de cristal de arcilla. Se forma conectando los centros de los cuatro aniones de oxígeno rodeando un catión central predominante del tetraedro de silicio. Un número limitado de tetraedros están ocupados por aluminio y ocasionalmente por hierro férrico u otros elementos. Un ion de silicio o aluminio está rodeado por cuatro iones de oxígeno para formar un tetraedro aislado tiene una carga negativa de 4- (si con 4+ cargas o con 2 cargas). El resto tetraédrico en la cara triangular y las cuatro caras triangulares del tetraedro se forman uniendo centros de los aniones 1 Al-Ani y Sarapää, (2008).

Solo dos de las caras son visibles en la ilustración poliédrica. En minerales de arcilla, los tres oxígenos en la base del tetraedro se comparten con el tetraedro adyacente y solo el oxígeno apical conserva una carga de -1. La lámina tetraédrica se forma al compartir cada uno de los tres átomos de oxígeno en la base de un tetraedro con el tetraedro vecino. Cada plano atómico en la hoja tiene una composición y cargas únicas, la composición de la hoja es: Si_4O_{10} y una carga neta de -4 Al-Ani y Sarapää, (2008).

Lámina Octaédrica

Las láminas octaédricas están conformadas principalmente por (Al) y en ocasiones por (Mg, Fe, Cr, Mn y Zn) con un cierto grado de sustitución isomórfica Agouborde, (2008). En esta lámina los átomos de (OH) están en las esquinas y los cationes en el centro. Los cationes suelen ser átomos de aluminio (Al), hierro (Fe) y magnesio (Mg). La lámina está compuesta de oxígenos e hidroxilos muy compactos en los que los átomos de (Al), (Fe y Mg) están dispuestos en coordinación octaédrica. La carga neta en un octaedro Al-OH aislado es -3 (Al+3 y 6 OH con 1 carga). La carga se reduce mediante el

intercambio de aniones por octaedro adyacente. Se puede reconocer un solo octaedro siguiendo los enlaces de los círculos azules (átomos de Al). Tres de ellos están dirigidos hacia arriba y cada uno está conectado a un grupo hidroxilo tal como se ve en la Figura 2, los tres enlaces restantes se dirigen hacia abajo a otros grupos hidroxilo Al-Ani y Sarapaa, (2008).

Cuando el aluminio con una valencia positiva de tres (Al^{+3}) está presente en la lámina octaédrica, solo dos tercios de las posiciones posibles se rellenan para equilibrar las cargas. Cuando el magnesio con una carga positiva de dos (Mg^{+2}) está presente, las tres posiciones están llenas de cationes divalentes es una lámina trioctahedral Al-Ani y Sarapaa, (2008).

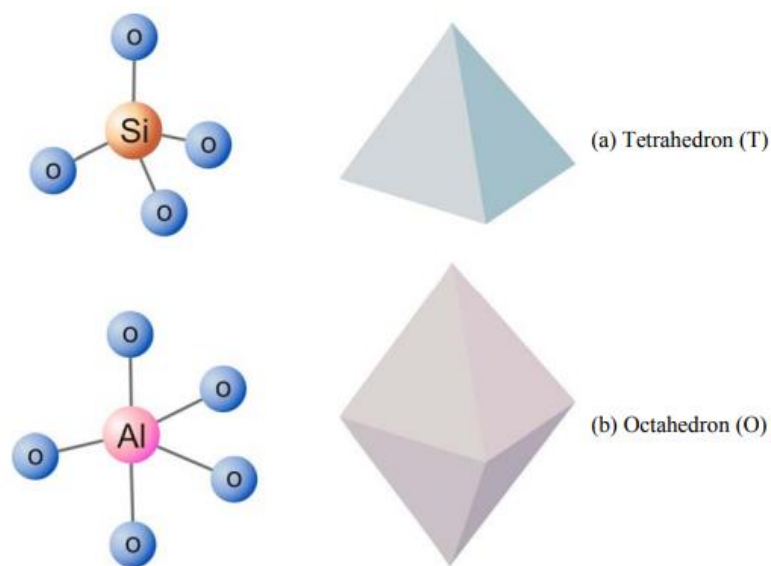


Figura 3. Formas geométricas Tetraédricas y octaédricas Al-Ani y Sarapaa, (2008)

2.1. Tipos de arcilla

Esmectita

De acuerdo a los análisis realizados tanto de difracción rayos X y química, los resultados de la difracción mostraron que la esmectita y montmorillonita parecen ser el mismo mineral Uddin, (2017).

Caolinita

La caolinita contiene minerales trioctaédricas como crisolito, cronstedite, antigorita y chamosite minerales dioctaédricas por ejemplo la caolinita, haloisita, dickita y nacrita. Es de color blanco y suave arcilla plástica, la estructura del grupo de la caolinita se compone de láminas de silicato (Si_2O_5) unido a aluminio de óxido de capas/ hidróxido ($\text{Al}_2(\text{OH})_4$) llamadas capas de gibbsita Kausar et al., (2018).

Bentonita

Las bentonitas son calificadas como suelos arcillosos montmorilloníticos, que es 2:1 mineral con una hoja octaédrica y dos láminas de sílice, formando una capa. Las capas se mantienen unidas por fuerzas de Van Der Waals. Debido a estas fuerzas débiles y algunos cobran deficiencias en la estructura, el agua puede penetrar fácilmente en estas capas y cationes equilibran la carga. Además, algunos datos muestran que los componentes principales, cuarzo y grafito no se ven afectadas. Son altamente plásticos y expansivos. Con proporciones variables de iones de sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg) y silicio (Si), siendo éstas valoradas por sus propiedades de adsorción, que cumplen la función de que la arcilla absorba agua con mayor facilidad y se hinche hasta cuatro o cinco veces su volumen en seco. Rojas y Zarate, (2015). Estos son sólidos formados por laminas moleculares que están constituidas por arreglos octaédricos de sílice y tetraédricos de alúmina unidos covalentemente en relación Si:Al (2:1), originando una superficie polianiónica Largo y Villamarin, (2013).

2.1.1. Tipos de bentonita

Bentonitas cálcicas

Son conocidas también como arcillas sub-bentonitas, estos decolorantes naturales y activos. En ellas es cambiante el ion calcio. Se disuelven al sumergirse en agua y tienen

baja capacidad de absorber, la cual presenta baja capacidad de expansión Rojas y Zárate, (2015).

Bentonitas sódicas

Se identifican por su excepcional afinidad por el agua y su capacidad de hinchamiento en su estructura, logrando aumentar hasta quince veces y cinco veces en peso. En ella es permutable el ion sodio Rojas y Zárate, (2015).

Montmorillonita

Las montmorillonitas (MMT), parte de las arcillas esmectíticas, están abundantemente presentes en la naturaleza, la montmorillonita es el nombre especial dado a una arcilla esmectita que se encontró en el área montmorillonita de Francia Uddin, (2017).

La forma cruda de la montmorillonita no se ha utilizado como adsorbente debido a su naturaleza hidrofílica, sus formas modificadas han sido ampliamente utilizados, debido a que al ser modificadas aumentaron su área de superficie y su capacidad de adsorción Uddin, (2017).

2.1.2. Origen y obtención de la Montmorillonita

La montmorillonita es un mineral que se puede encontrar en los depósitos metamórficos de origen hidrotermal, depósitos alimentarios. Que se forman por la alteración de rocas eruptivas básicas, cineritas y tobas volcánicas. Sus condiciones de formación están limitadas al ambiente adecuado con abastecimiento de iones alcalino térreos (Ca, Fe, Mg), un drenaje limitado y pendiente suave. También se origina a partir de la meteorización de las micas, siguiendo probablemente una secuencia que comprende la mica hidratada, Illita y vermiculita Rojas y Zarate, (2014).

La montmorillonita es la arcilla dominante en la bentonita, que es una ceniza volcánica que tiene la propiedad poco común de aumentar varias veces si es sumergida en agua Rojas y Zarate, (2014).

2.1.3. Composición química

La estructura química de las arcillas depende mucho del lugar de origen del tipo de formación. Pero, según las investigaciones realizadas, se ha estimado el rango de la proporción de los elementos que constituyen en forma de óxidos ($\text{Ca}_{0.25}$, $(\text{Si}_4)^4$, $(\text{Al}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})^4$, O_{10} , $(\text{OH})_2$) Largo y Villamarin, (2013).

Tabla 4. Constituyentes de la montmorillonita fuente Largo y Villamarin, (2013)

SiO₂	Al₂O₂	Fe₂O₃	MgO	CaO	K₂O	Na₂O	H₂O
47.9 – 51.1	20 -27.1	0.2 – 1.4	2.1 - 6.6	1 – 3.7	0.2 - 3.7	0.3 – 0.8	17.1 – 23.7

2.1.1. Montmorillonita modificada con sales de amonio cuaternario

Muchos autores han estudiado las características de las arcillas modificadas, siendo su objetivo obtener información sobre el efecto del tamaño y la forma de la molécula en estos. Sus resultados mostraron que la afinidad del catión con la arcilla se incrementa con el aumento del tamaño molecular, lo que justifica el uso de sales de amonio cuaternario como iones sustituyentes Waelkens, (2010).

Lagaly y weis, (1969) determinaron la relación entre la carga en las superficies basales de la arcilla con la expansión. La disposición de los cationes de amonio intercaladas entre los espacios de montmorillonita depende de la carga de la cuchilla y la longitud de la cadena de carbono. Ion alquilamonio de cadena corta están dispuestos en una monocapa Figura (4), iones ya alquilamonio están dispuestos en bicapas con los ejes de alquilo paralelo cuchillas de silicato Figura (4) La monocapa tiene un espacio basal de aproximadamente 1,4 nm, mientras que la bicapa de aproximadamente 1,8 nm.

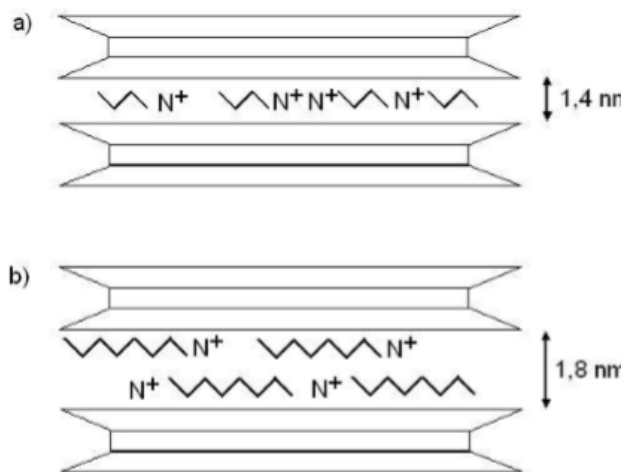


Figura 4. Espacio de monocapa a) disposición monocapa, b) arreglo en bicapa

Waelkens, (2010)

2.1.2. Campo de aplicación de las arcillas

Las arcillas tienen sus propiedades características, pero también puede contener otras fases asociadas, tales como el cuarzo y la materia orgánica. Los minerales de arcilla comúnmente conocidos son los flosilicatos planos, que se utilizan en millones de toneladas por año para aplicaciones industriales y productos domésticos en todo el mundo. Estos incluyen cerámica, cosméticos, productos farmacéuticos, alimentos, bebidas, envases materiales compuestos, catálisis, fluidos de perforación y materiales amortiguadores. La amplia aplicabilidad de los flosilicatos se puede atribuir a su inercia general, estabilidad y propiedades de flujo, pero también a su reactividad específica, actividad catalítica y capacidad de adsorción Lavikainen, (2016).

2.2. Propiedades físico químicas de las arcillas

2.2.1. Área superficial

Se define como área superficial externa, conformada por el área de la superficie interna de las partículas que están constituidas por unidad de masa expresada en m^2/g , la

bentonita tiene una alta área superficial externa, por el tamaño de los cristales los cuales son pequeñas y su morfología laminar Largo y Villamarin, (2013).

2.2.2. Capacidad de hinchamiento

La coalición de las láminas con los cationes interlaminares presenta debilidad, debido a que posee cargas negativas relativamente pequeñas. Por tal caso el agua tiende a penetrar sencillamente en el espacio interlaminar originando el aumento del espacio basal, haciendo que la bentonita presente hinchamiento y la formación de las suspensiones coloidales Largo y Villamarin, (2013).

Tener en cuenta que el tipo de bentonita influye mucho en su capacidad de hinchamiento. La diferencia que existe entre las bentonitas cálcicas y sódicas se debe principalmente a la fuerza de afinidad de los cationes entre sus capas. La fuerza de atracción que presenta el catión sodio es menor esto permite mayor detención del agua entre sus capas, mientras que en las fuerzas de atracción del calcio es mayor por lo que se da la disminución de la cantidad de agua que puede ser absorbida Oliveira, (2015).

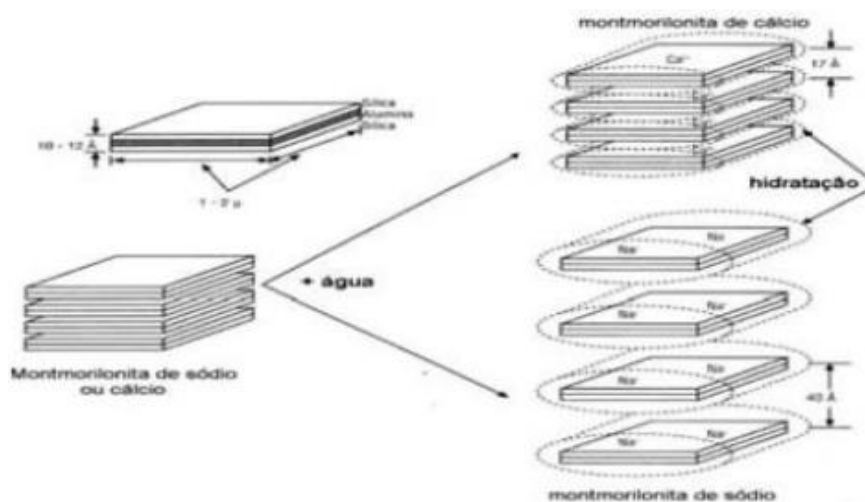


Figura 5. Representación de la diferencia del hinchamiento entre la bentonita cálcica y bentonita sódica Oliveira, (2015)

2.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se puede especificar que representa la adición de los cationes de intercambio que puede adsorber una bentonita a un pH determinado, la cual es equivalente a la medida del total de cargas negativas que presenta el mineral. El CIC de una bentonita esta entre 80 y 150 meq/100mL. Esta se debe principalmente a su propiedad de remplazar los cationes interlaminares unidos adecuadamente a su estructura, por otros cationes distintos cuando estos últimos se hallan en solución de agua. La relativa facilidad con la que los cationes pueden ser sustituidos en la región interlaminares viene dada a grandes rasgos por la serie: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{H}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$ Largo y Villamarin, (2013).

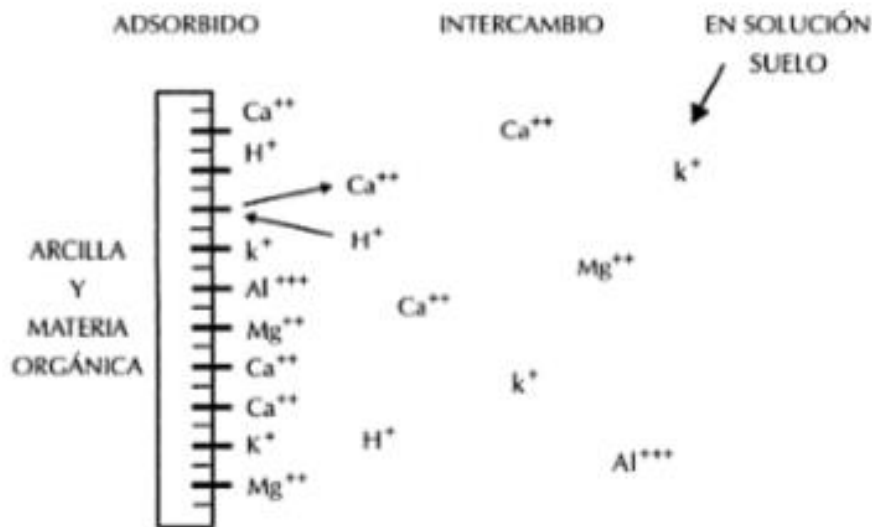


Figura 6. Diagrama de la capacidad de intercambio catiónico Largo y Villamarin, (2013)

2.3. Cascarilla de Arroz

El arroz con nombre científico *Oriza Sativa L.* es originario China Continental y sudeste asiático. En la actualidad es el alimento que más se cultiva a nivel del mundo y ocupa el tercer lugar de recurso agrícola más explotado, alcanza una cifra de 160 millones de hectáreas de siembra al año. Actualmente en el Perú ocupa extensiones importantes en los valles del Norte y de la Ceja de Selva y Selva Segura y Flores, (2013).

Producción de arroz en el Perú

la producción de la cascara de arroz en el Perú genera 28 millones de jornales, tanto en la industria molinera y el campo, la cascara de arroz ocupa el segundo lugar en la producción agrícola después de la papa Ministerio de Agricultura, (2010).

El Perú presenta un crecimiento en las áreas cultivadas de arroz en 123824 ha en la costa norte (Piura), Selva (San Martín, Amazonas, Loreto y Ucayali) y la costa sur (Arequipa) Ministerio de Agricultura, (2010).

Descripción e historia

La cascarilla de arroz es el tejido vegetal de color amarillento, de estructura ondulada convexa y superficie irregular que reviste al grano de arroz. Es un subproducto del proceso de industrialización durante la fase de molienda al separarse los granos Morejón Jácome, (2017)

la corteza dura que cubre el grano de arroz es conocida como cascarilla de arroz. La cascara constituye aproximadamente el 25% del volumen del arroz que cuando el arroz es procesado se considera como residuo, por no ser comestible, debido a que causa obstrucción de los intestinos, y también a que su biodegradabilidad no es sencilla ya que presenta un alto contenido de silicio Segura y Flores, (2013).

A la segunda mitad del siglo XVI el arroz llega a nuestro continente, se convirtió rápidamente en la fuente de alimentación importante, pero no se tiene ningún registro en el que se mencione el uso que fuera dado a la cascarilla de arroz tras su producción. A finales del siglo XX el investigador del centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Autónoma de México Víctor Manuel Castaño Meneses, descubrió las diversas aplicaciones y usos que ofrecía la cascarilla de arroz, el alto contenido de silicio en la cascara podría ser utilizado para la producción de aglomerados. Segura y Flores, (2013).

Composición de la cascarilla de arroz

La cascara de arroz consiste principalmente en proteína cruda (3 %), ceniza (incluyendo 17% de sílice), lignina (20 %), hemicelulosa (25 %), lo que hace adecuada para la fijación de cationes metálicos Vieira, De Almeida Neto, Da Silva, Carneiro, y Filho, (2014).

Se detalla en la siguiente Tabla 5, la composición química de la cascarilla de arroz en base húmeda:

Tabla 5. Componentes de la cascarilla de arroz Segura y Flores, (2013)

Componentes	Porcentaje/Unidad
C	42%
H	5.5%
N	0.6%
S	0.07%
O	37.5%
K	0.6%
Densidad	0.1%
Humedad	8%
Cenizas	16%
Volátiles	68%
Carbono fijo	18%
Poder calorífico superior	17 MJ/Kg
Poder calorífico inferior	16 MJ/Kg

Propiedades de la cascarilla de arroz

Es de tamaño milimétrico, ligero e insoluble en el agua. La capa protectora del arroz presenta una dureza en escala media de 5 a 6 en la escala de Mohs Morejón Jácome, (2017).

Tabla 6. Propiedades y características de la cascarilla de arroz Morejón Jácome, (2017)

Propiedades y características físicas	
Longitud (mm)	4-14
Ancho (mm)	2-4
Espesor promedio (μm)	50
Peso específico (mg)	2.944 - 3564
Densidad aparente (kg/m^3)	65
Solubilidad en agua	Insoluble

Los componentes biológicos que presenta la parte orgánica de la cascarilla de arroz son: la celulosa, que presenta casi la mitad de su contenido; la hemicelulosa, que está compuesta por monómeros de D-xylosa. L-arabinosa, ácido metil glucurónico y D-galactosa a proporciones diferentes y por último la lignina en menor cantidad Morejón Jácome, (2017).

Tabla 7. Componentes de la cascarilla de arroz (Morejón Jácome, 2017)

Componente	Cantidad (% peso)
A-celulosa	45.59
Lignina	23.17
D-xylosa	18.45
L-arabinosa	6.88
Ácido metilglucurónico	3.44
D-galactosa	2.47

Aplicaciones de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz presenta propiedades físicas y químicas promueven diversas aplicaciones Morejón Jácome, (2017). En muchos de los casos se menciona investigaciones en los que se detallan el uso de la cascarilla de arroz como:

- Compostaje incorporándolo al suelo como abono
- Alimento de baja calidad para animales
- Agente de control de plagas
- Fabricación de paneles
- Adictivo bio fertilizante

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial, el cual se produce en grandes volúmenes en la zona donde se siembre y se procesa la planta de arroz, esta se puede utilizar para la obtención de silicatos de calcio. Otra de las aplicaciones es para la obtención de concreto de alta resistencia mediante la adición del diseño de un superplastificante y ceniza de cascarilla de arroz Segura y Flores, (2013)

2.4. Adsorción

Es un método muy extendido en la eliminación y/o reducción de los contaminantes en forma gaseosa y medios líquidos, que permite buenos resultados mediante el uso de diferentes materiales en sus aplicaciones. También, es definida como el fenómeno de la transferencia física de un soluto, un gas o un líquido a una superficie sólida, donde es retenido como resultado de interacciones microscópicas con las partículas constituyentes del sólido. El soluto adsorbido no se disuelve al sólido, pero permanece en la superficie sólida o en los poros del sólido. El proceso es a menudo reversible, por lo que el cambio de presión o temperatura, puede conducir a una fácil extracción del soluto adsorbido Oliveira, (2015).

Además, Alarcón y Genevie, (2012) mencionan que la adsorción es un fenómeno superficial que se puede caracterizar como la mejora de uno o más componentes en la región entre dos etapas, conocida como interface o capa interfacial. En el presente contexto, una de las etapas es necesariamente un sólido, el adsorbente, y la etapa móvil un líquido, que puede ser un gas o fluido. El compuesto encontrado en la superficie es llamado adsorbato, y la sustancia en la etapa líquida capaz de ser adsorbida es adsorbible. En el caso de que el adsorbato sea un gas, podría ser un compuesto puro o una mezcla. Si la etapa líquida es un fluido, podría ser un componente puro, una mezcla de fluidos miscibles o una disolución. En el caso de que la fase móvil no es un segmento puro, habría una competencia entre sustancias distintivas durante el proceso de adsorción.

2.4.1. Factores que intervienen en la adsorción

Diversos factores influyen en el proceso de adsorción.

pH

Los metales en solución fluida se hallan en múltiples formas de especies químicas en función del pH de la solución, de aquí viene la fuerte dependencia que hay entre el pH de la solución y la opción de extracción del metal, ya que según la especie química los dispositivos de adsorción son modificadas. Los metales son conocidas como electropositivas, porque tienen la capacidad de ceder cargas positivas a la superficie del adsorbente, el cual va incrementando la cantidad de cargas positivas para lograr la adsorción, la extracción de algunos metales cuando el pH aumenta (de 3-5) y un pH óptimo es cuando presenta una máxima retención del metal, en un determinado tiempo, lo que se facilita en soluciones ácidas. Cuando el pH aumenta por encima del valor óptimo, la eficiencia de la biomasa disminuye a valores de pH bajo, los cationes metálicos y los protones compiten por un mismo sitio Vargas y Rolando, (2015).

El pH presenta un efecto importante en los iones metálicos, esto se debe al estado de oxidación del elemento metálico que puede variar de acuerdo a las condiciones del medio María, Herrera, Anaguano, y Suarez, (2011).

Temperatura

En el proceso de adsorción, uno de los factores que más influye es la temperatura. Siendo que la adsorción presenta un proceso exotérmico, se produce de manera espontánea cuando no se encuentra saturado el adsorbente. Por ejemplo, se han obtenido diferentes resultados para la retención de Zn, Cu y U, donde no hubo aumento de la temperatura de 4 °C a 45 °C Vargas y Sanabria, (2015).

Velocidad de agitación

Mejores resultados se obtienen cuando se tiene una dispersión de partículas homogéneas porque disminuye el espesor de la capa límite y aumenta la tasa de transferencia de masa Silva, (2010).

El tamaño de la partícula

Cuanto menor el tamaño de las partículas, mayor es la superficie de contacto y mayor la adsorción, sin embargo, las propiedades y las características estructurales y morfológicas se han mostrado más relevantes en el estudio del proceso Silva, (2010).

Efecto de la dosificación del adsorbente

Algunas investigaciones denotan que a medida que la dosis del adsorbente aumenta se incrementa la capacidad de remoción del metal. Lo cual se explica que debido a la mayor área de superficie y por tanto, mayor cantidad de sitios de retención disponibles María et al., (2011).

Efecto del tiempo de contacto

El tiempo de contacto de acuerdo a investigaciones nos menciona que el contacto con el adsorbente mientras mayor sea el tiempo de contacto mayor será el porcentaje de remoción de los metales María et al., (2011).

2.4.2. Tipos de adsorción

Adsorción física o fisición

En la adsorción física los efectos atractivos que ocurren entre el sustrato y el adsorbato son relativamente débiles, involucrando especialmente las interacciones de Van der Waals, el cual es un proceso reversible, no definido, que normalmente se produce con la deposición de más de una capa de adsorbato. En este tipo de adsorción la energía de unión sustrato- adsorbato presenta un valor entálpico medio de 20 KJ.mol⁻¹, siendo un proceso que interesa a las operaciones unitarias por poder ser desecho, debido a la estabilidad del adsorbente Al-Ani y Sarapää, (2008).

Adsorción química o quimisión

Es el producto de una interacción mucho más intensa entre la sustancia adsorbida y el sólido adsorbente. En este tipo de adsorción ocurre una característica transferencia de electrones equivalente a la formación de un enlace químico entre el adsorbato y la superficie sólida Hungary y Williams, (2005).

Estas interacciones son más fuertes a comparación de la adsorción física y se limitan a la cobertura monocapa. En este tipo de adsorción, una vez que las interacciones entre el sustrato y el adsorbato son la naturaleza iónica y/o covalente, el valor entálpico medio puede variar de 250 -500 KJ mol, siendo un proceso que presenta interés para la catálisis heterogénea Hungary y Williams, (2005).

2.5. Modelos que describen las isotermas de adsorción

Los dos modelos de isotermas de adsorción más utilizados para la reparación de un solo componente son los correspondientes a las ecuaciones de Langmuir y Freundlich. Ambos modelos representan una amplia gama de equilibrio de adsorción y permiten una interpretación física y simple de cómo se originan las interrelaciones entre una sustancia adsorbida (adsorbato) y una fase adsorbente (adsorbente) Loarte y Snabria, (2015).

2.5.1. Modelo de Langmuir

Este modelo describe cuantitativamente la deposición que presenta una gran capa de moléculas en la superficie adsorbente en función de la concentración del material que ha sido adsorbido en el líquido con el que está en contacto. La adsorción ocurre solo en ciertos lugares y no tiene una interacción entre moléculas retenidas Loarte y Snabria, (2015).

2.5.2. Modelo Freundlich

Es el modelo más ampliamente utilizado como modelo de isoterma no lineal. Relaciona la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto, con la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente. Es un modelo riguroso para los casos de sorción en superficies heterogéneas Loarte y Snabria, (2015).

2.6. Adsorción de cationes Metálicos Pesados

Según Peralta (2011) alude que, como intercambiadores catiónicos, las arcillas son eficientes para el control de iones en solución soluto. Su eficacia es dictada por el vigor de conseguir equilibrio entre los iones de la solución y sus sitios intercambiables. Pero, las arcillas son los más útiles para el cuidado de agentes contaminantes catiónicos cuando el mecanismo de la adsorción se extiende más allá del intercambio catiónico. Este es particularmente el caso para los iones de metales pesados. La adsorción de metales pesados por los minerales térreos también puede suceder vía los hidroxilos.

2.7. Caracterización de las nanoarcillas

2.7.1. La técnica de difracción de rayos X (DRX)

Es el más apropiado 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. 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, puede visualizarse en la ecuación 1 Oliveira, (2015).

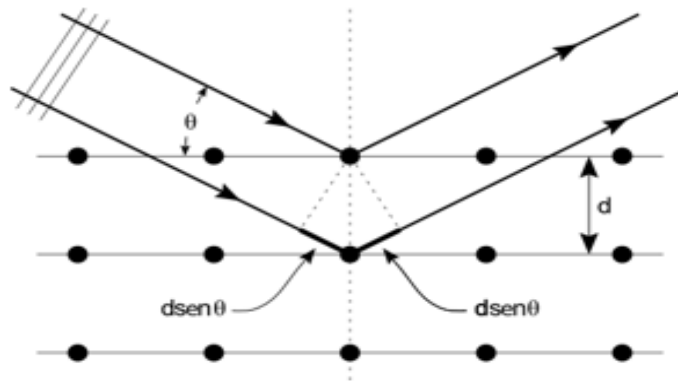


Figura 7. Esquema de Difracción de ángulo y distancia interlaminar del DRX

La ley de Bragg es representada por la siguiente expresión

$$n\lambda = 2d \sin\theta \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

n: Número entero

λ: Longitud de onda de rayos X

d: El espacio interplanar

θ: Ángulo de difracción

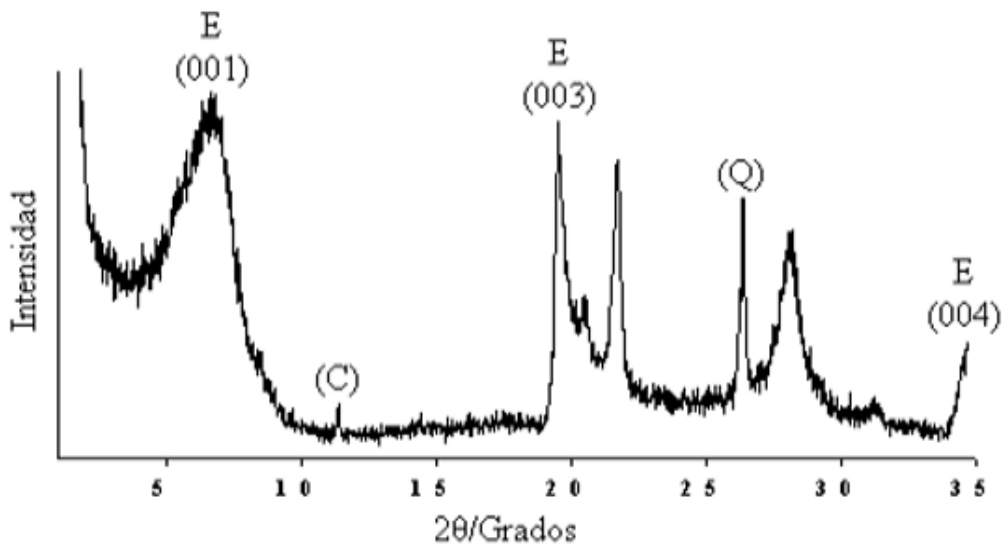


Figura 8. Modelo de difracción de rayos X de una bentonita natural Oliveira, (2015).

El origen del patrón de difracción se da por la interacción de los rayos X con la materia en estado cristalino, de esto se extrae la información acerca de la naturaleza de la

estructura de una red o de los ciclos cristalinos de un material, valorar el volumen de las partículas, además de poder identificar y diferenciar unas con otras dentro de una misma muestra.

2.7.2. Fluorescencia de rayos X

La técnica de fluorescencia de rayos X (XRF) es energía dispersiva una técnica utilizada 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 aparecen 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 Oliveira, (2015).

2.7.3. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica que permite la evaluación de la morfología de las partículas de arcilla. El principio consiste en un SEM 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 detector a una pantalla catódica cuyo barrido esta sincronizado con el haz incidente Oliveira, (2015).

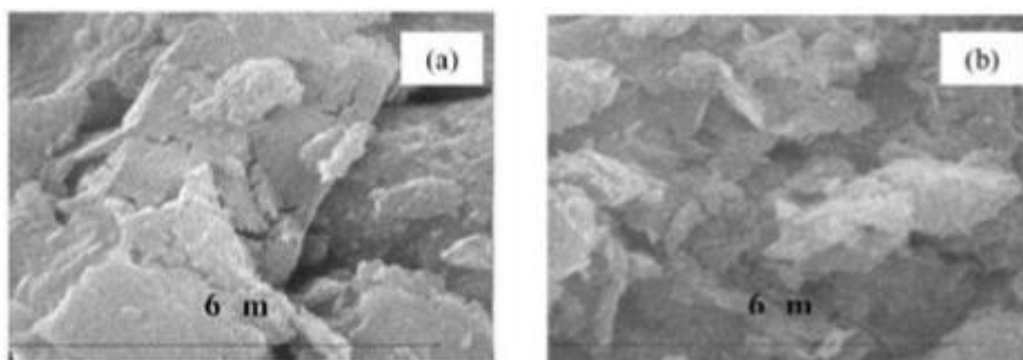


Figura 9. Patrón de micrografías para a) Arcilla natural-b) Arcilla activada Oliveira, (2015).

2.8. Metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie de respuesta, son ampliamente utilizados en experimentos industriales y agrícolas para optimizar y predecir parámetros, los diseños factoriales fraccionados (FF) pueden reducir el costo y el número de veces experimentales. Cuando se lleva a cabo un experimento FF, se requiere que las corridas experimentales están completamente al azar. Sin embargo, a veces es poco práctico para llevar a cabo las operaciones experimentales en un orden completamente al azar, ya que es muy difícil o costoso de cambiar o controlar los niveles de algunos factores Wang, Zhao y Zhao, (2018).

CAPITULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El desarrollo de este trabajo se realizó en Ñaña se encuentra situado en el distrito de Lurigancho – Lima y corresponde a una zona con clima muy seco –templado según los métodos de Thornthwaite. El lugar de ejecución de los experimentos está localizado dentro de las instalaciones de la Universidad Peruana Unión, los laboratorios de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental e Industrias Alimentarias, UTM 18 L, Este: 299482 y norte: 8674060, al este de la ciudad de Lima a una altura de 647 msnm, ubicado al margen derecho del km 19,5 de la carretera central, perteneciente a la jurisdicción del distrito de Lurigancho Chosica-Departamento de Lima.

