



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita),
para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca
Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba - 2016**

**Tesis para optar al título profesional de:
INGENIERO SANITARIO**

AUTORES:

Bach. Miguel Vela Rodas

Bach. Mayra Tuesta Lavi

ASESOR:

Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Código N° 6054216

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita),
para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca
Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba - 2016**

AUTORES:

Bach. Miguel Vela Rodas

Bach. Mayra Tuesta Lavi

**Sustentado y aprobado ante el honorable jurado
el día 12 de Junio del 2018**

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and a long horizontal stroke.

.....
Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia
Presidente

A handwritten signature in blue ink, featuring a prominent 'Y' and 'F'.

.....
Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azbache Liza
Secretario

A handwritten signature in blue ink, with a large 'R' and 'B'.

.....
Ing. Alfonzo Rojas Bardales
Miembro

A handwritten signature in blue ink, with a large 'A' and 'D'.

.....
Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Yo, **Miguel Vela Rodas**, con DNI N° 73017070 y **Mayra Tuesta Lavi**, con DNI N° 48322244 egresados de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba – 2016.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 12 de Junio del 2018.



.....
Miguel Vela Rodas
DNI N° 73017070



.....
Mayra Tuesta Lavi
DNI N°48322244



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Vela Rodas Miguel		
Código de alumno :	115238	Teléfono:	942659681
Correo electrónico :	velarodasmiguel@gmail.com	DNI:	73017070

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Aplicación de una batería de Filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita) para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba 2016
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

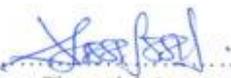
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

24/08/2018



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Tuesta Lavi Mayra		
Código de alumno :	115234	Teléfono:	981938230
Correo electrónico :	Maytula 94@hotmail.com	DNI:	48322244

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Aplicación de una batería de Filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita) para la remoción de Hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juningullo la Mina a escala piloto Moyobamba 2016
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**".

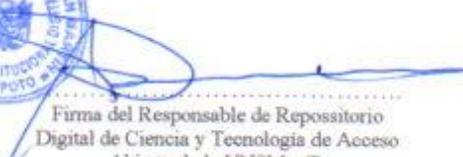

.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

24, 08, 2018




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicado a mis padres, Miguel Vela Sandoval y Sarela Rodas Chanzapa, a mi hermano Eduardo Vela Rodas y mi tío Hilario Vela Sandoval quienes me inculcaron perseverancia y sacrificio para lograr mis metas; fruto del esfuerzo suyo y mío, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

Miguel Vela Rodas

Quiero dedicar el logro de esta meta a mis padres: María Victoria Lavi Tuesta y Waldemar Alava Bocanegra, por su apoyo, consejos, motivación y guía por el camino correcto; quienes a pesar de las dificultades que se pudieron presentar en el desarrollo de esta etapa de mi vida supieron sacarme adelante.

A mis hermanos Jhoser, Luis y Katerin quienes son mi inspiración para salir adelante.

Mayra Tuesta Lavi

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios, por iluminar nuestros conocimientos por guiar nuestras acciones y brindarnos salud.

A mis padres, Miguel Vela Sandoval y Sarela Rodas Chanzapa quienes siempre estuvieron a mi lado dándome apoyo moral, económico, cariño, comprensión, porque nunca se dieron por vencidos a pesar de las circunstancias difíciles y siempre me brindaron enseñanza de valores y de actitud ante la vida, a mi hermano quien siempre estuvo motivando mis estudios y mi vida (Eduardo Vela Rodas). Y a mí tío que siempre estuvo para apoyarme incondicionalmente en los momentos más difíciles de toda mi vida (Hilario vela Sandoval) les doy gracias por todo y sobre todo porque nunca dejaron de creer en mí.

A mis padres: María Victoria Lavi Tuesta, Waldemar Alava Bocanegra, hermanos y familiares, quienes, con amor, comprensión y gran esfuerzo han hecho posible mi formación académica; por creer en mí y siempre tener una voz de aliento en los momentos más difíciles además por inculcarme todos los valores, principios, carácter que hacen la persona que soy, y sobre todo por el apoyo moral y económico para el cumplimiento de esta meta.

Al asesor Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación, quien nos brindó la disponibilidad de su tiempo y asesoría en las tesis con sus aportes, críticas y sugerencias.

A mi alma mater, UNSM-T facultad de ecología, por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y así asimilar los conocimientos para mi formación académica y profesional. A todos los docentes de la UNSM-T Facultad de Ecología que siempre estuvieron dispuestos a enseñarme y a guiarme por el camino de la sabiduría.

A la Entidad Prestadora de Servicios y Saneamiento EPS Moyobamba por brindarnos el espacio para ejecutar nuestro proyecto de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO I	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Antecedentes de la Investigación	3
1.2. Base Teórica	7
1.2.1. Las fuentes de agua de origen superficial.	7
1.2.2. Aireación	21
1.2.3. Sedimentación	25
1.2.4. Filtración	27
1.3. Definición de términos.	38
CAPITULO II	40
MATERIAL Y MÉTODOS	40
2.1. Material	40
2.1.1. Material para construcción del filtro.	40
2.1.2. Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos	40
2.2. Método.	40
2.2.1. Tipo y nivel de Investigación.	40
2.2.2. Diseño de investigación.	41
2.2.3. Población y muestra	41
2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	42
2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	44
CAPITULO III	46
RESULTADOS Y DISCUSIONES.	46

3.1. Caracterización del agua superficial del agua de la quebrada Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba.	46
3.1.1. Dimensionamiento y construcción del aireador y el filtro de zeolita clinoptilolita).	47
3.1.2. Parámetros de monitoreo	51
3.1.3. Evaluación para contrastación de hipótesis.	74
3.2. Discusión de resultados.	76
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Caracterización del agua de la quebrada Juningullo la Mina	46
Tabla 2 Primera carrera de filtración	52
Tabla 3 Segunda carrera de filtración	52
Tabla 4 Tercera carrera de filtración	53
Tabla 5 Cuarta carrera de filtración	53
Tabla 6 Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36mm	54
Tabla 7 Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36mm	55
Tabla 8 Eficiencia de remoción de hierro	56
Tabla 9 Eficiencia de remoción de manganeso	57
Tabla 10 Primera carrera de filtración	57
Tabla 11 Primera carrera de filtración	58
Tabla 12 Tercera carrera de filtración	58
Tabla 13 Cuarta carrera de filtración	59
Tabla 14 Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm	59
Tabla 15 Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm	60
Tabla 16 Eficiencia de remoción de hierro	61
Tabla 17 Eficiencia de remoción de manganeso	62
Tabla 18 Primera Carrera de filtración	63
Tabla 19 segunda Carrera de filtración	63
Tabla 20 Tercera Carrera de filtración	64
Tabla 21 Cuarta Carrera de filtración	64
Tabla 22 Quinta Carrera de filtración	65
Tabla 23 Sexta Carrera de filtración	65
Tabla 24 Concentraciones de hierro con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación.	66
Tabla 25 Concentraciones de manganeso con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación.	67
Tabla 26 Eficiencia de remoción de hierro	68
Tabla 27 Eficiencia de remoción de manganeso	68
Tabla 28 Porcentaje de remoción de hierro y manganeso	69

Tabla 29 Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2.36 mm con los LMP	71
Tabla 30 Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4.75 mm con los LMP	72
Tabla 31 Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) con aireación y sedimentación con los LMP	73
Tabla 32 Prueba t para dos muestras respecto al hierro	74
Tabla 33 Prueba t para dos muestras respecto al manganeso	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Aireadores de bandeja múltiple	24
Figura 2: Fuerzas que intervienen en el mecanismo de sedimentación de una partícula.	26
Figura 3 : Proceso de sedimentación	26
Figura 4: Unidad estructural básica de una zeolita, mostrando la disposición de los átomos de oxígeno y de silicio.	35
Figura 5: Diagrama metodológico	42
Figura 6: Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm	54
Figura 7: Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm	55
Figura 8: Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm	60
Figura 9: Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm	61
Figura 10: Concentraciones de hierro con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación	66
Figura 11: Concentraciones de manganeso con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación	67
Figura 12: Porcentaje de remoción de hierro y manganeso	70
Figura 13: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm con los LMP	71
Figura 14: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm con los LMP	72
Figura 15: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita Clinoptilolita con aireación y sedimentación con los LMP	73

ANEXOS

Anexo 2: Formulas estadísticas	87
Anexo 3: Mapa de Ubicación	88
Anexo 4: Creación del área de conservación Juningullo la Mina	89
Anexo 5: Diseño de la batería de filtro.	92
Anexo 6: Autorización para ejecución tesis en la EPS Moyobamba	95
Anexo 7: Análisis granulométrico de la zeolita (clinoptilolita)	97
Anexo 8: Resultados obtenidos de laboratorio.	99
Anexo 9: Panel fotográfico.	114

RESUMEN

Este proyecto de investigación busca mejorar la calidad del agua de la quebrada Juninguillo la Mina en su concentración de hierro y manganeso para que esta sea un agua apta para el consumo humano; se aplicó una batería de filtros de zeolita (clinoptilolita) y que estos metales cumplan con las concentraciones estipulados en el reglamento de calidad de agua para consumo humano. Se realizó una caracterización en las aguas de la quebrada Juninguillo la Mina obteniendo concentraciones de 1,00 mg/L-Fe⁺², 0,04 mg/L-Mn⁺², 25,00 UNT, 50,00 µS/cm, pH 6,87 y STD 25,00 mg/L. El diseño de la batería de filtro de zeolita (clinoptilolita) es de un caudal de 35,00 m³ /día y obedece a aspectos generales que estipula el Reglamento Nacional de Edificaciones y el Manual II: diseño de planta de tecnología apropiada del CEPIS/OMS/OPS. La aplicación del tratamiento al agua de la quebrada Juninguillo la Mina implica únicamente la remoción hierro y manganeso con la batería de filtros de zeolita (clinoptilolita) de 2 granulometrías distintas: Ø=2,36 mm que remueve un 48,22 % de Fe⁺² y 67,50 % de Mn⁺² y un Ø=4,75mm que remueve un 30,89 % de Fe⁺² y un 47,47 % de Mn⁺², determinando que la zeolita (clinoptilolita) de Ø=2,36mm remueve mayor porcentaje de las concentraciones de entrada de los metales pesados en estudio. Con el diámetro más eficiente que es el de Ø=2,36 mm por filtración directa; se le adicionó un sistema de pretratamiento que consta de aireación mediante bandejas múltiples y sedimentación. La comparación de las concentraciones de hierro y manganeso obtenido de los análisis de laboratorio de filtración directa con zeolita (clinoptilolita), con los LMP de calidad de agua para consumo humano no cumplen, teniendo concentración promedio de 0,485 mg/L-Fe⁺² y 0,069 mg/L-Mn⁺² para un diámetro de 2,36 mm de zeolita (clinoptilolita) y de 0,775 mg/L-Fe⁺² y 0,097 mg/L-Mn⁺² para un diámetro de 4,75 mm de zeolita (clinoptilolita), en cambio la filtración con zeolita (clinoptilolita) de 2,36 mm que es el diámetro más eficiente en remoción, adicionando a este un pretratamiento de aireación y decantación si cumple con los LMP del Reglamento de calidad de agua para consumo humano, teniendo concentraciones de salidas promedio de 0,247mg/L-Fe⁺² y 0,012 mg/L- Mn⁺².

Palabras claves: Aireación, metales pesados, filtración.

ABSTRACT

This research project seeks to improve the water quality of the gully in the mine of Juninguillo in its concentration of iron and manganese so that it is a water suitable for human consumption; A battery of zeolite filters (clinopt ilolite) was applied and these metals comply with the concentrations stipulated in the water quality regulations for human consumption. A characterization was carried out in the waters of the Juninguillo the mine stream, obtaining concentrations of 1.00 mg / L-Fe + 2, 0.04 mg / L-Mn + 2, 25.00 UNT, 50.00 μ S / cm, pH 6.87 and STD 25.00 mg / L. The design of the zeolite filter battery (clinoptilolite) is of a flow rate of 35.00 m³ / day and obeys general aspects stipulated by the National Building Regulations and Manual II: design of appropriate CEPIS / OMS technology plant / PAHO. The application of the treatment to the water of the Juninguillo the mine gulch implies only the removal of iron and manganese with the battery of zeolite filters (clinoptilolite) of 2 different granulometries: $\varnothing = 2.36$ mm that removes 48.22% of Fe + 2 and 67.50% of Mn + 2 and $\varnothing = 4.75$ mm that removes 30.89% of Fe + 2 and 47.47% of Mn + 2, determining that the zeolite (clinoptilolite) of $\varnothing = 2$, 36mm removes greater percentage of the input concentrations of the heavy metals under study. With the most efficient diameter which is $\varnothing = 2.36$ mm by direct filtration; A pre-treatment system consisting of aeration by means of multiple trays and sedimentation was added. The comparison of the concentrations of iron and manganese obtained from the laboratory tests of direct filtration with zeolite (clinoptilolite), with the LMP of water quality for human consumption do not comply, having an average concentration of 0.485 mg / L-Fe + 2 and 0,069 mg / L-Mn + 2 for a diameter of 2,36 mm of zeolite (clinoptilolite) and 0,775 mg / L-Fe + 2 and 0,097 mg / L-Mn + 2 for a diameter of 4,75 mm of zeolite (clinoptilolite), however the filtration with zeolite (clinoptilolita) of 2.36 mm is the most efficient diameter in removal, adding to this a pretreatment of aeration and decantation if it complies with the LMP of the Regulation of water quality for human consumption , having average output concentrations of 0.247mg / L-Fe + 2 and 0.012 mg / L-Mn + 2.