3.2. Características climatológicas

La zona presenta un clima variado seco, presentando temperatura máxima de 26,1 ° C y mínima de 14,04 ° C (SENAMHI,2018).



Figura 10. Mapa de ubicación de la zona de estudio Google Maps (2019)

3.3. Ubicación del lugar de muestreo

El lugar donde se tomaron la muestra, está ubicado dentro del campus de la Universidad Peruana Unión, denominado circuito turístico “Laguna de la Mansión” que alberga algunas especies de animales, principalmente aves y peces, el agua de la laguna es alimentada por el río Rímac, el cual a la vez es influenciado por afluentes de origen minero y aguas servidas de las viviendas aledañas. Se encuentra a una altitud de 548 msnm, latitud de 299746.13 m E y 8674255.55 m S. Tiene como dimensiones geográficas un área de 3050.15 m², un perímetro de 256.81 metros lineales, una profundidad de 2.10 m y un volumen de 6405.336 m³. Para el análisis de las de los parámetros se tomará un punto de muestreo ver Figura 11.

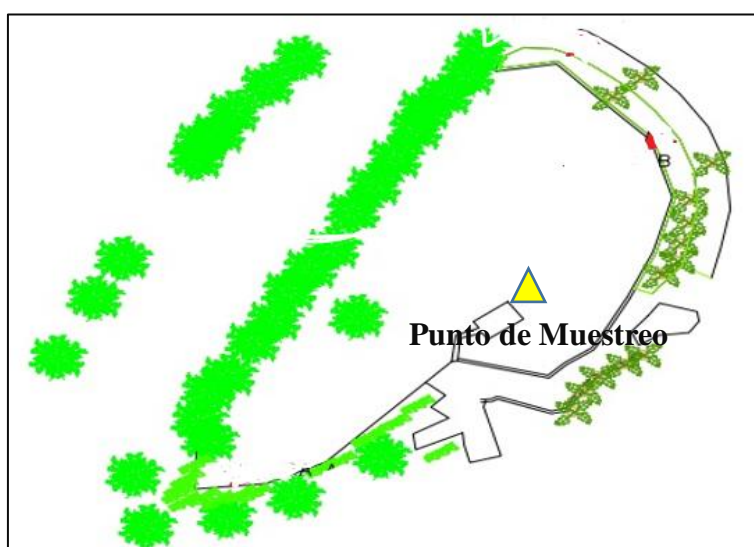


Figura 11. Ubicación del punto de muestreo.

3.4. Materiales e insumos

3.4.1. Materia prima

La cascarilla de arroz proviene del norte del país, adquirida en el mercado mayorista de Santa Anita, proveniente de residuos industriales.

La arcilla Montmorillonita purificada, fue adquirido de la distribuidora Promart Homecenter Lima.

3.4.2. Materiales de laboratorio

Balde

GPS

Guantes

Mallas

Vaso precipitado de 2000 mL.

Pipetas 20 mL, 10 mL, 5 mL y 1 mL.

Vaso precipitado de 100 mL y 250 mL.

Morteros con pilón de cerámica.

Termómetro

Pizeta de plástico

Ligas

Papel toalla

Fiola 50 mL, 100 mL

Equipos

Equipo de prueba de jarras (jarra Test) (JLT6 Flocculation Tester)

Equipo Multiparámetro (Marca HANNA H1 48-5)

Balanza analítica (Ma Henki I)

Estufa

Centrifuga (modelo H-2050R)

Agitador magnético (HW Kessel)

Equipo de difracción de rayos X (Marca: BRUKER/Modelo: D8 Advance)

Equipo de Microscopia de barrido (Marca: ZEISS/Modelo EVO MA10)

Reactivos

Sales cuaternarias (Bromuro hexadecil trimetil amonio = HDTMA) ($C_{19}H_{42}BrN$)

Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)

Hidróxido de Sodio (NaOH)

Nitrato de Plomo ($Pb(NO_3)_2$)

3.5. Metodología

3.5.1. Muestreo y caracterización de aguas de la laguna “La Mansión”

Para el muestreo de los metales pesados se utilizaron frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios de un 500 mL de capacidad y para medir los parámetros de campo (conductividad, temperatura y pH) se utilizó el equipo multiparámetro, las muestras de agua tomadas fueron preservadas con ácido nítrico, la toma de muestra se realizó de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales R.J. N° 010-2016-ANA.

Una vez tomada la muestra, para el análisis del Plomo fueron enviados al Laboratorio Delta Lab S.A.C y los parámetros de campo fueron analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

3.5.2. Preparación de agua residual sintética con Plomo

Se mezcló 100 L de agua de la Laguna la Mansión con 2.4 g de Nitrato de Plomo ($Pb(NO_3)_2$) equivalente a 1.5 g de Plomo (masa molar de Pb y de $(NO_3)_2$ respectivamente), de la mezcla se procedió a tomar la muestra, para el posterior análisis de metal (plomo), las cual fue enviado al laboratorio Delta Lab S.A.C, para luego efectuar las diferentes pruebas experimentales (ver Figura 59 y 60).

3.5.3. Cuantificación del Plomo

La capacidad de remoción de metales pesados se determinó al final del tratamiento de agua residuales, se trabajó con un volumen de 700 mL (697.g), de agua contaminada con Plomo con densidad, se le agregó el (0.3 , 0.5 y 0.7 g/100 mL) de concentración de nanoarcilla montmorillonita tipo bentonita sódica, también se adicionó el (2.0, 3.0 y 4.0 g/100 mL) de concentración de fibra de arroz (Figura 77), las concentraciones de cada adsorbente se basan de acuerdo al volumen de agua residual a utilizar. Se usó el agitador magnético a 1200 RPM para la agitación en un tiempo de 60 minutos para todas las muestras (Figura 78), se trabajó con 3 niveles de pH (3.0, 5.5 y 8.0), para subir el pH se le agregó NaOH a 0.1 N y para bajar pH se le agregó Ácido Cítrico (Figura 76).

Luego se procedió a separar la solución de la parte sólida, para ello se usó la centrifuga a una revolución de 4000 RPM durante 15 minutos para poder sedimentar los residuos que pudieron quedar después de los procesos anteriores y finalmente se tomó la muestra para ser analizada (Figura 79).

Al culminar el proceso de remoción se midió la variación del pH, cada muestra obtenida fue enviada al laboratorio Delta Lab SAC para la cuantificación final de metales pesados (Figura 80).

3.5.4. Proceso tecnológico de obtención de nanoarcilla

a. Obtención de la Montmorillonita

Se utilizó la metodología descrita por Marques y Rojas (2017). En una probeta de 1L se colocó 50 g de bentonita natural sódica purificada previamente secada tal como se muestra en la (Figura 62a), se adicionó 1000 mL de agua destilada (Figura 62b) y se procedió a agitar durante 10 minutos a 300 RPM (Figura 63), al terminar se aforó, se dejó reposar por 10 minutos. Se extrajo la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10

cm (separación de fase) con una pipeta y se desechó el resto para otros usos (ver Figura 64a.). Se centrifugó para separar el líquido de la solución (Figura 64b.), y finalmente se secó la montmorillonita obtenida a 100 °C por 24 h (Figura 65a.) y proceder a triturar lo más fino posible (Figura 65b.).

b. Obtención de nanoarcilla orgánicamente modificada

Se utilizó la metodología descrita por Arriola y Rojas (2017), se pesó 15 g de montmorillonita (Figura 66a) y se mezcló con 700 mL de agua destilada (Figura 66b), se agitó por 24 horas a 2000 RPM.

Se añadió 13 mL de sales cuaternarios de amonio (Figura 67), se mezcló por 5 horas a una temperatura de 80°C (Figura 68), posteriormente se centrifugó a 3500 RPM por 15 minutos hasta eliminar el exceso de agua (Figura 69a y 70) y el precipitado se secó a 100°C en una estufa por 24 horas (Figura 71) y finalmente se procedió a pulverizar (Figura 72) y almacenar la nanoarcilla en frasco oscuros hasta sus posterior análisis fisicoquímica, morfológicas y estructural. La medición de los tamaños de las partículas de nanoarcillas se realizó utilizando software de análisis de Medida Imágenes 2.0 CDraw X7.

c. Obtención y caracterización de las partículas de cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz obtenida fue lavada con agua destilada para eliminar impurezas y restos de materia orgánica, así como restos de arroz que aun quedaron. Después de terminar la limpieza se procedió al secado de la cascarilla a flujo de corriente de aire y temperatura ambiente aproximado a 30 °C por un tiempo de 6 horas (Figura 73a.). Luego se procedió a moler la cascarilla de arroz con un molino de martillo mecánico hasta obtener un tamaño de acuerdo a las referencias mencionadas (Figura 73b.), finalmente se utilizó los tamices para obtener el diámetro requerido de aproximadamente de 1.5 mm (Figura 74). La medición de los tamaños de las partículas

de fibra lignocelulósica se realizó utilizando software de análisis de Medida Imágenes 2.0 CDraw X7.

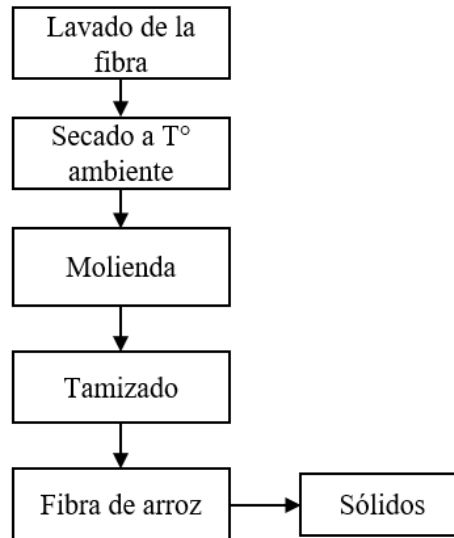


Figura 12. Flujograma de proceso de obtención de la fibra lignocelulósica de arroz

Para determinar el contenido de húmedas se realizó por la metodología de gravimetría en estufa a 105 °C por 12 horas.

Para determinar el contenido de cenizas por metodología de Mufla, fueron secadas a una temperatura de 700 °C por 6 horas, en horno mufla hasta que las muestras fueren carbonizadas.

La actividad de agua se determinó con el equipo AQUALAB Water Activity Meter (serie 3TE, Decagon, Pullman, EE.UU.), a 25°C, para verificar la cantidad de agua disponible.

La determinación de la masa específica fue realizada de acuerdo a la razón entre la masa de la biomasa por el volumen que ocupa los mismos según metodología de Rendeiro et al, (2016) con modificaciones.

Para el análisis de distribución granulométrica, se utilizó mallas de tamiz de tamaño entre 1 a 2 milímetros, se tomó una muestra de partículas aleatoriamente para realizar la medición y distribución normal a 95% de intervalo de confianza ($\alpha=0.05$).

3.6. Diseño experimental y superficie de respuesta

3.6.1. Diseño estadístico

La metodología de experimentos factoriales fraccionados con tres niveles asociada al análisis de superficie de respuesta es una herramienta fundamental de los métodos estadísticos, que provee informaciones seguras sobre el proceso, minimizando el empirismo que involucra las técnicas del tanteo y error Box et al., (1978).

Para modelar la superficie de respuesta de segundo orden se empleó el diseño factoriales fraccionado, que consta de 9 tratamientos con replicas, dando un total de 18 tratamientos Mullen y Ennis,1979 y Pastor et al.,(1996). Los rangos y niveles de las variables independientes utilizados en la forma codificada y no codificada se muestran en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8. Factores y niveles del diseño experimental

	-1	0	1
pH	3	5,5	8
Nanoarcilla MMT (g/100 mL)	0,3	0,5	0,7
Fibra lignocelulósica de (g/100 mL)	2.0	3.0	4.0

Tabla 9. Variables dependientes e independientes de diseño experimental

Tratamientos	Variables independientes					
	Codificados			No codificados		
	X ₁	X ₂	X ₃	Nanoarcilla MMT (g/100mL)	Fibra lignocelulósica (g/100mL)	pH
1	-1	-1	-1	0,3	2.0	3.0
2	-1	0	1	0,3	3.0	8.0
3	-1	1	0	0,3	4.0	5.5
4	0	-1	1	0,5	2.0	8.0
5	0	0	0	0,5	3.0	5.5
6	0	1	-1	0,5	4.0	3.0
7	1	-1	0	0,7	2.0	5.5
8	1	0	-1	0,7	3.0	3.0
9	1	1	1	0,7	4.0	8.0

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 Iemma, (2014).

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

donde

Y es la variable dependiente predicha (cuantificación, remoción del Plomo y pH final)

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 (nanoarcillas MMT, Fibras lignocelulósicas de cascarilla y pH)

3.6.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos de parámetros para la cuantificación y remoción de Plomo en aguas residuales para el diseño factorial fueron realizados utilizando el programa Statistica 13.1 con un intervalo de confianza del 95 % ($p \leq 0.05$).

Para la metodología de superficie de respuesta fue generar un modelo polinomial, se analizó por ANOVA el coeficiente de determinación del modelo (R^2 y R^2_{adj}). Conforme Barros Neto, Scarmino y Bruns (2001) y Khru y Cornell (1996), 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 la respuesta observadas Barros et al., (2003). Posteriormente fue analizado el ajuste del modelo si es representativo y predictivo en la regresión a través de la prueba F y en el residuo a través de la falta de ajuste y error puro conforme es mostrada en la Ecuación 3

$$SS_{Residual} = SS_{Error\ puro} + SS_{Falta\ de\ ajuste} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde

$SS_{residual}$ es la suma de cuadrados del error residual

$SS_{error\ puro}$ es la suma de cuadrado del error puro

$SS_{falta\ de\ ajuste}$ es la suma de cuadrado de la falta de ajuste

Para que el modelo polinomial sea considerado representativo y predictivo en la regresión del modelo polinomial, el $F_{calculado}$ debe ser mayor que el $F_{tabulado}$ Garcia, (2012). Segun Bruns et al. (2003) y Araujo (2008) indican que un modelo representativo es cuando el $F_{calculado}$ de la regresión en relación a los residuos sea al menos 3 veces mayor que el $F_{tabulado}$, indicando que la variación es explicada por la regresión del modelo y no por los residuos. Por otro lado Khuri y Cornell (1996) afirma para que la regresión de modelo sea significativo y predictivo, la fracción $F_{calculado}/F_{tabelado}$ (F^*) debe ser mayor

que 10. Para analizar el ajuste del modelo polinomial, se verifico por la significancia de la falta de ajuste en el error puro y para que sea predictivo el ajuste del modelo polinomial el valor $F_{\text{calculado}}$ debe ser menor al valor de F_{tabulado} Barros Neto, Scarminio y Bruns (2001).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades estructurales y morfológicas de la nanoarcilla

La composición mineralógica y la distancia interlaminar de los componentes de la nanoarcilla fue determinada mediante Difracción de Rayos X (DRX), la nanoarcilla fue preparada con Sales Cuaternarias de Amonio, a una temperatura de 80°C. En la Figura 13 y 14 se muestra el difractograma de Rayos X con los picos principales y sus distancias interlaminares. Los picos de la nanoarcilla fueron analizados en un ángulo de 0°-90°. En la Tabla 12, se muestra la composición química de la nanoarcilla 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 (10 y 11) 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 11.

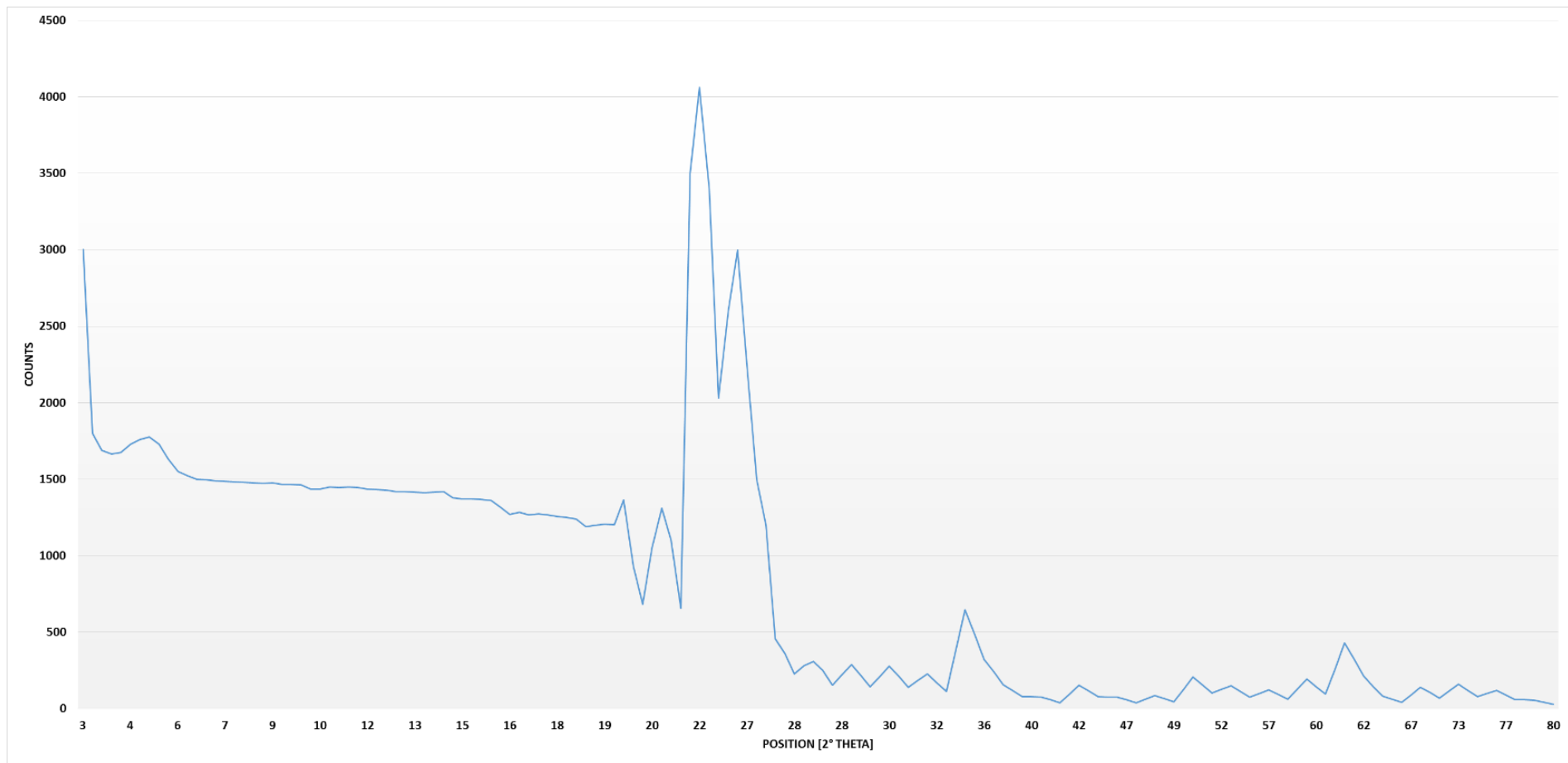


Figura 13. Difracción de Rayos X de la muestra de nanoarcilla en ángulo de 10° a 90°

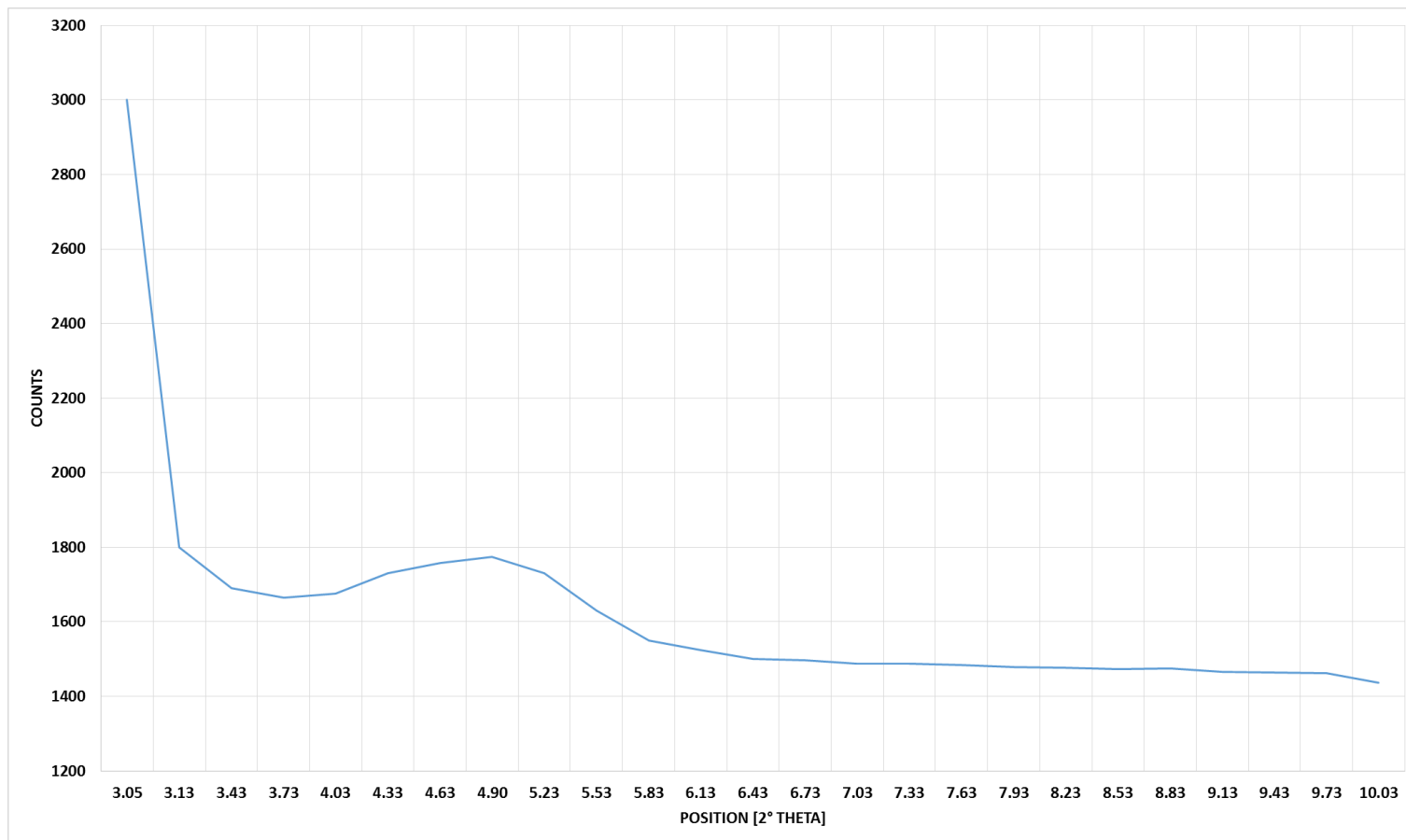


Figura 14. Difracción de rayos X de la nanoarcilla de un ángulo de 0°- 40°.

Aplicando la expresión de la Ley de Bragg los resultados son los que se detallan en la Tabla 11.

Tabla 10. Resultados de la Amplitud a diferentes ángulos

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Altura[cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-espaciado [\AA]	Rel. Int. [%]
3.4788	18717.70	0.3739	25.39877	100.00
4.9026	1774.73	0.3739	18.02525	9.48
9.8888	224.32	0.3491	8.93736	1.20
19.8099	1738.15	0.1870	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	531.00	0.5983	2.57033	2.84
36.1577	1169.06	0.2991	2.48428	6.25

Tabla 11. Distancia interlaminar de la nanoarcilla

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

Tabla 12. Composición química de la Nanoarcilla

Visible	Ref. Code	Puntuación	Nombre del compuesto	Desplazamiento [$^{\circ}2\theta$.]	Factor de escala	Formula química
*	01-077-1316	61	Óxido de silicio	0.000	0.936	SiO ₂
*	03-065-0466	58	Óxido de silicio	0.000	0.459	SiO ₂
*	00-003-0428	24	Calcio Magnesio Aluminio Silicato	0.000	0.139	Ca - Mg - Al - Si - O

El análisis se realizó con el equipo de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), con la cual se identifica el tamaño y la forma de la nanoarcilla, como se muestra en la Figura 15 muestra los resultados del análisis a 500 nm, 3.0 kVx8.5 mm x 100 k SE (U), en la Figura 16 muestra los resultados del análisis de acuerdo a las siguientes características 1um 20.00kV magnitud de 10.00 KX 7.0 mm.

Delbem, Valera, Valenzuela-Díaz, y Demarquette (2010) los resultados de difracción de rayos X indicaron que las arcillas de sal de dos colas muestran disposiciones de tipo parafina en el espacio entre capas y que las arcillas de sal de una cola exhiben disposiciones de pseudotrimoleculares y de capa. La pseudotrimolecular o la capa secundaria es una estructura más densa que las disposiciones de tipo parafina que da como resultado un volumen accesible más pequeño dentro de las galerías, es decir, los espacios

vacíos entre los iones alquilamonio. El alto valor de grado de hinchamiento de las arcillas de sal de dos colas en compuestos orgánicos indica que pueden adsorber cantidades significativas de fluidos orgánicos, que comprenden benceno, tolueno, diesel, gasolina, etc. keroseno y otros. Por lo tanto, además del papel del relleno de nanocompuestos, son candidatos potenciales para aplicaciones ambientales, como en las operaciones de limpieza de derrames de petróleo y para la eliminación de compuestos aromáticos.

Según los resultados de Nacional et al., (2014), nos dice que los picos característicos de la montmorillonita llegaron a presentar una distancia interlaminar de 12.13 Å, las bentonitas sodicas tienen picos característicos de 15.5 Å.

Omidi-khaniabadi et al., (2016) muestran que los resultados de la modificación de arcilla MMT por surfactante HDTMA ha causado los cambios básicos en la arcilla, el espaciado basal DRX Raw-MMT fue de 12.10 Å. El espaciado entre capas de la montmorillonita se mejoró mediante la modificación de MMT a través de HDTMA a 18.83 Å. Este incremento en el espaciado basal de HDTMA-MMT mostró que el surfactante se intercala en el espacio entre las capas del MMT modificado. Además en los espectros FTIR, la disminución de intensidad en la banda de 1635 cm⁻¹ en HDTMA-MMT ilustró que el contenido de agua se reduce debido a la sustitución de cationes hidrato por el surfactante. Tal proceso muestra que las propiedades de superficie del adsorbente se modificaron de hidrófilas a hidrófobas mediante la modificación a través de HDTMA.

El Messabeb-Ouali, Benna-Zayani, Ayadi-Trabelsi, y Sauvé, (2013). Las arcillas pueden fabricarse fácilmente de forma organ fila, ya que los iones metálicos del grupo IA y IIA unidos libremente (Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ y Ba²⁺) que aparecen entre las capas de  lmina y sílice se pueden intercambiar fácilmente con el ion de amonio cuaternario, como [R₄N⁺]. La expulsión de los iones metálicos junto con las moléculas

de agua coordinadas reduce fuertemente la hidrofiliidad de la arcilla y se ha demostrado que las superficies de la arcilla tienen una alta selectividad para los cationes orgánicos como los cationes HDTMA. y la adsorción puede ir más allá de la capacidad real de intercambio catiónico (CIC) del mineral de arcilla.

La configuración observada dependerá de la longitud de la cadena carbonada del catión alquilamonio (nc) y de la carga de la capa del mineral de arcilla Lee et al., (1989). Separación basal característica, respectivamente de 13.6; 17.6 y 22Å distinguen las configuraciones de monocapa, bicapa y pseudo capa; mientras que el espaciamento basal para muestras con configuraciones de tipo parafina aumenta linealmente con nc. Cuando al menos uno de los constituyentes del nitrógeno es una larga cadena alifática, el espacio entre capas aumenta y la capacidad de ion de adsorción aumenta Andini et al., (2006). Además, pueden surgir interacciones favorables con los grupos R de los iones de amonio cuaternario y las moléculas orgánicas se atraen más fácilmente en el espacio de capa intermedia expandida de la arcilla. En este caso, pueden ocurrir varias interacciones de Van der Waals e hidrófobas entre cadenas de alquilo. La combinación de la naturaleza hidrófoba del surfactante y la estructura en capas de las capas de silicato conduce a propiedades físico-químicas únicas. En tales aplicaciones, el comportamiento y las propiedades de los organoarcillas dependen en gran medida de la estructura y la disposición molecular de las moléculas orgánicas dentro de las galerías de los minerales de arcilla El Messabeb-Ouali, Benna-Zayani, Ayadi-Trabelsi, y Sauvé, (2013).

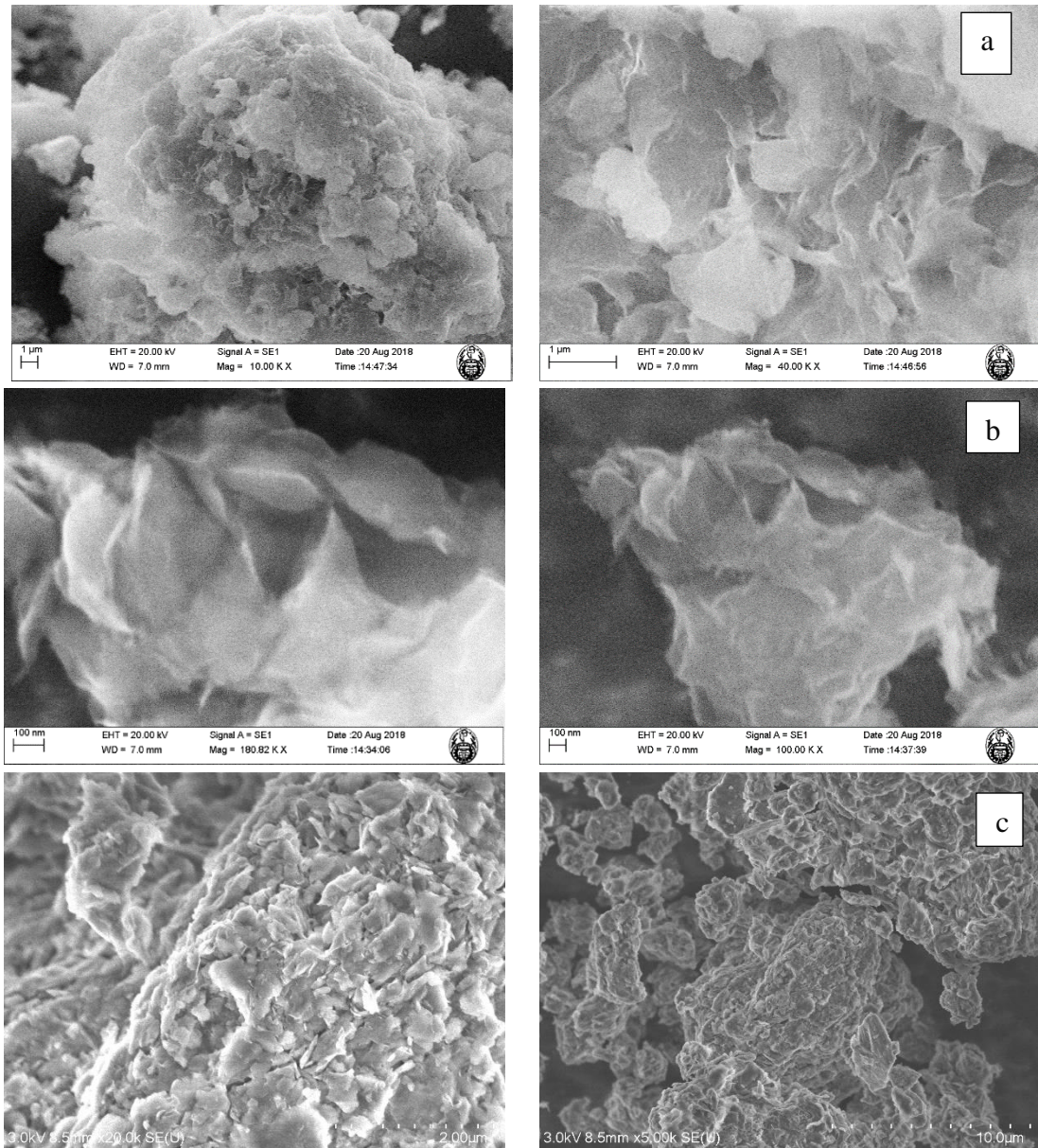


Figura 15. Micrografía de la nanoarcilla a una ampliación de 10.00 k

En la micrografía es posible observar claramente la extensión del material empleado, la nanoarcilla MMT cuyas nanomicropartículas 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.