Keywords: Aeration, heavy metals, filtration.



INTRODUCCIÓN.

En la actualidad la ciudad de Moyobamba viene siendo abastecida por la planta de tratamiento de agua potable san mateo, captación almendra y finalmente mente por las captaciones de chuyayacu y el milagro; observando así que la ciudad ha tenido un notable crecimiento demográfico, la microcuenca Juninguillo la Mina, es una alternativa para el abastecimiento de agua potable para la población de Moyobamba. Es necesario considerar de importancia el tratamiento de estas aguas para el abastecimiento siempre y cuando estas aguas generen menores gastos en su tratamiento. Siendo necesario analizar los parámetros físico químico y biológico; de los cuales es necesario analizar las concentraciones del hierro y manganeso debido a que los análisis de caracterización que se realizaron indicaron la presencia de estos elementos. Tomando en cuenta los estudios realizados sobre el uso de la zeolita Clinoptilolita en la purificación de aguas se planteó la siguiente interrogante: ¿En qué medida una batería de filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) contribuirá en la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina Moyobamba - 2016?

En la presente tesis de investigación para mitigar esta problemática se previó utilizar una batería de filtros empacados con zeolita, con el fin de demostrar su capacidad de remoción y probar su eficiencia durante dicho proceso, teniendo como objetivo general: Aplicar una batería de filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina a escala piloto y como objetivos específicos los siguientes: Dimensionar los filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) para tratar el agua de la microcuenca Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba a nivel piloto, Identificar la eficiencia de la zeolita (clinoptilolita) como material filtrante a diferentes concentraciones granulométricas. Determinar las concentraciones de hierro y manganeso antes y después del tratamiento de filtración con la concentración granulométrica más eficiente; integrando un pretratamiento de aireación y sedimentación y comparar los resultados obtenidos del tratamiento de filtración con zeolita (clinoptilolita) con los límites máximos permisibles (LMP) de agua para consumo humano.

La hipótesis es: si aplicamos una batería de filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) entonces, la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca de Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba es eficiente.

En el primer capítulo se señalan los antecedentes de la investigación, las revisiones bibliográficas necesarias del proceso de aireación como también de filtración de agua con fines de consumo humano, se conceptualiza a la zeolita (clinoptilolita) y sus características como material filtrante, las propiedades del hierro y manganeso, así como los diferentes métodos que se pueden emplear para el tratamiento de estos metales.

En el Segundo Capítulo se ha considerado la metodología de la investigación donde se justifica la parte más importante del experimento realizando los cálculos para la batería de filtro empacados en zeolita (clinoptilolita) a escala piloto; resumiéndose en la caracterización del agua de la microcuenca de Juninguillo y los análisis de los ensayos realizados en el laboratorio.

En el Tercer Capítulo se detallan la interpretación y discusión de los resultados obteniéndose así las tablas y gráficos estadísticos para su mejor interpretación, donde se llegaron finalmente a las conclusiones y recomendaciones que se pudieron obtener de la presente investigación ejecutada.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la Investigación

Cuchimaque (2006). En su investigación “*Remoción de hierro y manganeso en aguas naturales por adsorción -oxidación sobre zeolita natural tipo clinoptilolita*”, concluyeron que utilizar zeolita natural clinoptilolita como medio de filtración es un medio efectivo para la disminución de hierro y manganeso en el agua natural, ya que actúa como soporte poroso sobre el que se obtiene una película adsorbente de óxidos de hierro y manganeso, los cuales presentan alta capacidad para adsorber los cationes de dichos metales disueltos en el agua.

Con el presente estudio, llevado a cabo a escala de laboratorio, se establecerá las condiciones apropiadas de operación del sistema de filtración el cual se utilizará zeolita clinoptilolita.

Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua, Informe interno de la coordinación de tratamiento y calidad del agua, subcoordinación de potabilización (IMTA), “*Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua para abastecimiento público*”. Con los resultados obtenidos en todas las pruebas se comprueba la alta eficiencia de la tecnología para la remoción de hierro y manganeso disueltos, las concentraciones obtenidas en el agua tratada cumplen con los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental.

Para garantizar la adecuada regeneración del medio de contacto (zeolita) se debe aplicar una cantidad de cloro tal que garantice un residual de cloro libre en el efluente de los filtros de 0.5 a 1.5 mg/L. Cumpliendo con este requisito, no es necesaria una desinfección adicional en el sistema, por lo que se asegura una adecuada calidad bacteriológica como lo establece la misma Norma.

Márquez (1995). *Determinación de los parámetros hidráulicos de la zeolita natural cubana como material filtrante revertie vol (135)*. Se demuestra la superioridad del filtro de zeolita con respecto a las convencionales de arena.

La zeolita natural analizada presenta un buen comportamiento para diferentes rangos de los parámetros hidráulicos estudiados. Se pueden operar filtros de zeolita

con pequeña altura del lecho, lo que los hace más eficientes desde el punto de vista de diseño de instalación.

Gutiérrez (1992). En su Doctorado, *planta compacta potabilizadora de aguas superficiales con zeolita*. Este trabajo presenta el diseño de plantas compactas flexibles para potabilizar agua utilizando un esquema básico, que puede variarse, de desinfección, coagulación-floculación y filtración con la característica del bajo consumo de coagulante (sulfato de aluminio) y con la posibilidad de zeolita natural como floculante. Se usará zeolita natural como medio filtrante y podrá operarse también con la variante de filtración directa. Su uso está destinado fundamentalmente a pequeñas comunidades rurales donde se dificulta el abasto de agua potable (zonas montañosas, zonas intrincadas con escasa densidad poblacional, etc.). La flexibilidad incluye, si se desea, la automatización de la operación de la planta y/o el auxilio de un sistema informativo a través de computadoras. Los materiales de construcción pueden ser variados, hormigón, acero, etc. La planta está constituida por módulos que permiten fácilmente aumentar la capacidad de procesamiento. Las plantas compactas flexibles satisfacen los requerimientos de agua en pequeñas comunidades, donde otro tipo de tecnología resultaría excesivamente compleja y costosa, garantizando una buena calidad del agua con propiedades organolépticas adecuadas dado el empleo de la zeolita.

Las ventajas de estas plantas son su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones, su sencillez operacional (sobre todo si existen condiciones para la opción con sistema informativo en computadora), su bajo consumo de reactivos y su relativo bajo costo.

Haro Rober (2016). Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – Áncash. “*El uso de la zeolita natural en el proceso de filtración rápida, en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de San Miguel, provincia de San Miguel - Cajamarca, 2015*” Culminado el proceso de la investigación se llegaron a las siguientes conclusiones. Se determinó que durante el proceso de filtración rápida utilizando el medio filtrante de zeolita natural, se obtuvo una alta eficiencia en cuanto a la remoción de la turbiedad y el color reportando un valor de 86% y 93% respetivamente.

Además, se determinó que la batería de filtros piloto pudo operar con una tasa de filtración alto presentado un valor de 325.95 m³/m²/día y finalmente de determinó

que el filtro piloto pudo realizar sus operaciones con una buena carrera de filtración que duró 143 horas. En conclusión, el medio filtrante a base de zeolita natural presenta altos indicadores de eficiencia durante el proceso de tratamiento de agua para consumo humano

Cubas (2013). Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. *Determinación de la influencia del suelo en dos estaciones en el contenido de las concentraciones de hierro y manganeso en el agua de la microcuenca Juninguillo Moyobamba.* Concluye que: La relación que existe entre las concentraciones de hierro (Fe^{+2}) y Manganeso (Mn), contenidos en el agua y el suelo, es fuerte por lo que las concentraciones de los elementos en cuestión en el agua dependen de las concentraciones del suelo, según los resultados obtenidos y el modelo estadístico empleado; en los niveles de 0,20 y 0,40 m presento alto contenido de hierro y manganeso siendo 5,32 mg/L el valor más alto de hierro, y 2,36 mg/L el valor más alto de manganeso. La relación del hierro (Fe^{+2}) contenido en el agua y en el suelo de la microcuenca Juninguillo en las estaciones N° 1 y N° 2 tienen un coeficiente de correlación de 0,90 y 0,82 con una asociación de 81,9% y 66,68 % respectivamente, que significa que existe una fuerte relación.

More y Guerra (2013). Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. *Evaluación del uso y aprovechamiento potencial de agua para el abastecimiento en la microcuenca de la quebrada Juninguillo Moyobamba.* Concluye que: La calidad del agua, el PH, el sulfato y el nitrito no superan los estándares de calidad ambiental de acuerdo al decreto supremo N 002-2008-MINAM, el Hierro con una concentración máxima de 3 mg/L, el nitrato con una concentración máxima de 0,5 mg/L y el manganeso con una concentración máxima de 0,5 mg/L, estas superan los estándares de calidad ambiental, por otra parte el análisis bacteriológico de coliformes fecales y coliformes totales superan los ECAS en todos los puntos de muestreo por lo tanto el agua para ser utilizada para consumo humano es necesario un tratamiento avanzado en el caso de los parámetros que sobrepasan los ECAS.

Padilla, Leiva y Flores (2014). Revista-*Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de hierro (Fe^{+2}) - Centro Poblado Alianza, San Martín.* La finalidad de esta investigación es evaluar los procesos de filtración para el tratamiento de aguas subterráneas con alto índice

de metales procedente del Centro poblado Alianza-San Martín. Las variables de estudio fueron: tratamiento iónico simple (X1), tratamiento iónico compuesto (X2); como variable dependiente el índice de metales en agua subterránea (Y1). El tratamiento de filtración simple estuvo compuesto por un aluminosilicato denominado zeolita además de diferentes arenas y gravas; el tratamiento de filtración compuesta estuvo constituido por un lecho filtrante de carbón activado, biopolímero natural, arenas y grava.

El tratamiento iónico simple permitió alcanzar un pH 6,8-6,9 y la disminución de la concentración de hierro (Fe^{+2}) 0-0,06 mg/L en el agua; con el tratamiento iónico compuesto se logró un pH 7-7,1 y valores de 0-0,01 mg/L en la concentración de hierro (Fe^{+2}), no obstante, las propiedades organolépticas cambiaron debido al biopolímero natural que usó para la filtración compuesta.

Se concluye que ambos tratamientos de filtración iónica fueron efectivos; sin embargo, el tratamiento con filtración compuesta logró estabilizar el pH y disminuir la concentración de hierro (Fe^{+2}) con mayor eficiencia, por otro lado, las propiedades organolépticas del agua se vieron alteradas.

Consorcio Amazónico (2011). Informe- *Análisis fisicoquímico del agua de la quebrada Juninguillo. Moyobamba.* Encontraron concentraciones de 0.9 mg/L de hierro y en las aguas de la Quebrada Juninguillo La Mina, distrito Moyobamba, región San Martín, los cuales se atribuyen fundamentalmente a la generación de residuos orgánicos por la actividad agrícola de la zona. Sobrepasando límite máximo permisible de 0,3 mg/L de hierro, establecido por la Organización Mundial de la Salud.

Envirolab Perú S.A. (2011). Informe de Ensayo N° 1103072. Gobierno Regional de San Martín. Indicando la presencia de hierro en la cantidad de 0,560 mg/ L de hierro, en la quebrada Juninguillo La Mina.

EPS Sedalib S.A. (2012). Informe Preliminar “*Ampliación y mejoramiento de captación, línea de conducción, planta de tratamiento de agua para consumo humano, línea de impulsión y almacenamiento del distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba*”. Indican reporte de resultados físico - químico y biológicos realizados por el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Prestadora de Servicios EPS Moyobamba, donde se indican concentraciones para el agua de la quebrada Juninguillo La Mina de 0,9528 mg/ L de hierro. Indicando también, que

durante el año 2012 de calidad fisicoquímica de las aguas de las captaciones se registraron turbiedades de hasta 9,74 NTU y color 125 UCV, quedando así demostrado que tienen elevadas concentraciones de hierro y manganeso.

1.2. Base Teórica

1.2.1. Las fuentes de agua de origen superficial.

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda (**Barrenechea, A. 2004**).

1. Aspectos fisicoquímicos.

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química.

Algunos procesos fisicoquímicos que ocurren en el agua pueden ser evaluados si se recurre a los principios de equilibrio químico, incluida la Ley de Acción de Masas y la Ecuación de Nerst o al conocimiento de los mecanismos de reacción y de las proporciones para los procesos irreversibles (**Barrenechea, A. 2004**).

2. Parámetros de calidad del agua.

El factor que más importancia tiene en la selección de los procesos que deben ser utilizados en la potabilización del agua es la calidad, tanto del agua cruda, esto es, el agua que llega a la planta como del producto final del agua tratada (**Pérez A. S.F**).

- Calidad del Agua Superficial

La calidad del agua comprende una serie de Parámetros de comparación, en la cual una determinada masa de agua debe de cumplir una serie de requisitos físicos, químicos y biológicos, con el fin de darle un uso específico, el cual varía según la actividad (**Cortés, 2009**); dentro de estas clases se puede encontrar, el abastecimiento de las actividades industriales destinada a la producción de alimentos de consumo humano, agua potable, acuicultura, protección de comunidades acuáticas, navegación, irrigación de especies arbóreas, entre otros (**Sánchez, 2007**).