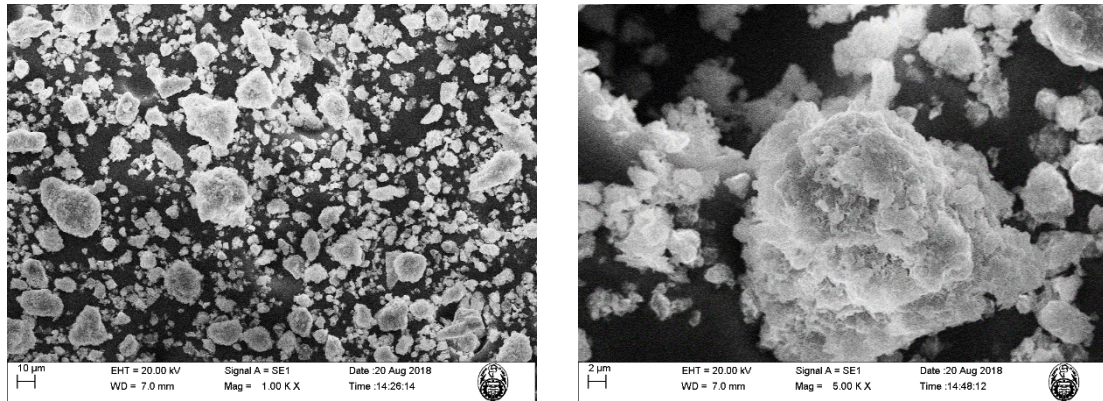
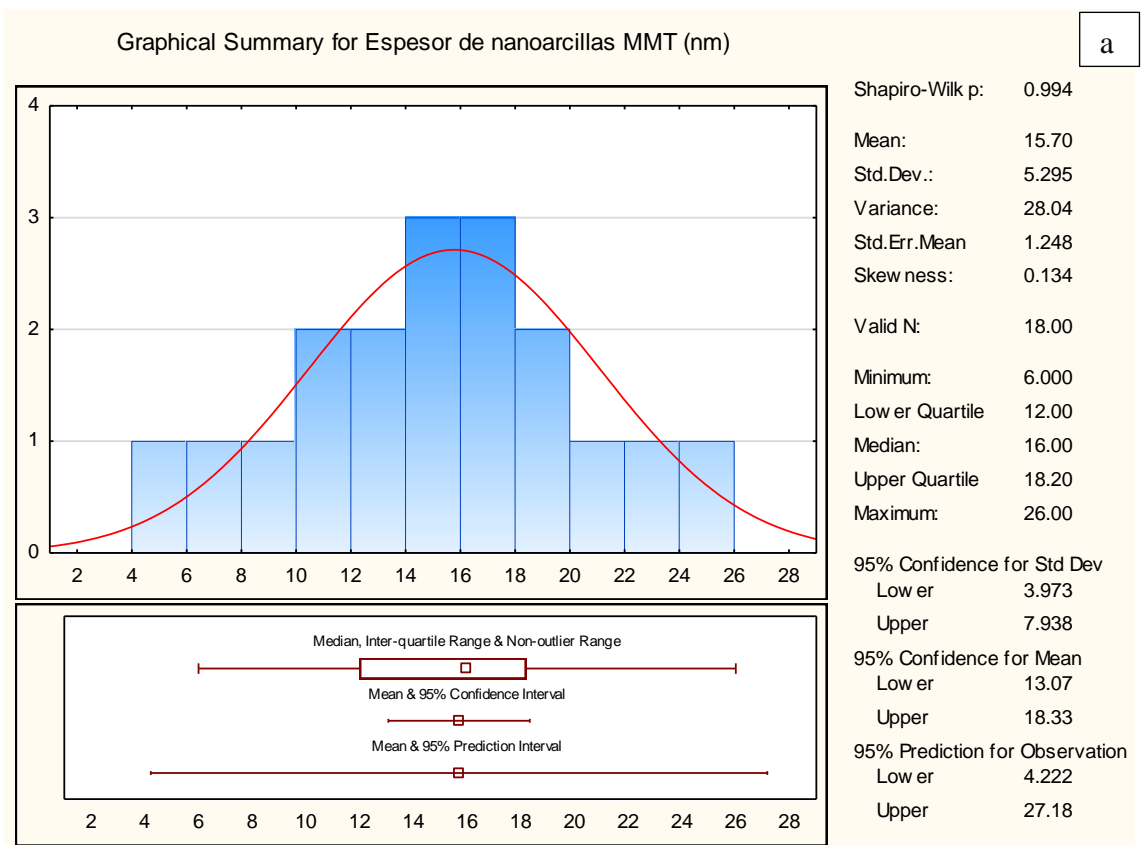


Figura 16. Micrografía de arcilla modificada a una ampliación de 1.00 k

Según la micrografía de las Figuras (15 y 16), se puede apreciar que para la nanoarcilla 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.



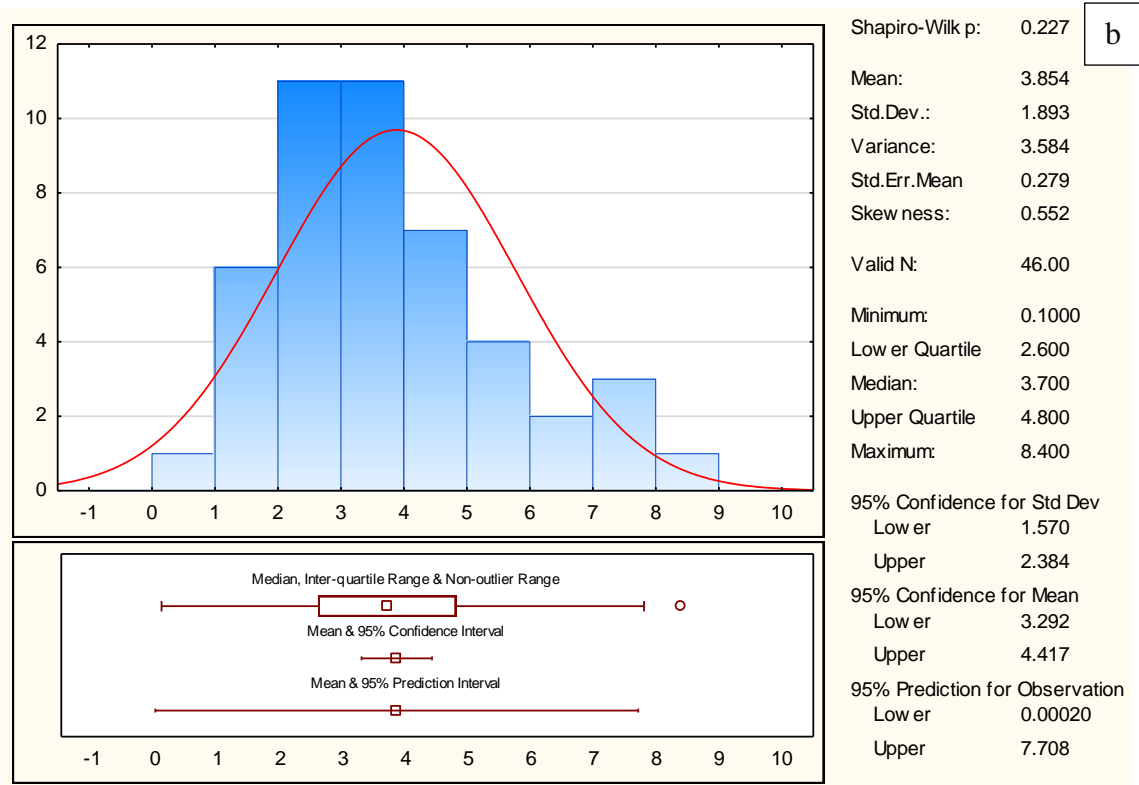


Figura 17. a) Distribución normal de la granulometría de nanoarcilla MMT. b) distribución normal del tamaño laminar de la nanoarcilla MMT.

La Figura 17a muestra la distribución normal de la granulometría de las partículas de nanoarcilla MMT (Figura 17a), se puede observar que las partículas poseen una granulometría homogénea gaussiana y sigue una distribución normal de tamaños que oscilan entre 6.000 a 26.00 nm, con un promedio de 15.70 nm.

La Figura 17b muestra la distribución normal del tamaño laminar de la nanoarcilla MMT (Figura 17b), se puede observar que el tamaño de las láminas presentan una distribución homogénea gaussiana y sigue una distribución normal de tamaños que oscilan entre 0.1 a 8.00 μm , con un promedio de 3.854 μm , que son tamaños menores de los que presenta Delbem et al., (2010) en su investigación como se puede observar en la figura 18. Por otra parte Tuesta, Vivas, Sun, y Gutarra, (2005) nos menciona que las micrografías revelan que la activación uniformizada muestra el tamaño de la partícula y

que estas tienen forma de láminas de aproximadamente 2 μm y Mayworm, C. D (2009) en su investigación nos menciona que las laminas presentan tamaños de 2 a 4 μm .

Se obtuvo una micrografía electrónica de barrido de muestras de bentonita y se presentó con un aumento igual a $6000\times$ en la Figura 18. La micrografía de la bentonita no tratada se puede observar claramente en la Figura 18 (a) que muestra que el tamaño de los granos de bentonita es diferente, y su diámetro está ubicado entre 29 μm y 126 μm , y la masa agregada de partículas de forma irregular que parecían haber sido formadas por varias partículas escamosas apiladas juntas en forma de aglomerados. Las microfotografías de bentonita tratada con ácido indican la desagregación y la disminución del tamaño de la estructura de arcilla mediante el tratamiento con ácido. Figuras 18 (b) - (f). En comparación con la Figura 18 (a), mostró una clara distinción en el análisis visual de las diferencias microestructurales. El diámetro de las partículas de bentonita tratada con ácido varió de 250 μm a 780 μm . Estas variaciones, por lo tanto, han llevado a una disminución en la densidad de la bentonita tratada con ácido a medida que el volumen de partículas aumenta automáticamente y, por lo tanto, disminuye la gravedad específica. Según Amari et al, en línea con los resultados anteriores reportados por Morgan et al. y Kheok y Lim, afirman que la superficie aumenta con el aumento de la concentración de ácido hasta el valor óptimo, más allá de esta concentración de ácido, la superficie disminuye. La micrografía SEM de bentonita activada con HCl 0.6 N muestra la disminución de las proporciones de los diferentes granos de tamaño localizados entre 60 μm y 200 μm . Los bordes de las láminas se abren y se separan, por lo que la separación de las capas se explica por el fenómeno de la hidrofobia con la migración de los iones hidronio hacia la superficie y la transformación de su red cristalina (Figura 18) Bendou y Amrani, (2014).

Lira, Silva, Da Costa Filho, Lucas, y Santana (2017) modificaron las arcillas a 25, 55 y 75 °C, Los resultados mostraron que el espacio basal aumentó en todas las arcillas organofílicas, en comparación con la arcilla natural, lo que demuestra la intercalación efectiva de las moléculas de CETAB en la arcilla. El espacio basal varió según la orientación de la sal de amonio cuaternario utilizada en la modificación. Además de ello muestra condiciones apropiadas del proceso de organofilización, que indica la intercalación de cationes de amonio cuaternario entre las capas de arcilla. Las pruebas de adsorción mostraron que la arcilla natural redujo la cantidad de aceite contenido en el medio acuoso en un 76,16%, mientras que las tasas de eliminación correspondientes de todas las partículas orgánicas probadas fueron superiores al 92%, lo que las hace potencialmente aplicables para eliminar el aceite de las aguas residuales.

Delbem, Valera, Valenzuela-Diaz, y Demarquette (2010) Los análisis térmicos de sales comerciales mostraron, que su descomposición ocurre en pasos. Las pérdidas de masa debidas a la descomposición principal de la sal se producen a temperaturas máximas de alrededor de 250 °C y 270 °C. que cuanto mayor sea la liberación de cationes orgánicos, mayor será el número de curvas DTA, de acuerdo a las investigaciones, cuando los cationes orgánicos sustituyen a los cationes metálicos presentes en una arcilla hidrófila, se adhieren principalmente a la capa intermedia tetraédrica de la superficie de la lámina mediante interacciones electrostáticas. Si la concentración de la surfactante agregada a las partículas orgánicas aumenta, algunos cationes en exceso se unirán a la superficie externa de las partículas de la arcilla, pero la mayoría del surfactante en exceso residirá dentro de las plaquetas de arcilla unidas a la superficie de la lámina tetraédrica o adsorbidas Van der Waals obliga a las cadenas de otros cationes. Estas diferentes ubicaciones de las sales resultaran en varios eventos exotérmicos.

El evento exotérmico de temperatura más alta corresponde a la descomposición de los cationes orgánicos entre capas (picos a aprox. 260 y picos 300-350 °C) debido a que las temperaturas pico son más altas que las sales puras debido al efecto protector de las capas de arcilla. Cuando la concentración de catión orgánico mayor es mayor, un mayor número de catión puede ocupar el espaciado entre capas, aumentando número de picos, las temperaturas máximas y la intensidad máxima. La concentración de sal que se incorpora dentro de las plaquetas durante el intercambio de cationes no solo depende de la concentración de sal utilizada para tratar la arcilla, sino también de la arquitectura de la sal para modificar las arcillas, que a su vez determina la concentración de catión orgánico en la estructura de la arcilla Delbem et al., (2010).

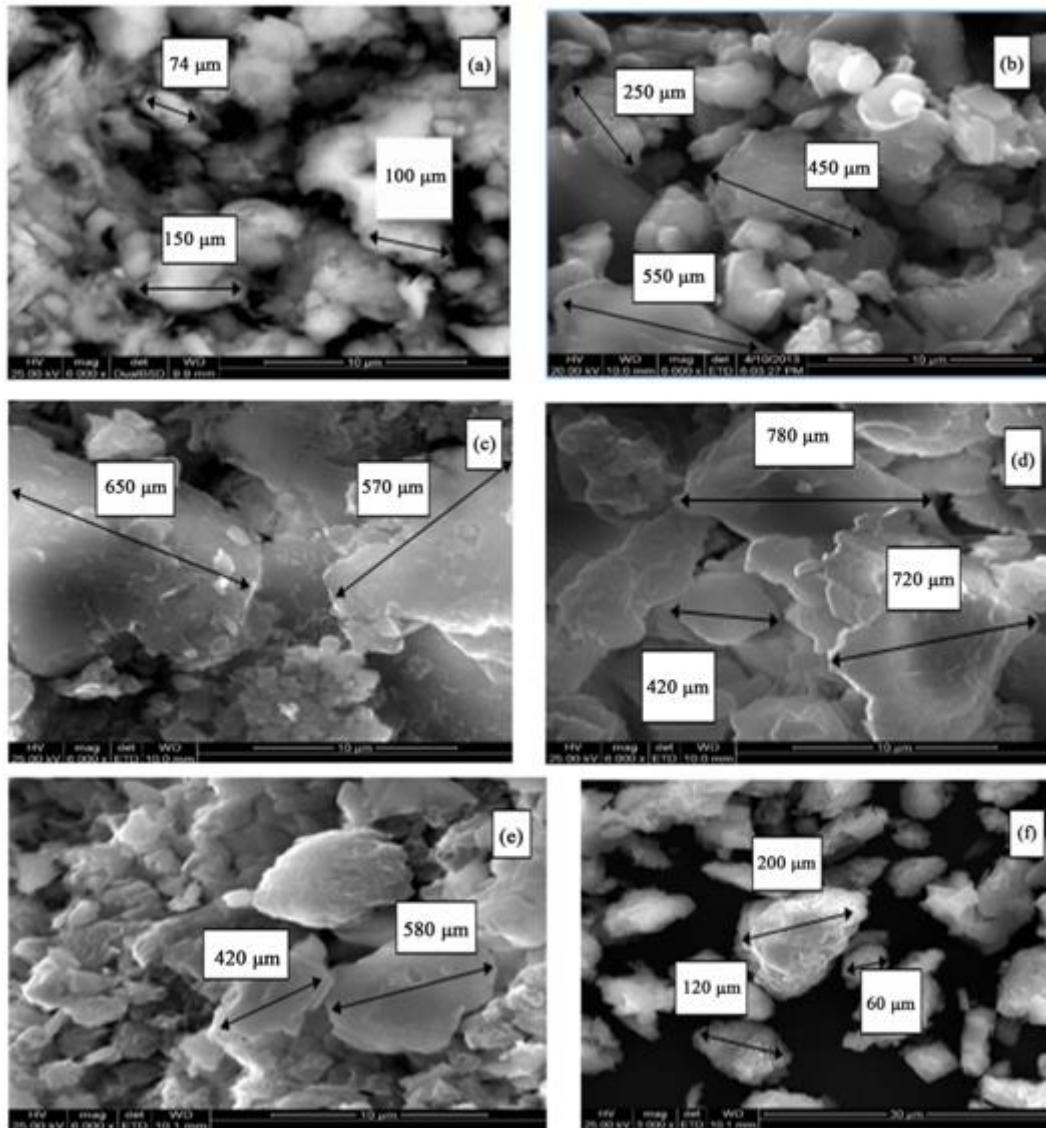


Figura 18: Microscopia de barrido electrónico de la MMT no activada (a) y activada con ácido clorhídrico a diferentes concentraciones (b) 0.06M; (c) 0.15 M; (d) 0.25 M; (e) 0.4 M; (f) 0.6M Bendou y Amrani, (2014).

4.2. Resultados de la fibra lignocelulósica de arroz

Los resultados de las propiedades de la fibra lignocelulósica de arroz como biomaterial de estudio en la adsorción de la cuantificación del Plomo son mostradas en la Tabla 13 y Figura 19.

Tabla 13. Resultados de las propiedades físicas de partículas de fibra cascara de arroz

Propiedades	Valores
Humedad (%)	11.9 ± 0.21
Cenizas (%)	19.3 ± 1.04
Actividad de agua	0.51 ± 0.03
Masa específica (g/cm^3)	1.32 ± 0.05
Granulometría (mm)	$1,48 \pm 0.13$



Figura 19. Morfología de la fibra Lignocelulósica de Arroz.

El resultado obtenido del contenido promedio de humedad fue de 11.9 % como es observado en la Tabla 13, valores similares a los reportados de Veira et al. (2013) y Morales et al. (2006) con humedades de 11.31 y 10.61 % respectivamente, mostrándose con una biomasa baja de contenido de humedad para acondicionamiento o conservación con actividad de agua baja para aplicaciones en tratamiento de agua para la remoción de contaminantes.

El contenido de cenizas fue un promedio de 19.3 %, resultado relativamente menor a los reportados de Morais et al. (2006) con contenido de humedad de 23.84 % y relativamente mayor a los reportados por Veira et al (2013) con contenido de 15.51 %. La cascara presenta un contenido de cenizas relativamente mayor que puede ser utilizado para generar carbón activo para aplicaciones de diversas áreas.

La actividad de agua (A_w) para el material de estudio fue de 0.51. La actividad del agua determina el grado de interacción del agua en los demás constituyentes de los

alimentos y en una forma indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a los que están sujetas. A mayores Actividades de agua pueden crecer casi todos los microorganismos patógenos, y dar lugar a alteraciones y toxiinfecciones alimentarias. Actividad de agua menores a 60 no hay crecimiento microbiano Fennema, 2010 y Belitz , (2012).

El contenido de la masa específica fue de 1.39 g/cm² valores similares a los reportados de Fernandes et al. (2015) que obtuvieron valores 1.40 y 1.41 g/cm³ para dos variedades de cascara de arroz. Oliveira y Tannous (2009) encontraron una masa específica de 1.60 g/cm³ ligeramente menor a los resultados del presente trabajo.

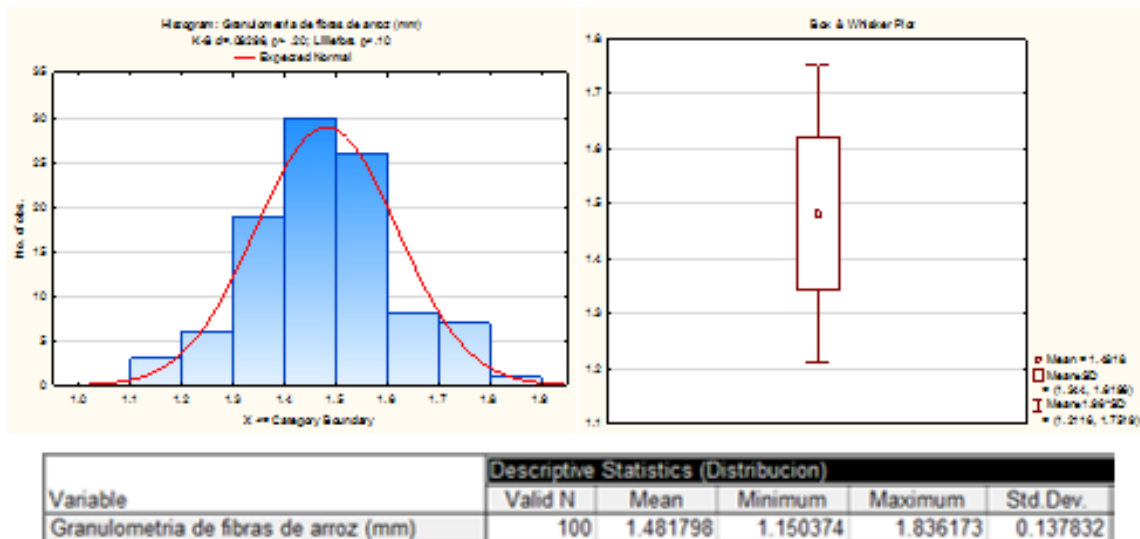


Figura 20. Distribución normal de la granulometría de fibras de cascarilla de arroz

La Figura 20 muestra la distribución normal de la granulometría de las partículas de la biomasa con relación a las fibras de arroz (Figura 20), se puede observar que las partículas poseen una granulometría homogénea gaussiana y sigue una distribución normal de tamaños que oscilan entre 1.1 a 1.8 mm, con un promedio de 1.48 mm. Ferreria et al. (2008) al realizar el análisis granulométrico se observó que un 90% de las partículas de cáscara de arroz comprendían entre 1.2 a 2.0 mm. Los resultados muestran similares con relación al rango de la granulometría. Las partículas de la cáscara de arroz se

muestran adecuada para aplicaciones de propiedades funcionales de adsorción y esponja en la remoción de contaminantes.

4.3. Resultados de los parámetros campo del agua residual

Tabla 14. Resultados de los parámetros de campo de la muestra de agua residual

Parámetros de Campo	Datos
pH	7.8±0,4
T(°C)	23.1±2.0
Conductividad US/cm ²	5,20±00

En la Tabla 14, muestra los resultados de los parámetros de campo de la muestra de agua residual de la laguna de La Mansión.

Los resultados obtenidos se asemejan a los siguientes resultados pH (8.02), conductividad (5.56 US/cm), que fueron resultados obtenidos de acuerdo a la investigación realizada de la misma laguna “La mansión” presentada por Torres et al., (2016).

Tabla 15. Resultados del análisis de concentración de Pb de la Laguna La Mansión contaminado con Nitrato de Plomo

Agua contaminada con alta concentración de Plomo
14.64±0.49 mg/L

Los resultados del agua residual sintética contaminadas intencionalmente fue de 14.64 mg/L de Pb y la muestra inicial de agua de la Laguna La Mansión fue 0.012 mg/L. La adición fue para evaluar y verificar la potencialidad de los agentes adsorbedores de la nanoarcilla MMT y partículas de fibras lignocelulósica de cascarilla de arroz.

4.4. Resultados de la cuantificación del Plomo

Tabla 16. Resultados de la cuantificación del Plomo

Tratamientos	Variables independientes						Variable dependiente
	Codificados			No codificados			
	X ₁	X ₂	X ₃	Nanoarcilla (g/100mL)	Fibra de Arroz (g/100mL)	pH	Cuantificación del Plomo (Pb) (mg/L)
1	-1	-1	-1	0.3	2.0	3.0	8.300 ± 1.414
2	-1	0	1	0.3	3.0	8.0	0.727 ± 0.074
3	-1	1	0	0.3	4.0	5.5	1.663 ± 0.229
4	0	-1	1	0.5	2.0	8.0	0.276 ± 0.181
5	0	0	0	0.5	3.0	5.5	1.373 ± 0.357
6	0	1	-1	0.5	4.0	3.0	5.334 ± 1.009
7	1	-1	0	0.7	2.0	5.5	1.268 ± 0.074
8	1	0	-1	0.7	3.0	3.0	6.163 ± 0.088
9	1	1	1	0.7	4.0	8.0	0.138 ± 0.004

La Tabla 16 muestra los resultados de la cuantificación del Plomo (mg/L) de acuerdo a las diferentes concentraciones de las variables independientes, teniendo en cuenta las repeticiones en las pruebas, se logró obtener una cuantificación del Plomo de (0.13 mg/L) de acuerdo a las siguientes condiciones pH 8, Nanoarcilla 0.7g/100 mL y Fibra Lignocelulósica de arroz 4g/100 mL, siendo este tratamiento de acuerdo a las condiciones mencionadas el mejor resultado obtenido representando el 99% de remoción de Plomo.

Tabla 17. Resultados de la Anova para la Cuantificación de Plomo (mg/L)

Factor	SM	GL	CM	F-Valor	p-Valor
(1) Nanoarcilla MMT (g/100mL) (L)	3.2490	1	3.2490	8.9883	0.015004
Nanoarcilla MMT (g/100mL) (Q)	2.0478	1	2.0478	5.6652	0.041217
(2) Fibra lignocelulósica (g/100mL) (L)	2.4462	1	2.4462	6.7675	0.028670
Fibra lignocelulósica (g/100mL) (Q)	0.0228	1	0.0228	0.0631	0.807334
(3) pH (L)	116.0217	1	116.0217	320.9762	0.000000
pH(Q)	3.6815	1	3.6815	10.1851	0.010982
1L by 2L	1.9516	1	1.9516	5.3992	0.045218
Lack of Fit	0.1987	1	0.1987	0.5496	0.477379
Pure Error	3.2532	9	0.3615		
Total SS	146.0871	17			

R²=0.977, R²-ajustado= 0.960, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios

El análisis de la varianza para la cuantificación del Plomo (Pb) el cual se observa en la Tabla 17, muestra que los efectos principales de los adsorbentes Nanoarcilla (L y Q), Fibra Lignocelulósica (L), pH (L y Q) y la interacción de Nanoarcilla (L) y Fibra Lignocelulósica (L) son significativas en la cuantificación del Plomo. Pero la fibra lignocelulósica (Q) no fue significativa ($p=0.80$), también se observa que la falta de ajuste del modelo no es significativa, quiere decir que el ajuste del modelo es estadísticamente significativo.

En la Figura 21, el diagrama de Pareto para la cuantificación del Plomo (mg/L) muestra que las variables pH (L-Q), nanoarcilla (L-Q), la fibra Lignocelulósica de arroz (L) y la combinación de nanoarcilla (L) y fibra lignocelulósica de arroz (L) son estadísticamente significativos ($\alpha=0,05$). Lo que implica que estas variables son determinantes para la remoción de Plomo, pero la variable que mayor influencia presenta es el pH (L y Q), seguida de la nanoarcilla (L y Q) y por último la fibra lignocelulósica de arroz (L). Pero se excluye a la fibra lignocelulósica de arroz (Q) como un parámetro significativo en el tratamiento

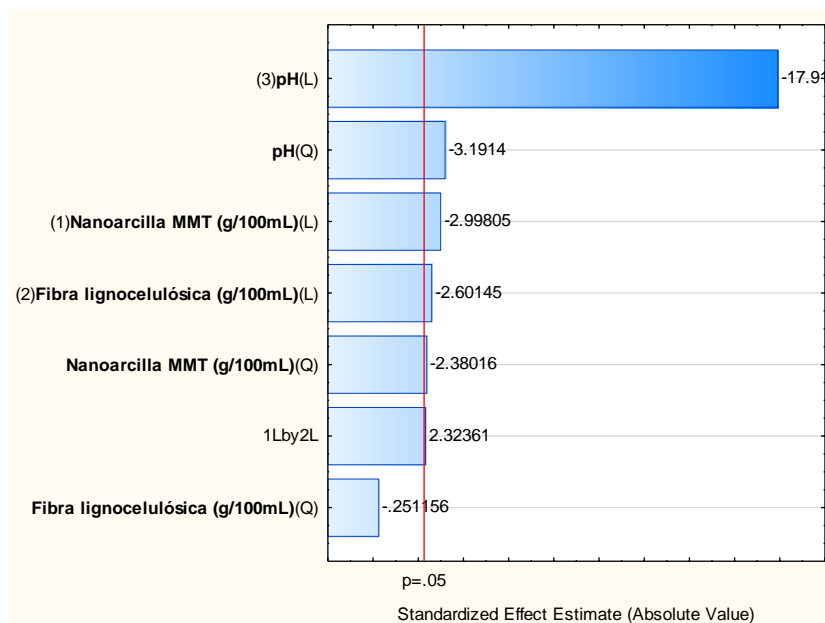


Figura 21. Diagrama de Pareto para la cuantificación del Plomo

Tabla 18. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo en la cuantificación de Plomo (mg/L)

Fuente de variación	SM	GL	CM	F _{cal}	F _{Tab}	F*
Regresión (L y Q)	126.95	5	25.390	73.555	3.330	22.088 (7)
Error residual	3.45	10	0.345			
Falta de ajuste	0.20	1	0.199	0.550	5.120	0.107 (48)
Error puro	3.25	9	0.362			
Total	146.09	17				

$R^2=97.4$, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 18 muestra que a un nivel de confianza del 95 %, el valor de $F_{calculado}$ es casi 7 veces mayor que el $F_{tabulado}$, demostrándonos que el modelo matemático es representativo y predictivo en la regresión, como también en el ajuste del modelo muestra que el modelo es predictivo para la cuantificación del plomo, porque el $F_{calculado}$ es 47.8 veces menor que el $F_{tabulado}$ Khuri y Cornell, 1996, Barros Neto, Scarminio y Bruns (2001).

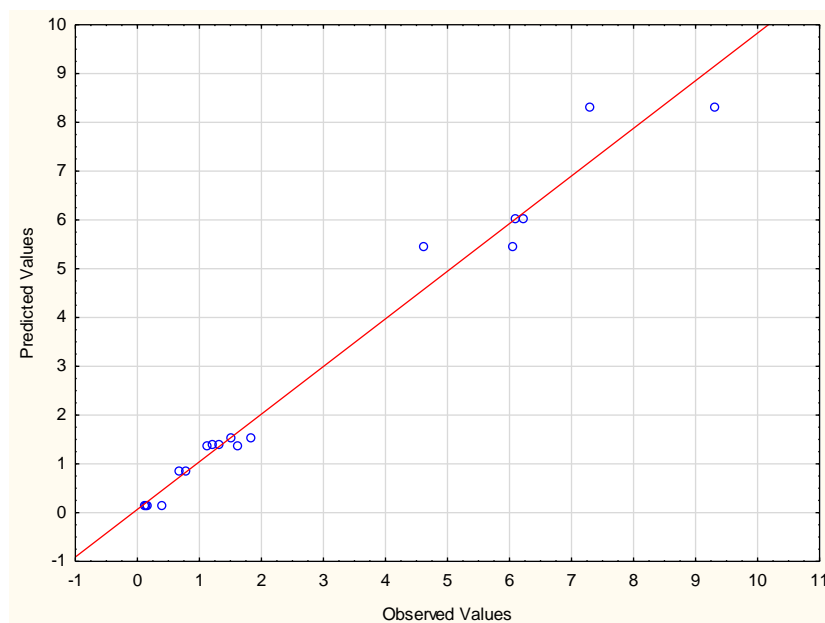


Figura 22. Valores observados y predictivos del ajuste del modelo

Tabla 19. Resultados efectos para la cuantificación del Plomo (mg/L).

Factor	Effect	Std.Err. Pure error	t(9)	P	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	2.80433	0.141709	19.7894	0.000000	2.48377	3.12490
(1) Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	-1.04067	0.347114	-2.9981	0.015004	-1.82589	-0.25544
Nanoarcilla MMT (g/100mL) (Q)	-0.71550	0.300610	-2.3802	0.041217	-1.39553	-0.03547
(2) Fibra lignocelulósica (g/100mL) (L)	-0.90300	0.347114	-2.6014	0.028670	-1.68823	-0.11777
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	-0.07550	0.300610	-0.2512	0.807334	-0.75553	0.60453
(3)pH(L)	-6.21883	0.347114	-17.9158	0.000000	-7.00406	-5.43361
pH(Q)	-1.35675	0.425126	-3.1914	0.010982	-2.31845	-0.39505
1L by 2L	1.39700	0.601220	2.3236	0.045218	0.03695	2.75705

R2=0.97637, R2-ajustado= 0.95983, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 19 muestra los resultados del coeficiente de regresión lineal, donde la primera muestra los valores de los efectos, la segunda columna los valores de la desviación estándar representadas a través del error puro. El valor p mostrado en la cuarta columna cuyos datos menores que el nivel de significancia nos dicen que los efectos son significativos a un 95% de nivel de confianza, el único que no resultó estadísticamente significativo fue la fibra lignocelulósica (Q).con un (p= 0.8).

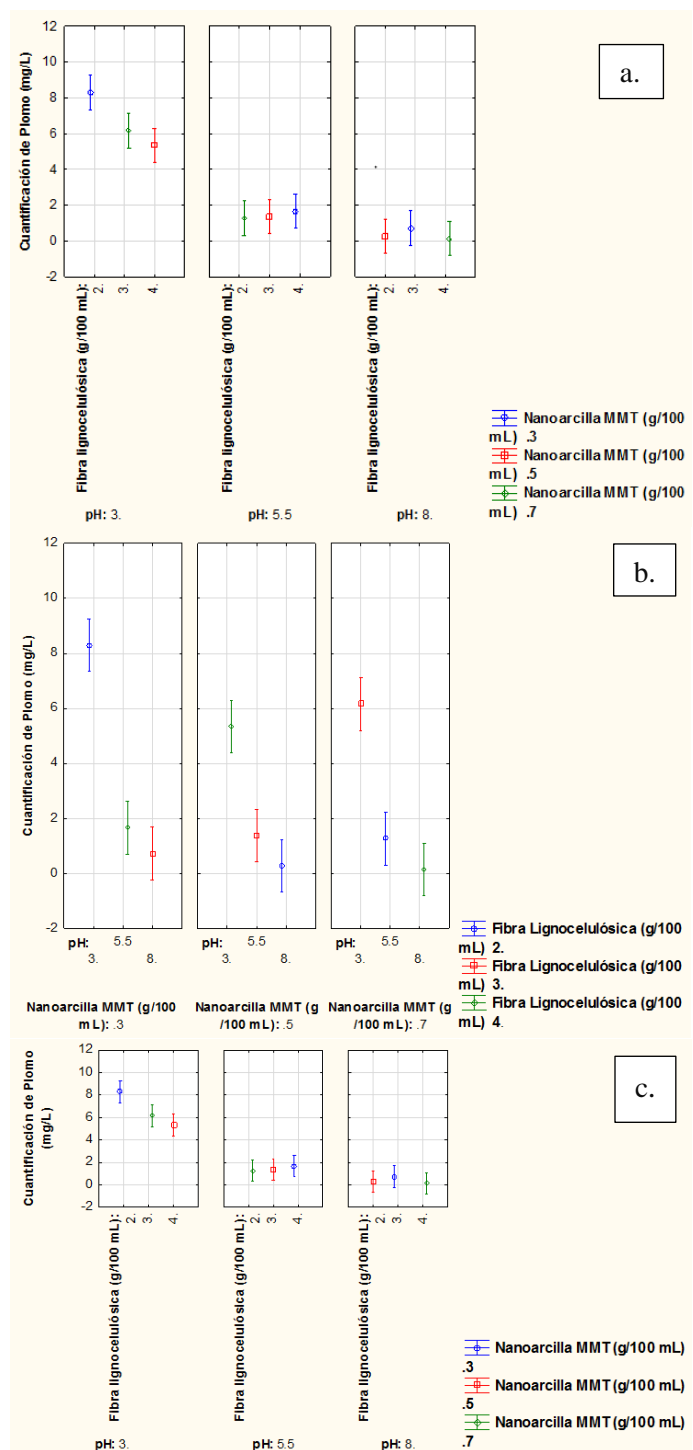


Figura 23. Figura de medias marginales de parámetros

En la Figura 23 las medias marginales muestran que un mejor resultado se obtiene cuando trabajamos a un pH 8 con concentraciones de nanoarcilla MMT (0.7 g/100mL) y fibra lignocelulósica de arroz a (4 g/100mL).

Tabla 20. Resultados de coeficiente de regresión para la cuantificación del Plomo (mg/L)

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(p)	p	-95.% Cnf.Limt	-95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	27.8253	3.505945	7.93662	0.000024	19.8943	35.7563
(1) Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	-30.9667	8.807063	-3.51612	0.006555	-50.8896	-11.0437
Nanoarcilla MMT (g/100mL)(Q)	17.8875	7.515245	2.38016	0.041217	0.8868	34.8882
(2) Fibra lignocelulósica (g/100mL)(L)	-2.6507	1.961656	-1.35128	0.209591	-7.0883	1.7868
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	0.0755	0.300610	0.25116	0.807334	-0.6045	0.7555
(3) pH(L)	-3.6316	0.751436	-4.83294	0.000930	-5.3315	-1.9318
pH(Q)	0.2171	0.068020	3.19140	0.010982	0.0632	0.3710
1L by 2L	3.4925	1.503049	2.32361	0.045218	0.0924	6.8926

$R^2=0.97637$, R^2 -ajustado= 0.95983, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 20 muestra los resultados del coeficiente de regresión lineal, donde la variable fibra lignocelulósica de arroz (L y Q) no son estadísticamente significativos con ($p= 0.2$ y $p=0.8$).

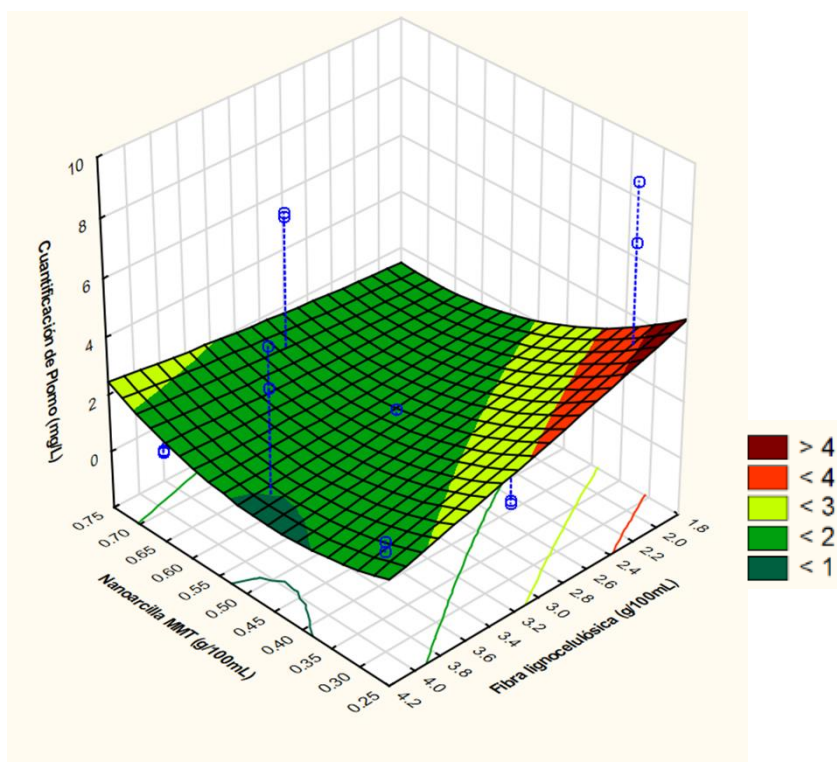


Figura 24. Superficie de Respuesta para la cuantificación del Plomo

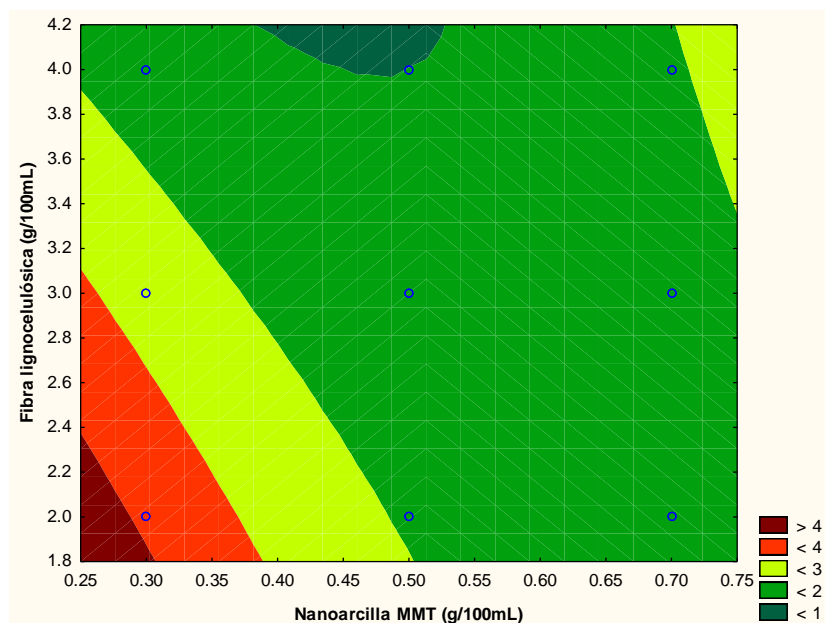


Figura 25. Curvas de contorno para la cuantificación del Plomo

En la Figura (24 y 25) muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno sobre la interacción de Nanoarcilla y fibra lignocelulósica de arroz en la cuantificación del Plomo (mg/L), en el cual la combinación de nanoarcilla (0.4 g/100 mL) y fibra lignocelulósica de arroz (4 g/100 mL) muestra que obtendremos resultados de cuantificación de Plomo menores de (1 mg/L) que se encuentra en la región verde oscura. La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de nanoarcilla MMT y Fibras lignocelulósicas.

$$CPb = 27.8253 - 30.9667 N + 17.8875 N^2 + 3.4925NF \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

CPb: Cuantificación de Plomo (Pb) (mg/L)

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

F: Fibra lignocelulósica (g/100mL)

Según Naiya, Bhattacharya, Mandal, y Das, (2009) nos menciona que el pH de la solución afecta la carga de la superficie de los adsorbentes. El pH en su investigación fue identificado como la variable más importante que gobierna la adsorción de los metales. Con la finalidad de evaluar la influencia de este parámetro hicieron una investigación con

rango de pH de (2 a 6) viendo que mejores resultados de la remoción de plomo se dieron a pH de 5. La eliminación del Plomo (II) aumenta a medida que el pH aumenta.

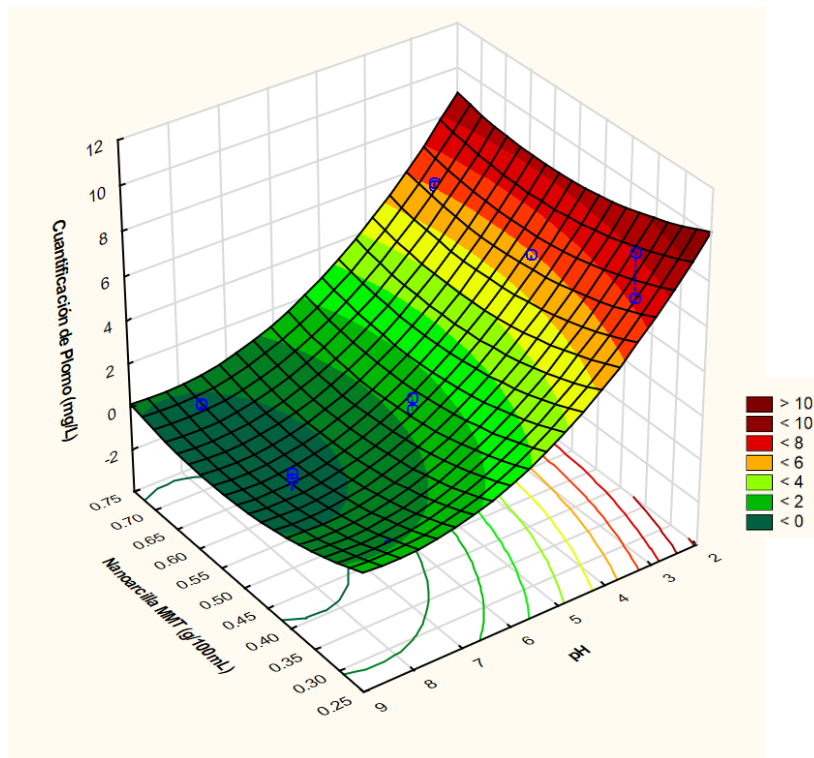


Figura 26. Superficie de respuesta para la cuantificación de Plomo

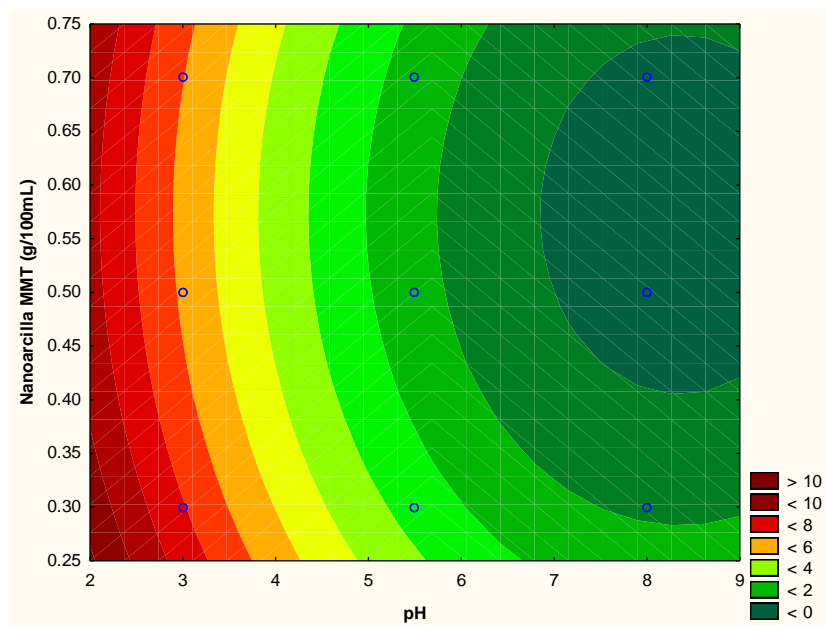


Figura 27. Contorno de respuesta para la cuantificación de Plomo

En la Figura (26 y 27) muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno sobre la interacción de Nanoarcilla y pH en la cuantificación del Plomo (mg/L), la

combinación de nanoarcilla (0.5 g/100 mL) y pH (8) muestra que obtendremos resultados de cuantificación de Plomo hasta una concentración próxima a (0 mg/L) que se encuentra en la región verde oscuro, donde también podemos encontrar una probable optimización en la región que abarca la interacción de Nanoarcilla entre (0.3 g/100 mL y 0.6 g/100 mL) con el pH de (7 a 9) se puede obtener resultados óptimos en la Cuantificación del Plomo (mg/L). La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de nanoarcilla MMT y pH:

$$CPb = 27.8253 - 30.9667 N + 17.8875 N^2 - 3.6316H + 0.2171H^2 \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

CPb: Cuantificación de Plomo (mg/L)

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

H: pH

Las arcillas han sido buenos adsorbentes por la existencia de varios tipos de sitios activos en la superficie, que incluyen los sitios ácidos de Bronsted y Lewis, y los sitios de intercambio iónico. Los grupos hidroxilo del borde han sido particularmente activos para varios tipos de interacciones. La montmorillonita, por otro lado, tiene una carga negativa neta de 0,8 unidades por unidad de celda y esto ha sido responsable de otorgar una actividad superior a la montmorillonita como adsorbente. Sin embargo, la actividad depende de muchos otros factores ambientales como el pH, la temperatura, etc. La modificación de las arcillas mediante pilares y la activación del ácido tiene una influencia considerable en las propiedades estructurales, muy a menudo mejorando sus capacidades de adsorción, pero también se observan tendencias inversas. Las arcillas y las arcillas modificadas se han encontrado particularmente útiles para la adsorción de metales pesados. Las arcillas han recibido atención como eliminadores de As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, Zn en sus formas iónicas del medio acuoso. Las capacidades de adsorción

varían de metal a metal y también dependen del tipo de arcilla utilizada Bhattacharyya y Gupta, (2008).

Efecto del pH inicial

La adsorción del Plomo sobre la arcilla modificada (Nanoarcilla) es muy dependiente del pH, a medida que aumenta el pH la adsorción es mayor. normalmente la superficie de la bentonita se encuentra más protonada a un nivel bajo de pH, por ende, la retención de los iones de los metales pesados es menor. La razón de ello es que las reacciones de la formación de los complejos de superficie son influenciadas por la atracción electrostática entre los grupos cargados negativamente en la superficie de la bentonita y los iones Liu et al., (2006).

Cuando la adsorción se produce por debajo de pH 5, los dos iones están por debajo del pH de precipitación. En dicho sistema de H^+ compite con los iones metálicos, lo que hace que los sitios activos protones hasta la exclusión virtual de la unión del metal en la superficie de la bentonita. A medida que aumenta el pH, queda disponible una superficie con carga más negativa, lo que facilita una mayor captación de metal Liu et al., (2006).

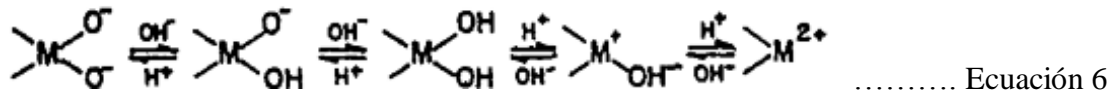
El comportamiento de la carga superficial de las arcillas se le atribuye al incremento del pH de la solución, debido a que la superficie de las arcillas se carga negativamente y la fuerza repulsiva que tiene la arcilla disminuye. Por lo tanto, la eliminación de metales comienza a aumentar Abdellaoui et al., (2018).

Efecto del pH

La baja adsorción de Pb en un pH más bajo se debe a una fuerte competencia de iones de H por los sitios de intercambio disponibles o un fenómeno de adsorción de superficie, en el que la superficie del adsorbente no favorece la adsorción de iones cargados positivamente a un pH más bajo. Los óxidos de aluminio, calcio presentes en

cantidades variables en bentonita. Las superficies hidroxiladas de los óxidos desarrollan una carga en la superficie en solución acuosa a través de la disociación anfotérica, como se muestra en la Figura 27 donde M representa Al, Ca, Mg, Si, etc. La superficie se cargará positivamente a un pH más bajo y, por lo tanto, no favorecerá la adsorción de los iones.

Khan, Riaz-ur-Rehman, & Khan, (1995)



Efectos de la concentración de sorbente

El aumento en el porcentaje de adsorción con el aumento de la cantidad del sorbente se debe a la mayor disponibilidad de los sitios intercambiables de adsorción en concentraciones más altas del sorbente Khan et al., (1995).

Metal Oxides	Chemical Analysis (%)
Silica (SiO ₂)	70.68
Alumina (Al ₂ O ₃)	16.22
Lime (CaO)	4.62
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.21
Magnesia (MgO)	3.00
Potassium Oxide (K ₂ O)	1.05
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.71
Titanium Oxide (TiO ₂)	0.33
Chromium Oxide (Cr ₂ O ₃)	0.01
Vanadium Oxide (V ₂ O ₅)	0.17
	100.00

Figura 28. Análisis químico de la bentonita Khan et al., (1995)

Según Narro, (2014) muestra en la Tabla 21 los resultados del tratamiento que aplicaron para la remoción de Plomo a diferentes niveles de pH, si bien es cierto que ellos utilizan otro tipo de adsorbente pero perteneciente al rubro de las arcillas donde la mejor remoción de plomo que tienen fue a un pH (8.23) teniendo como resultado una concentración de plomo (0.03 ppm)

Tabla 21. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración Plomo pH en el agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Plomo (ppm)
Testigo		3.43	0.20
T1	R1	2.21	0.10
T1	R2	2.41	0.11
T1	R3	2.25	0.04
T2	R1	2.41	0.12
T2	R2	2.46	0.11
T2	R3	2.53	0.08
T3	R1	4.61	0.05
T3	R2	3.58	0.12
T3	R3	3.75	0.06
T4	R1	8.12	0.13
T4	R2	8.25	0.04
T4	R3	8.23	0.03

T1(zeolita acondicionada) T2 (arena verde acondicionada) T3(arena verde) T4(ruminal heathl)

Por otro lado, en la arcilla natural la carga negativa de superficie que es balanceada con los cationes de intercambio hace que ésta tenga poca o ninguna afinidad por especies aniónicas. Adicionalmente, la hidratación de los cationes metálicos de intercambio imparte una naturaleza hidrofílica al material. Por ello, en presencia de agua, la arcilla no resulta ser un buen adsorbente de especies orgánicas. Sin embargo, estos cationes metálicos pueden ser intercambiados por cationes orgánicos. De esta manera la superficie se torna fuertemente organofílica. Estas arcillas organofílicas son excelentes adsorbentes de compuestos orgánicos Zavala, (2009)

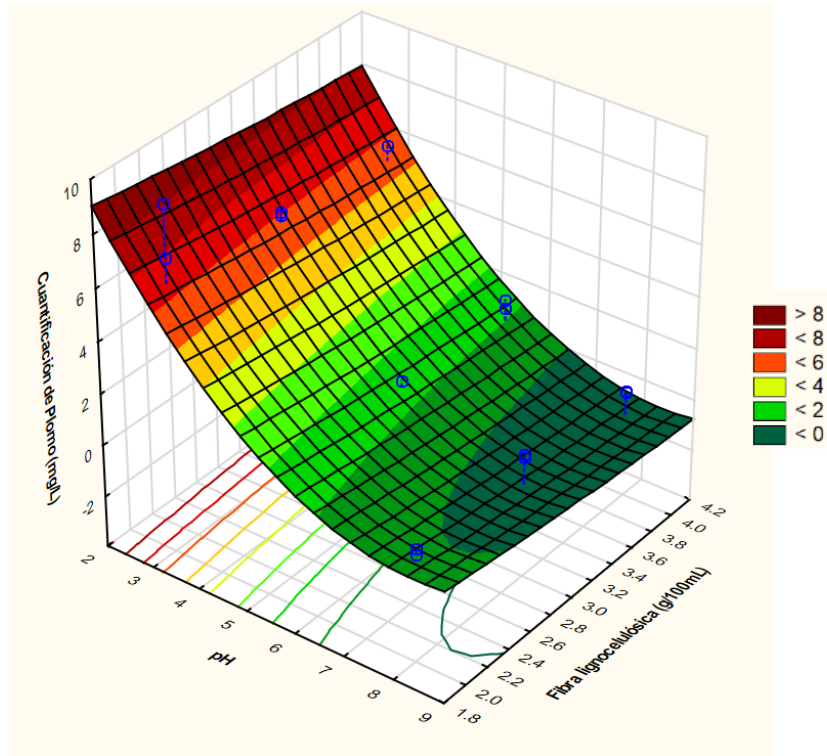


Figura 29. Superficie de respuesta para la cuantificación de Plomo

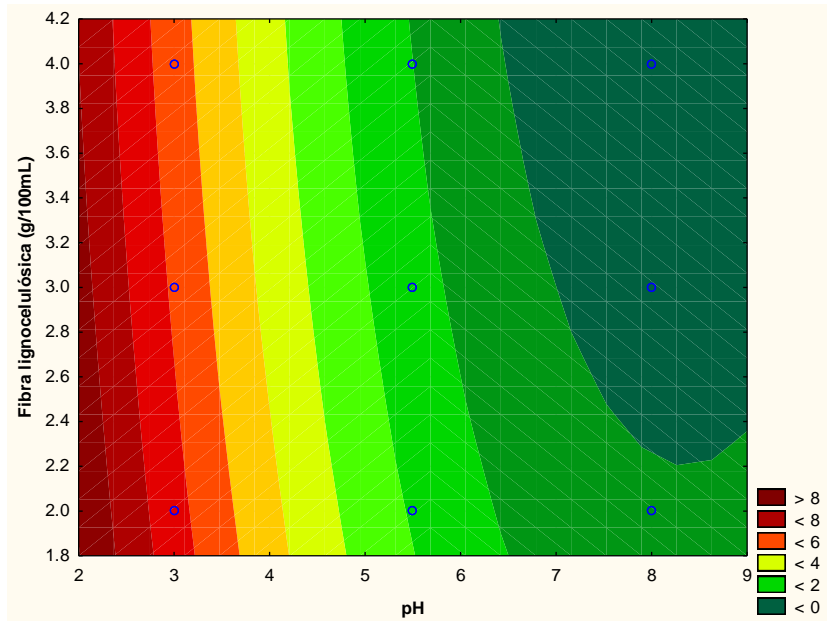


Figura 30. Contorno de respuesta para la cuantificación de Plomo

En la Figura (29 y 30), muestra la superficie de respuesta y curvas de contorno de la interacción entre la fibra lignocelulósica de arroz y pH en la cuantificación del Plomo (mg/L), la combinación de fibra lignocelulósica de arroz (4 g/100 mL) y pH (8) muestra que obtendremos resultados de cuantificación de Plomo más próximo al (0 mg/L) que se

encuentra en la región verde oscuro. La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de partículas de fibras y pH:

Las diversas modificaciones de la arcilla tipo montmorillonita aumentan la accesibilidad de los sitios de la unión de metales, dando como resultado una superficie más porosa. Se encontró que en la mayoría de los estudios reportados que aumenta en concentración dio lugar una mayor adsorción. Sin embargo, algunos estudios también mostraron que disminuye con el aumento de concentración, esto puede ser resultado de la hidrólisis del metal catiónicos con la posterior liberación de protones Uddin, (2017). La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de fibra lignocelulósica y pH:

$$CPb = 27.8253 - 3.6316H + 0.2171H^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

CPb: Cuantificación de Plomo (Pb) (mg/L)

H: (pH)

Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández, y García, (2012) utilizaron cáscara de arroz químicamente modificada, con hidróxido de potasio 1% o con ácido fosfórico 1M, los resultados muestran una mejor remoción con pH ácido (inferior a 2), cuanto mayor masa del bioadsorbente aumenta la adsorción de Cromo (VI) debido a un incremento tanto en el área superficial como en los sitios activos de unión disponibles

La morfología del adsorbente puede facilitar la adsorción de los metales en diferentes partes del material. Por lo tanto, basándose en la morfología y el hecho de que una mayor concentración de sílice está presente en las epidermis exteriores de las cascaras de arroz Vieira et al., (2014).

En la remoción de Cd (II) con la cascarilla de arroz, la adsorción del metal fue dependiente del tiempo de contacto, la dosis del adsorbente, la temperatura, la concentración y el pH de la solución. En el cual el porcentaje de adsorción del metal acrecentó de 18% a 99% cuando la dosis de adsorbente se incrementó de 0.5 a 3.0 g. El tiempo de contacto fue durante 24h, la adsorción de Cd (II) resultó eficiente al aumentar la temperatura y el tiempo de contacto en el que el tiempo llegó a ser constante después de 60 minutos. En cuanto al pH el porcentaje de adsorción aumentó a medida que el pH de la solución se incrementó y llegó a un valor máximo a pH 12. El porcentaje de Cd fue mucho mayor por adsorción que por precipitación Ajmal, Ali Khan Rao, Anwar, Ahmad, y Ahmad, (2003)

La cascara de arroz es un residuo agrícola, que representa aproximadamente una quinta parte del arroz bruto anual, 545 millones de toneladas métricas del mundo. La cáscara de arroz contiene abundante fibra florística, proteínas y algunos grupos funcionales como carboxilo, hidroxilo y amidógeno que hacen posible los procesos de adsorción. y se ha utilizado con éxito para eliminar componentes coloreados, iones metálicos del agua. Su capacidad de adsorción aumenta modificando su textura mediante tratamientos químicos y/o térmicos.

Ye, Zhu, y Du, (2010) utilizaron la cascara de arroz natural y modificada para eliminar iones de Cd (II) del agua. La modificación del arroz se realizó con álcali, los resultados mostraron que la capacidad de adsorción de Cd (II) fue de 73.96 mg/g para la cáscara de arroz natural y 125.94 mg/g para la modificada. Los resultados de la composición de la fibra de arroz natural fueron de 32.35% de celulosa, 21.62 hemicelulosa, 21.55 de lignina, 14.14 de composiciones minerales, 8.06 % de agua y 1.28 de otros compuestos. La cascara de arroz modificada tuvo una cinética más rápida y mayor capacidad de adsorción que la cascara de arroz natural.

La adsorción de Cd (II) en cascara de arroz natural y modificada es altamente dependiente del pH, ya que los iones de hidrógeno pueden reemplazar los iones Cd (II) en el adsorbente cargado de metal, por lo que funcionan como intercambiadores de cationes. La eficiencia de adsorción en los dos adsorbentes aumentó con el incremento de pH de 1.5 a 8.5. En el que se observó una captación máxima a un pH de 8.5, el Cd (II) comenzó a precipitarse de la solución. Por lo tanto, el aumento de la capacidad de adsorción a $\text{pH} > 7$ puede ser una combinación de adsorción y precipitación en la superficie de los adsorbentes. El pH óptimo para la adsorción de Cd (II) fue de 6.5, donde el pH de la solución acuosa es una variable importante que influye en la adsorción de aniones y cationes en las interfaces sólido líquido. Es probable que esto se atribuya al hecho de que un valor de pH más bajo hace que la superficie lleve más cargas positivas y, por tanto, repelería de manera más significativa las especies cargadas positivamente en solución. Además, a un pH más bajo, los iones H compiten con los iones Cd (II) por los sitios de unión a la superficie del adsorbente

4.5. Resultados de la remoción del Plomo

Tabla 22. Resultados de la remoción del Plomo

Tratamientos	Variables independientes						Variable dependiente
	Codificados			No codificados			
	X ₁	X ₂	X ₃	Nanoarcilla (g/100mL)	Fibra de Arroz (g/100mL)	pH	Remoción del Plomo (%)
1	-1	-1	-1	0.3	2.0	3.0	43.30 ± 9.65
2	-1	0	1	0.3	3.0	8.0	95.03 ± 0.51
3	-1	1	0	0.3	4.0	5.5	88.64 ± 1.56
4	0	-1	1	0.5	2.0	8.0	98.11 ± 1.24
5	0	0	0	0.5	3.0	5.5	90.62 ± 2.43
6	0	1	-1	0.5	4.0	3.0	63.56 ± 6.89
7	1	-1	0	0.7	2.0	5.5	91.34 ± 0.50
8	1	0	-1	0.7	3.0	3.0	57.91 ± 0.60
9	1	1	1	0.7	4.0	8.0	99.06 ± 0.24

Tabla 23. Resultados de la Anova para la Remoción del Plomo

Factor	SM	GL	CM	F-Valor	p-Valor
(1) Nanoarcilla MMT (g/100mL) (L)	151.587	1	151.587	8.9883	0.015004
Nanoarcilla MMT (g/100mL) (Q)	95.543	1	95.543	5.6652	0.041217
(2) Fibra lignocelulósica (g/100mL) (L)	114.134	1	114.134	6.7675	0.028670
Fibra lignocelulósica (g/100mL) (Q)	1.064	1	1.064	0.0631	0.807334
(3) pH(L)	5413.236	1	5413.236	320.9762	0.000000
pH(Q)	171.770	1	171.770	10.1851	0.010982
1L by 2L	91.056	1	91.056	5.3992	0.045218
Lack of Fit	9.269	1	9.269	0.5496	0.477379
Pure Error	151.784	9	16.865		
Total SS	6816.001	17			

$R^2=0.97637$, R^2 -ajustado= 0.95983, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios

El análisis de la varianza para la remoción del Plomo (Pb) el cual se observa en la Tabla 23, que los efectos principales de los adsorbentes Nanoarcilla (L y Q), Fibra Lignocelulósica (L), pH (L y Q) y la interacción de Nanoarcilla (L) y Fibra Lignocelulósica (L) son significativas en la remoción del Plomo. Pero la fibra lignocelulósica (Q) no fue significativa ($p=0,80$).

Tabla 24. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo para la remoción del Plomo

Fuente de variación	SM	GL	CM	F_{cal}	F_{Tab}	F^*
Regresión (L y Q)	5923.19	5	1184.64	73.56	3.33	22.089 (7)
Error residual	161.05	10	16.11			
Falta de ajuste	9.27	1	0.2	0.55	5.12	0.107 (47)
Error puro	151.78	9	0.36			
Total	6816.00	17				

$R^2=97.4$ donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 24 muestra que a un nivel de confianza del 95%, el valor de $F_{calculado}$ es casi 7 veces mayor que el $F_{tabulado}$, demostrándonos que el modelo matemático es representativo y predictivo en la regresión, como también en el ajuste del modelo muestra que el modelo es predictivo para la remoción del plomo, porque el $F_{calculado}$ es 47 veces menor que el $F_{tabulado}$ (Khuri y Cornell, 1996, Barros Neto, Scarminio y Bruns (2001).

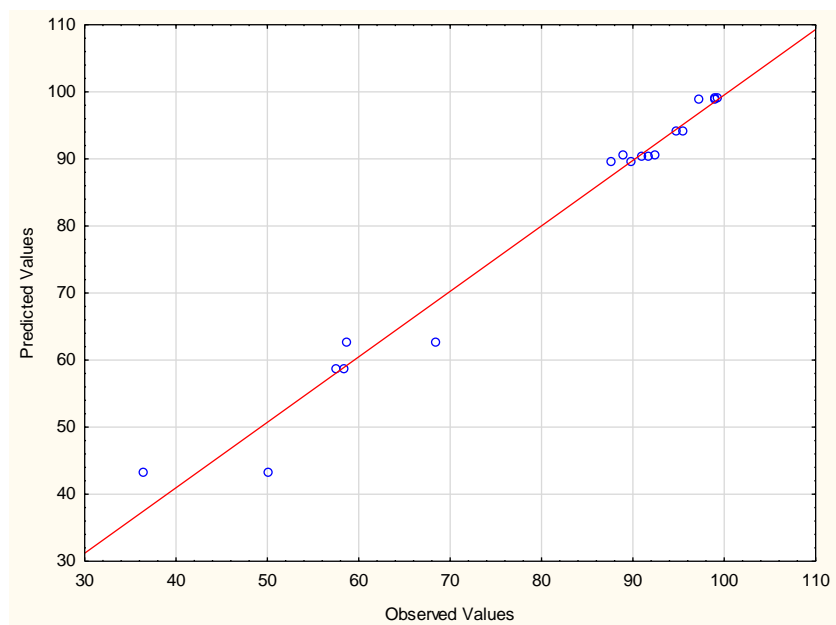


Figura 31. Valores observados y predictivos del ajuste del modelo

Según Naranja et al., (2015) nos indica que cuando el valor de F calculado muestra mayor valor con respecto al F Tabulado, nos indica que el modelo es altamente significativo, dentro de los resultados si existen términos que no resultaron significativos se eliminan con la finalidad de mejorar el ajuste del modelo polinomial. En el nuestro también se obvió los resultados que no fueron significativos y llegando a determinar que el modelo es significativo a un valor de significancia 0.05.

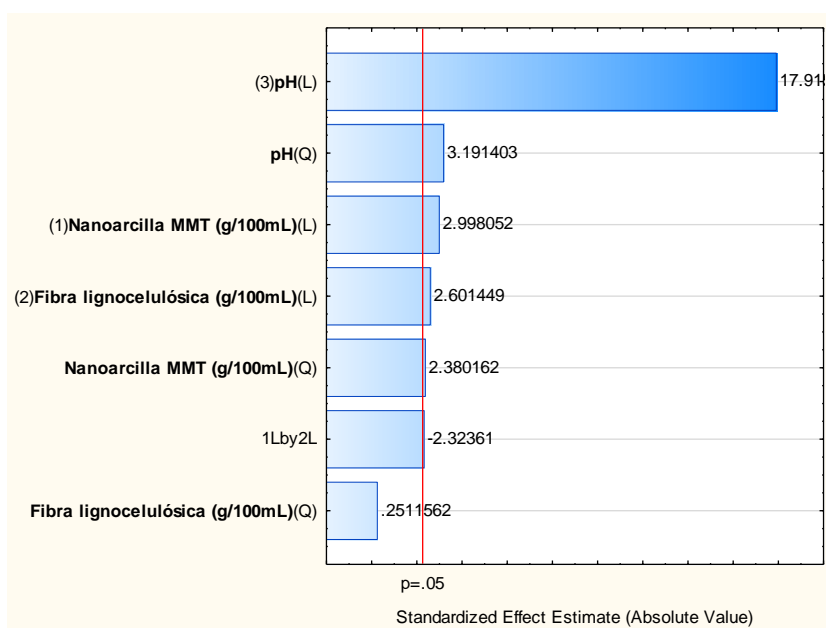


Figura 32. Diagrama de Pareto para la Remoción de Plomo

En la Figura 32, el diagrama de Pareto para la cuantificación del Plomo (mg/L) muestra que las variables pH (L-Q), nanoarcilla (L-Q), la fibra Lignocelulósica de arroz (L) y la combinación de nanoarcilla (L) y fibra lignocelulósica de arroz (L) son estadísticamente significativos ($\alpha=0,05$). Lo que implica que estas variables son determinantes para la remoción de Plomo, pero la variable que mayor influencia presenta es el pH (L y Q), seguida de la nanoarcilla (L y Q) y por último la fibra lignocelulósica de arroz (L). Pero se excluye a la fibra lignocelulósica de arroz (Q) como un parámetro significativo en el tratamiento.