La contaminación antropogénica no es el único factor incidente sobre la condición del agua superficial, ya que existen causas naturales que traen como consecuencias la delimitación de sus usos, esto gracias a aspectos como la geología, geomorfología, microbiología y la flora quien tiene incidencia sobre la calidad del recurso hídrico, principalmente por el aporte de materia orgánica como las hojas que pueden entrar en contacto con el cloro disuelto en el agua y generar compuestos tóxicos para la salud humana, esto principalmente en terrenos salinos (**Vargas, 2004**).

Para obviar este problema se señalan calidades de agua cruda con límites de contaminantes o constituyentes, de acuerdo con sus facilidades de remoción con tratamiento muy simple, normal o especial. La calidad del agua cruda está definida con base en las siguientes características:

- **Características físicas**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se consideran importantes las siguientes:

- a) turbiedad;
- b) sólidos solubles e insolubles;
- c) color;
- d) olor y sabor;
- e) temperatura, (**Barrenechea A. 2004**).

a. Turbiedad

La turbiedad de las aguas superficiales se debe principalmente a la acción de la materia inerte como el material producto de la erosión de las rocas, quienes dan un gran aporte a su desarrollo, y esto se aprecia por la presencia de partículas de arcilla, limo, arena, así como su mezcla; que al acumularse genera una serie de sistemas coloidales que no permiten el paso de la luz, reduciendo de esta manera la transparencia del agua (**Vargas, 2004**); sin embargo la turbiedad no sólo se desarrolla por la acción de agentes externos al cauce ya que la misma se puede generar por la resuspensión del lecho del río debido a la acción de las lluvias, que aumentan la velocidad y el caudal del río (**Montoya, et al, 2011**).

b. Sólidos Totales y Disueltos

Las partículas que se encuentran en los cuerpos de agua tienen una variedad de tamaños, formas y composición química, sin embargo, tienen características similares que facilitan su clasificación en determinadas categorías, una de ellas es la de sólidos disueltos, definida por contener aquellos sólidos que pueden filtrarse por poros de 1,2 μm o de diámetro menor, por lo general estos sólidos se encuentran entre el rango de 0,01 μm a 1,0 μm (Metcalf y Eddy, 2014).

c. Color

El color del agua puede verse influenciado por otros Parámetros físicos como lo son la turbiedad y los sólidos suspendidos, ya que la presencia de materia orgánica, la descomposición de esta y algunos metales como el hierro, el manganeso entre otros elementos metálicos tienen influencia sobre la coloración (Vargas, 2004).

d. Olor y sabor

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua (Barrenechea A., 2004).

Cuadro 1-1. Olores característicos del agua y su origen

Naturaleza	Origen
Olor	flores
dulzor	Coelosphaerium
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado mariscos
Olor séptico	Alcantarilla

e. **Temperatura**

Es uno de los Parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (**Barrenechea A., 2004**).

f. **Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua pura es muy baja ($\approx 0,05 \times 10^{-6}$ Ohm $1 \times \text{cm}^{-1}$) incrementándose con la disolución de electrolitos, más cuánto más dissociado esté aquél. Conductividad y contenido salino de un agua natural fluyente (ríos, arroyos) suele ir incrementándose a través de su recorrido sobre el terreno por disolución de especies. Además, el agua posee una alta reactividad que se pone de manifiesto en su poder de disolución de materiales. Un proceso de disolución implica el cambio en propiedades físicas y químicas de la disolución ya constituida, con respecto tanto al soluto como al propio disolvente (**Marín, 2010**).

- **Características químicas**

a. **pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución (**Barrenechea A., 2004**). Es por ello que para garantizar la calidad de un cuerpo de agua es necesario controlar variables como el pH, pues es Parámetro que regula diversidad de procesos en el agua (**Metcalf y Eddy, 2014**).

b. **Hierro**

El Fe es muy abundante tanto en forma de compuestos divalentes como trivalentes. Los compuestos más frecuentes son hidróxidos, carbonatos y sulfuros. El Fe $2+$ suele formar complejos con aminas, compuestos orgánicos hidroxilados, hipofosfitos, oxalato y cianuro, sobre todo. Por su parte, el Fe $3+$ es completado por iones cloruro, sulfato, tiocianato y acetato, con los que forma complejos de baja estabilidad. En contraste, los

complejos generados por Fe trivalente y fluoruro, pirofosfato, fosfato, compuestos orgánicos hidroxilados y oxalato son mucho más estables.

El Fe presente en un agua proviene de disolución de rocas y minerales, así como de aguas residuales procedentes de la producción de acero y otros materiales.

En general, el Fe se encuentra en forma trivalente en las aguas naturales superficiales, variando su concentración típicamente entre 0,01 mg/L y 0,30 mg/L, no superándose estos niveles ya que a valores de pH en torno a la neutralidad ya se produce la precipitación de Fe (OH) hidratado que es la sal más común en medios hídricos oxigenados (**Valencia Christian E., 2013**)

➤ **Origen del hierro**

El hierro es un metal que fue descubierto en el año 1500 a.C., es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, se lo encuentra en concentraciones que oscilan entre 0.5 a 50mg/L en las aguas corrientes naturales (**Valencia Christian E., 2013**)

Se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, entre ellos muchos óxidos, y raramente se encuentra libre. Para obtener hierro en estado elemental, los óxidos se reducen con carbono y luego es sometido a un proceso de refinado para eliminar las impurezas presentes (**Valencia Christian E., 2013**)

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de Fe alcanzado valores de hasta 10mg/L ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más Fe produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos, cuya eliminación y potabilización puede ser problemática. En las aguas superficiales se puede encontrar hasta 0.3mg/l de hierro, que puede ser producto de la lixiviación de terrenos atravesados o bien de contaminaciones industriales; es posible también encontrar hierro en el agua potable, debido a la utilización de coagulantes de hierro, a la corrosión de tuberías de acero y hierro fundido de la red de distribución.

El hierro total puede encontrarse como:

- Hierro en suspensión → En estado férrico principalmente.
- Hierro disuelto → Hierro en estado férrico solubilizado.

El hierro metálico y sus aleaciones son de interés porque el agua los corroe en presencia de oxígeno (**Valencia Christian E., 2013**)

➤ Química del hierro

A continuación, se describen algunas características químicas:

Símbolo:	Fe.
Clasificación: Metal de transición -	Grupo 8.
Número Atómico:	26
Masa Atómica:	55,845.00
Número de protones/electrones:	26
Electrones en los niveles de energía:	2, 8, 14, 2.
Números de oxidación:	+2, +3.

En aguas de superficie se encuentra en niveles muy bajos, ya que en estas aguas el ión hierro (III) es prácticamente insoluble. Por otro lado, el hierro divalente no se encuentra normalmente en este tipo de aguas ya que se encuentra en condiciones anaeróbicas, ya que la presencia de oxígeno provoca su rápida oxidación.

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más hierro produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser problemática.

El hierro se oxida bajo la acción del aire o por la adición de cloro, pasando al estado férrico pudiendo así hidrolizarse para dar un hidróxido de hierro insoluble. El hierro puede estar en estado coloidal más o menos combinado con la materia orgánica (**Pacini V., Ingallinella A.M., Sanguinetti G., 2003**).

Cuando desciende el oxígeno del agua hay un incremento del hierro divalente, esta dinámica es típica de lagos y embalses que experimentan períodos de estratificación térmica, poco oxígeno y alto potencial reductor.

En las muestras filtradas de aguas superficiales oxigenadas el hierro no llega a 1mg/L, algunas aguas subterráneas pueden contener una

cantidad bastante mayor. En muestras de aguas el Fe puede estar en forma de solución auténtica, en estado coloidal, en complejos inorgánicos u orgánicos, o en partículas suspendidas.

El hierro se puede determinar por varios métodos, entre los cuales existen los siguientes:

- Método colorimétrico (fenantrolina).
- Método espectrométrico de absorción atómica.
- Método de plasma de acoplamiento inductivo (**Pacini V., Ingallinella A.M., Sanguinetti G., 2003**).

c. Manganeseo

Es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza, siendo la pirolusita (dióxido de manganeseo) su mineral más frecuente. Las rocas y minerales que contienen Mn son fácilmente solubles en aguas neutras o ligeramente ácidas en condiciones oxidantes moderadas, mediante la formación del ion manganesoso. En condiciones ligeramente oxidantes puede producirse la oxidación del Mn con la generación de compuestos fácilmente precipitables por su escasa solubilidad.

Por otro lado, este elemento se puede encontrar en un agua en varias formas químicas: como especie disuelta, en forma coloidal o bien formando complejos variados. En general, los contenidos de Mn en aguas naturales oscilan entre sólo algunos $\mu\text{g/L}$ (aguas oxigenadas) hasta 0,50 mg/L, o incluso más de 1 mg/L en aguas poco oxigenadas (**Marín, 2010**).

➤ Origen del manganeseo

El manganeseo se encuentra normalmente en el aire, el suelo, el agua y los alimentos. Se pueden encontrar cantidades más altas de manganeseo en el aire, el suelo y el agua como consecuencia de la liberación de manganeseo durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeseo.

Tal como sucede con otros elementos, el manganeseo no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o desligarse de partículas. La forma química del manganeseo y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se mueve a través del suelo y la cantidad que permanece en el suelo. En el agua, la mayor

parte del manganeso tiende a adherirse a partículas de la misma o a depositarse como sedimento.

El agente que contiene manganeso que se agrega a la gasolina puede degradarse rápidamente en el ambiente cuando se expone a la luz natural, liberando así manganeso **(Valencia Christian E., 2013)**

El manganeso se encuentra frecuentemente en el agua como ión manganeso (Mn). Las sales del manganeso son generalmente más solubles en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas. El ión manganeso es usualmente introducido en el agua a través de la solubilidad del bicarbonato manganeso.

En algunas aguas superficiales y pozos poco profundos, se puede encontrar compuestos orgánicos y coloides de manganeso. También pueden existir bacterias de manganeso, similares a las ferrobacterias. Es frecuente encontrar manganeso en las aguas de pozos abiertos en aquellos terrenos que contiene rocas areniscas, así mismo es posible encontrar manganeso en los pozos poco profundos de tierras aluviales **(Valencia Christian E., 2013)**.

➤ **Química del manganeso**

A continuación, se describen algunas características químicas:

Símbolo:	Mg
Clasificación: Metal de transición -	Grupo 8.
Número Atómico:	25
Masa Atómica:	55,845.
Número de protones/electrones:	26
Electrones en los niveles de energía:	2,3,4,6,7
Números de oxidación:	+2

Por esta razón, los iones mangánicos y manganosos están algunas veces presentes en aguas superficiales en concentraciones de hasta 1.0mg/L.

En aguas subterráneas sujetas a condiciones reductoras, el manganeso puede ser lavado del suelo y presentarse en concentraciones muy elevadas. Al manganeso se le encuentra asociado al hierro en aguas subterráneas.

En manganeso puede encontrarse en el agua con valencias diferentes: II, III y IV, en estado soluble, en suspensión o en forma de complejo; su concentración depende de factores como el oxígeno disuelto y el pH del agua. En aguas naturales de bajo pH, y en ausencia de oxígeno, el manganeso se presenta en forma reducida y soluble que no genera color.

Los embalses de aguas superficiales almacenadas en rocas areniscas pueden acumular manganeso junto con el hierro, ya que la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en el fondo de estos pozos elimina el oxígeno disuelto del agua generando así anhídrido carbónico; de esta manera el manganeso, el hierro de las rocas y de la tierra, en contacto constante con el agua se incorporan a su solución, transformándose en compuestos solubles.

El manganeso se puede determinar por varios métodos diferentes, entre los cuales existen los siguientes:

- Método espectrométrico de absorción atómica.
- Método de plasma de acoplamiento inductivo.
- Método colorimétrico: peryodato potásico o per-sulfato amónico.

(Pacini V., Ingallinella A.M., Sanguinetti G., 2003).

➤ **Métodos de remoción de hierro y manganeso**

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples **(Sommerrfeld, O., 1999)**

La mayoría de los esquemas típicos de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso se basan en la oxidación del hierro por aireación o en la oxidación química del hierro y manganeso mediante cloro o permanganato de potasio, seguida de la remoción de los precipitados de hierro y manganeso por sedimentación y filtración **(Romero A., 1999)**

Descripción de los diferentes métodos de remoción de hierro y manganeso cuando estos se encuentren en sus diferentes estados. Para cuando se encuentra en estado ferroso (Fe^{+2}) y manganeso (Mn^{+2}).

a) Aireación presurizada y filtración.

El proceso de aireación - filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso comúnmente incluye:

- Aireador.
- Tanque de retención.
- Filtros.

El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta con el O^{+2} , esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn^{+2} , excepto a valores de pH mayores de 9,5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales.

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples.

Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son:

- Costo Entrada alto.
- Requerimiento de un tiempo de retención.
- Tratamientos químicos adicionales si la concentración de Mn soluble es mayor a 1mg/L. (Valencia Christian E., 2013).

El tratamiento más indicado en cada caso está directamente relacionado con la calidad del agua y se puede escoger según las siguientes características:

Aguas que contiene solo hierro.

- Aguas que contiene hierro en combinación con materia orgánica.
- Aguas que contienen Hierro y Manganeso, pero cantidades no apreciables de ácidos orgánicos.
- Aguas que contienen Hierro y Manganeso, pero cantidades apreciables de ácidos orgánicos.
- Aguas que contiene solo Manganeso (**Sommerfeld, O., 1999**).

b) Oxidación -Filtración

El proceso de oxidación - filtración consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o carbonato de sodio (Na_2CO_3). Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro (**Romero Rojas, 2000**).

c) Filtración directa con la aplicación de sustancias químicas.

Si el hierro y manganeso una vez oxidados presentan tamaños muy pequeños que no se retienen en los medios granulares de los filtros se requiere de la aplicación de sustancias químicas (coagulantes y floculantes) para aglomerar las partículas oxidadas y formar flóculos lo suficientemente grandes para ser filtrados.

Los medios filtrantes granulares deben retener sólidos suspendidos (incluyendo el Fe y Mn oxidados) con tamaño mayor a 10mm. Un lecho filtrante diseñado adecuadamente y operando en condiciones óptimas es capaz de remover la mayoría de las partículas con tamaños de 5 a 10mm. Las partículas menores a 5 mm normalmente pasan a través del filtro dando como resultado concentraciones

residuales de Fe y Mn en el agua filtrada (**Piña M. y Rivera M., 2013**).

Los coagulantes son sustancias químicas utilizadas para neutralizar/desestabilizar las cargas eléctricas superficiales del material particulado, para permitir que se lleve a cabo una floculación. Los floculantes son químicos que crean flóculos compuestos por los mismos floculantes y otros agregados como resultado de un gran número de colisiones entre las partículas coaguladas. Los flóculos formados pueden ser removidos por sedimentación o filtración. Estos químicos se utilizan frecuentemente combinados, para obtener una función dual de coagulación y floculación (**Piña M. y Rivera M. 2013**).

d) Filtración en medios acondicionados.

Los medios filtrantes acondicionados (greensand, birm, antrasand y pirolusita) para remover hierro y manganeso son de naturaleza similar, y su capacidad de regeneración, adsorción y filtración depende de la distribución de tamaño de partícula, de su forma y de los precipitados de óxidos de manganeso [MnO₂(s)] en su superficie.

Normalmente se utiliza permanganato de potasio (KMnO₄) como agente oxidante, siendo éste de costo elevado y requiere de un estricto control en su aplicación debido a su alta toxicidad (**Sommerrfeld, 1999**).

e) Tecnologías alternativas

• Remoción de Fe y Mn por ablandamiento

El Fe y Mn pueden ser removidos efectivamente, junto con la dureza, ya sea por ablandamiento con zeolita o como parte del ablandamiento con cal o con cal/carbonato de sodio (**Piña M. y Rivera M., 2013**).

• Ablandamiento con zeolita

La zeolita utilizada para ablandamiento remueve concentraciones altas de Fe y Mn. El agua cruda se bombea a un filtro a presión empacado con zeolita seleccionada, la cual remueve la dureza

incluidos los cationes de Fe y Mn. Los iones de Fe y Mn son atrapados por la zeolita debido a su capacidad de intercambio catiónico. La regeneración se lleva a cabo mediante el retrolavado del medio con una solución de salmuera preparada con una solución de cloruro de sodio (NaCl). Los iones de Fe y Mn se separan de la zeolita durante el retrolavado debido a que son reemplazados por los iones de sodio. Finalmente, el medio se lava con agua limpia antes de continuar operando.

Una restricción del proceso es que no debe aplicarse ningún tipo de oxidante en el agua, ya que los iones de Fe y Mn pueden oxidarse (**Piña M. y Rivera M., 2013**).

- **Ablandamiento con cal/carbonato de sodio**

Cuando se aplica un ablandamiento con cal/carbonato de sodio, como beneficio adicional se obtiene una remoción completa de Fe y Mn. Si se desea remover únicamente el calcio del agua, se debe aplicar la cal o el carbonato de sodio hasta que el agua alcance un pH de 10. Si además de la dureza se pretende remover el Fe y Mn, se debe incrementar el pH arriba de 11 para que los iones ferroso y manganoso se precipiten como hidróxidos de hierro y manganeso. El precipitado formado se remueve junto con los lodos de carbonato de calcio. En este proceso, el Fe y Mn se oxidan por acción del O_2 a Fe^{+3} y Mn^{+4} (o especies de Mn^{+3}) antes del ablandamiento. Durante el ablandamiento con cal o carbonato de sodio pueden quedar concentraciones insignificantes de Fe y Mn que no requieren de un tratamiento adicional (**Piña M. y Rivera M., 2013**).

- **Estabilización por secuestro**

Los agentes secuestrantes son productos químicos utilizados para evitar que se precipiten los metales. Normalmente, tanto el silicato de sodio como las polifosfatos se utilizan para secuestrar Fe y las polifosfatos para secuestrar Mn. Muchas polifosfatos modernas tienen una larga cadena lineal de fosfatos; el arreglo de las moléculas a lo largo de la cadena protege de ataques al material

secuestrado y los sujetan durante cierto periodo de tiempo o hasta que algún otro factor rompa los enlaces. Los agentes secuestrantes no remueven al Fe y Mn, solo evitan que precipiten y se recomienda su aplicación sólo para sistemas pequeños y concentraciones menores 0.5 mg/L (Piña M. y Rivera M., 2013).

- **Métodos biológicos**

El hierro y manganeso también pueden ser removidos biológicamente. Los tratamientos biológicos siempre requieren de calidades y condiciones específicas del agua cruda, y no todas las aguas subterráneas o superficiales son factibles económicamente de ser tratadas. Los tratamientos biológicos pueden emplearse cuando los costos de inversión y operación son menores que los de un proceso fisico-químico.

- **Remoción in-situ**

La remoción in-situ consiste en la remoción de Fe y Mn directamente en el manto acuífero para obtener un agua de buena calidad. Este proceso es relativamente nuevo y solo existen algunas instalaciones en operación en Europa y en los Estados Unidos. Consiste en disolver oxígeno atmosférico en el agua que se utiliza para la recarga del acuífero, para posteriormente ser inyectada. El agua de recarga rica en oxidante (oxígeno) causa que el Fe y Mn formen una superficie de óxidos hidratados alrededor del acuífero, creando una zona de tratamiento. Cuando se termina la recarga, el agua subterránea rica en Fe y Mn pasa a través de esta zona por efecto de la extracción por bombeo. Las superficies de óxidos hidratados adsorben los iones de Fe y Mn, reduciendo las concentraciones de Fe y Mn disueltos.

Cuando la zona de tratamiento se agota (se pierde la capacidad de adsorción de Fe y Mn), se reactiva nuevamente, inyectando agua oxigenada de recarga. Los ciclos de recarga y extracción se repiten cuantas veces sea necesario. La duración de los ciclos está en función del agua extraída antes de que los niveles de Fe y Mn rebasen las concentraciones deseadas.

Para cuando se encuentra en estado férrico (Fe^{+3}) y mangánico (Mn^{+4}).

- Filtración con arena de sílice y cartuchos.
- Con arena verde manganeso.
- Calcita, para elevar el pH a 7.5 (**Valencia Christian E., 2013**).

1.2.2. Aireación

La aireación en la purificación y tratamiento de aguas se entiende por el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, proceso conocido químicamente como oxidación, el oxígeno atmosférico que se lleva al agua a través de la aireación reaccionará con los compuestos disueltos de Hierro y Manganeso convirtiéndolos en hidratos óxidos férricos y mangánicos insolubles. Estos pueden ser separados mediante la sedimentación o filtración (**Restrepo I, Sánchez L.D, Galvis A., Rojas J., Sanabria I. Y., 2007**).

Puede ser necesario una Aireación en los siguientes casos:

- Si el agua contiene gases en exceso:
 - Sulfuro de hidrógenos (H_2S): que da un sabor muy desagradable y se elimina fácilmente por una simple aireación atmosférica.
 - Oxígeno: cuando el agua se encuentra sobresaturada y su desprendimiento puede crear problemas en el funcionamiento de los decantadores (tendencia de los flocos a elevarse a la superficie) y de los filtros, que sufren un falso atascamiento por desgasificación en el seno de la masa filtrante.
 - Dióxido de carbono (CO_2): que hace agresiva al agua, su eliminación por aireación se efectúa a la presión atmosférica. Esta aireación debe ser más o menos completa, en función de la mineralización del agua. Efectivamente, puede ser necesario eliminar solo parcialmente el gas carbónico de forma que la porción restante sirva para incrementar la mineralización del agua por reacción sobre productos neutralizantes.
- Si el agua presenta un defecto de oxígeno, con la aireación se consigue entonces:
 - La oxidación de los iones ferroso y manganeso.
 - La nitrificación del amoníaco en ciertas condiciones.
 - El aumento del contenido en oxígeno con el fin de que el agua sea agradable para la bebida. Aportando oxígeno a un agua rica en amoníaco o en sulfatos,

se consigue en ciertos casos, combatir la anaerobiosis y evitar la corrosión de tuberías metálicas (**Orellana J.A., 2005**).

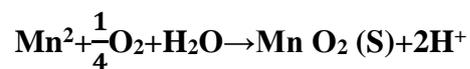
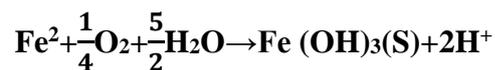
Factores que influyen en la aireación son:

- Temperatura
- Superficie de contacto
- La presión

➤ **Sistemas de Aireación**

La aireación se lleva a cabo para cumplir dos propósitos, transferir oxígeno (oxígeno disuelto) al agua mejorando sus características fisicoquímicas y organolépticas como olor, sabor y coloración, igualmente, remover gases como CO₂, H₂S, SO₂ (**AWWA, 2002**) y también es usado para remover químicos carcinogénicos como trihalometanos, radón, tricloroetileno, tetracloroetileno, tricloroetano, cloroformo y tolueno (**Loaiza Duque, 2009**).

La rapidez de la oxidación del hierro ferroso por el oxígeno depende de varios factores, en especial: temperatura, pH, contenidos de Hierro y de oxígeno disuelto. La reacción será tanto más rápida cuando se sube el pH y cuanto más próxima esté el agua a la saturación de oxígeno (**AWWA, 2002**). El Fe (II) y Mn (II) disueltos en el agua se oxidan con el oxígeno bajo condiciones adecuadas a sus formas precipitadas de hidróxido férrico y el dióxido de manganeso, representadas en las siguientes ecuaciones (**AWWA, 2002**):



La mayoría de las aplicaciones y sistemas de tratamiento con aireación se pueden describir mediante la ecuación de equilibrio de la Ley de Henry. Teóricamente 1 mg/L de O₂ oxida 7 mg/L de hierro divalente y 3.4 mg/L de manganeso divalente. La velocidad de oxidación es función del pH del agua, siendo más rápida a valores de pH mayores de 7 (**Loaiza Duque, 2009**).

➤ **Tipos de aireadores**

Los diferentes tipos de aireadores se los puede clasificar de la siguiente manera:

- a) Aireadores de aire difuso
- b) Aireadores de aspersion.

- c) Aireadores mecánicos
- d) Aireadores de gravedad.
 - Aireadores de cascada.
 - Aireadores de bandeja

a) Aireadores de aire difuso

Estos aireadores consisten en la inyección de gas, aire bajo la presión, por debajo de la superficie libre del fluido, por lo general son tanques rectangulares de concreto con tubos perforados u otros dispositivos que se encuentran cerca del fondo y a través de los cuales el aire comprimido se inyecta en el sistema y provoca como resultado la creación de burbujas de aire que aumentan el contacto entre el agua y el aire (**Rojas. J., 1999**).

b) Aireadores de aspersión

Están compuestos por boquillas colocadas en un tubo de distribución. Los aireadores de aspersión poseen un valor estético y agradan al público (son fuentes luminosas). Necesitan un área grande y por ello no son económicos. Son los aireadores más eficaces para el intercambio de gases y sustancias volátiles (**Rojas. J., 1999**).

c) Aireadores mecánicos

Para producir aireación mecánica se utiliza energía mecánica para poder provocar la separación del agua en gotas, en este tipo de aireadores el incremento de la transferencia de oxígeno se logra por la ampliación en el área de la interface aire-agua; estos aireadores pueden ser de eje vertical y horizontal.

d) Aireadores por gravedad

Se los denomina aireadores por gravedad ya que como su nombre lo indica utilizan la energía liberada cuando el agua pierde altitud al aumentar el área superficial se incrementa la concentración de oxígeno en el agua.

- Aireadores de cascada

En este tipo de aireadores el agua se deja caer, en láminas o capas delgadas sobre uno o más escalones de concreto para producir turbulencia en donde el agua entra en contacto íntimo con el aire creando la transferencia de gas, este aireador produce una pérdida de energía grande,

pero es muy sencillo. La aireación en vertederos y aliviaderos es factible cuando existe suficiente energía disponible.

Las Cascadas escalonadas son reconocidas como altos intercambiadores potenciales de gas aire-agua. En los ríos naturales, estas estructuras mejoran la transferencia de oxígeno al agua mediante la creación de turbulencias en la interfaz con el aumento de la entrada de aire en el agua y la superficie aire-agua de intercambio. Las cascadas escalonadas son muy útiles para mejorar el proceso de autodepuración natural liberando oxígeno a los microorganismos aerobios. El rendimiento de aireación de estas estructuras depende de varios Parámetros geométricos y de funcionamiento (**Hatem Khdhiri, OP, JPL.2014**).