Tabla 25. Resultados de efectos para la remoción del Plomo

Factor	Effect	Std.Err. Pure error	t(9)	P	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	80.84472	0.967956	83.52103	0.000000	78.6550	83.03439
(1)Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	7.10838	2.370999	2.99805	0.015004	1.7448	12.47195
Nanoarcilla MMT (g/100mL)(Q)	4.88730	2.053346	2.38016	0.041217	0.2423	9.53229
(2)Fibra lignocelulósica (g/100mL)(L)	6.16803	2.370999	2.60145	0.028670	0.8045	11.53161
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	0.51571	2.053346	0.25116	0.807334	-4.1293	5.16070
(3)pH(L)	42.47837	2.370999	17.91581	0.000000	37.1148	47.84194
pH(Q)	9.26742	2.903869	3.19140	0.010982	2.6984	15.83643
1L by 2L	-9.54235	4.106691	-2.32361	0.045218	-18.8323	-0.25237

En la Tabla 25 muestra los resultados del coeficiente de regresión lineal, donde la primera muestra los valores de los efectos, la segunda columna los valores de la desviación estándar representadas a través del error puro. El valor p mostrado en la cuarta columna cuyos datos menores que el nivel de significancia nos dicen que los efectos son significativos a un 95% de nivel de confianza, el único que no resultó estadísticamente significativo fue la fibra lignocelulósica (Q) con un ($p= 0.8$).

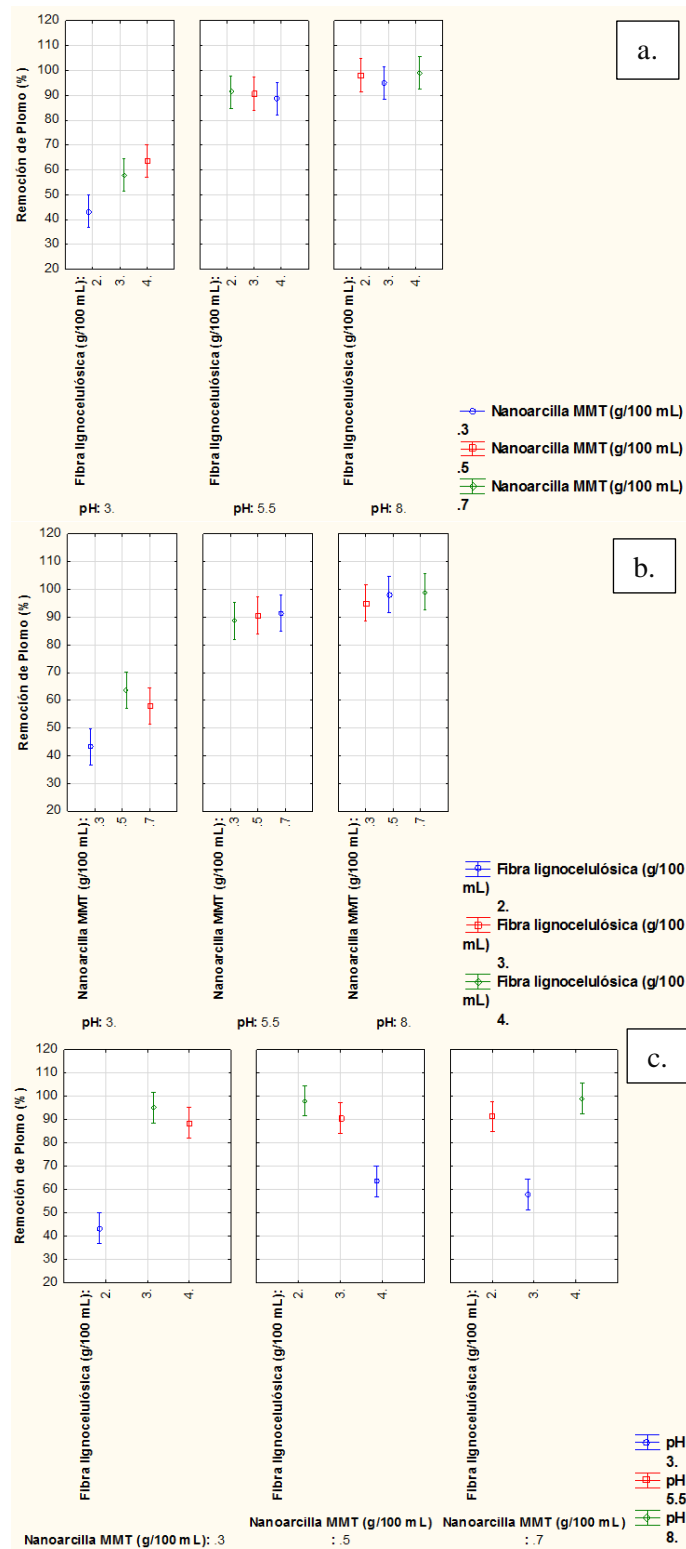


Figura 33. Gráfica de medias marginales de parámetros

En la Figura 33 de las medias marginales se observa que se obtiene un mejor tratamiento cuando se trabaja a un pH de 8 y a concentraciones de nanoarcilla MMT (0.7 g/100mL) y fibra lignocelulósica de arroz (4 g/100mL).

El pH de la solución afecta la carga en la superficie de los adsorbentes. Por lo que el cambio en el pH también afecta en el proceso de la adsorción y la concentración de ion H^+ puede reaccionar con los grupos funcionales en los sitios activos en la superficie de adsorción. En general, la adsorción de cationes se favorece a $pH > pK_a$ Naiya et al., (2009).

El pH de las soluciones ha sido identificado como la variable más importante en la adsorción de los metales pesados. Esto se debe en parte al hecho de que los iones de hidrogeno en sí mismos son fuertes competidores y en parte que el pH de la solución influye en la especiación química de los iones metálicos, así como en la ionización de los grupos funcionales sobre las superficies adsorbentes Naiya et al., (2009)

Para evaluar la influencia de este parámetro en la adsorción, los experimentos se llevaron a cabo a diferentes valores iniciales de pH. El rango de pH se eligió entre 3, 5.5 y 8 para evitar los hidróxidos metálicos. El efecto del pH sobre las eficiencias de adsorción se muestra en la Tabla 22. La eliminación del Pb aumenta a medida que aumenta el pH a uno básico, con el cual se alcanzó una remoción del 97.7% teniendo como el mejor resultado una concentración de Plomo de 0.112 (mg/L).

El grado bajo de adsorción a valores inferiores de pH puede explicarse por el hecho de que a bajos valores, la concentración de ion H^+ es alta y, por lo tanto, los protones pueden competir con los cationes de plomo en los sitios de superficie, ya que a bajo pH están presentes en solución como Pb cationes libres. Además, cuando aumenta el pH, hay una disminución Naiya et al., (2009).

Según Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz, y Garcés-Jaraba, (2015) menciona que de acuerdo al registro que se encuentra en la Tabla 26, de los principales grupos funcionales y la afinidad por los iones metálicos, donde los elementos del grupo B tienden a formar enlaces con los ligandos del tipo III pero también establecen fuertes uniones con los ligandos del tipo II. Pero la capacidad de remoción de los iones metálicos con

Biosorbentes va a depender de ciertos parámetros controlables para el proceso de adsorción como el pH, tamaño de la partícula, concentración de biomasa.

Tabla 26. Afinidad grupos funcionales e iones metálicos Tejada-Tovar et al., (2015)

Tipo de ligandos	Ligandos	Grupos de metales
I : ligandos que prefiere al grupo A	F, O ₂ , OH, H ₂ O, CO ₃ ²⁺ , SO ₄ ⁻ , ROSO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , ROH, RCOO ⁻ , C=O, ROR	Grupo A: Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Rb, Sr, Y, La, Fr, Ra, Ac, Al, Lantánidos, Actínidos
II: otros ligandos	Cl, Br ⁻ , N ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₃ ²⁻ , NH ₃ , N ₂ , RNH ₂ , R ₂ NH, =N-, -CO-N-R, O ₂ , O ₂ ⁻ , O ₂ ²⁻	Iones intermedios: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Cd, In, Sn, Sb, As
III : ligandos que prefieren al grupo B	H ⁺ , I ⁻ , R ⁻ , CN ⁻ , CO, S ²⁻ , RS ⁻ , R ₂ S, R ₃ AS.	Grupo B: Rh, Pd, Ag, Lr, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi

El símbolo R representa un Radical alquilo (CH₂, CH₃CH₂, etc.)

Tabla 27. Resultados de coeficiente de regresión para la remoción del Plomo

Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(p)	p	-95.% Cnf.Limt	-95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-90.064	23.94771	-3.76085	0.004479	-144.237	-35.8903
(1)Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	211.521	60.15754	3.51612	0.006555	75.435	347.6067
Nanoarcilla MMT (g/100mL)(Q)	-122.182	51.33364	-2.38016	0.041217	-238.307	-6.0576
(2)Fibra lignocelulósica (g/100mL)(L)	18.106	13.39929	1.35128	0.209591	-12.205	48.4175
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	-0.516	2.05335	-0.25116	0.807334	-5.161	4.1293
(3)pH(L)	24.806	5.13276	4.83294	0.000930	13.195	36.4174
pH(Q)	-1.483	0.46462	-3.19140	0.010982	-2.534	-0.4317
1L by 2L	-23.856	10.26673	-2.32361	0.045218	-47.081	-0.6309

R²=0.97637, R²-ajustado= 0.95983, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: cuadrados medios.

Los resultados del coeficiente de regresión lineal para la remoción del Plomo muestran que son significativos los Nanoarcilla MMT (L y Q), pH (L y Q) y la interacción de la nanoarcilla (L) y fibra lignocelulósica (L) son estadísticamente significativos a un 95% del nivel de confianza, pero la fibra lignocelulósica de arroz (L y Q) no son estadísticamente significativas para (p= 0.2 y p=0.8).

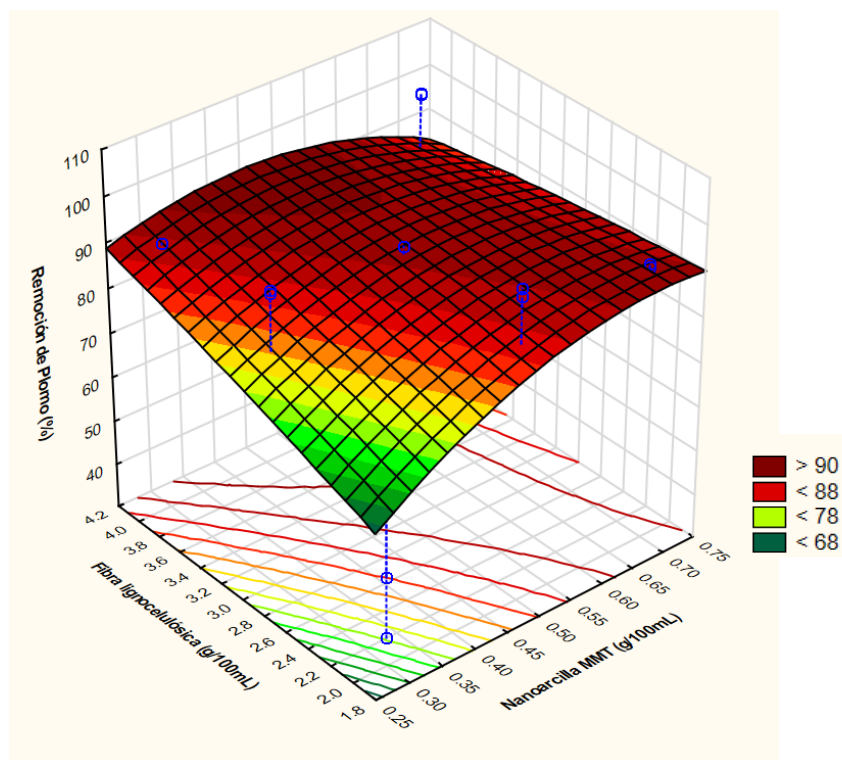


Figura 34. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo

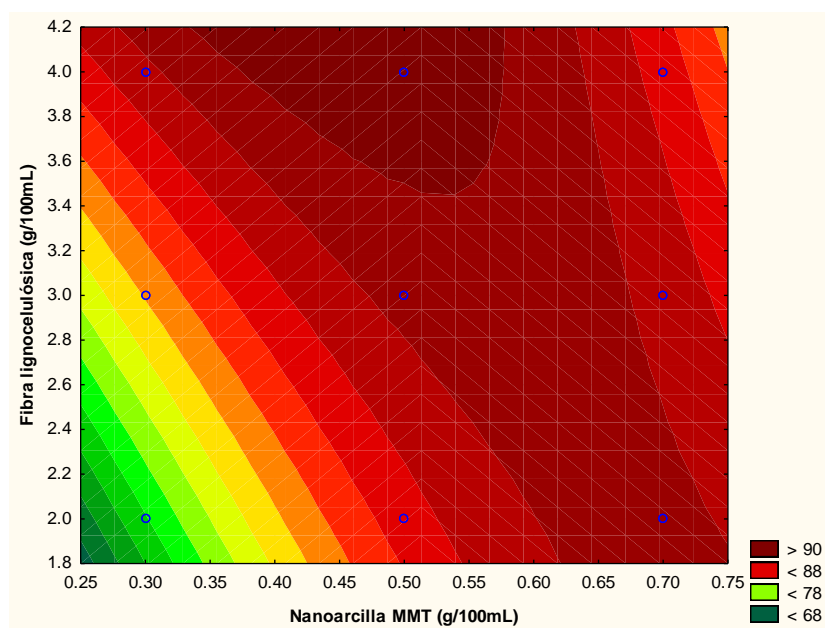


Figura 35. Gráfica de contorno para la Remoción del Plomo

En la Figura (34 y 35), muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno de la interacción de Nanoarcilla y fibra lignocelulósica de arroz en la remoción del Plomo (%), en el cual la combinación de nanoarcilla (0.5 g/100 mL) y fibra de arroz (4 g/100 mL) muestra que obtendremos resultados de remoción de Plomo mayores a 90 %, que se

encuentra en la región rojo oscuro. La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de nanoarcilla MMT y partículas de fibras:

Las bentonitas se dispersan en partículas coloidales y proporcionan grandes áreas de superficie por unidad peso de arcilla que actúan como un medio para mantener los iones de metales pesados. Bentonita de sodio tiene una excelente capacidad de absorción de agua Uddin, (2017). La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de nanoarcilla MMT y pH:

$$RPb = -90.064 + 211.521N - 122.182 N^2 - 23.856 NF..... Ecuación 8$$

Donde:

RPb: Remoción de Plomo (mg/L)

N: Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)

F: Fibra lignocelulósica (g/100mL)

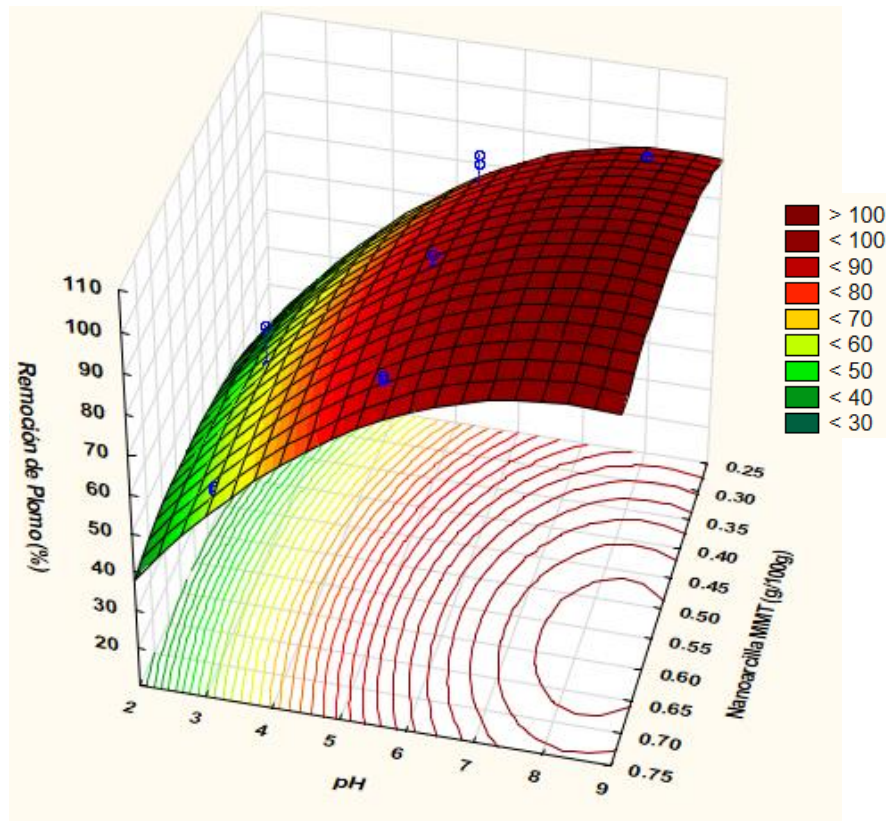


Figura 36. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo

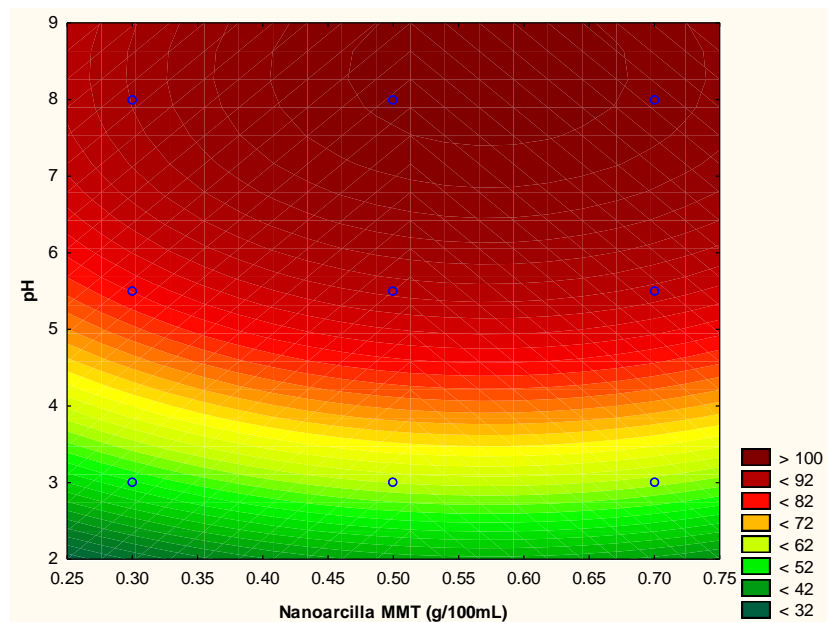


Figura 37. Contorno de Respuesta para la Remoción del Plomo

En la Figura (36 y 37), muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno sobre la interacción de Nanoarcilla y pH en la remoción del Plomo (%), la combinación de nanoarcilla (0.55 g/100mL) y pH (8) muestra que obtendremos resultados de remoción

de Plomo hasta en un 100 % que encuentra en la región rojo oscuro, donde también podemos encontrar una probable optimización en la región que abarca la interacción de Nanoarcilla entre (0.45 g/100 mL y 0.7 g/100 mL) con el pH de (7.5 a 9) se puede obtener resultados óptimos de remoción del Plomo (%), La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la remoción de Plomo a factores de nanoarcilla MMT y pH.

Uddin, (2017) para la adsorción de Cr y As, se observó tendencias opuestas, la adsorción disminuyó con el aumento de pH, y a pH 3 se encontró que era el óptimo para la adsorción. la fuerza iónica mostró una ligera influencia en la adsorción. Estos pueden ser debido a la formación de coloides en condiciones de pH alcalino.

Un estudio de la adsorción de Pb (II), tuvo resultados la adsorción de Pb(II) aumento con un aumento de pH de la solución a un máximo en torno a un pH neutro (7) y después disminuyó a medida que el pH se hizo más básico debido a la precipitación de algunos Pb (II). Los resultados también indicaron que de intercambio catiónico fue el principal mecanismo de adsorción de arcillas activadas con ácido Eloussaief y Benzina, (2010).

Las arcillas son altamente dependientes de la temperatura, y varios estudios han informado de los cambios después del tratamiento térmico. La adsorción se encontró a aumentar con la temperatura hasta cierta medida y luego disminuyó a temperaturas muy altas. Los resultados confirmaron tanto exotérmica y procesos endotérmicos. Las formas modificadas de arcillas también han sido ampliamente utilizados, y se puede observar a partir de los resultados que las modificaciones aumentaron el área superficial y la capacidad de adsorción Uddin, (2017).

$$RPb = -94.064 + 211.521N - 122.182N^2 - 24.806H - 1.483H^2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 9}$$

Donde:

RPb: Remoción de Plomo (Pb) (mg/L)

N: Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)

H: pH

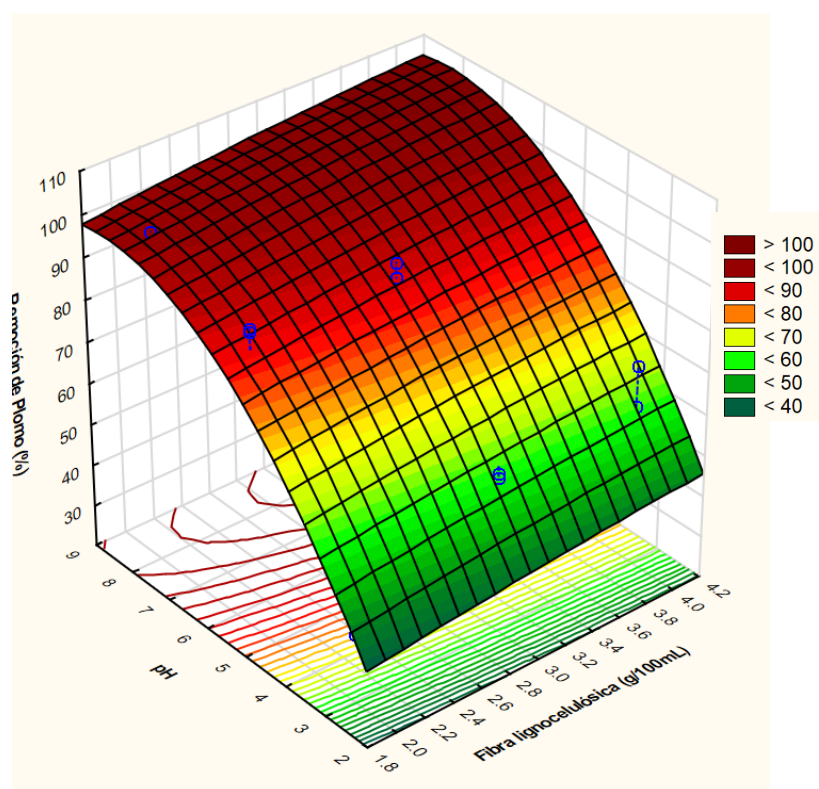


Figura 38. Superficie de Respuesta para la Remoción del Plomo

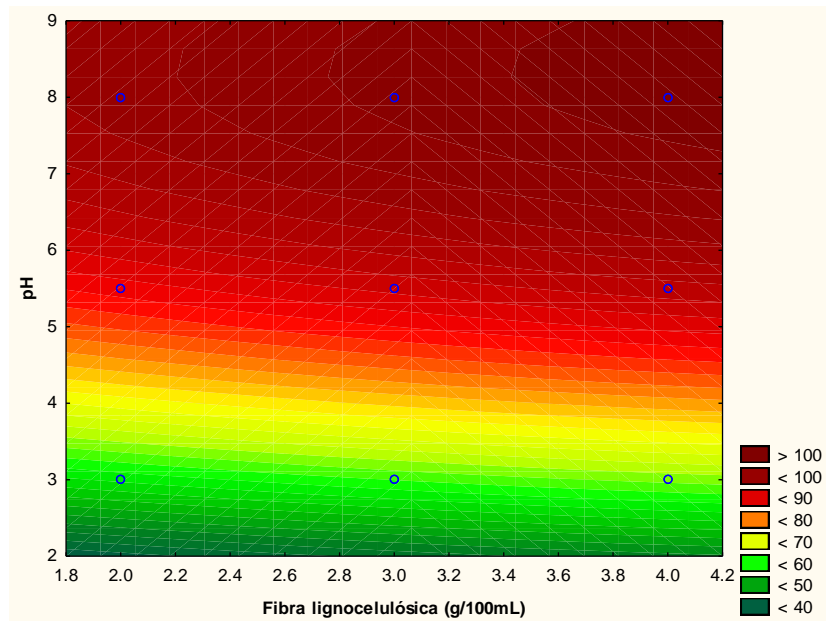


Figura 39. Contorno de Respuesta para la Remoción del Plomo

En la Figura (38 y 39), muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno sobre la interacción de fibra lignocelulósica de arroz y pH en la remoción del Plomo (%), la combinación de fibra lignocelulósica de arroz (4) y pH (8) muestra que obtendremos resultados de remoción de plomo al 100%, que se encuentra en la región rojo oscuro. La siguiente expresión es el modelo generado de regresiones significativos para la cuantificación de Plomo a factores de partículas de fibras y pH.

$$RPb = -90.064 + 24.806H - 1.483H^2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 10}$$

Donde:

CPb: Remoción de Plomo (Pb) (mg/L)

H: pH

4.6. Resultados del pH (post) en la remoción de Plomo

Tabla 28. Resultados de pH Postratamiento

Tratamientos	Variables independientes						Variable dependiente	
	Codificados			No codificados			pH (post)	
	X ₁	X ₂	X ₃	Nanoarcilla MMT (g/100mL)	Fibra de Arroz (g/100mL)	pH		
1	-1	-1	-1	0.3	2.0	3.0	3.21 ± 0.007	
2	-1	0	1	0.3	3.0	8.0	7.15 ± 0.070	
3	-1	1	0	0.3	4.0	5.5	6.10 ± 0.141	
4	0	-1	1	0.5	2.0	8.0	7.15 ± 0.070	
5	0	0	0	0.5	3.0	5.5	6.05 ± 0.070	
6	0	1	-1	0.5	4.0	3.0	3.65 ± 0.070	
7	1	-1	0	0.7	2.0	5.5	6.21 ± 0.007	
8	1	0	-1	0.7	3.0	3.0	3.71 ± 0.007	
9	1	1	1	0.7	4.0	8.0	7.05 ± 0.070	

En la Tabla 28, muestra los resultados del pH medidos luego de haber aplicado el tratamiento, los pH ácido de 3 lograron variar a 3.2, 3.65 y 3.7 esto a medida que la concentración de los adsorbentes aumentaba. El pH de 5.5 logra variar de la siguiente manera a 6.1, 6.05 y 6.2, estos lograron variar su pH luego de aplicar el tratamiento, por último, las muestras del pH básico de 8 tuvieron los siguientes resultados de, 7.15, 7.15 y 7.05 luego de haber aplicado el tratamiento estos llegaron a disminuir su pH hasta llegar a un pH neutro.

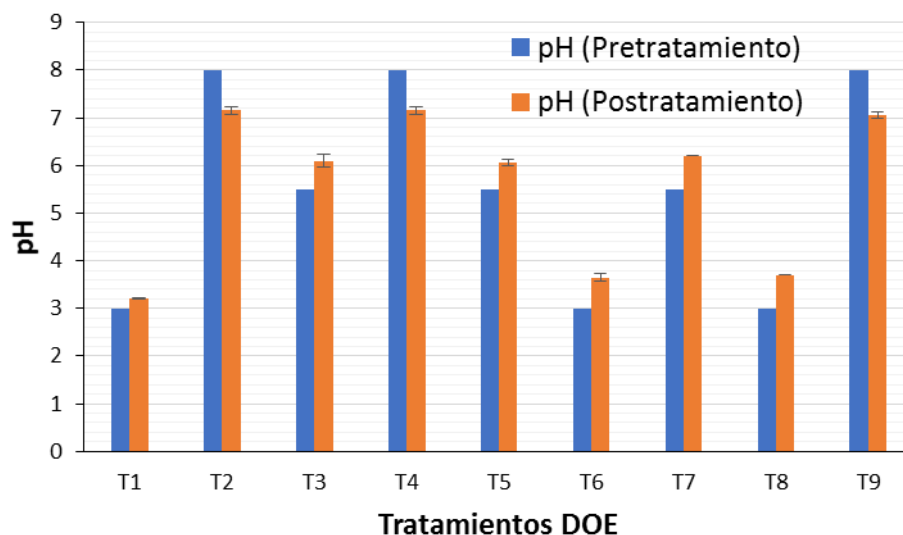


Figura 40. Resultados de pH Pre y Post para la remoción del Plomo

En la Figura 40, los resultados del pH luego aplicar el tratamiento se tuvo una variación, los de pH (3) variaron luego de aplicar el tratamiento teniendo un leve aumento de su pH, los de pH (5.5), también presentaron variación teniendo un aumento. Por último, los de pH (8) estos tuvieron una disminución luego de aplicar el tratamiento llegando a tener un pH dentro de la zona neutra.

Tabla 29. Resultados de Anova para el pH Postratamiento

	SM	GL	CM	F-Valor	p-Valor
(1) Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	0.08333	1	0.08333	16.667	0.002748
Nanoarcilla MMT (g/100mL)(Q)	0.01000	1	0.01000	2.000	0.190947
(2) Fibra lignocelulósica (g/100mL)(L)	0.02083	1	0.02083	4.167	0.071621
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	0.02250	1	0.02250	4.500	0.062903
(3) pH(L)	38.88000	1	38.88000	7776.000	0.000000
pH(Q)	0.66125	1	0.66125	132.250	0.000001
1L by 2L	0.20250	1	0.20250	40.500	0.000131
Lack of Fit	0.00083	1	0.00083	0.167	0.692633
Pure Error	0.04500	9	0.00500		
Total SS	41.82500	17			

$R^2=0.99892$, R^2 -ajustado= 0.99797, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

La Tabla 29, muestra los resultados de la Anova con respecto a los pH luego de aplicar el tratamiento, donde muestra que la Nanoarcilla (L) fue significativa seguida del

pH tanto (L y Q), así mismo la interacción de la Nanoarcilla y Fibra lignocelulósica fueron significativas.

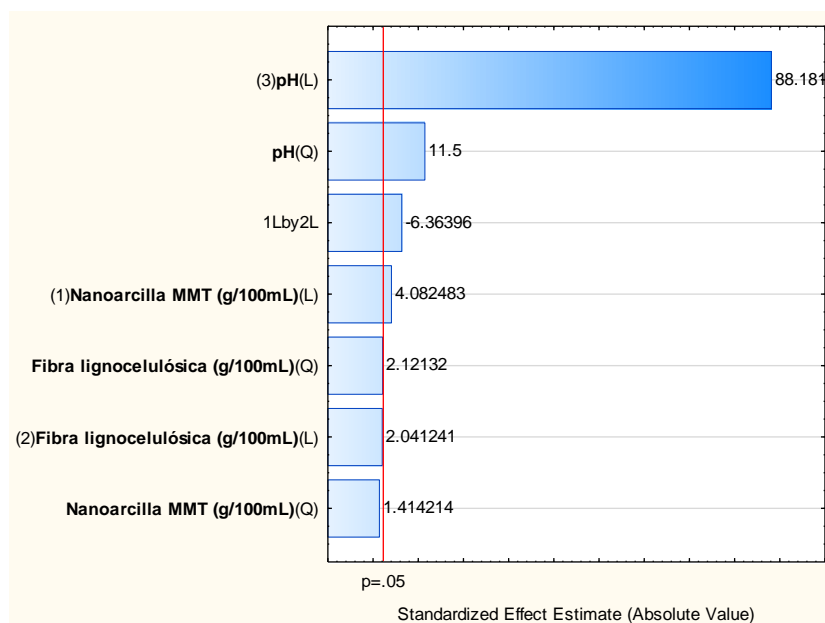


Figura 41. Diagrama de Pareto para pH post tratamiento

En la Figura 41 muestra el diagrama de Pareto, donde los parámetros significativos fueron el pH (L y Q), la Nanoarcilla (L) y la interacción de la Nanoarcilla y fibra lignocelulósica de arroz.

Tabla 30. Resultados efectos para el pH (post)

Factor	Effect	Std.Err. Pure error	t(9)	P	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	5.583333	0.016667	335.00000	0.000000	5.545631	5.621036
(1)Nanoarcilla MMT (g/100mL)(L)	0.166667	0.040825	4.08250	0.002748	0.074314	0.259019
Nanoarcilla MMT (g/100mL)(Q)	0.050000	0.035355	1.41420	0.190947	-0.029979	0.129979
(2)Fibra lignocelulósica (g/100mL)(L)	0.083333	0.040825	2.04120	0.071621	-0.009019	0.175686
Fibra lignocelulósica (g/100mL)(Q)	0.075000	0.035355	2.12130	0.062903	-0.004979	0.154979
(3)pH(L)	3.600000	0.040825	88.18160	0.000000	3.507648	3.692352
pH(Q)	0.575000	0.050000	11.50000	0.000001	0.461892	0.688108
1L by 2L	-0.450000	0.070711	-6.36400	0.000131	-0.609959	-0.290041

R2=0.97637, R2-ajustado= 0.95983, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 30 muestra los resultados del coeficiente de regresión lineal, donde la primera muestra los valores de los efectos, la segunda columna los valores de la

desviación estándar representadas a través del error puro. El valor p mostrado en la cuarta columna cuyos datos son menores que el nivel de significancia nos dice que los efectos son significativos a un 95% de nivel de confianza, pero no resultaron significativas la nanoarcilla MMT (Q) y la fibra lignocelulósica (L y Q).

Tabla 31. Prueba de Fisher para el ajuste del modelo para pH pos tratamiento

Fuente de variación	SM	GL	CM	F_{cal}	F_{Tab}	F*
Regresión (L y Q)	39.83	4	9.96	217.254	3.48	62.42 (62)
Error residual	0.5	10	0.046			
Falta de ajuste	0.0083	1	0.167	0.692633	5.12	0.135 (37)
Error puro	0.045	9				
Total	41.825	17				

$R^2=0.99892$, donde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertada, CM: cuadrados medios.

En la Tabla 31 se observa que a un nivel de confianza del 95%, el valor de $F_{calculado}$ es casi 62 veces mayor que el $F_{tabulado}$, demostrándonos que el modelo matemático es representativo y predictivo en la regresión, como también en el ajuste del modelo muestra que el modelo es predictivo para el pH pos tratamiento porque el $F_{calculado}$ es 37 veces menor que el $F_{tabelado}$ Khuri y Cornell, 1996, Barros Neto, Scarminio y Bruns (2001).