- Aireadores de bandejas múltiples

Los aireadores de bandejas múltiples consisten en una serie de bandejas equipadas generalmente con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base. Por lo general se usan de 3 a 5 bandejas con espaciamiento entre bandejas de 30 a 75 cm. La altura de estos aireadores suele ser de 2m a 3m. (**Rojas. J., 1999**)

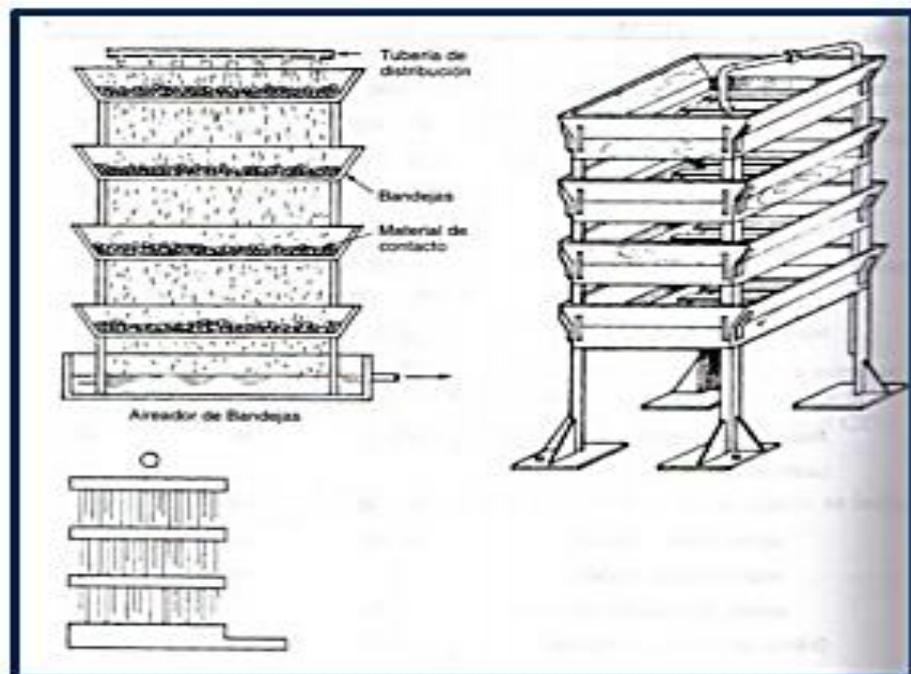


Figura 1: Aireadores de bandeja múltiple

Para el diseño de un aireador de bandejas se debe considerar los siguientes factores:

Cuadro 2: Parámetros de diseño: aireador de bandeja

AIREADOR DE BANDEJAS					
Autor, entidad	Carga superficial	Área de bandejas	Numero de bandejas	Espaciamento entre bandejas	Referencia
	(m ³ /m ² /día)	m ²	un	(m)	
RAS 2000	< 100	0,5 a 2 por cada 1000 m ³ de capacidad	3 a 5	0,3 a 0,75	Ministerio de desarrollo económico, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Bogotá 2000 p. C.32
Jairo Romero	<100	0,05 a 0,15 por l/s de agua tratada	3 a 9	0,3 a 0.75	Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del agua. Bogotá 2000 p.35

Fuente: Cárdenas A. y Medina J. (2017)

1.2.3. Sedimentación

Por la sedimentación se denomina el proceso mediante el cual se sientan los sólidos suspendidos en un fluido, bajo la acción de la gravedad. (**Pérez L.E., 2005**). En general, los sólidos mayores decantan con velocidades rápidas, adelantándose a las partículas más finas durante su descenso. El viento, las perturbaciones hidráulicas, corrientes inducidas por densidad o temperatura producen efectos de corte y turbulencia que aumentan el contacto entre partículas. Si cualquiera de las partículas que interactúan tiene características aglomerantes, se da un crecimiento de flóculos. Cuanto mayor es la profundidad del tanque mayor es la oportunidad de contacto. Por tanto, la eliminación depende de la profundidad del tanque, así como de las propiedades del fluido y de las partículas.

➤ Tipos de sedimentación:

- a) La sedimentación simple: cuando las partículas que se asientan son discretas, o sea partículas que no cambian de forma, tamaño o densidad durante el descenso en el fluido.
- b) La sedimentación inducida: cuando las partículas que se sedimentan son aglomeradas asea que, durante la sedimentación, cambiando de forma y tamaño y aumentando de peso específico. (Pérez L.E., 2005)

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm. (Pérez L.E., 2005)

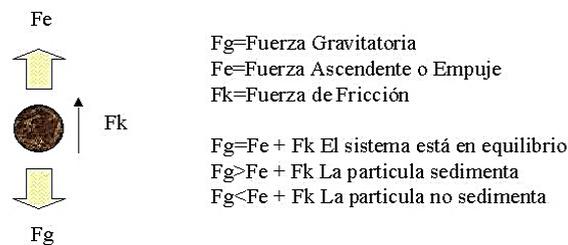


Figura 2: Fuerzas que intervienen en el mecanismo de sedimentación de una partícula.

Un diagrama simple de una operación de sedimentación consiste en lo siguiente: El agua a tratar o influente llega al sedimentador y después de un cierto tiempo de estancia o residencia en el sedimentador, los sólidos suspendidos y que son susceptibles de sedimentar se separan del seno del líquido por acción de la gravedad. En este tipo de tratamiento se tienen dos productos: el agua tratada con un menor contenido de sólidos, y el lodo mismo o sólidos sedimentados. Es deseable que el contenido de sólidos en el lodo producido sea lo más compacto posible; ya que este lodo se debe filtrar y/o secar, y lo más conveniente es minimizar el volumen de lodos producidos (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. S.f)

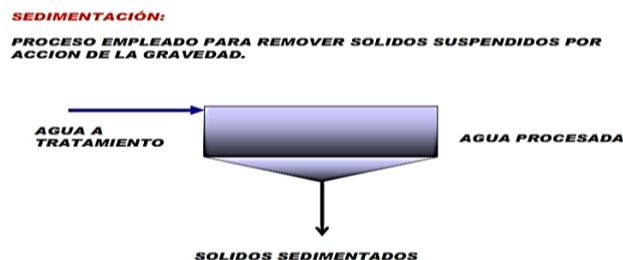


Figura 3 : Proceso de sedimentación

➤ **Mecanismo de la separación sólido-líquido**

La separación del material en suspensión del líquido que lo contiene involucra un proceso netamente físico. En este proceso se manifiestan una serie de fuerzas como son:

- La fuerza que provoca que el sólido sedimente y que se debe a la acción de la gravedad.
- La fuerza de oposición o el empuje que se manifiesta por el desplazamiento del líquido por la partícula suspendida que se desplaza verticalmente hacia abajo.
- La fuerza de fricción que se debe al desplazamiento de la partícula por el fluido.

Si la fuerza gravitatoria es mayor que las fuerzas de oposición, la partícula se precipita al fondo del recipiente (sedimenta), de lo contrario, la partícula no se separa del líquido y será arrastrada por el líquido sobrenadante que sale en la parte superior del sedimentador.

El factor principal que conduce a la sedimentación es la densidad de la partícula. A mayor densidad, mayor fuerza gravitacional y más eficiente separación del sólido. También influye en la separación la densidad del líquido. En nuestro caso, en que estamos hablando específicamente de tratamiento de aguas, el líquido a considerar es agua. El agua tiene una mayor densidad a menores temperaturas. Si la densidad del agua es baja el líquido se separa más fácilmente, ya que la fuerza de oposición está directamente relacionada a la densidad del fluido en que se desplaza la partícula. Aunque la densidad del agua a 10°C y a 30°C no es muy diferente, esta mínima diferencia se manifiesta en una mejor separación del sólido a altas temperaturas, por lo tanto, se puede generalizar: a mayor densidad del sólido mejor separación del mismo; a menor densidad del agua (a altas temperaturas) la separación de los sólidos o sedimentación es más eficiente **(Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas., S.f)**.

1.2.4. Filtración

La filtración es una de las operaciones unitarias más importante en el tratamiento de agua para el consumo humano, su objetivo básico es separar las partículas y

microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación-floculación. En consecuencia, el trabajo del filtro depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios (**Arboleda, 1973**).

Los Parámetros que influyen en la eficiencia de la filtración son:

- Calidad de agua influente
- Granulometría del material filtrante
- Resistencia química y mecánica del material filtrante, forma de las partículas
- Altura del lecho
- Carga hidráulica
- Velocidad de operación (**Arboleda, 1973**).

➤ **Elección del tipo de filtración**

La elección entre los diversos tipos de filtración sobre soporte y la filtración sobre lecho filtrante, depende de diversos criterios:

- Características del líquido a filtrar, de sus impurezas y de su evolución con el tiempo;
- Calidad del filtrado que debe obtenerse y tolerancias admitidas;
- Calidad del aglomerado de las materias retenidas, si se tiene como fin su recuperación (**Degrémont, 1979**).

➤ **Tipos de filtración**

Dentro del proceso de filtración podemos diferenciar diferentes tipos en función de:

1. Material a separar → Filtración convencional, microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa. Ultrafiltración.
2. Fuerza impulsora → Filtración por gravedad, por presión, por vacío o por centrifugación
3. Tipo de flujo → Constante o variable
4. Mecanismo de retención → Pueden ser:
 - a) Filtros en superficie (en torta, sobre soporte) → Cuando las partículas tienen un tamaño suficiente, quedan retenidas en la superficie filtrante, perpendicularmente al flujo del agua.
 - b) Filtros en profundidad (en volumen, sobre lecho filtrante) → Cuando las partículas tienen un tamaño pequeño, pueden quedar adsorbidas en el

interior de la masa porosa por diferentes mecanismos (Van der Waals, coagulación.)

c) Filtros tangenciales → Análogos a los filtros en superficie, pero con la diferencia de que el agua circula paralelamente a la superficie de filtración.

5. Velocidad de filtración → Podemos distinguir entre: a) Filtración lenta con formación de capa biológica b) Filtración rápida, con altas velocidades de filtración (**Pérez F. J; Urrea M. A., 2011**).

De las diferentes clasificaciones expuestas nos centraremos en los distintos tipos de filtración en función de la velocidad de filtración.

➤ Consideraciones Previas

Es conveniente realizar una sedimentación previa a la filtración en los siguientes casos:

- 1) Cuando la concentración de partículas es muy elevada y, por tanto, también el volumen de flóculos formados, el proceso de filtración tiene el inconveniente de que el elemento filtrante se colmata muy rápidamente.
- 2) También, cuando las fuerzas de unión de los flóculos no son muy grandes, se pueden romper por el cizallamiento que sufren durante la filtración a través de un medio granular, pasando las sustancias que los componen al producto final, como ocurre con los flóculos de hierro y aluminio. Muchos contaminantes habituales del agua, como virus, metales pesados, pesticidas, etc., pueden estar asociados a partículas, por lo que una filtración adecuada aumenta significativamente la eficacia de los tratamientos de potabilización (**Pérez F. J; Urrea M. A., 2011**).

Filtración Rápida

En el proceso de filtración rápida, el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidad de 4 a 50 m/h. La acción biológica es prácticamente nula, se observa solamente una nitrificación en ciertos casos en los que se limita la velocidad, el contenido en oxígeno es suficiente y se encuentran en el agua bacterias nitrificantes en condiciones nutritivas favorables. (**Orellana J.A., 2005**)

- Requisitos:

a) Número de unidades:

El número de unidades de filtración se determinará mediante un estudio económico o condiciones especiales del proyecto. El número mínimo será de dos unidades.

b) Dimensiones de las unidades filtrantes.

Profundidad: Será una función de las alturas del sistema de drenaje del medio de soporte y medio filtrante, de la altura de agua sobre el medio filtrante y de la altura de borde libre. La altura de agua sobre el lecho filtrante es variable y depende del tipo de operación del filtro. **(RNE 2006)**

Largo y ancho: La relación largo-ancho será determinada por un estudio económico o por las condiciones especiales del proyecto **(Arboleda, 1973).**

c) Filtros rápidos con lechos mixtos y múltiples

✓ **Tasa de filtración:** Deberá fijarse de acuerdo con el tamaño del material empleado y profundidad del lecho, preferentemente mediante ensayos en filtros piloto. Estos valores se encuentran entre los siguientes límites:

Mínima: $180 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ (1)

Máxima: $300 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ (2)

Normal: $200\text{-}240 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ (3)

(1) Material fino y bajo nivel de operación y mantenimiento

(2) Material grueso y condiciones excepcionales de operación y mantenimiento.

(3) Material grueso y condiciones normales de operación y mantenimiento

(RNE, 2006).

✓ **Capa soporte del medio filtrante:** Depende del tipo de drenaje empleado y deberá cumplir las especificaciones indicadas **(Arboleda 1973).**

- La granulometría y el espesor de la grava dependen del tipo de drenaje. Para drenajes diferentes a las viguetas prefabricadas, ver las recomendaciones del proveedor.