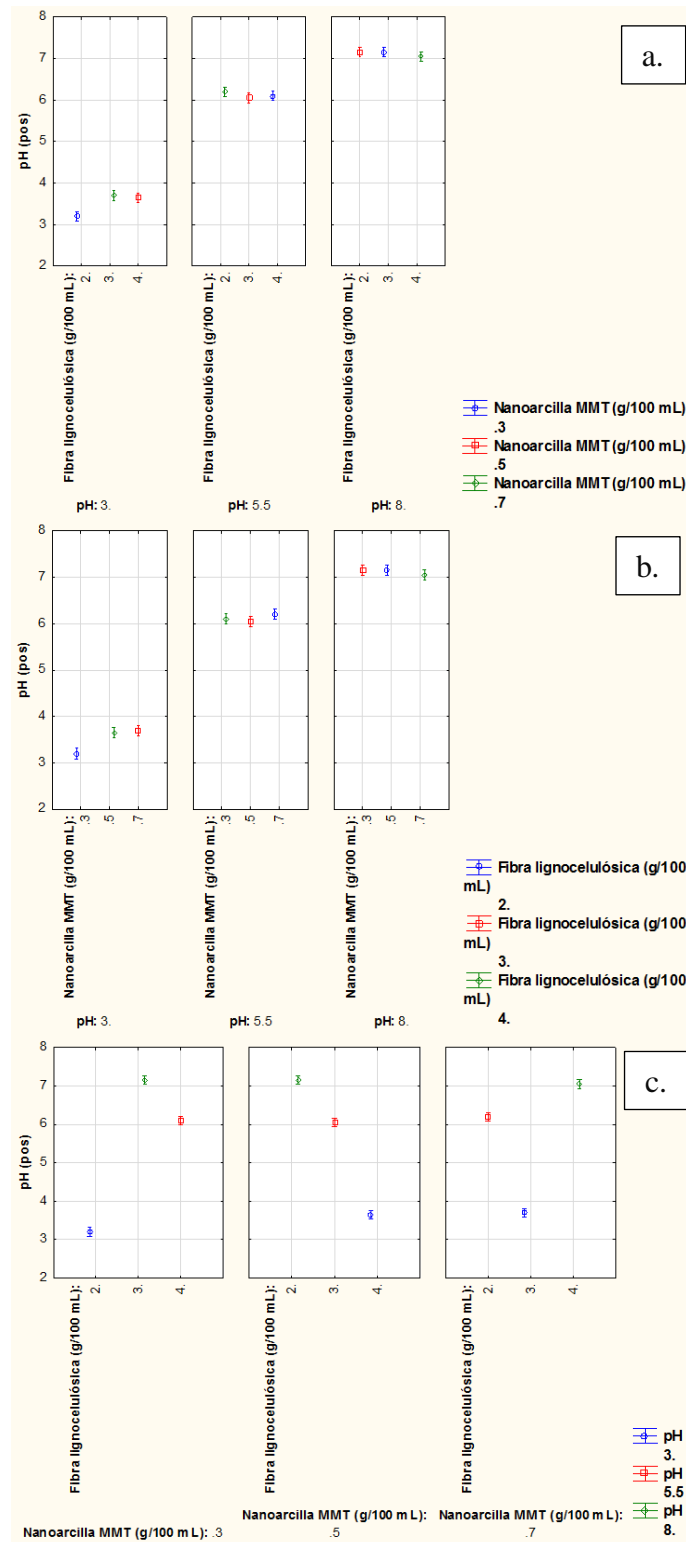


Figura 42. Graficas de medias marginales de parámetros a)

La Figura 42 muestra los resultados del pH pos tratamiento donde se puede observar que tendremos resultados de pH neutro cuando se trabaja a las 3 diferentes concentraciones de nanoarcilla y fibra lignocelulósica de arroz todas a un pH de 8.

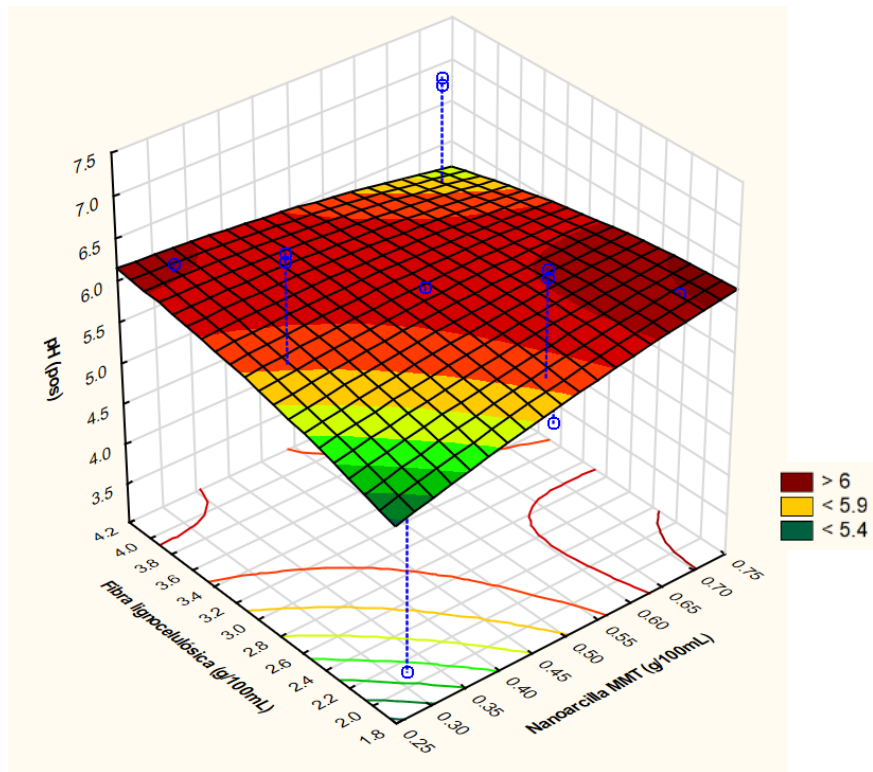


Figura 43. Superficie de respuesta de pH post tratamiento

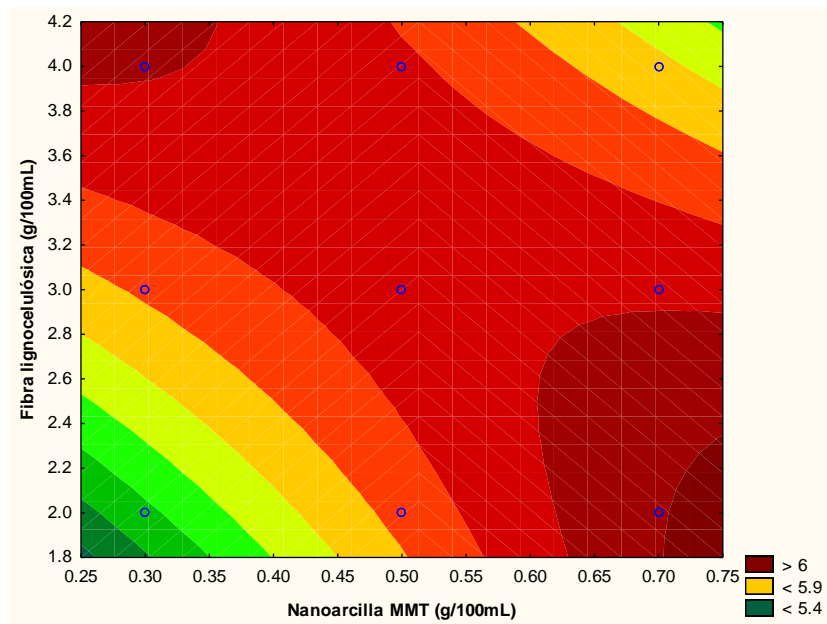


Figura 44. Gráfica de contorno de pH post tratamiento

Se observa en la Figura (43 y 44), que cuando se trabaja a concentraciones de nanoarcilla mayores de (0.65 g/100 mL) y fibra de arroz a menores concentraciones de (2.8 g/100 mL) se obtendrá como resultado de pH pos tratamiento mayores de 6, y si se invierte las concentraciones trabajando a mayor concentración de fibra de Arroz y menor

concentración de nanoarcilla también se obtendrá resultado de pH pos tratamiento mayores a 6.

$$\text{pH}(\text{pos}) = -3.70133 + 5.04167N - 1.05417F - 1.125NF \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

CPb: Remoción de Plomo (mg/L)

H: pH

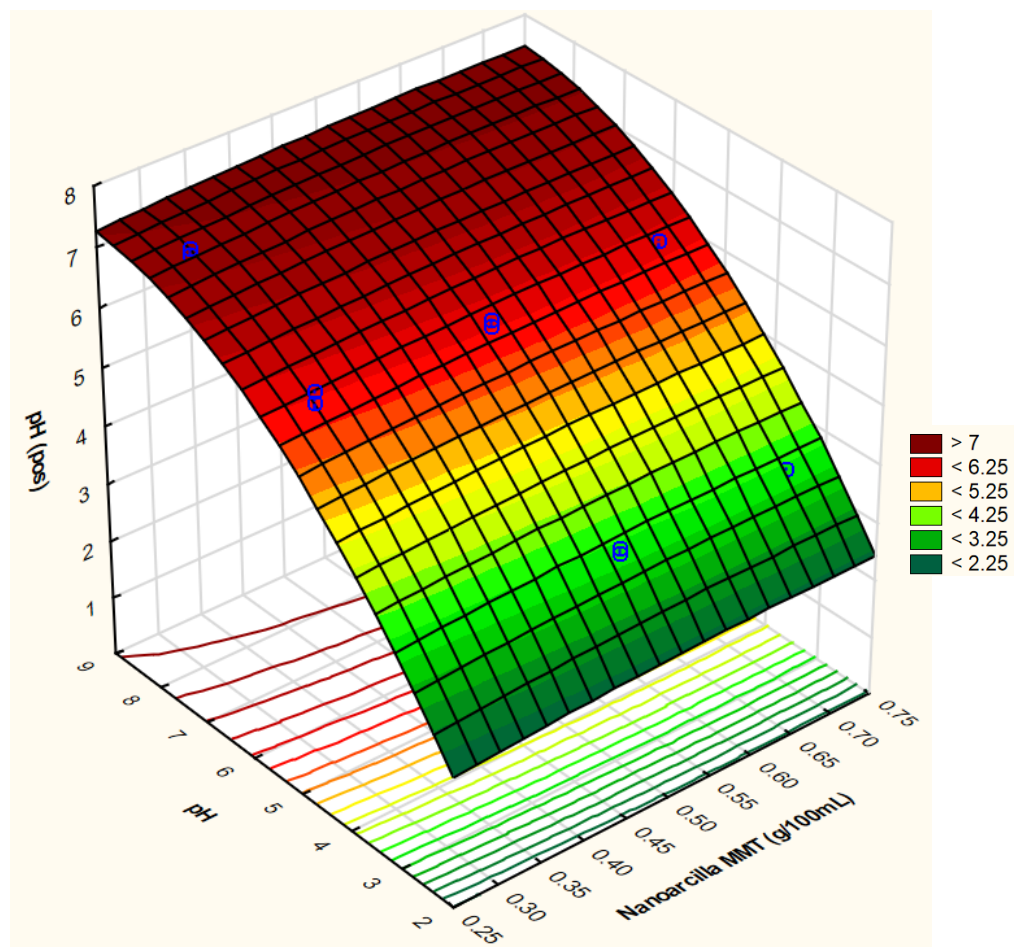


Figura 45. Superficie de Respuesta de pH post tratamiento

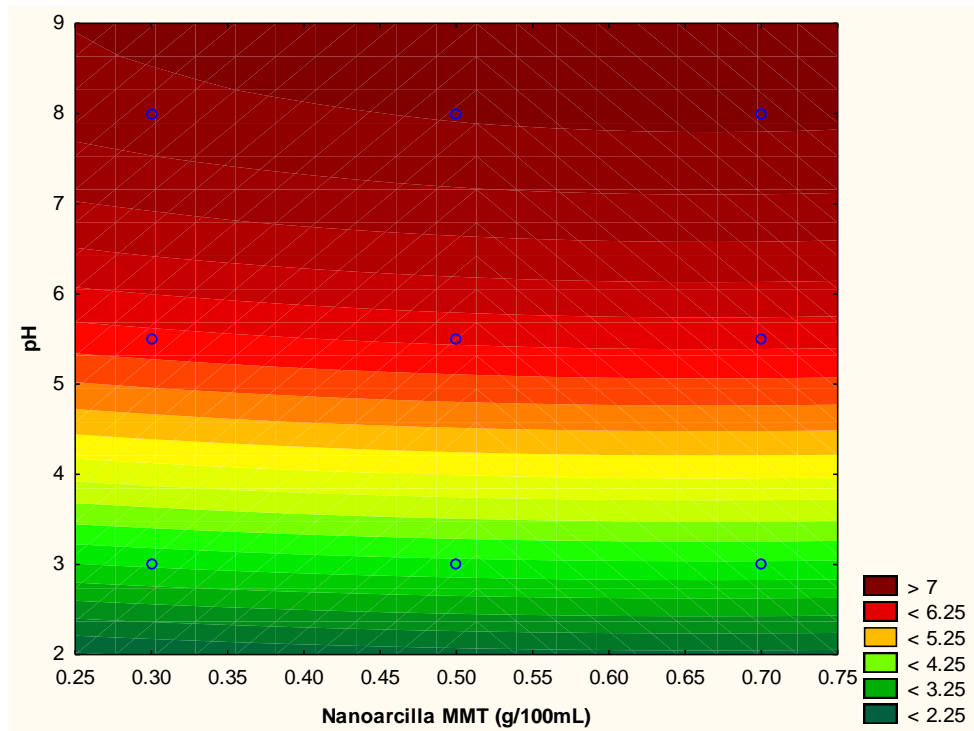


Figura 46. Contorno respuesta del pH post tratamiento

$$\text{pH (pos)} = -3.70133 + 5.04167N + 1.732H - 0.092H^2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 12}$$

Donde

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

H: pH

La Figura (45 y 46), muestra los resultados de la superficie de respuesta pH luego de aplicar el tratamiento cuando se trabaja a un nivel medio de concentración de fibra de arroz de (3 g/100 mL), pH (3, 5.5 y 8) y nanoarcilla (0.3, 0.5 y 0.7 g/100 mL) se obtiene resultados de pH pos tratamiento mayores de 7 cuando se trabaja a un pH de 8.

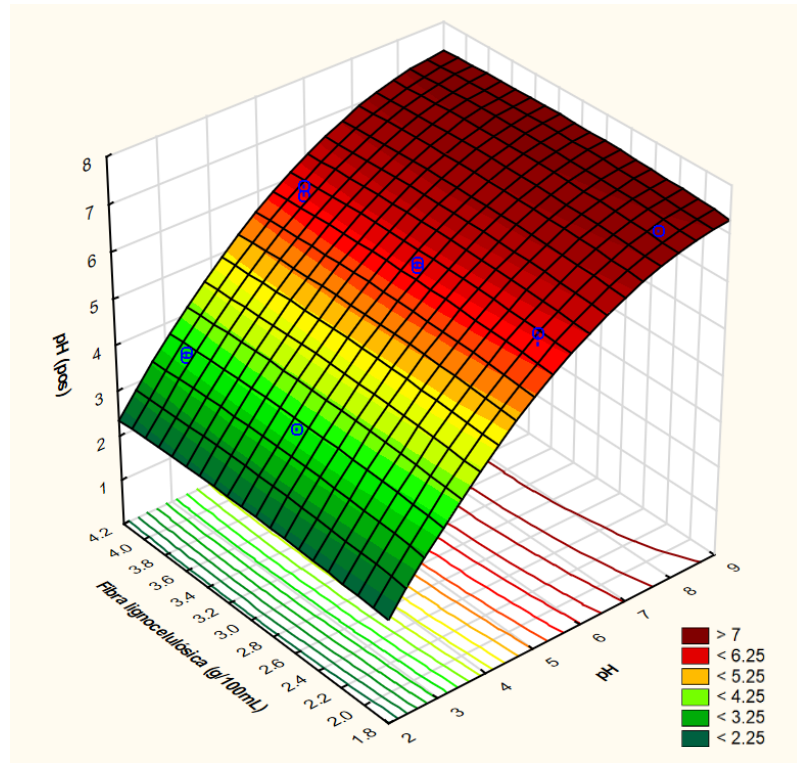


Figura 47. Superficie de respuesta de pH post tratamiento

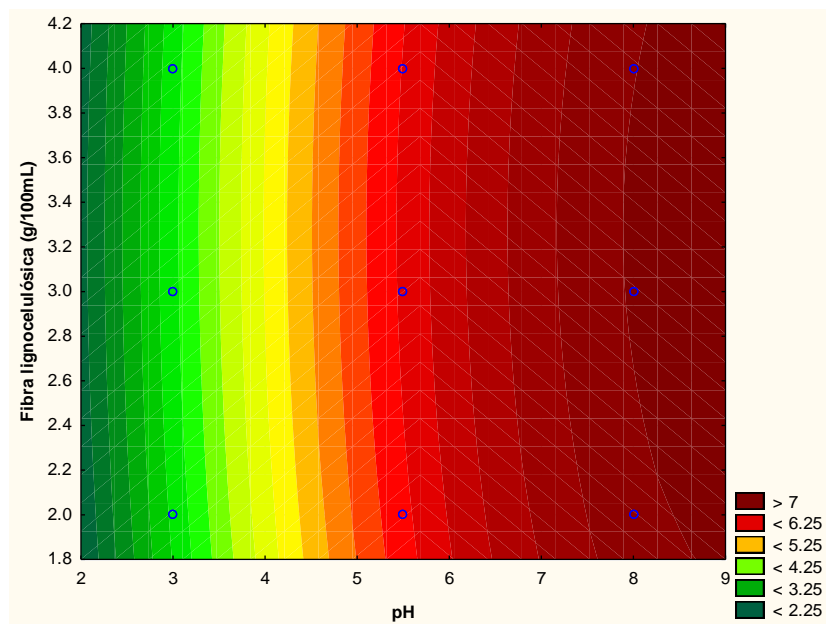


Figura 48. Superficie de contorno del pH post tratamiento

La Figura (47 y 48), muestra los resultados de la superficie de respuesta pH luego de aplicar el tratamiento cuando se trabaja a un nivel medio de concentración de nanoarcilla MMT (0.5 g/100 mL), pH (3, 5,5 y 8) y fibra lignocelulósica de arroz (2, 3 y

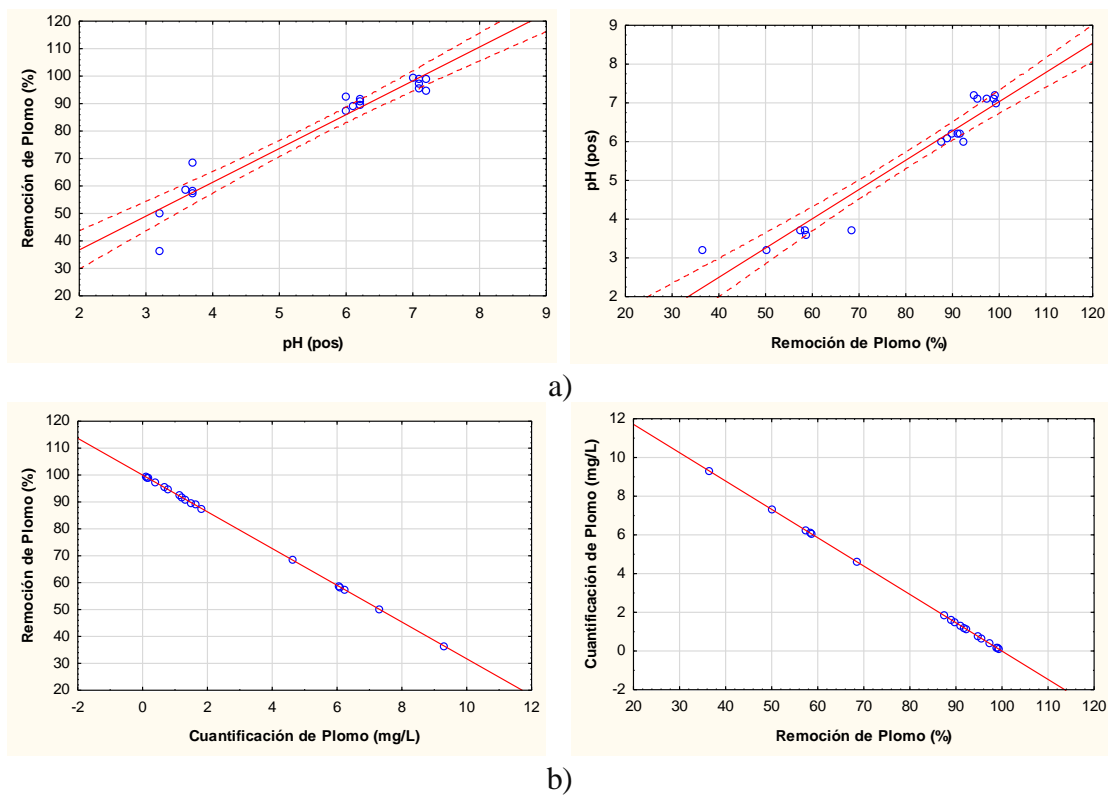
4 g/ 100 mL) se obtiene resultados de pH pos tratamiento mayores de 7, cuando se trabaja a un pH de 8.

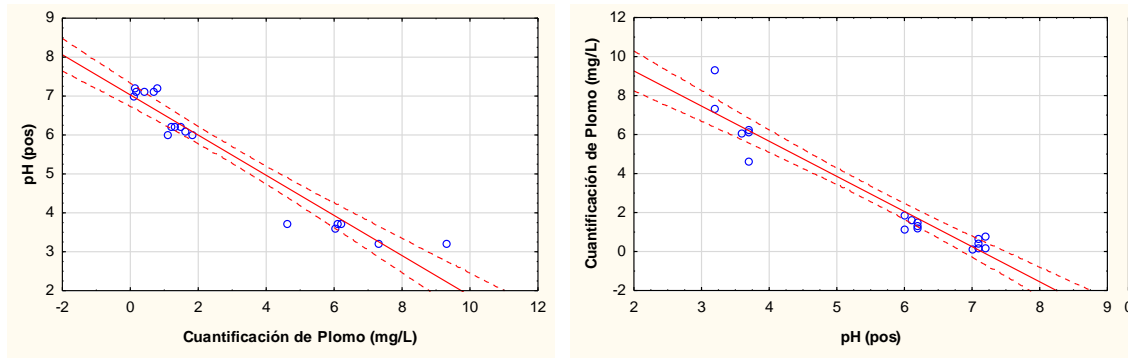
4.7. Correlación de parámetros

Tabla 32. Tabla Correlación de parámetros para análisis de Plomo

VARIABLES	Mean	SD	CPb (mg/L)	RPb (%)	pH (pos)
Cuantificación de Plomo (mg/L)	2.80433	2.93144	1.00000	-1.0000	-0.964309
Remoción de Plomo (%)	80.84472	20.0235	-1.00000	1.00000	0.964309
pH (pos)	5.58333	1.56853	-0.96431	0.96431	1.000000

En la Tabla 32 se observa que existe una alta correlación inversa entre la cuantificación y remoción, como también una buena correlación entre el pH (pos) con la cuantificación y remoción de Plomo.





c)

Figura 49. Correlación de parámetros a) remoción vs pH(pos), b) remoción vs cuantificación y c) pH(pos) vs Cuantificación

La Figura 49 muestra la correlación de los datos experimentales pos tratamiento de pH, indicando que existe una correlación inversa de los datos observados.

4.8. Test de muestras relacionadas

Tabla 33. Prueba de muestras relacionadas para la cuantificación y remoción del Plomo

Variables	Mean	SD	N	Diff.	SD Diff	t	df	p
Pre-CPb (mg/L)	14.640	0.1800						
Pos-CPb (mg/L)	0.137	0.0255	3	14.682	0.2055	123.75	2	0.000065
Pre-RPb (%)	0.066	0.0577						
Pos-RPb (%)	99.060	0.1741	3	-98.99	0.1274	-1344.9	2	0.000001

La Figura 50 presenta el gráfico Box Whisker y T de variables dependientes, muestra una distribución normal a 95%, indicando un efecto de diferencia significativo ($p < 0.05$) para la efectividad de remoción de Pre y Pos tratamiento, desde una concentración de contaminación inicial de 14.3 mg/L a 0.137 mg/L, para la remoción de 0.066 % al 99.1%.

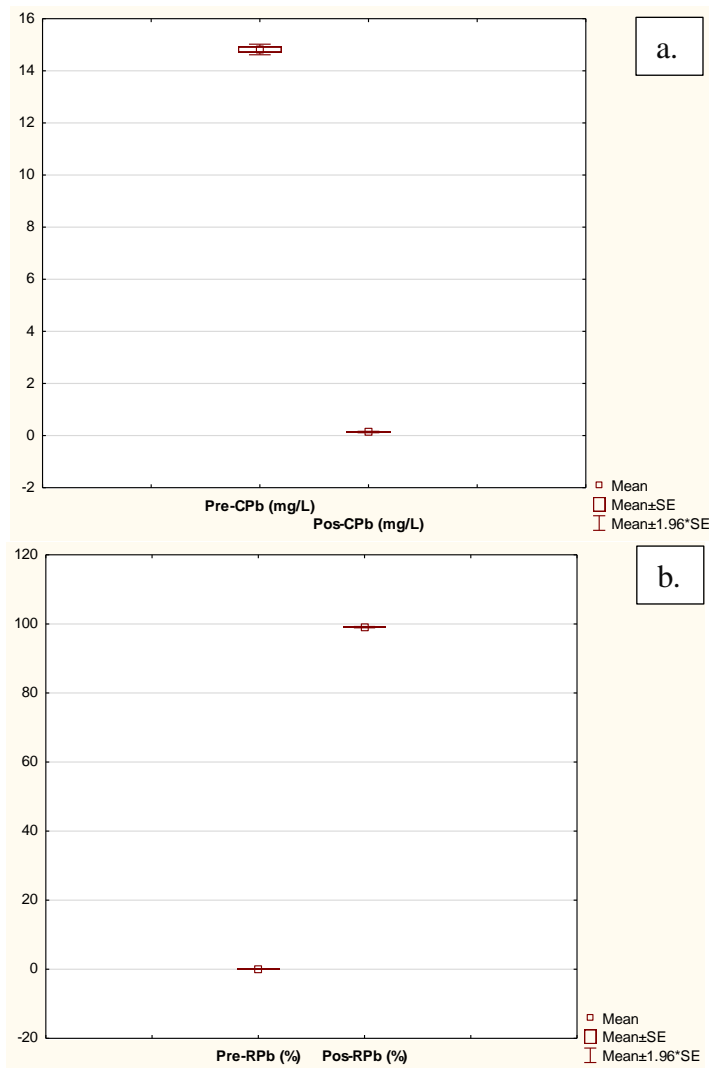


Figura 50. Gráficos Box Whisker a) Pre y Pos cuantificación de Plomo b) Pre y Post de la remoción del Plomo

4.9. Predicción y simulación de parámetros

Para la predicción y correlación de parámetros significativos (Nanoarcilla MMT y pH) para la cuantificación y remoción del Plomo, se generó a partir de los modelos polinomiales predictivos.

4.9.1. Predicción para la cuantificación de Plomo

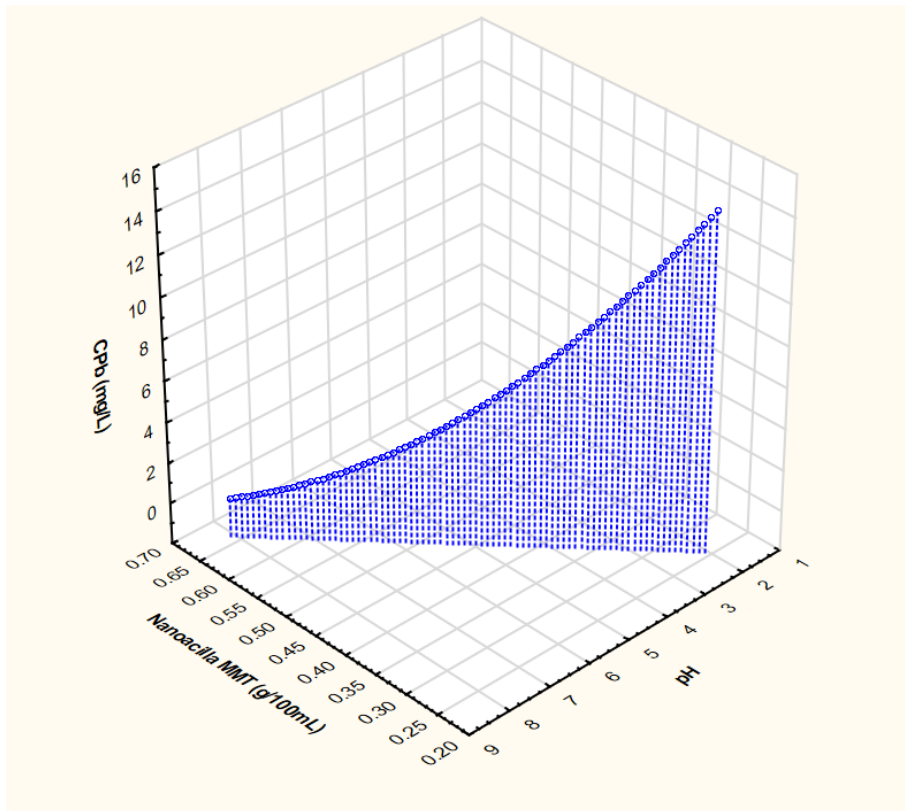


Figura 51. Diagrama de regresión polinomial para la cuantificación del Plomo

$$CPb = 27.8253 - 30.9667 N + 17.8875 N^2 - 3.6316H + 0.2171H^2 \dots \text{Ecuación 13}$$

Donde

CPb: Cuantificación de Plomo (mg/L)

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

H: pH

En la Figura 51 muestra la regresión polinomial (Ecuación 13) que existe entre el pH y la Nanoarcilla en la cuantificación del Plomo, se observa que para obtener una cuantificación de Plomo mínima se debe a la interacción de Nanoarcilla y pH, la Nanoarcilla a una concentración de 0.661 g/100 mL y a un pH 8.09, se lograría obtener una cuantificación del Plomo más próxima al 0 mg/L

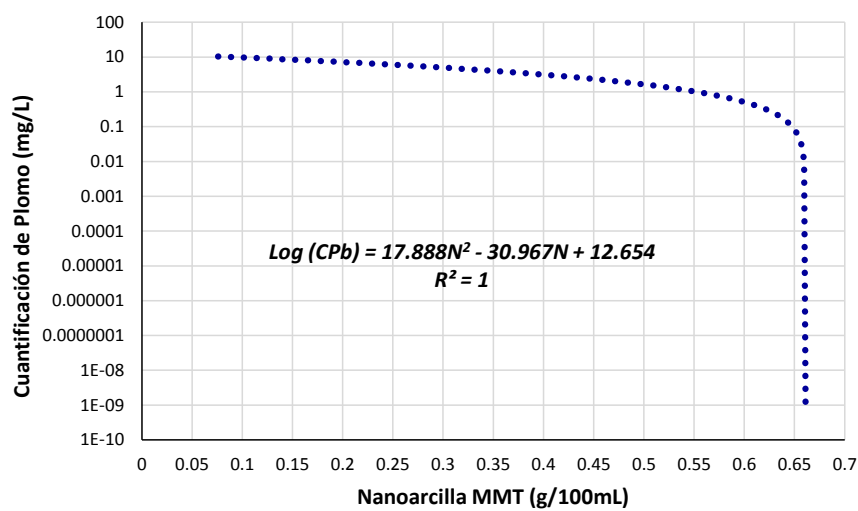
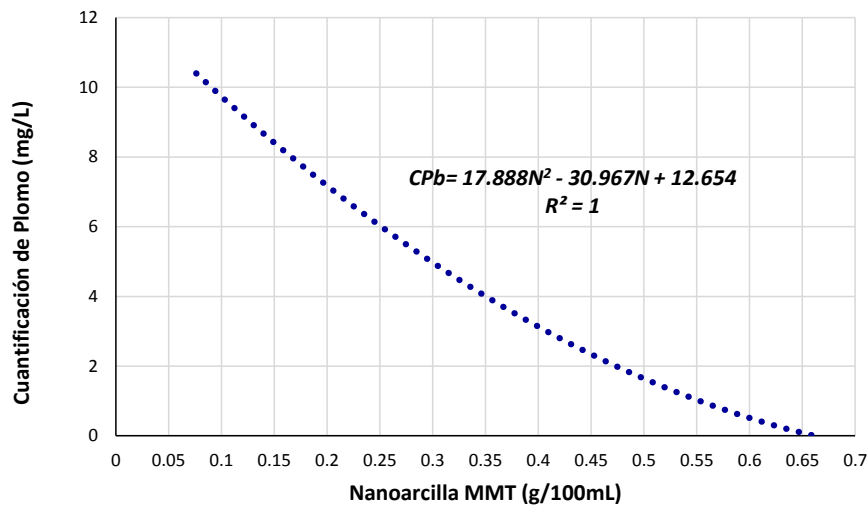
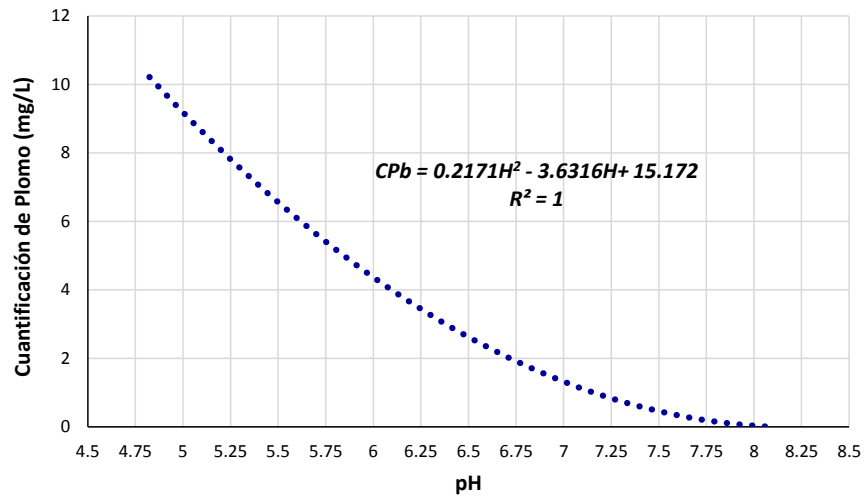
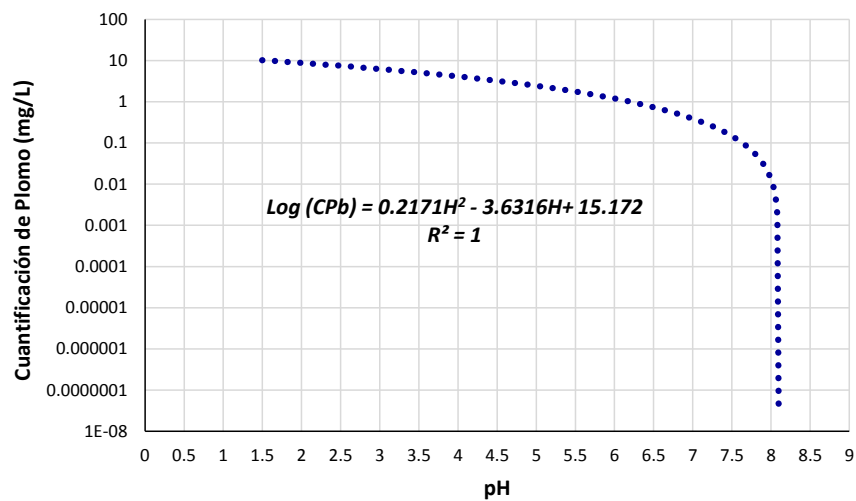


Figura 52. Predicción de a) cuantificación del Plomo con respecto a la Nanoarcilla, b) log. Cuantificación de Pb (mg/L)

En la Figura 52 muestra la predicción que existe en relación de la Nanoarcilla en la cuantificación del Plomo, para obtener una cuantificación del Plomo más próxima al cero, se debe que a medida que la concentración de nanoarcilla va aumentando la cuantificación del Plomo disminuye llegando lo más próximo al cero, dado que en la Figura anterior se observa que a una concentración de nanoarcilla de 0.661 g/100 mL, se logró obtener una mejor cuantificación del Plomo más cercana a 0 mg/L.



a.



b.

Figura 53. Predicción a) cuantificación del Plomo con respecto a pH, b) log. Cuantificación de Pb respecto a pH

En la Figura 53 muestra la predicción que existe en relación del pH y la cuantificación del Plomo, para obtener una cuantificación de Plomo mínima, se debe que a medida que el pH va cambiando de un pH ácido a un pH básico la cuantificación del Plomo va disminuyendo aproximándose más al cero, dado que en la Figura anterior se observa que a un pH 8.09, se logró obtener una cuantificación del Plomo más próxima a 0 mg/L.

4.9.2. Predicción para la remoción de Plomo

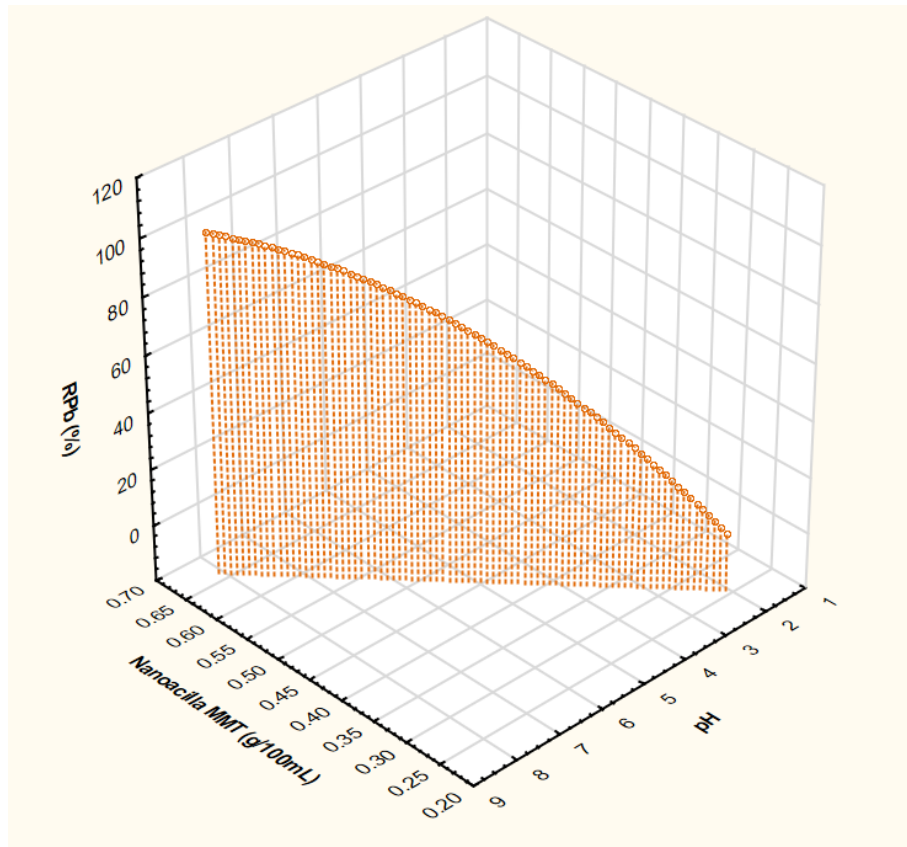


Figura 54. Diagrama de regresión polinomial para la Remoción de Plomo

$$RPb = -94.064 + 211.521N - 122.182N^2 - 24.806H - 1.483H^2 \dots \text{Ecuación 14}$$

Donde

RPb: Remoción de Plomo (%)

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

H: pH

En la Figura 54 muestra la regresión del modelo polinomial (Ecuación 14) que existe entre la interacción del pH y la Nanoarcilla Montmorillonita en la remoción del Plomo, se observa que para obtener una cuantificación de Plomo mínima se debe a la interacción de Nanoarcilla y pH, la Nanoarcilla a una concentración de 0.661 g/100 mL

y a un pH 8.09, para esta predicción se lograría obtener un porcentaje de remoción del Plomo aproximadamente al 99.99 %.

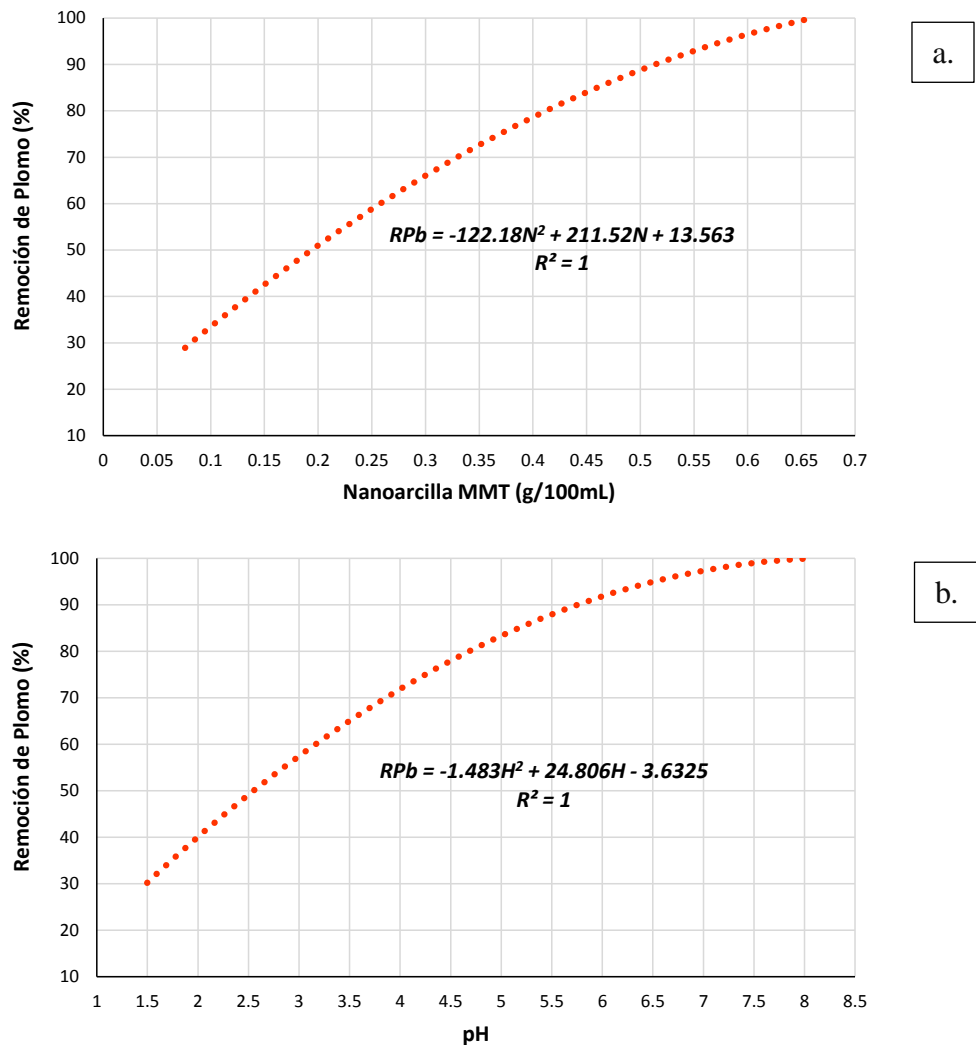


Figura 55. Predicción de la remoción del Plomo a) con respecto a la Nanoarcilla MMT, b) con respecto al pH

En la Figura 55 (b) muestra la predicción que existe en relación del pH y la remoción del Plomo, para obtener una remoción del Plomo próxima al 100 %, se debe que a medida que el pH va cambiando de un pH ácido a un pH básico la remoción del Plomo va aumentando llegando a 99.9 %, dado que en la Figura anterior se observa que a un pH 8.09, se lograría obtener una remoción del Plomo a 99.9 %.

En la Figura 55 (a) muestra la correlación que existe en relación de la Nanoarcilla en la remoción del Plomo, para obtener una remoción del Plomo casi al 100 %, se debe a que a medida que la concentración de nanoarcilla va aumentando la remoción del Plomo aumenta llegando lo más próximo al 100 %, dado que en la Figura anterior se observa que a una concentración de nanoarcilla de 0.661 g/100 mL, se logró obtener una mejor remoción del Plomo casi al 100 %.

4.9.3. Predicción del pH (post) de Plomo

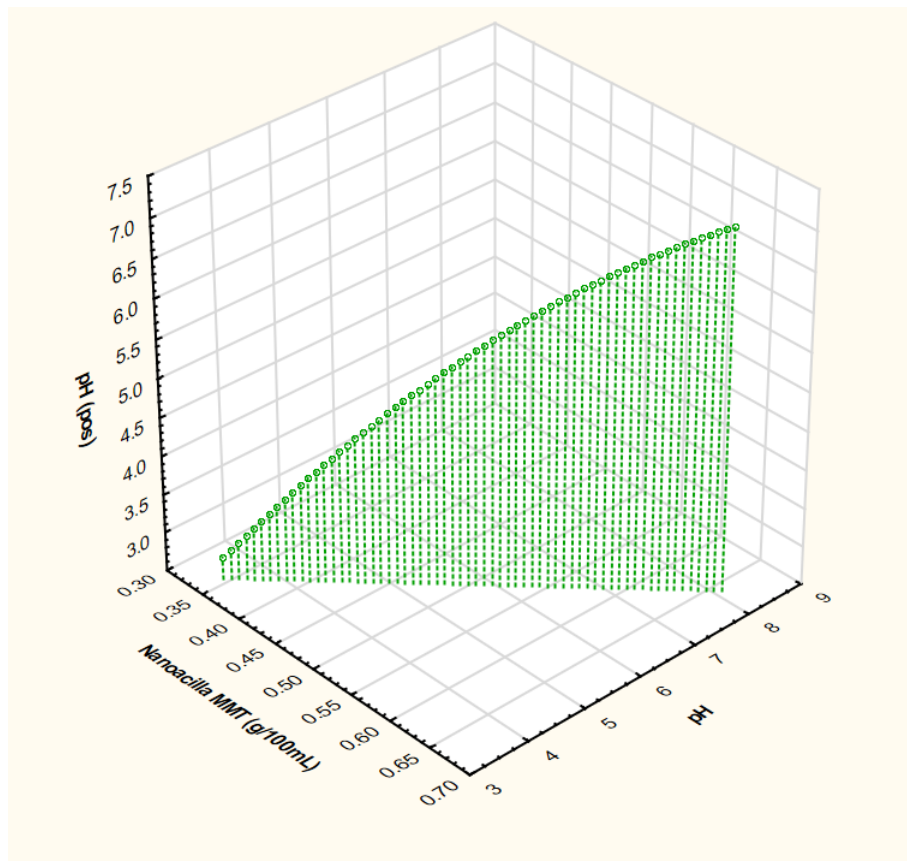


Figura 56. Diagrama de regresión polinomial para el pH postratamiento

$$pH(\text{pos}) = -3.70133 + 5.04167N + 1.732H - 0.092H^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

Donde

pH: pH(pos)

N: Nanoarcilla MMT (g/100mL)

H: pH

La Figura 56 muestra la regresión polinomial del pH postratamiento, indicando dependencia de la concentración de la nanoarcilla en la neutralización del pH, cuando se trabajó a mayores concentraciones de nanoarcilla y pH en el pretratamiento, se logra neutralizar el pH postratamiento

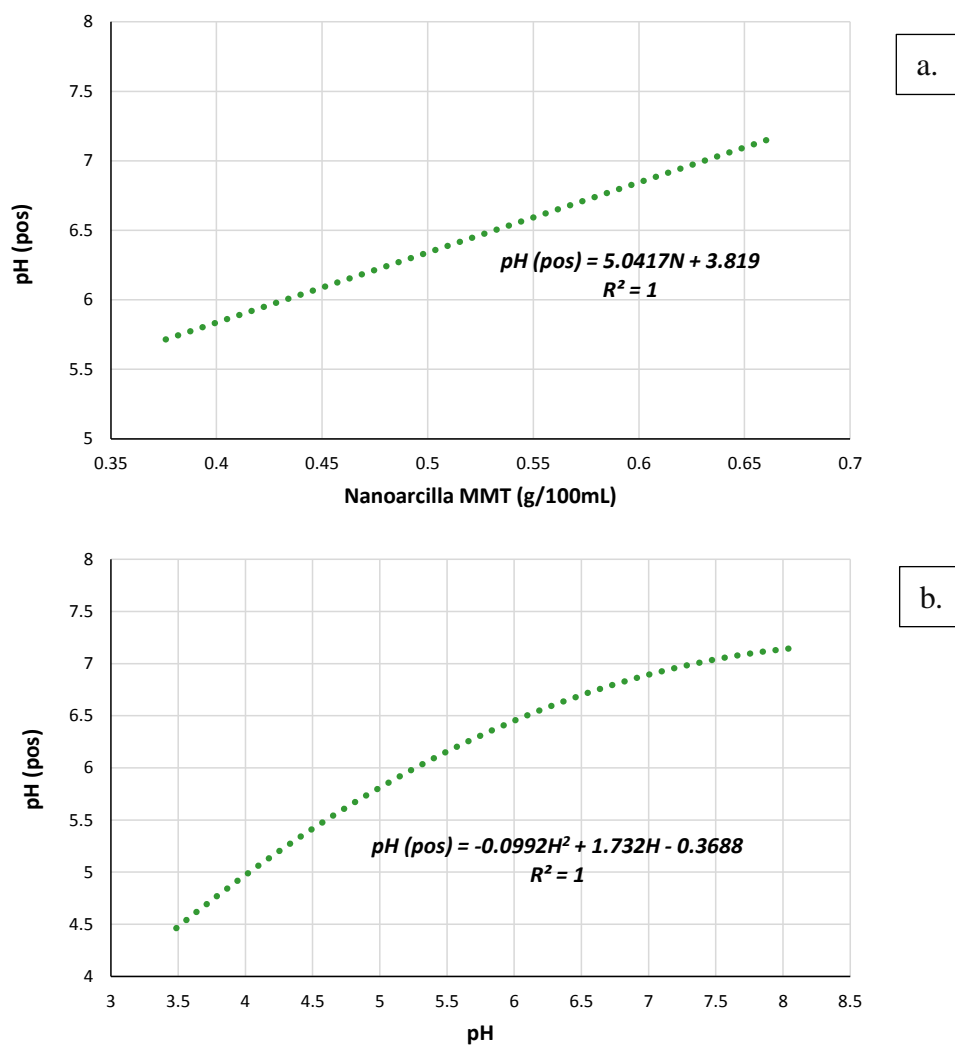


Figura 57. Predicción pH (post) del Plomo a) con respecto a la Nanoarcilla MMT, b) con respecto al pH

La Figura 57 (a) muestra la regresión polinomial en la predicción realizada para la determinación del pH, indicando que, trabajando a concentraciones de 0.5 a 0.661 mg/100 mL, se obtiene pH entre 6 a 7.2, la Figura 57 (b), muestra una regresión polinomial se tomó a partir de un pH de 6.5 a 8.5 donde si se trabaja a un pH de 8.09 lograremos un pH pos tratamiento de 7.25.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la aplicación de la metodología de superficie de respuesta, el modelo polinomial fue estadísticamente significativo, tanto en la prueba de fisher, indicando con un modelo representativo y predictivo con coeficiente de determinación (R^2) 97.7% en la aplicación de cuantificación y remoción del contaminante Plomo (Pb).

Se logro obtener nanoarcilla orgánicamente modificada por sales cuaternarias a través de la metodología utilizada, este resultado se avala de acuerdo a la caracterización de las propiedades morfológicas y estructurales obtenidas de la muestra analizada después de aplicar la metodología para la obtención de nanoarcillas.

Las propiedades morfológicas y estructurales de las nanoarcillas MMT presentan formas interlaminares empilladas indicando una distancia interlamina de 18.025 Å (1.8 nm) a 4.9 de ángulo (2θ).

Las partículas de fibra lignocelulósica de arroz presentan una humedad de 11.9 %, porcentaje de ceniza de 19.3 %, activada en el agua 0.51, masa especifica 1.32 (g/cm^3) y una granulometría de 1.48 mm.

La Nanoarcilla Montmorillonita y los residuos orgánicos lignocelulósicos de fibra de arroz mostró estadísticamente significativo como potencial uso en el tratamiento de aguas residuales para la remoción de Plomo (Pb). Encontrando un elevado nivel de eficiencia para la remoción del Plomo al 99.06 % de acuerdo a las siguientes concentraciones de nanoarcilla 0.7 ($\text{g}/100\text{mL}$), fibra lignocelulósica (4 $\text{g}/100\text{mL}$) a pH 8 demostrandonos que el factor que mas influencia tiene en el proceso de cuantificación y remoción de plomo es el pH.

Los gráficos de superficie de respuesta y los modelos de segundo orden predictivo fueron los parámetros de nanoarcilla MMT y pH de un rango de 0.55 a 0.661 (g/100 mL), pH de 7.5 a 8.5 y fibras lignocelulósicas de arroz a 3.0 g/100 mL obteniéndose una óptima cuantificación menor de 0.0000001 mg/L y remoción del Plomo al 99.9 % respectivamente, existiendo una alta correlación entre la cuantificación y remoción del Pb y efecto de diferencia significativo en el Pre y Pos tratamiento.

5.2. Recomendaciones

Para futuros proyectos de investigación en optimización de procesos de remoción de metales pesados, se trabaje de acuerdo a los parámetros optimizados (0.661 g/100 mL de Nanoarcilla MMT, a pH de 8.09 y fibras lignocelulósica de 3 g/100 mL) cuando son aguas que presentan una contaminación > 14 mg/L de plomo.

Para el caso de la fibra lignocelulósica se recomienda evaluar los parámetros morfológicos, estructurales, fisicoquímicos, térmicos de las celulosas y ligninas presentes en la fibra.

Obtener y estudiar nanoarcillas de tipo esméctitas y grafenos para la remoción de metales pesados en aguas muy contaminadas.

Obtener y estudiar la eficiencia de las nano celulosas de fibras de cristales de arroz en la remoción de metales pesados.

Utilizar otros compuestos ambientalmente correctos para modificar la arcilla, a diferentes parámetros, para optimizar un mayor distancia interlaminar.

REFERENCIAS

- Abdellaoui, Y., Olgúin, M. T., Abatal, M., Ali, B., Méndez, E. D., y Santiago, A. A. (2018). Comparison of the divalent heavy metals (Pb, Cu and Cd) adsorption behavior by montmorillonite-KSF and their calcium- and sodium-forms. Superlattices and Microstructures. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2017.11.061>
- Agbovi, H. K., y Wilson, L. D. (2018). Design of amphoteric chitosan flocculants for phosphate and turbidity removal in wastewater. *Carbohydrate polymers*, 189, 360-370.
- Agua, C. D. E. L., y Sostenible, D. (2018). *Simposio*, 35(2), 304–308.
- Aguilar Cristancho, N., y Másmela Rozo, A. P. (2017). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA Bogotá D.C., Colombia 2017, 131.
- Ajmal, M., Ali Khan Rao, R., Anwar, S., Ahmad, J., & Ahmad, R. (2003). Adsorption studies on rice husk: Removal and recovery of Cd(II) from wastewater. *Bioresource Technology*, 86(2), 147–149. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00159-1)
- Al-Husseini, T. R., Ghawi, A. H., y Ali, A. H. (2018). Performance of hydraulic jump rapid mixing for enhancement of turbidity removal from synthetic wastewater: A comparative study. *Journal of Water Process Engineering*, (March), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.005>
- Arriola Márquez, Mariela Carolin, Rojas Pomalima, P. L. (2017). Síntesis y caracterización de nanoarcillas a partir de montmorillonita utilizando sales de amonio. Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Del Centro Del Perú Huncayo, 116. <https://doi.org/10.1007/s11886-012-0326-2>
- Barton, C., & Karathanasis, A. (2002). *Clay Minerals*. South Carolina, U.S.A.: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Bayona, M. L. (2014). Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zin en los suelos de ribera de la cuenca del rio Turia. Barcelona: Universidad Pública de Navarra.
- Belitz, H. (2012). *Química de los Alimentos*. III. Acribia. Zaragoza. España. 125 pag
- Bendou, S., & Amrani, M. (2014). Effect of Hydrochloric Acid on the Structural of Sodic-Bentonite Clay. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 02(05), 404–413. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2014.25045>
- Bhattacharyya, K. G., & Gupta, S. Sen. (2008). Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 140(2), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.12.008>
- Benalcázar, C. R. (2006). Modificación a nivel nanomolecular de las propiedades de las arcillas perteneciente al Grupo Ancon de la Península de Santa Elena . Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral- Facultad de Ingeniería mecánica y ciencias de la producción .
- Bradanic, T. (2007). *Arcillas y bentonitas* . Chile: Soc. Com. Hermes Ltda.
- Burga, R. M. (2016). Tratamiento de aguas residuales domesticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro). Lima: Universidad Peruana Unión Facultad de Ingeniería y Arquitectura .

- C Reyes, Y., Vergara, I., E Torres, O., Díaz, M., & E Gónzales, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista de ingeniería, Investigación y DESarrollo*, 66-77.
- Cruz Arteaga, L. S. (2013). Remoción de Arsenico y plomo del agua utilizando minerales adsorbentes. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de carreras Agronómicas.
- Cruz Eguizabal, F. E., & Gutierrez Ayala, M. A. (2008). Evaluación de la capacidad de retención de Cromo en mezclas de Quitosanto con arcillas de la zona de Suchitoto/Cinquera y Texistepeque. El Salvador: Universidad de el Salvador.
- de Mélo, T. J. A., Souza, D. D., Barbosa, R., Araújo, E. M., & Nóbrega, K. C. (2010). Evaluation of the Behavior of Brazilian Bentonite Clays with Different Quantity of Quaternary Ammonium Salt. *Materials Science Forum*, 660–661, 765–770. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.660-661.76>
- Delbem, M. F., Valera, T. S., Valenzuela-Diaz, F. R., & Demarquette, N. R. (2010). Modification of a brazilian smectite clay with different quaternary ammonium salts. *Quimica Nova*, 33(2), 309–315. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000200015>
- Dubey, S., Banerjee, S., Upadhyay, S. N., & Sharma, C. (2017). PT SC. *Journal of Molecular Liquids*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.107>
- Edgar, Z. L. (2016). Nanotecnología aplicada al tratamiento de agua en México. *Revista Electronica Humanidades, Tecnología y Ciencia*.
- Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. (2012). Adsorption of hexavalent chromium in the chemically modified rice hask. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(3)(0718-8706), 141–151.
- El Messabeb-Ouali, A., Benna-Zayani, M., Ayadi-Trabelsi, M., & Sauvé, S. (2013). Morphology, Structure, Thermal Stability, XR-Diffraction, and Infrared Study of Hexadecyltrimethylammonium Bromide–Modified Smectite. *International Journal of Chemistry*, 5(2), 12–28. <https://doi.org/10.5539/ijc.v5n2p12>
- Eloussaief, M., & Benzina, M. (2010). Efficiency of natural and acid-activated clays in the removal of Pb(II) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 753–757. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.004>
- Espinoza, A. G. (2011). Fabricación de Filtros Adsorbentes de Bentonita y su Aplicación en la Retención del Plomo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- Ferreira, R.C.; Gobo, J.C.C.; Cunha, A.H.N. (2008). Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.28, n.1, p.1-11.
- Flores Chávez, S. (2009). Tratamiento de remediación de efluentes metalurgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

- Freitas, T. K. F. S., Almeida, C. A., Manhóler, D. D., Geraldino, H. C. L., de Souza, M. T. F., & Garcia, J. C. (2018). Review of utilization plant-based coagulants as alternatives to textile wastewater treatment. In *Detox Fashion* (pp. 27-79). Springer, Singapore.
- Guerra Alarcon , A., & Hiyagon Arroyo, G. V. (2012). Tratamiento de agua para la remoción de plomo aplicando Nanotecnología. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Guggenheim, S. (s.f). Introduction to the properties of clay minerals. Chicago: University of Illinois at Chicago.
- Herrera Panduro, K. L., & Lopez Hernandez, R. A. (2015). Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el distrito de la esperanza, provincia Trujillo la Libertad. Tujillo: Universidad Pribada Antenor Orrego-Facultad de ingeniería.
- Hungary, B., & Williams, R. B. (2005). Bentonite, Kaolin and Selected Clay Minerals . Germany: World Health Organization .
- Informática, I. N. (2014). Estadísticas Ambientales . Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática .
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- Isdza, A. E., Casafús, M. M., Ochoa, C. R., Matinez, C. T., & Molina, C. S. (1998). Uso de bentonita en aguas residuales de curtiembres para la remoción de Cr (III). *Revista Colombiana de Química*, 84-85.
- Izquierdo, G. C. (2014). Efecto de la adición, tipo y concentración de nanoarcilla sobre las propiedades mecánicas y de barrera de películas biodegradables basadas en quitosano. Uztaila: Universidad Pública de Navarra.
- Jiménes Benavides, D. L., & Vladimir Piscal, B. (2015). Estudio y evaluación del almidón de maíz como alternativa natral en el proceso de coagulación de aguas para consumo humano. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño .
- Julca, V. A., & Pérez, A. A. (2015). Influencia del pH, tiempo de almacenamiento y temperatura del suero de leche en la recuperación de proteínas por la técnica de microfiltrado. Amazonas: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza.
- Largo Castro, D. P., & Villamarin Coral, K. M. (2013). Caracterización y activación química de arcilla tipo bentonita para su evaluación en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Lavikainen, L. (2016). The structure and surfaces of 2:1 phyllosilicate clay minerals. Finlandia: University of Eastern Finland.
- Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados . *Revista científica médica Cochabamba*, 1.
- Lira, C. A., Silva, D. S. A., Da Costa Filho, A. P., Lucas, E. F., & Santana, S. A. A. (2017). Smectite clay modified with quaternary ammonium as oil remover. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(2), 208–216. <https://doi.org/10.5935/0103->

- Liu, Y., Shen, X., Xian, Q., Chen, H., Zou, H., & Gao, S. (2006). Adsorption of copper and lead in aqueous solution onto bentonite modified by 4'-methylbenzo-15-crown-5. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 1149–1155. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.05>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biocnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 145-153.
- María, G., Herrera, D., Anaguano, A. H., & Suarez, D. G. (2011). para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (vi) Rice husk : an alternate and low cost material, (1), 73–84.
- Manosalva, L. I. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbente no convencionales. Chile: Universidad de la Frontera.
- Marques Palermo de Aguilar , M. R., & Cardoso Novaes, A. (2002). Remoção de Metais pesados de efluentes Industriais por Aluminossilicatos. Rio de Janeiro: Universidad de Estado de Rio de Janeiro.
- Martorell, J. J. (2010). Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlántica Anadaluzá afectados por contaminación difusa. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Mayworm, C. D. síntese e propiedades de compósitos poliméricos reforçados com partículas de nanoargila para aplicacao odontológica. Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidad Federal Rio de Janeiro (2009)
- Ministerio de Agricultura, P. (2010). Arroz en el Perú. Retrieved from http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/2010-ENCARTE-ARROZ_0.pdf
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1–2), 1–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006>
- Mohiuddin, K. M., Otomo, K., Ogawa, Y., & Shikazono, N. (2012). Seasonal and spatial distribution of trace elements in the water and sediments of the Tsurumi River in Japan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(1), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1966-1>
- Molina, A. G., & Mas Diego, S. (2016). Diseño de experimentos aplicado a investigaciones agrícolas relacionadas con el campo electromagnético. *Revista Avanzada Científica Enero – Abril Año Revista Avanzada Científica Enero – Abril*, 19(1), 1–11.
- Morales Fonseca, D. M., & Ruiz Tovar, K. J. (2008). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la pudredumbre blanca inmovilizados. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Morais, M. R.; Seye, O.; Freitas, K.T.; Rodrigues, M.; Santos, E. C. S.; Souza, R. C. R. (2006).Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. *Anais 6º Encontro de energia no meio rural*, p. 1-8, Manaus.
- Morejón Jácome, S. A. (2017). Obtención de grafeno a partir de cascarilla de arroz acuatoriana. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Nacional, U., Centro, D. E. L., & Perú, D. E. L. (2014). Asesor :
- Naiya, T. K., Bhattacharya, A. K., Mandal, S., & Das, S. K. (2009). The sorption of lead(II) ions on rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2–3), 1254–1264. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.119>
- Naranja, D. D. E., Con, D. E. M., Sulfatado, T. S., Teresa, M., Ángel, D. E. L., García-alamilla, P., ... Culebro, C. (2015). (Recibido julio 2012; aceptado octubre 2014), 31(1), 99–106.
- Narro, A. (2014). Universidad autónoma agraria “antonio narro.”
- Omidi-khaniabadi, Y., Kamarehei, B., Nourmoradi, H., Jourvand, M., Basiri, H., & Heidari, S. (2016). Hexadecyl Trimethyl Ammonium Bromide-Modified Montmorillonite as a Low-Cost Sorbent for the Removal of Methyl Red from Liquid-Medium. *International Journal of Engineering*, 29(1), 60–67. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2016.29.01a.09>
- Ojeda Baéz, L. F. (enero de 2012). Universidad Politécnica Salesiano Ecuador . Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>
- Oliveira, M. F. (2015). Remocao de corantes texteis em solucao aquosa utilizando bentonita natural e organofilica . Janeiro : Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte .
- Oliveira C. M; Tannous K. (2009). Fluidodinâmica de biomassa em leito fluidizado gasoso. 5f. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- Organización Mundial de Salud [OMS]. (2015). [mediacentre/factsheets](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/). Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>
- Oriundo Guarda, C. F., & Robles Gomero, J. T. (2009). Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al Asentamiento Humano Cultura y progreso del distrito de Ñaña-Chaclacayo. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Osorio A., A., Bazán G., D., Carhuancho A., G., Salas , N., Zárate A., G., Lengua M., R., & Becerra V., E. (2004). Aplicación de Montomorillonita en la descontaminación de efluentes mineros. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pandey, S. (2017). A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 1091-1113.
- Peralta Padilla, D. E. (2011). Fabricación de Filtros Adsorbentes de Bentonita y su Aplicación en la Retención de Plomo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ciencias Escuela Profesional de Ingeniería Física.
- Perugachi B, R., Paredes V, C., & Cornejo M, M. (2006). Las nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador. *Revista Tecnológica* , 121-124.
- Pusari, R. K. (2014). Identificación Histopatología de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en Branquias, hígado, y musco de trucha arcoiris (*oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la laguna de Mamacocha, área de influencia minera, Perú. *Cybertesis unmsm*, 112.
- Rendeiro, G.; Nogueira, M. F. M.; Brasil, A. C. M.; Cruz, D. O. A.; Guerra, D. R. S.; Macêdo, E. N.; Ichihara, J. A. (2008). Combustão e gasificação de Biomassa

- sólida (Soluções energéticas para a Amazônia). Brasília: Ministério de Minas e Energia
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & Gonzáles, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.
- Rodrigo, P. B., Cecília, P. V., & Mauricio, C. M. (2006). Las Nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador, 19, 121–124.
- Rojas Villalva, Y., & Zarate Vasquez, C. C. (2015). El Efecto del pH y tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando Montmorillonita como Adsorbente. Huancayo: Universidad Nacional del Centro Facultad de ingeniería Química.
- Romero, E. G., & Barrios, M. S. (s.f). Las arcillas: Propiedades y usos. Madrid: Universidad de Salamanca.
- Salud, O. M. (2009). Water Sanitation Health. Obtenido de https://www.who.int/https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/
- Segura, R., & Flores, C. (2013). Rivera Segura, Geovana; Alcázar Briones, Daniel; Carrasco Flores, Segundo; Díaz Cervera, Ángel; Rodríguez Gamio, Luis; Rojas Uriarte, Raúl.
- Silva, R. P. (2010). Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente. Rio Grande Do Norte: Universidade Federal do Rio Grande Do Norte.
- Sociedad Mexicana de Toxicología. (1988). Cromo. Xalapa: Sociedad Mexicana de Toxicología.
- Srebotnjak, T., Carr, G., De Sherbinin, A., & Rickwood, C. (2012). A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological Indicators*, 17, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.023>
- Tchounwou, Paul B., Yedjou, Clement G., Patlolla, Anita K., Sutton, D. J. (2012). *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. National Institutes of Health Public Access (Vol. 101). <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8338-1>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Torres, S., Depaz, K., Núñez, R., Carbo, N., Cruz, M., Tito, G. M., ... Gonzales, J. L. L. (2016). Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie *Eichhorniacrassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 09(08), 53–65. <https://doi.org/10.9790/2380-0908025365>
- Tuesta, E. G., Vivas, M., Sun, R., & Gutarra, A. (2005). Modificación Química De Arcillas Y Su Aplicación En La Retención De Colorantes. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 71(1), 26–36. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a05v71n1>
- Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438–462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>

- Vargas, A. D., & Rolando, S. C. (2015). Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganeso de las aguas superficiales contaminadas por relaves mineros . Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Vieira, M. G. A., De Almeida Neto, A. F., Da Silva, M. G. C., Carneiro, C. N., & Filho, A. A. M. (2014). Adsorption of lead and copper ions from aqueous effluents on rice husk ash in a dynamic system. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 519–529. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002103>
- Vieira, A. C., de Souza, S. N. M., Bariccatti, R. A., Siqueira, J. A. C., & Nogueira, C. E. C. (2013). Caracterização da casca de arroz para geração de energia. *Varia Scientia Agrárias*, 3(1), 51-57
- Waelkens, B. E. (2010). Tratamento de efluentes industriais mediante a aplicacao de argila organofílica e carvão ativado granular. 2010: Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo.
- Wang, C., Zhao, Q., & Zhao, S. (2018). Optimal fractional factorial split-plot designs when the whole plot factors are important. *Journal of Statistical Planning and Inference*. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2018.05.001>
- Zubero Oleagoitia, M. B., Aurrekoetxea Agirre, J. J., Ibarluzea Maurologoitia, J. M., Arenaza Amezaga, M. J., Basterretxea Irurzun, M., Rodríguez Andrés, C., & Sáenz Domínguez , J. R. (2008). Metales pesados (Pb, Cd, Cr y Hg) en la población general adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Bizkaia. *Revista Española de Salud Pública* , 481-492.
- Ye, H., Zhu, Q., & Du, D. (2010). Adsorptive removal of Cd(II) from aqueous solution using natural and modified rice husk. *Bioresource Technology*, 101(14), 5175–5179. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.027>

ANEXOS

ANEXO I. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

Muestreo y Caracterización de aguas



Figura 58. Toma de muestra de agua residual Laguna la Mansión

Preparación de agua residual sintética



Figura 59. Peso de Nitrato de Plomo para su posterior mezcla con la muestra de agua.