- Para el caso de viguetas prefabricadas respetar la siguiente granulometría:

Sub camada	Espesor(mm)	Tamaño(mm)
1(fondo)	10-15	25.4 - 50 1"-2"
2	7.5-10	12.7 - 25.4 ½"-1"
3	7.5-10	6.4 - 12.7 ¼"- ½"
4	7.5-10	3.2 - 6.4 1/8"-1/4"
5(superficie)	7.5-10	1.7 - 3.2 1/16" – 1/8"

- En cuanto a las condiciones físicas a cumplir por la grava, se tienen las siguientes:

- Debe ser obtenida de una fuente que suministre piedras duras, redondeadas, con un peso específico no menor de 3,5 (no más de 1% puede tener menos de 2,25 de peso específico).
- La grava no deberá contener más de 2% en peso de piedras aplanadas, alargadas o finas, en las que la mayor dimensión excede en tres veces la menor dimensión.
- Deberá estar libre de arcilla, mica, arena, limo o impurezas orgánicas de cualquier clase.
- La solubilidad en HCl al 40% debe ser menor de 5%.
- La porosidad de cada subcapa debe estar entre 35 y 45% (**RNE, 2006**).

✓ **Medios filtrantes:**

Todos los filtros requieren un medio filtrante para la retención de sólidos, ya sea que el filtro esté adaptado para la filtración de torta, como medio de filtración o filtración en profundidad. La especificación de un medio de filtración está basada en la retención de un tamaño mínimo de partícula y una buena eficiencia en la eliminación por separación, así como también una aceptable duración. La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro (**Perry, R., Green, W. 2001**).

El medio ideal para la filtración debe poseer las siguientes características:

- a) Ser lo suficientemente grueso para tener intersticios entre los granos con gran capacidad de almacenamiento.
- b) Suficientemente fino para retener el paso de los sólidos suspendidos.
- c) Una altura suficiente para proporcionar la duración de Carrera de filtración deseada
Una graduación adecuada para permitir un lavado eficiente (poco dispersa) (RNE, 2006).

Entre los materiales filtrantes más usados se encuentran la arena y la antracita, perlita y carbón activado en polvo o granulado, en la actualidad se reportan con muy buenos resultados materiales como el poliestireno y zeolita natural. Un filtro se puede rellenar con un sólo tipo de medio o una combinación de éstos.

Cuadro 5-17. Características de los lechos dobles

Características	Arena	Antracita
Espesor de la capa (m)	0,20-0,50	0,40-1,0
Tamaño Efectivo (mm)	0,50-0,93	1,0-13
Coefficiente de uniformidad	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
Tamaño Máximo (mm)	1,41	2,38
Tamaño Mínimo (mm)	0,42	0,70

Fuente: Manual II diseño de planta de tecnología apropiada

La Arena:

- La arena debe cumplir con las siguientes especificaciones:
 - a) El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
 - b) Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0,7%.
 - c) La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
 - d) La solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas debe ser <5%.
 - e) El peso específico, es el peso en gramos que pesa un cm³ de este cuerpo el cual no deberá ser menor a 2.60
- El espesor y características granulométricas del medio filtrante deberán ser determinados mediante ensayos en filtros piloto. Los valores se encuentran entre los siguientes límites: espesor 0,60 a

0,75 m, tamaño efectivo entre 0,5 a 0,6 mm, tamaño mínimo 0,42 mm y máximo 1,17 a 1,41 mm. El coeficiente de uniformidad en todos los casos debe ser menor o igual a 1,5.

- El espesor de la capa de arena deberá ser de 1/3 del espesor total del lecho.
- Cuando el filtro funcione parcial o permanentemente con filtración directa, la granulometría del material deberá ser más gruesa. El tamaño efectivo del material podrá ser de 0,7 mm, el tamaño mínimo de 0,5 a 0,6 mm, y el tamaño máximo de 1,68 a 2,0 mm y el espesor de 0,8 a 1,0 m (**COX 1979, Sokolovie 1995, Nikoladze 1989, Márquez 1992, 1995**).

Antracita:

- Las características físicas del material deberán ser las indicadas
 - a) Dureza mayor de 3 en la escala de Moh.
 - b) Peso específico mayor de 1,55
 - c) Contenido de carbón libre mayor del 85% en peso.
 - d) La solubilidad en HCl al 40% en 24 horas debe ser menor de 2%.
 - e) En una solución al 1% de NaOH no debe perderse más de 2% del material.

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría deberá seleccionarse de acuerdo con el tamaño efectivo de la arena, de tal forma que no se produzca un grado de entremezcla mayor de 3. Para que esto se cumpla, el tamaño correspondiente al D90 de la antracita debe ser el triple del tamaño efectivo de la arena.
- El espesor deberá ser 2/3 de la altura total del lecho filtrante, puede variar entre 0,50 y 1,0 m.
- Las características físicas deberán ser determinadas preferentemente, en ensayos en filtros piloto; los rangos usuales se encuentran entre los siguientes valores: espesor mínimo de 0,45 m, tamaño efectivo de 0,75 a 0,9 mm, tamaño mínimo de

0,59 mm, tamaño máximo 2,38 mm y coeficiente de uniformidad menor o igual a 1,5 (RNE, 2006).

✓ **Otros medios filtrantes**

Podrán usarse otros medios filtrantes, siempre que se justifiquen mediante estudios en filtros piloto.

Las zeolitas

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos (especialmente Na, K, Mg y Ca), estructurado en redes cristalinas tridimensionales, tetraedros compuestos de SiO₄ y AlO₄ unidos entre sí a través de átomos de oxígeno (A. Fungaro, 2012).

➤ **Ventajas de la zeolita**

- a) Reduce un poco la acidez del agua.
- b) Se requiere una menor cantidad de producto respecto a la arena silica por la porosidad y densidad.
- c) Posee una mayor superficie y porosidad.
- d) Produce una mayor claridad en el agua filtrada.
- e) La zeolita es el medio filtrante más durable (más de 5 años).
- f) La zeolita solo requiere de un simple retro lavado periódico para mantener su eficiencia y su desempeño.
- g) La zeolita tiene una capacidad de flujo 4 veces superior a la de los medios filtrantes convencionales.
- h) Reduce los costes por el ahorro en productos químicos.
- i) La zeolita incrementa el flujo en equipos con multimedia y sistemas de gravedad y presión comparado con los filtros de arena (alerman et al., 2008).

➤ **Zeolita natural clinoptilolita.**

Las zeolitas comprenden un grupo de aluminosilicatos cristalinos e hidratados de aluminio, con cationes alcalinos y alcalino-térreos, y con una ordenación tridimensional (tectosilicatos) donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder agua y cationes, sin cambios importantes en el edificio cristalino. Constituyen el

grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre (Costafreda M., 2014)

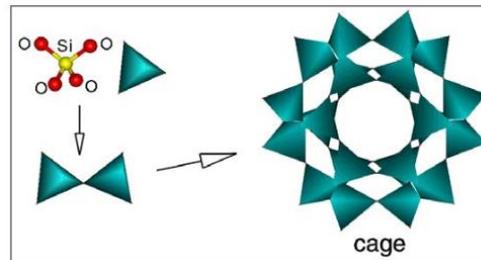
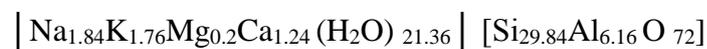


Figura 4: Unidad estructural básica de una zeolita, mostrando la disposición de los átomos de oxígeno y de silicio.

La clinoptilolita, cuya fórmula general es:



A nivel mundial se han realizado estudios para tratamiento de agua. La clinoptilolita es una zeolita natural con capacidad de adsorción excepcional. Estos resultados se han verificado en la práctica, en Chechenia y en Belgrado durante el conflicto de los Balcanes. La zeolita es uno de los mejores materiales filtrantes en la naturaleza para la filtración de agua. Su porosidad, superficie específica y capacidad de intercambio catiónico natural la convierten en un medio filtrante muy superior a la arena, carbón activado, antracita y otros minerales. La zeolita natural elimina partículas contaminantes de 10µm e inferiores, adsorbe cationes en solución y metales pesados como Plomo, Cobre, Cadmio, Zinc, Cobalto, Cromo, Manganeso y Hierro.

➤ **Propiedades Físicas**

- Tamaño: 1.18 mm
- Mala: 12-30
- Color: Blanco
- Retención de humedad: 31.4 %
- Porosidad: 35%
- Área de superficie: 25 m²/ gramo
- Absorción Superficial: Hidrofílica
- Carga superficial: Negativa

- Densidad específica: 1830 kg/m³
- Coeficiente de Variación: 2.45
- Peso Volumétrico (PVS): 725 Kg/m³
- Peso Volumétrico Varillado (PVVF): 780 Kg/m³
- Dureza Mohs: 3
- Estabilidad Térmica: Hasta 500° (**Acoua tecnología, S.F.**)

La zeolita se utiliza para el tratamiento del agua potable como filtro. Reduce el coste de la materia por el ahorro de los costes de los productos químicos. Reduce el hierro, manganeso y antimonio. El efecto de la zeolita también elimina eficazmente los iones de amonio del agua potable y las aguas residuales, donde las zeolitas se pueden utilizar tanto para la filtración química, como para el tratamiento biológico del sustrato. A medida que el biofiltro de purificación de agua proporciona un entorno adecuado para el crecimiento de cultivos bacterianos, se oxidan de NH₄ a NO₃.

➤ **Propiedades químicas**

Las aplicaciones comerciales de las zeolitas, se encuentra en función de sus propiedades físico –químicas, como son su capacidad de intercambio iónico, la adsorción, la deshidratación – hidratación y el tamiz molecular, etc. (**Bascuñan & Soca, 1995**).

a) Adsorción

En condiciones ambientales, la cavidad central, así como sus canales, se encuentran repletos por moléculas de agua en forma de esferas que rodean a los cationes intercambiables. Si el agua es desplazada a temperatura adecuada (según el tipo de Zeolita), estos serán capaces de adsorber moléculas cuyo diámetro sea inferior al de la cavidad central, es decir, que adsorben algunas moléculas, mientras que a otras no las deja pasar (**Bascuñan, c, Soca M, 1995**)

b) Hidratación – Deshidratación

Es un fenómeno físico que varía en función de la presión y temperatura, así como de su armazón estructural, siendo el efecto

directo endotérmico y la rehidratación exotérmica. La importancia de esta propiedad es porque ocurre sin que se produzca alteración en el armazón estructural de estos minerales (**Bascañan & Soca, 1995**).

c) Intercambio Iónico

El intercambio iónico está dado por poseer una geometría molecular bien definida, con poros generalmente llenos de agua y cuyos enlaces forman canales y cavidades que le permiten ganar y perder agua reversiblemente e intercambiar los cationes de su estructura, sin que este se altere.

Debido a esta conformación, las zeolitas presentan una estructura microporosa adecuada para la acción catalítica, lo que las convierte en un material ideal para muchos procesos químicos industriales. Esta propiedad de permitir específicamente el paso de algunas moléculas y no de otra que se aprovechó en los años 90 para introducirla comercialmente como cribas moleculares en los procesos industriales que lo requieran (**Casals, 1998**).

d) Tamiz Molecular

Lo más importante de las zeolitas es su propiedad de servir de tamiz molecular.

Debido a su estructura cavernosa asegura una enorme área en su interior, pero al paso a las mismas está limitado solo a moléculas con un tamaño determinado que pueden pasar a través del tamiz. El volumen vacío en algunas zeolitas puede alcanzar valores tan altos como un 47% (chabazitas), mientras que las dimensiones de los canales, en las distintas especies de minerales de zeolita, permiten el paso de moléculas con diámetros específicos efectivos de varios angstroms, las cuales son absorbidas en los espacios vacíos; esto explica el empleo de algunas zeolitas como absorbentes industriales (**Casals, 1998**).

1.3. Definición de términos.

- **Adsorción:** proceso de atracción o adhesión de las moléculas o iones de una sustancia en la superficie de otra, siendo el tipo más frecuente el de la adhesión de líquidos y gases en la superficie de los sólidos. **(RNE-OS 020, 2006).**
- **Aereación:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido). **(RNE-OS 090, 2006).**
- **Agua:** El agua es una molécula compuesta por tres átomos: dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, por lo que su fórmula molecular es H₂O. **(Monte, 2016).**
- **Agua de consumo humano:** Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. **(Reglamento de calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Agua Potable:** Agua apta para el consumo humano. **(RNE-OS 020, 2006).**
- **Agua superficial:** es aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Estas masas de agua sobre la superficie de la tierra, forma ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales, y otros similares, sean naturales o artificiales. El agua superficial es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas. **(RNE-OS 020, 2006).**
- **Calidad de agua:** Referido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por los procesos naturales y actividades humanas. **(SUNASS, 2000).**
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por una determinada sección en la unidad de tiempo. **(SUNASS, 2000).**
- **Colmatación del Filtro:** Efecto producido por la acción de las partículas finas que llenan los intersticios del medio filtrante de un filtro o también por el crecimiento biológico que retarda el paso normal del agua. **(RNE-OS 020, 2006).**
- **Diseño:** Es la organización, en un equilibrio armonioso, de materiales, de procedimientos u de todos los elementos que tienden a una determinada función. **(Nagy, 1947).**

- **Efluente:** Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento. (RNE-OS 020, 2006).
- **Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar. (RNE-OS 090, 2006).
- **Caja de Filtro:** Estructura dentro de la cual se emplaza la capa soporte y el medio filtrante, el sistema de drenaje, el sistema colector del agua de lavado, etc. (RNE-OS 020, 2006).
- **Filtración:** La filtración es una de las operaciones unitarias más importantes en el tratamiento de agua para el consumo humano, su objetivo básico es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación-floculación. (Arboleda, 1973).
- **Hierro:** El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/l. También puede haber hierro en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua. (Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012).
- **Manganeso:** El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO₂ que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. (Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012).
- **Carrera de Filtro:** Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo. Generalmente se expresa en horas. (RNE-OS 020, 2006).
- **Análisis:** El examen de una sustancia para identificar sus componentes (RNE-OS 090, 2006).
- **Sedimentación:** al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. (RNE-OS 020, 2006).
- **Tasa Declinante De Filtración:** Condición de operación de un filtro en el que la velocidad de filtración decrece a medida que se colmata el filtro. (RNE-OS 020, 2006).

- ***Zeolita natural:*** silicato natural complejo de ciertas rocas volcánicas, la zeolita tipo Clinoptilolita tiene la siguiente fórmula, $(Na) \cdot 24H_2O$, siendo el sodio el principal elemento intercambiable pero puede contener en menor proporción otros cationes como el potasio o calcio. (Costafreda M., 2014).

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Material para construcción del filtro.

- ✓ 2 baldes de 20 l
- ✓ Tubería de PVC de ¾"
- ✓ Tubería de PVC de ½"
- ✓ Llaves de paso
- ✓ Grifo
- ✓ Codos
- ✓ Uniones de PVC rosca de ½"
- ✓ Tapones de PVC de ½"
- ✓ Niples de PVC de ½" x 2"
- ✓ Tees
- ✓ Pegamento Pvc
- ✓ Silicona
- ✓ Arena de 1 mm
- ✓ Zeolita Clinoptilolita
- ✓ Grava de ¼ pulg.

2.1.2. Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos

- ✓ Peachimetro.
- ✓ Espectrofotómetro
- ✓ Conductímetro
- ✓ Reactivos para hierro y manganeso

2.2. Método.

2.2.1. Tipo y nivel de Investigación.

Tipo de investigación: Aplicada

Puede tener una aplicación inmediata en la solución de problemas prácticos. (**Fidias G., 2006**)

Nivel de investigación: Experimental

La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). (Fidias G., 2006)

2.2.2. Diseño de investigación.

Para el diseño de contrastación de la hipótesis se empleará el diseño de pre - test, post-test, con un solo grupo; se aplicará el pre - test (a la entrada de la batería de filtros) al agua superficial proveniente de la microcuenca Juninguillo la mina, se manipulará la variable independiente, en donde la batería de filtros empacados en zeolita hará su proceso de remoción de hierro y manganeso, luego se administrará un post-test (a la salida de la batería de filtros) al agua tratada. Con los datos obtenidos haremos una comparación de los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua tratada con los Límites Máximos Permisibles, y con ello comprobaremos si remueve eficientemente el hierro y manganeso para obtener agua apta para el consumo humano.

Diagrama del diseño:



Donde:

X = Variable independiente

O_1 = Medición pre - experimental de la variable independiente

O_2 = Medición post-experimental de la variable independiente

2.2.3. Población y muestra

a. Población

$N = 35 \text{ m}^3/\text{día} = Q$

b. Muestra

Se realizaron 28 muestras (16 muestras con filtración directa, 12 muestras con pretratamiento de aireación y sedimentación) de 1 L de agua

cada una, haciendo un total de 28 litros que han sido llevados a laboratorio.
(Digesa,2015)

2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

➤ Técnicas de recolección de datos.

De Fuentes primarias:

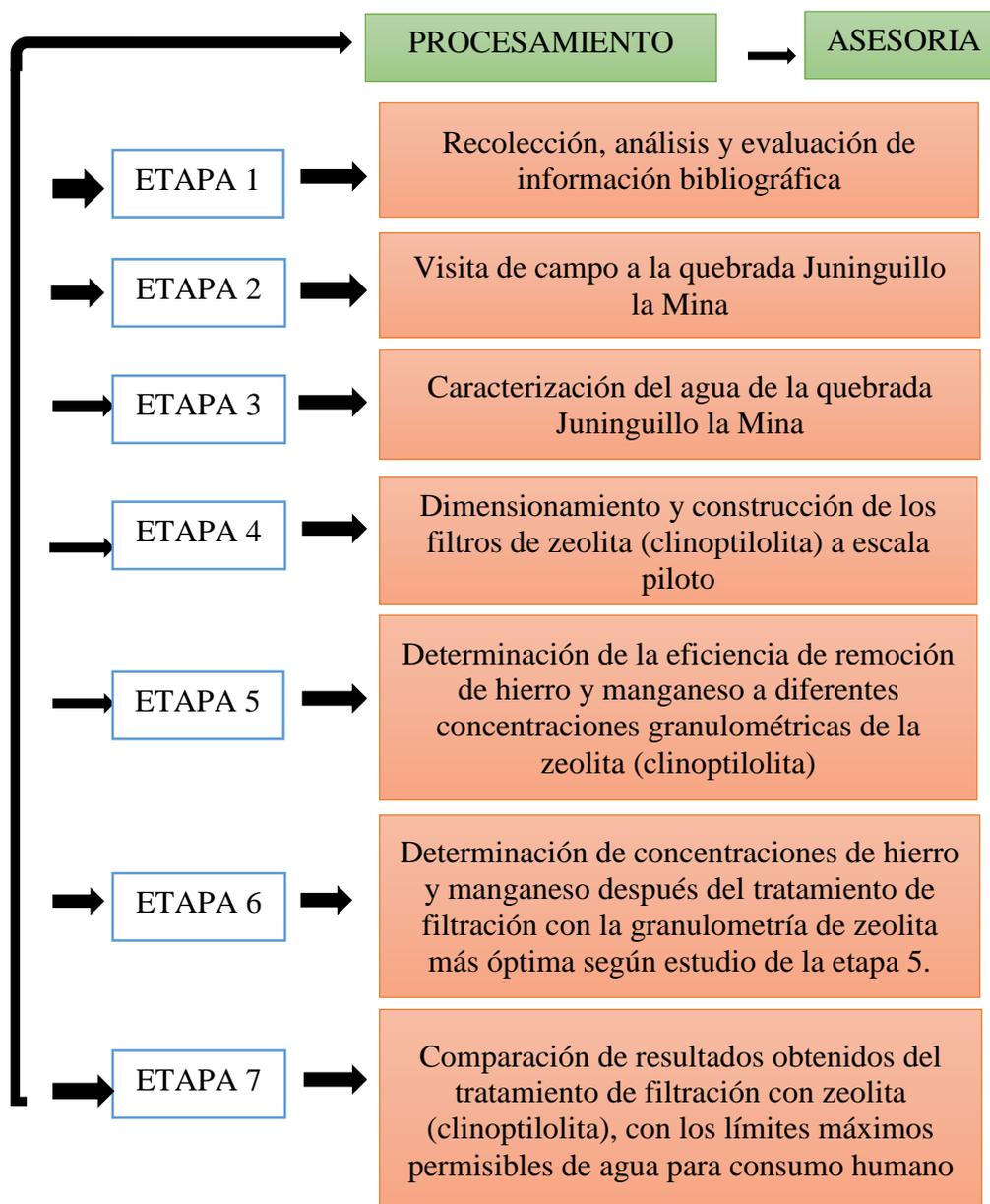


Figura 5: Diagrama metodológico

- **Recolección, análisis y evaluación de información bibliográfica:**

Se procedió a realizar la recolección de la información mediante la revisión bibliográfica tanto en libros como en la red virtual relacionadas

a la filtración con zeolita del tipo clinoptilolita; siendo esta una de las etapas más importantes en el tratamiento de agua potable.

La información obtenida se realizó utilizando herramientas y metodologías apropiadas, una vez obtenida la información necesaria esta fue analizada y evaluada, seleccionando lo necesario la cual nos ayudó a lograr los objetivos de esta investigación.

- **Visita de campo a la quebrada Juningullo la Mina**

Para la realización del diagnóstico situacional y la recolección de datos de la quebrada Juningullo la Mina de la ciudad de Moyobamba, se ha tomado en consideración dos aspectos fundamentales:

Aspecto Técnico - Operativo: Que describe el proceso de conducción del agua de la quebrada hasta la incorporación en la planta piloto de tratamiento mediante filtración.

Aspecto Gerencial - Administrativo: Que comprende información sobre datos históricos de estudios anteriores por parte de la EPS Moyobamba, accesibilidad a la zona de estudio, entre otros recursos necesarios para el proceso.

- **Caracterización del agua de la quebrada Juningullo la Mina.**

Se realizó la caracterización del agua superficial de la quebrada Juningullo la Mina, ya que se debería de conocer las concentraciones de entrada de los parámetros básicos para estudios de tratamiento de agua para consumo humano, para realizar los algunos cálculos de dimensionamiento de planta de tratamiento, así mismo es necesario conocer específicamente los Parámetros de hierro y manganeso que son objeto de nuestro estudio.

- **Dimensionamiento y construcción de los filtros de zeolita (clinoptilolita) a escala piloto**

Se realizó el correcto dimensionamiento, siguiendo la secuencia de cálculo para la construcción de los filtros de zeolita (clinoptilolita).

- **Determinación de la eficiencia de remoción de hierro y manganeso a diferentes concentraciones granulométricas de la zeolita (clinoptilolita).**

Se realiza los respectivos tratamientos de filtración directa utilizando diferentes concentraciones granulométricas de material filtrante en estudio (zeolita de tipo clinoptilolita) para determinar cuál es más eficiente en la remoción de hierro y manganeso.

- **Determinación de concentraciones de hierro y manganeso después del tratamiento de filtración con la granulometría de zeolita más óptima según estudio de la etapa 5.**

Se realiza los respectivos tratamientos mediante filtración utilizando zeolita como material filtrante, pero conociendo ya la granulometría más eficiente en remoción de hierro y manganeso y además de ello adicionando a este un sistema de pretratamiento que consiste en aeración y decantación para mejorar la eficiencia de remoción de hierro y manganeso de la zeolita en los filtros.

De fuentes secundarias:

La información recolectada de las fuentes secundarias estuvo basada en el entorno de influencia indirecta; ello sirvió para complementar la fuente primaria.

Las fuentes que se tomaron en cuenta son: artículos, publicaciones, libros, proyectos de tesis; cabe recalcar que a nivel local y nacional no se viene tratando las aguas para el consumo humano con material filtrante que es la zeolita (clinoptilolita).

➤ **Instrumentos de recolección de datos.**

Los equipos y/o instrumentos para la recolección de datos fueron:

- Cámara fotográfica.
- Peachímetro.
- Espectrofotómetro.
- Conductímetro.
- Turbidímetro digital.

2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

- ✓ Cálculos matemáticos
 - Dimensionamiento de la aireación de bandejas múltiples.

- Dimensionamiento de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita).
- Eficiencia de remoción de los Parámetros de hierro y manganeso.

✓ Programas de Ingeniería

- Auto CAD: Para el diseño de la aireación de bandejas múltiples y de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita).
- Software Excel

✓ Estadística descriptiva

- t student
- La media
- la desviación estándar

Para el análisis de la eficiencia de la remoción de parámetros se utilizó la siguiente formula aplicada por **(Scavo, 2004)**, como se detalla a continuación:

$$\% \text{ eficiencia de remoción} = \frac{\text{Concentración}_{\text{entrada}} - \text{Concentración}_{\text{salida}}}{\text{Concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

3.1. Caracterización del agua superficial del agua de la quebrada Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba.

Tabla 1

Caracterización del agua de la quebrada Juninguillo la Mina

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	Valor de pH	6,87
Fe⁺²	mg Fe L-1	1,0
Mn⁺²	mg Mn L-1	0,04
Turbidez	UNT	25,0
S.T. D	mg/L-1	25,0
Conductividad	μS/cm	50,0

Nota: EPS. Moyobamba

En la tabla 01, muestra los resultados del análisis del agua de la quebrada Juninguillo la Mina realizado en la fuente sin ningún tratamiento, los resultados mostrados, son el punto de inicio de los tratamientos con el cual se podrá tener en cuenta algunos criterios de diseño.

La caracterización en la entrada del agua de la quebrada Juninguillo la Mina nos permitió determinar las concentraciones en las cuales se encontraban los parámetros fisicoquímico evaluados durante el estudio; lo que puede determinar que: el pH se encuentra en un valor de 6,87, los metales pesados como el hierro y el manganeso se encuentran en 1,0 y 0,04 mg/L respectivamente, la turbidez tiene un valor de 25,0 unidades nefelométricas de turbiedad, los sólidos totales disueltos se encuentran en un valor de 25,0 mg/L y la conductividad con 50,0 μS/cm.

3.1.1. Dimensionamiento y construcción del aireador y el filtro de zeolita clinoptilolita).

a) Diseño de aireador

El aireador de bandeja múltiple consiste en una serie de bandejas que cuentan con ranuras en el fondo que permiten el paso del agua, por medio de caída libre y se produce un tiempo de exposición del agua para que entre en contacto con el aire, esto permite modificar la concentración de sustancias volátiles contenidas en el agua cruda.