Figura 60. Mezcla del agua con el nitrato de plomo y toma de muestra para el análisis.

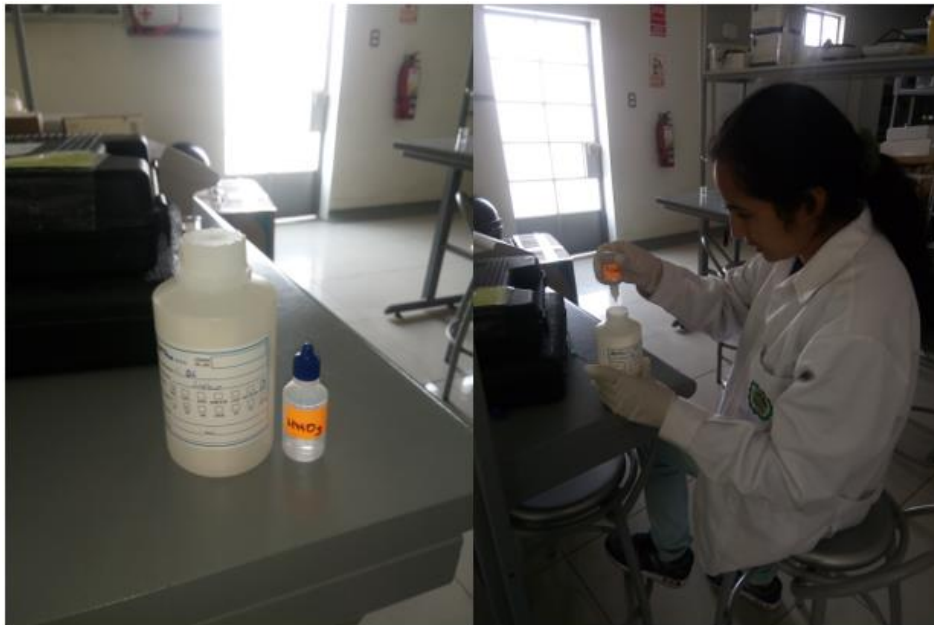


Figura 61. Muestra preservada de acuerdo al protocolo nacional de monitoreo.

Obtención de la Montmorillonita (MMT)



Figura 62. Pesaje de la arcilla montmorillonita (a) y mezclado con agua destilada (b).

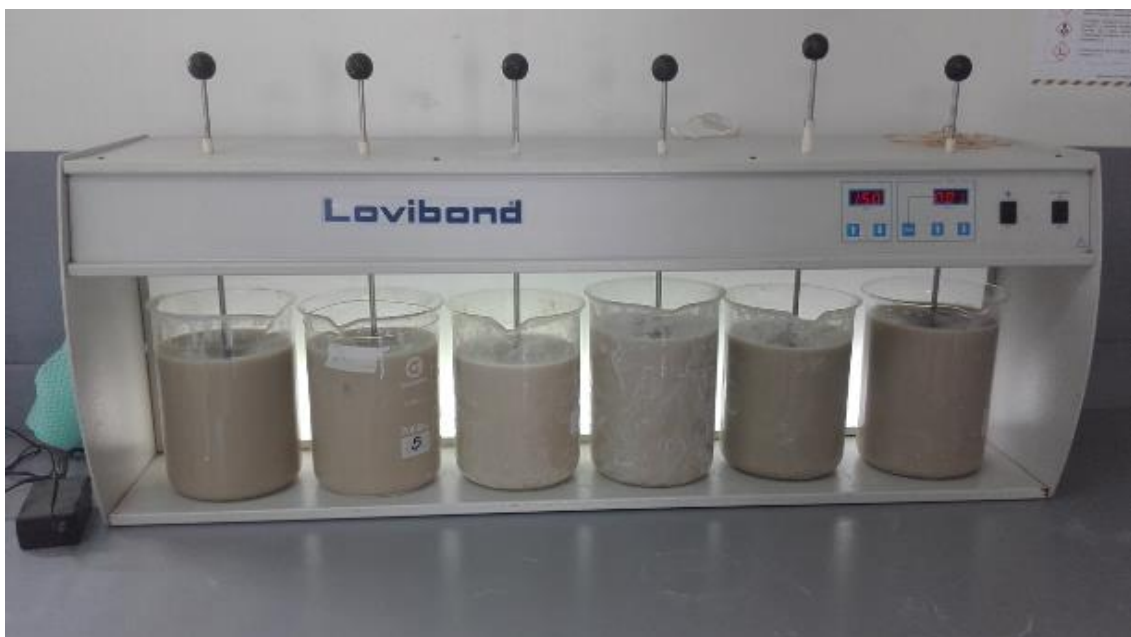


Figura 63. Prueba de jarras de la mezcla de arcilla bentonita a 300 RPM durante 10 minutos.

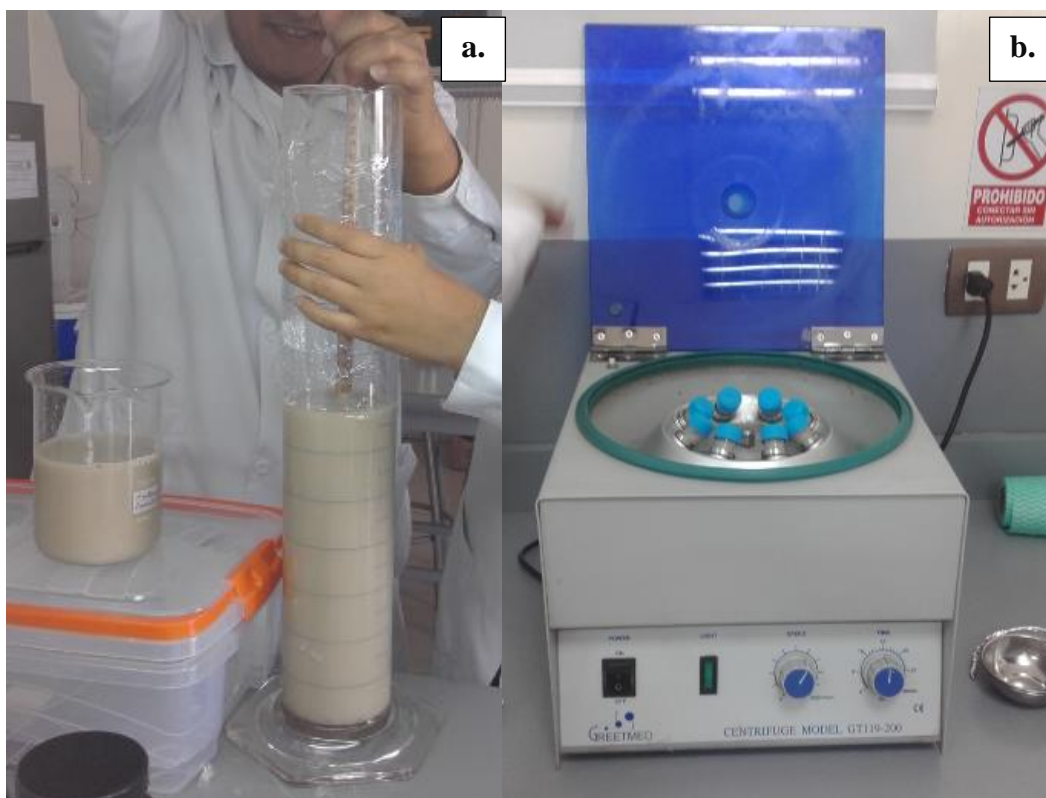


Figura 64. Extracción de la solución sobrenadante hasta una profundidad de 10 cm (a), centrifugación de la arcilla (b).

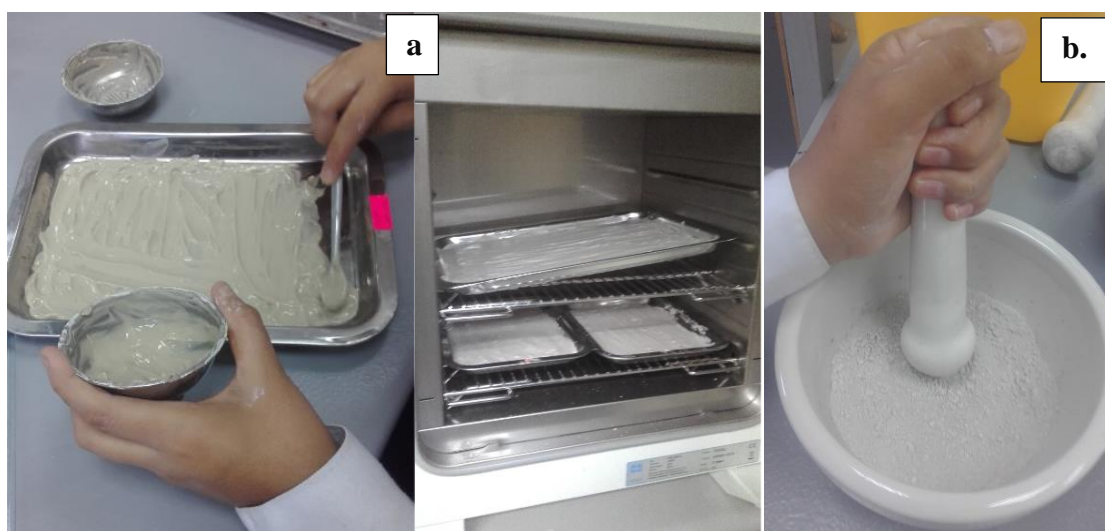


Figura 65. Secado de arcilla centrifugada (a), molienda de la montmorillonita (b)

Proceso de obtención de nanoarcilla orgánicamente modificada

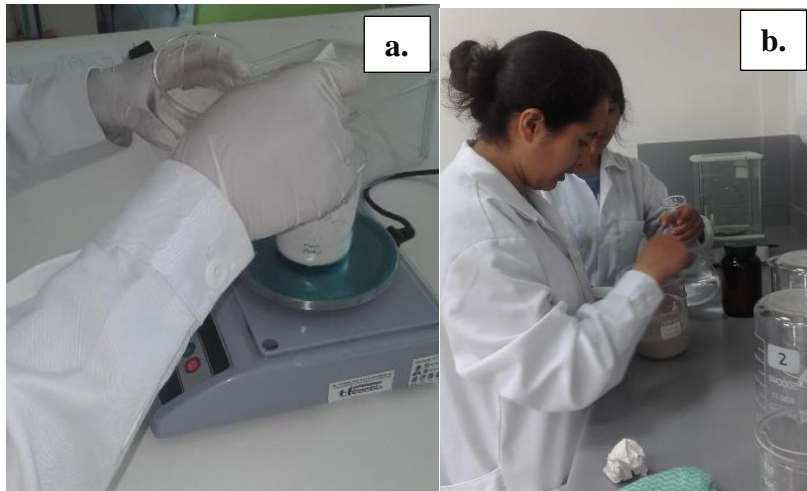


Figura 66. Pesaje de arcilla montmorillonita (a), mezcla de arcilla con agua destilada(b)



Figura 67. Sales cuaternarias de amonio para la mezcla con la muestra de arcilla.



Figura 68. Muestra de arcilla mezclada con sales cuaternarias y control de temperatura.

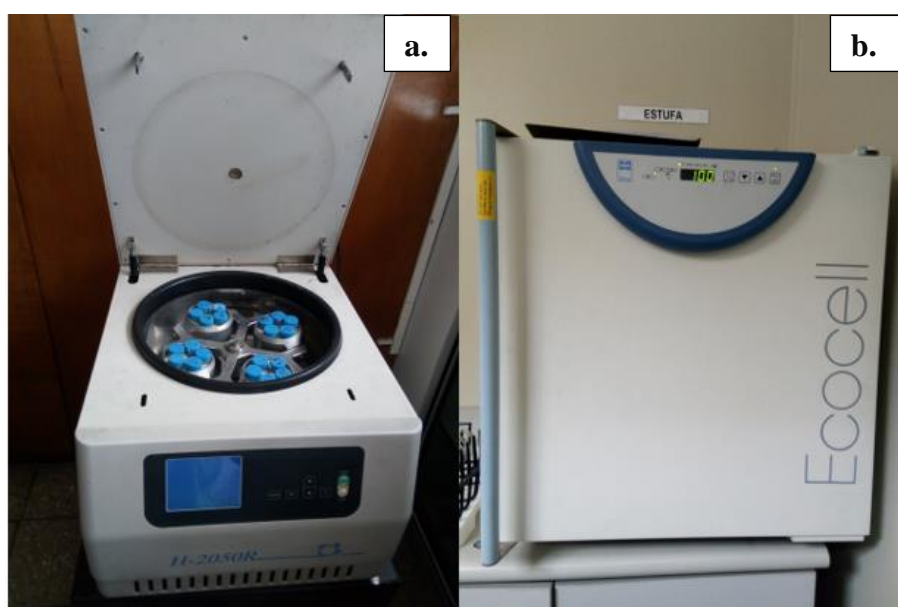


Figura 69. Equipo de centrifugado (a) y estufa (b)



Figura 70. Proceso de centrifugado de arcilla modificada



Figura 71. Preparación de la muestra de arcilla centrifugada para el posterior secado

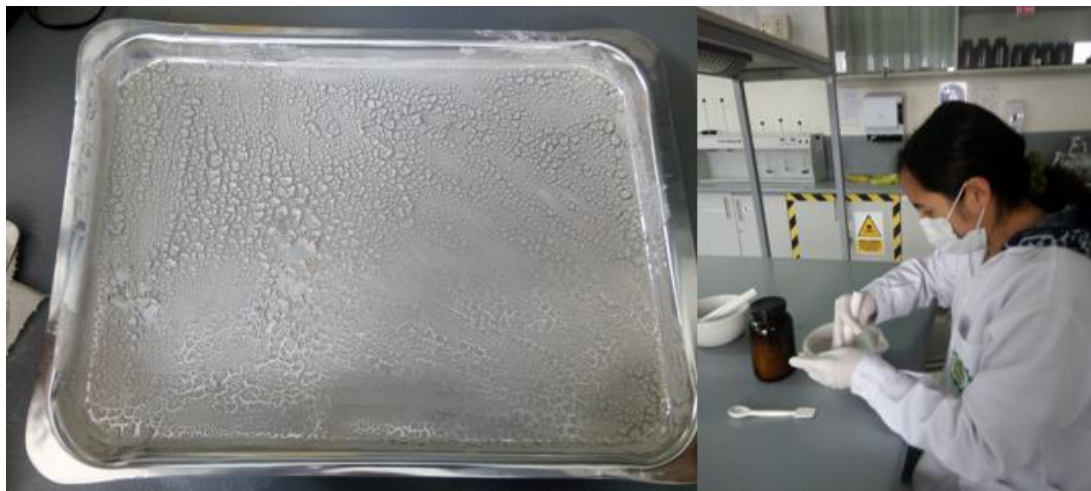


Figura 72. Nanoarcilla seca y molienda

Caracterización de nanoarcilla



Figura 73. Equipo de difracción de rayos X (DRX) y Microscopia de barrido (SEM)

Obtención de las partículas de la cascarilla de arroz



Figura 74. Secado de fibra de arroz previamente lavada, molienda de la fibra de arroz.



Figura 75. Tamizado de la fibra de arroz

Cuantificación del Plomo



Figura 76. Muestras de agua residual de acuerdo a los 3 niveles de pH trabajados



Figura 77. Pesaje de Fibra de Arroz a los tres niveles a los cuales se trabajó.

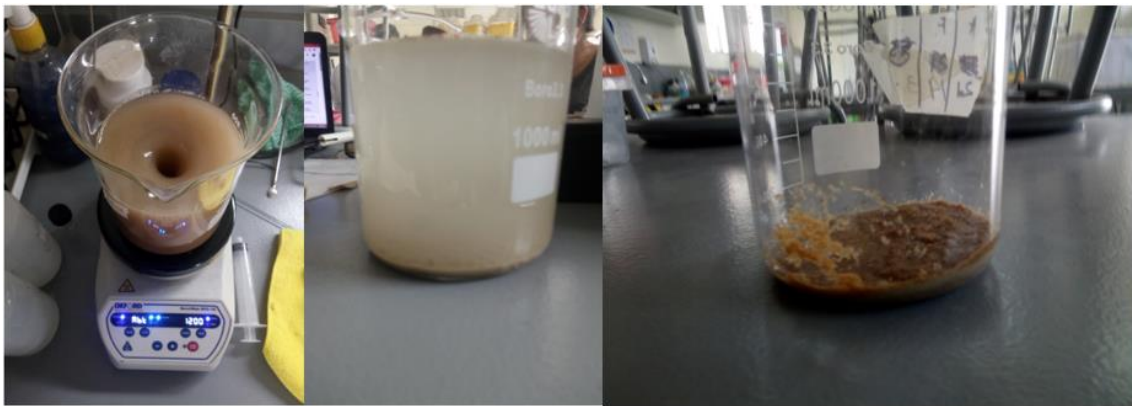


Figura 78. Mezcla de agua residual con un nivel de pH, nanoarcilla y fibra de arroz.

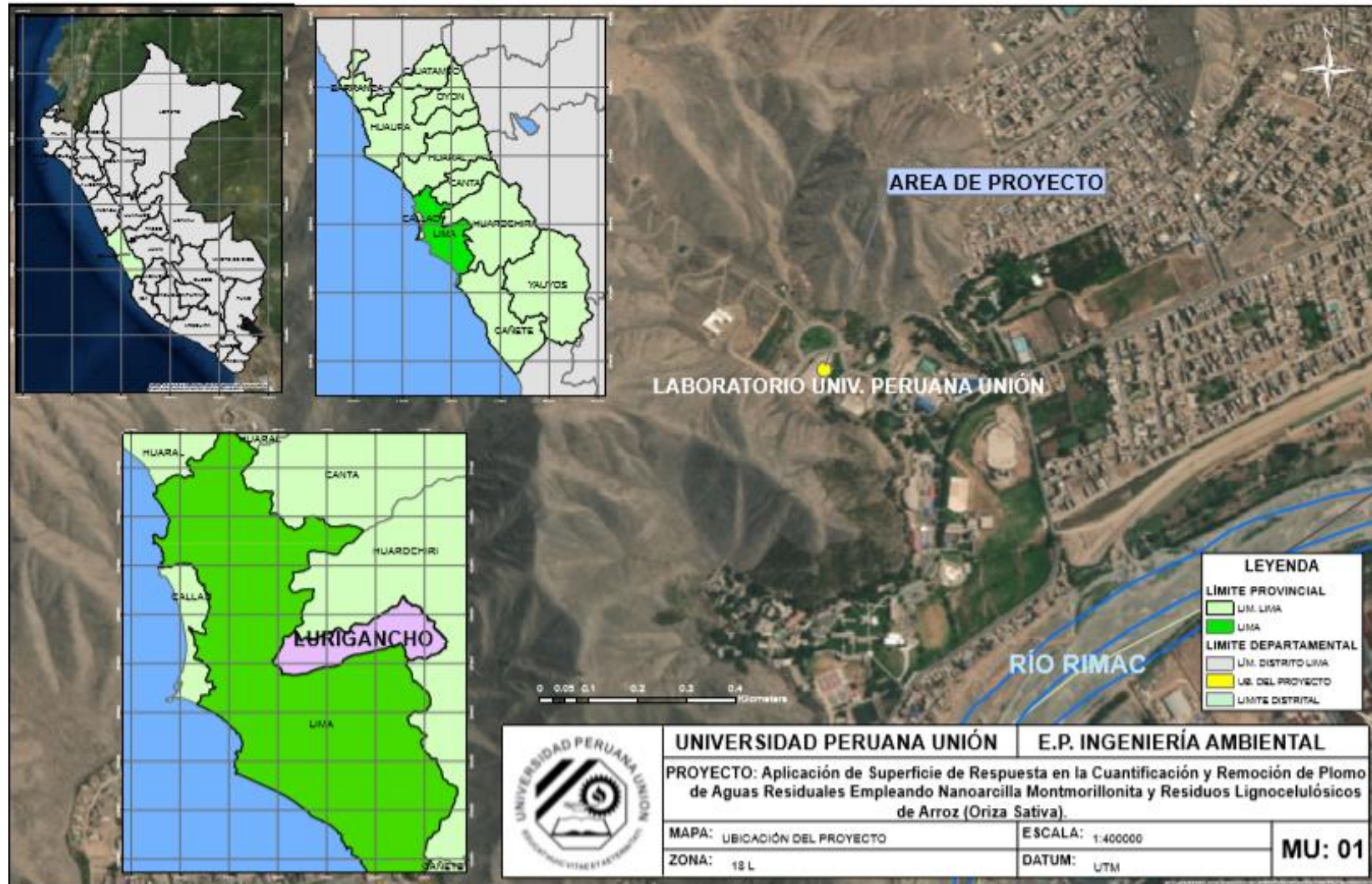


Figura 79. Equipo de Centrifugado y proceso de centrifugación



Figura 80. Muestra de agua residual después del proceso de centrifugado y toma de muestra.

ANEXO II. MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO III. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PRE DE AGUA RESIDUAL

Análisis Pre de agua de La Mansión



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

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1902023

Cliente : JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal : Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual.
Referencia del cliente : Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/02/13
Fecha de inicio del ensayo : 2019/02/13
Fecha de término del ensayo : 2019/02/18

Código de Laboratorio: 1902023-1	Estación de Muestreo: AR-10	Fecha de Muestreo: 2019/02/13 Hora: 13:05			
		Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,012	mg/L

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, 18 de febrero del 2019.

DELTA LAB S.A.C.
UNIDAD DE REGISTRO
JEFE DE LA SECCIÓN DE FÍSICO QUÍMICA

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 Pre de agua contaminada con Pb



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

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1810138

Cliente: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica - Lima - Lima.
Producto: Agua Residual.
Referencia del cliente: Proyecto "Remoción de Arsénico en Aguas Residuales utilizando Bentonita como adsorbente"
Procedencia de las muestras: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica - Lima - Lima.
Referencia del plan de muestreo: No Aplica
Procedimiento de muestreo: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras: 2018/10/29
Fecha de inicio del ensayo: 2018/10/29
Fecha de término del ensayo: 2018/11/09

Código de Laboratorio: 1810138-1	Estación de Muestreo: L-02	Fecha de Muestreo: 2018/09/29			
		Hora: 13:40			
		Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3114 B,C	Arsénico total (As)	0,001	0,003	0,013	mg/L
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	14,30	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
Arsénico: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 3114 B y C, 23rd Ed. 2017. Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation
Plomo: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

- 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.
 - La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 12 de Noviembre del 2018.


DELTA LAB S.A.C.
 WILDER CORDERO CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA


DELTA LAB S.A.C.
 RAQUEL ROSALES TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 709612

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

**ANEXO IV. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE NANOARCILLA
ANÁLISIS POST DE AGUA RESIDUAL**

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1812031

Cliente : **JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ**
 Domicilio legal : Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Producto : Agua Residual.
 Referencia del cliente : Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2018/12/12
 Fecha de inicio del ensayo : 2018/12/12
 Fecha de término del ensayo : 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812031-1	Estación de Muestreo: AR-01	Fecha de Muestreo: 2018/12/10 Hora: 17:58 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,674	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017.Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 15 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812032

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/12
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/12
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812032-1	Estación de Muestreo: AR-02	Fecha de Muestreo: 2018/12/10 Hora: 16:40 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,147	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812033

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/12
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/12
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812033-1	Estación de Muestreo: AR-03	Fecha de Muestreo: 2018/12/11			
		Hora: 11:21			
		Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,112	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017.Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 15 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812034

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/12
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/12
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812034-1	Estación de Muestreo: AR-04	Fecha de Muestreo: 2018/12/11 Hora: 14:52 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	7,300	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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 omisión 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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 15 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812035

Cliente : **JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ**
 Domicilio legal : Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Luriganchos Chosica – Lima – Lima.
 Producto : Agua Residual.
 Referencia del cliente : Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Luriganchos Chosica – Lima – Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2018/12/12
 Fecha de inicio del ensayo : 2018/12/12
 Fecha de término del ensayo : 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812035-1	Estación de Muestreo: AR-05	Fecha de Muestreo: 2018/12/11 Hora: 16:21 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	4,620	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812036

Ciente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/12
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/12
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/17

Código de Laboratorio: 1812036-1	Estación de Muestreo: AR-06	Fecha de Muestreo: 2018/12/11 Hora: 17:18 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	6,100	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812044

Ciente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/13
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/13
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812044-1	Estación de Muestreo: AR-01	Fecha de Muestreo: 2018/12/13			
		Hora: 12:55			
		Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,780	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812045

Ciente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/13
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/13
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812045-1	Estación de Muestreo: AR-02	Fecha de Muestreo: 2018/12/13 Hora: 14:16 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,404	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812046

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/13
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/13
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812046-1	Estación de Muestreo: AR-03	Fecha de Muestreo: 2018/12/13 Hora: 15:03			
Tipo de muestra: Agua Residual					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,163	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812047

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/13
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/13
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812047-1	Estación de Muestreo: AR-07	Fecha de Muestreo: 2018/12/12 Hora: 14:03 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,500	mg/L.

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017.Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 15 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812048

Ciente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/13
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/13
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812048-1	Estación de Muestreo: AR-08	Fecha de Muestreo: 2018/12/12 Hora: 15:32 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,625	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812049

Cliente : **JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ**
 Domicilio legal : Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Proceso : Agua Residual.
 Referencia del cliente : Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica
 Procedimiento de muestreo : No Aplica
 Fecha de recepción de las muestras : 2018/12/13
 Fecha de inicio del ensayo : 2018/12/13
 Fecha de término del ensayo : 2018/12/18

Código de Laboratorio: 1812049-1	Estación de Muestreo: AR-09	Fecha de Muestreo: 2018/12/12 Hora: 16:31 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,320	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017.Nitric Acid Digestion / Direct
 Plomo: Air-Acetylene Flame Method.

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 emmienda 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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 18 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812074

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812074-1	Estación de Muestreo: AR-09	Fecha de Muestreo: 2018/12/17 Hora: 15:56 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,215	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017.Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812075

Ciente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812075-1	Estación de Muestreo: AR-08	Fecha de Muestreo: 2018/12/17 Hora: 15:12 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,220	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812076

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812076-1	Estación de Muestreo: AR-07	Fecha de Muestreo: 2018/12/17 Hora: 14:21 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	1,875	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812077

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812077-1	Estación de Muestreo: AR-06	Fecha de Muestreo: 2018/12/14 Hora: 14:44 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	6,225	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812078

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812078-1	Estación de Muestreo: AR-05	Fecha de Muestreo: 2018/12/14 Hora: 13:29 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	7,475	mg/L.

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

INFORME DE ENSAYO N° 1812079

Cliente	: JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal	: Urb. Alameda de Naña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto	: Agua Residual.
Referencia del cliente	: Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2018/12/18
Fecha de inicio del ensayo	: 2018/12/18
Fecha de término del ensayo	: 2018/12/28

Código de Laboratorio: 1812079-1	Estación de Muestreo: AR-04	Fecha de Muestreo: 2018/12/14 Hora: 12:09 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	9,300	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

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.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de diciembre del 2018.

Análisis post de la optimización



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

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1902023

Cliente : JACKY MILAGROS CISNEROS GÓMEZ
Domicilio legal : Urb. Alameda de Ñaña Mz. L Lote 45, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Producto : Agua Residual.
Referencia del cliente : Proyecto de Tesis "Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales usando Bentonita como Adsorbente"
Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio Universidad Peruana Unión, Lurigancho Chosica – Lima – Lima.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica
Procedimiento de muestreo : No Aplica
Fecha de recepción de las muestras : 2019/02/13
Fecha de inicio del ensayo : 2019/02/13
Fecha de término del ensayo : 2019/02/18

Código de Laboratorio: 1902023-2	Estación de Muestreo: AR-11	Fecha de Muestreo: 2019/02/13			
		Hora: 14:00			
		Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 3111 B	Plomo total (Pb)	0,01	0,03	0,221	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:


SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nítric Acid Digestion / Direct
 Plomo: Air-Acetylene Flame Method.

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, 18 de febrero del 2019.


 DELTA LAB S.A.C.
 WILDER GONZÁLEZ CASTRO
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA


 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



MOVILAB DEL PERU S.A.C

Equipos - Materiales y Reactivos para Laboratorio - Insumos Químicos Industriales
Diversas Aplicaciones: Aeronáutica - Textiles - Minería - Limpieza Industrial.
Fabricamos sobre Pedido, pequeñas y grandes cantidades.
Kits de Biología, Física y Química Educativa

CERTIFICADO DE ANALISIS

SALES CUATERNARIAS

LOTE: 100-091117

ANALISIS

ESTADO FISICO

COLOR

OLOR

pH (25°C)

DENSIDAD

VISCOSIDAD

PERSISTENCIA ESPUMA(1 min)

INCOMPATIBILIDAD

RESULTADO

: Líquido translúcido

: Incoloro

: Característico

: 7,2

: 0,98 g/mL

: 72 cp

: 2,0 mL

: Incompatible con sustancias de tipo ácido

FECHA DE FABRICACION: NOVIEMBRE DEL 2017

FECHA DE VENCIMIENTO: NOVIEMBRE DEL 2020


LUIS A. LÓPEZ ORDÓÑEZ
GERENTE
MOVILAB DEL PERU S.A.C

Jr. León Velarde 483 Piso 5 - Lince Telf.: 265-5221 / Cel.: 988464848

E-mail: movilabperu@hotmail.com

Tabla 34. Resultados de la regresión lineal para la cuantificación del Plomo (mg/L) según el error puro.

	Regressn Coeff.	Std. Err. Pure Err	t (9)	p	- 95% Cnf . Limt	+ 95% Cnf. Limt
Mean/Interc.	27.8253	3.505945	7.93662	0.000024	19.8943	35.7563
(1) Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(L)	-30.9667	8.807063	-3.51612	0.006555	-50.8896	-11.0437
Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(Q)	17.8875	7.515245	2.38016	0.041217	0.8868	34.8882
(2) Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(L)	-2.6507	1.961656	-1.35128	0.209591	-7.0883	1.7868
Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(Q)	0.0755	0.300610	0.25116	0.807334	-0.6045	0.7555
(3) pH (L)	-3.6316	0.751436	-4.83294	0.000930	-5.3315	-1.9318
pH (Q)	0.2171	0.068020	3.19140	0.010982	0.0632	0.3710
1L by 2L	3.4925	1.503049	2.32361	0.045218	0.0924	6.8926

Tabla 35. Resultados de la regresión lineal para la remoción del Plomo (%) según el error puro.

	Regressn Coeff.	Std. Err. Pure Err	t (9)	p	- 95% Cnf . Limt	+ 95% Cnf. Limt
Mean/Interc.	-94.583	24.51710	-3.85783	0.003860	-150.044	-39.1213
(1) Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(L)	216.550	61.58786	3.51612	0.006555	77.229	355.8715
Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(Q)	-125.087	52.55416	-2.38016	0.041217	-243.973	-6.2016
(2) Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(L)	18.537	13.71788	1.35128	0.209591	-12.495	49.5687
Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(Q)	-0.528	2.10217	-0.25116	0.807334	-5.283	4.2275
(3) pH (L)	25.396	5.25480	4.83294	0.000930	13.509	37.2833
pH (Q)	-1.518	0.47567	-3.19140	0.010982	-2.594	-0.4420
1L by 2L	-24.423	10.51083	-2.32361	0.045218	-48.200	-0.6459

Tabla 36. Resultados de la regresión lineal para la remoción del Plomo (%) según el error residual.

	Regressn Coeff.	Std. Err. Pure Err	t (10)	p	- 95% Cnf . Limt	+ 95% Cnf. Limt
Mean/Interc.	-94.583	23.95861	-3.94776	0.002740	-147.966	-41.1997
(1) Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(L)	216.550	60.18492	3.59808	0.004863	82.450	350.6505
Nanoarcilla Bentonita (g/100mL)(Q)	-125.087	51.35701	-2.43564	0.035110	-239.518	-10.6569
(2) Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(L)	18.537	13.40539	1.38278	0.196828	-11.332	48.4058
Fibra Lignocelulósica (g/100mL)(Q)	-0.528	2.05428	-0.25701	0.802381	-5.105	4.0492
(3) pH (L)	25.396	5.13510	4.94560	0.000582	13.954	36.8378
pH (Q)	-1.518	0.46483	-3.26580	0.008490	-2.554	-0.4823
1L by 2L	-24.423	10.27140	-2.37777	0.038759	-47.309	-1.5370