Como punto de partida para el diseño de las bandejas de aireación se tomó el caudal de diseño $35 \text{ m}^3/\text{día}$

La carga superficial según lo estipulado

$$CH < 100 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$$

Donde:

CH= Carga superficial

- De esta forma se determinó el área total de bandejas.

$$At = \frac{Qd}{CH}$$

$$At = \frac{35 \text{ m}^3 / \text{dia}}{100 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}}$$

$$At = 0,35 \text{ m}^2$$

- De acuerdo con la información en el cuadro 2: parámetros de diseño aireador de bandejas establece que el número de bandejas debe estar entre 3 y 9 bandejas.

$$Ab = \frac{At}{n}$$

Donde:

Ab: área de la base

n: Numero de bandejas

$$Ab = \frac{0,35 \text{ m}^2}{4}$$

$$Ab = 0,09 \text{ m}^2$$

- Cada bandeja es rectangular por tanto se determina la longitud de cada lado, con la siguiente formula.

$$A_{rectangular} = b * a$$

$$0.09m^2 = 0,25m * 0,36m$$

$$0,09m^3 = 0,09m^2$$

- Se verifica que con una longitud de 0,25 y 0,36 m en cada lado cumpla con la carga hidráulica.

$$Ab = 0,09m^2$$

$$At = 0,36m^2$$

$$CH = \frac{35 m^3}{0,36 m^2} * \frac{1}{dia}$$

$$CH = 97,2 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

La carga hidráulica es menor a 100, por tanto, se cumple la condición de carga hidráulica.

- El Tiempo de exposición se calculó por medio de la ecuación de caída libre, teniendo en cuenta que la velocidad entrada o a la salida de cada bandeja es 0:

$$Y = \frac{gt^2}{2}$$

Donde:

Y= Espacio entre bandejas

g= Gravedad

t= Tiempo

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 * 0,30 m}{9,8 \frac{m}{seg^2}}}$$

$$t = 0,25 \text{ seg}$$

- Tiempo total de aireación:

$$T_{t=t} = t * C_b$$

Donde:

C_b = cantidad de bandejas

$$T_{t=0,25 \text{ seg}} * 4$$

$$T_{t=100 \text{ seg}}$$

b) Diseño de filtro de zeolita (clinoptilolita)

- Caudal del filtro de zeolita (clinoptilolita)

Se eligió una tasa de filtración de $220 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ de esta manera se determinó el área de los filtros y la manera más ágil de distribuir esta área es el número de filtros.

El número de filtros el cual se acomoda al caudal de diseño, sin sobredimensionar los filtros fue 2.

$$Q = 35 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_f = \frac{35 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{2}$$

$$Q_f = 17,5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- Área del filtro de zeolita (clinoptilolita):

$$A = \frac{Q_f}{V_f}$$

Donde:

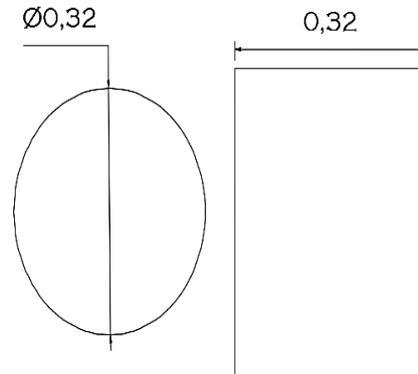
Q_f = Caudal de cada filtro

V_f = Velocidad de filtración ($200 \text{ m}/\text{día} - 240 \text{ m}/\text{día}$)

$$A = \frac{17,5 \text{m}^3}{220 \text{m}^3/\text{m}^2 \text{día}}$$

$$A = 0,08m^2$$

Para el proceso de filtración se utilizó baldes circulares de 0,32 m de diámetro.



➤ Área total de los filtros

En el presente proyecto se trabajó con 2 unidades (El R.N.E. 5.11: Filtración rápida, 5.11.2: Número de unidades: indica que el número de unidades mínimo será de 2 unidades).

$$AT = A_1 * 2$$

$$AT = 0,08 * 2$$

$$AT = 0,16 m^2$$

➤ Espesor de la capa de arena y zeolita (clinoptilolita) para los filtros.

Este tipo de lecho se utiliza cuando se necesita operar con tasas de filtración muy elevadas.

Utilizamos para este estudio 1/3 de cada capa indicada en la tabla del manual.

- Espesor de la capa de arena (E_a):

$$E_a = \frac{1}{3} * 0,20 m$$

$$E_a = 0,067 m$$

- Por lo tanto, la capa de zeolita (clinoptilolita) será (tomando referencia la antracita)

$$E_z = E_a * 2$$

$$E_z = 0,067 \text{ m} * 2$$

$$E_z = 0,134 \text{ m}$$

➤ Espesor total del lecho filtrante

$$E_{TF} = E_a + E_z$$

$$E_{TF} = 0,067 \text{ m} + 0,134 \text{ m}$$

$$E_{TF} = 0,20 \text{ m}$$

Nota: El reglamento nacional de edificaciones indica en el reglamento nacional de edificaciones OS.020 5.11.2.4 filtros rápidos con lechos mixtos y múltiples, c) medios filtrantes que la arena debe ser 1/3 del total del lecho filtrante.

Por lo tanto, utilizamos grava de ¼” y su espesor estará dado, para el proyecto por 1/3 de espesor mínimo 7.5 cm según cuadro.

$$E_{c.s.} = \frac{1}{3} 7,5 \text{ cm} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}}$$

$$E_{c.s.} = 0,025 \text{ m}$$

El diseño realizado se aplicó para los diámetros de zeolita (clinoptilolita) en estudio.

El diseño se encuentra representado en los planos que se especifica en el anexo 03.

3.1.2. Parámetros de monitoreo

a) **Concentraciones de entrada y salida del hierro y manganeso antes y después del tratamiento de filtración directa con dos concentraciones granulométricas de zeolita (clinoptilolita).**

Al momento de depurar el agua por el filtro de zeolita (clinoptilolita), hubo la necesidad de realizar la limpieza de este para que elimine la suciedad de los agregados y zeolita (clinoptilolita).

Esta prueba se realizó para determinar la eficiencia de remoción de Fe^{+2} y Mn^{+2} de la zeolita a diferentes concentraciones granulométricas de 2,36mm y 4,75 mm de material filtrante zeolita (clinoptilolita).

1. Filtración de agua con zeolita de granulometría diámetro 2,36 mm

Tabla 2

Primera carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,86	0,30
Manganeso	0,03	0,007

Interpretación:

Según la tabla 2 de primera carrera de filtración realizada y según los datos obtenidos de laboratorio con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 2,36 mm, se remueven las concentraciones de entrada a filtración, disminuyendo 0,56 mg/L de hierro y 0,023 mg/L de manganeso.

Tabla 3

Segunda carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,75	0,43
Manganeso	0,20	0,08

Interpretación:

Durante segunda carrera de filtración realizada y según los datos de laboratorio obtenidos se puede apreciar en la tabla 3 que la batería de filtración con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 2,36 mm, remueve las concentraciones entrada de hierro y manganeso; disminuyendo 0,32 mg/L de hierro y 0,12 mg/L

de manganeso, se nota que la eficiencia de remoción varía a medida que se producen las carreras de filtración.

Tabla 4

Tercera carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de Salida (mg/L)
Hierro	0,97	0,57
Manganeso	0,30	0,10

Interpretación:

Durante la tercera carrera de filtración realizada y según los datos de laboratorio obtenidos se puede apreciar en la tabla 4 que la batería de filtración con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 2,36 mm remueve las concentraciones de entrada de hierro y manganeso disminuyendo 0,40 mg/L de hierro y 0,20 mg/L de manganeso, se nota que la eficiencia de remoción va variando a medida que se producen las carreras de filtración.

Tabla 5

Cuarta carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	1,14	0,64
Manganeso	0,27	0,09

Interpretación:

Durante la prueba realizada y los datos obtenidos se puede apreciar en la tabla 5, que la batería de filtros con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 2,36 mm

remueve las concentraciones de entrada de hierro y manganeso, disminuyendo 0,50 mg/L de hierro y 0,18 mg/L de manganeso.

2. Resumen de filtración de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm

Tabla 6

Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36mm

	Entrada	Salida
1	0,86	0,300
2	0,75	0,430
3	0,97	0,570
4	1,14	0,640

Nota: Tablas 2, 3,4 y 5

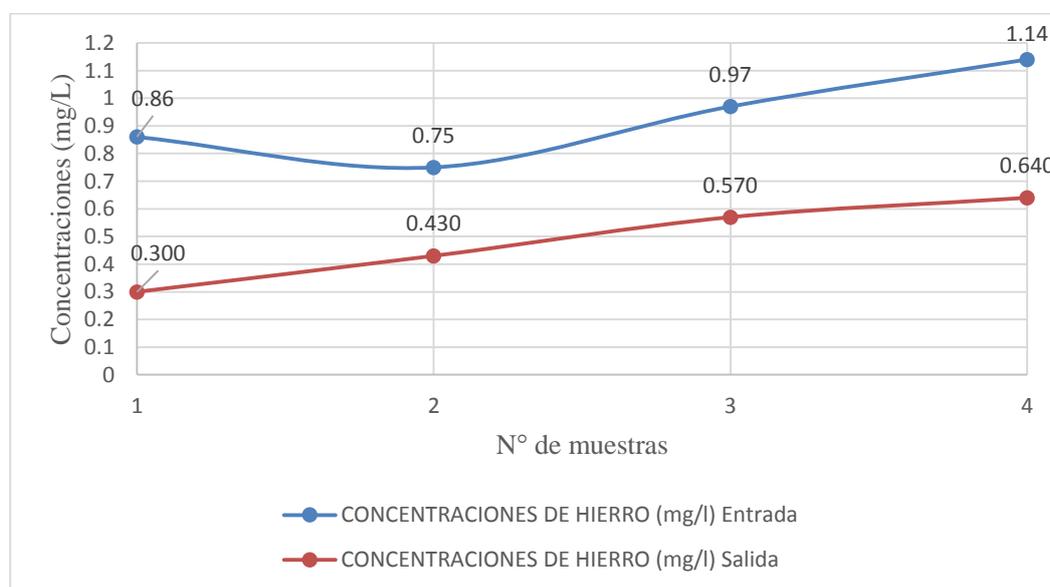


Figura 6: Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm

En la figura 6 se evidencia el resumen de las concentraciones del hierro tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita (clinoptilolita) 2,36 mm donde se observa que el hierro ha ido disminuyendo significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 0,86 mg/L, 0,75

mg/L, 0,97 mg/L, 1,14 mg/L y Salida con 0,30 mg/L, 0,43 mg/L, 0,57 mg/L, 0,64 mg/L.

Tabla 7

Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36mm

	Entrada	Salida
1	0,03	0,007
2	0,20	0,08
3	0,30	0,10
4	0,27	0,09

Nota: Tablas 2, 3,4 y 5

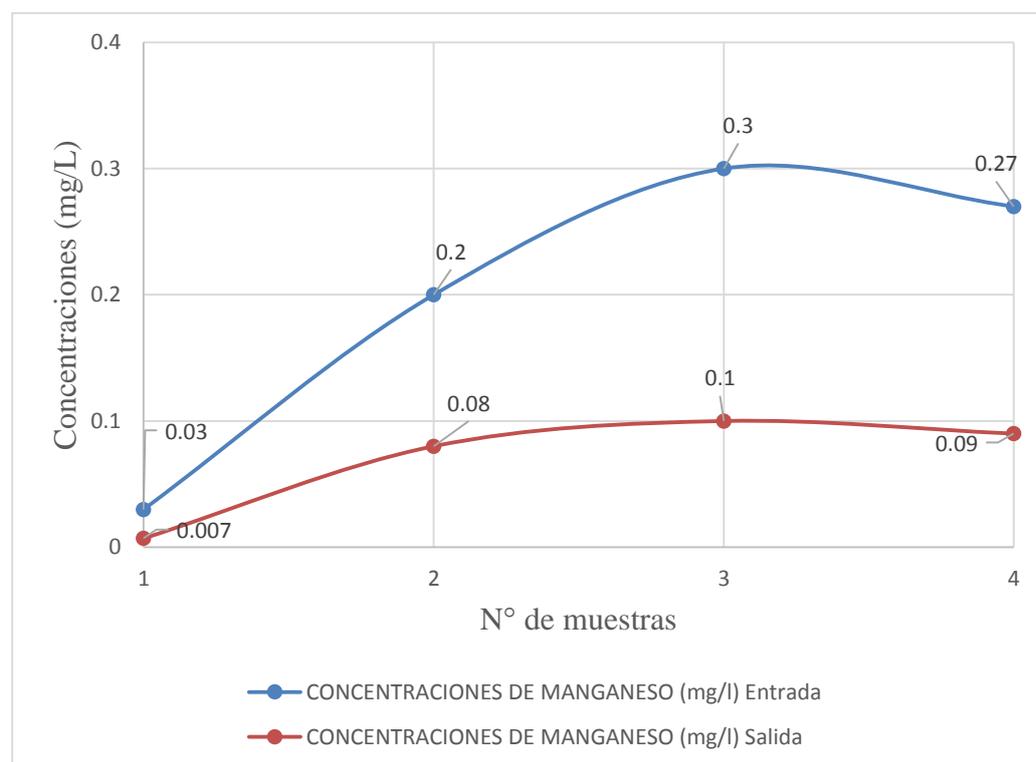


Figura 7: Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm

En la figura 7, se evidencia el resumen de las concentraciones de manganeso tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita

(clinoptilolita) 2,36 mm donde se observa que el manganeso ha ido disminuyendo significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 0,03 mg/L, 0,20 mg/L, 0,30mg/L, 0,27mg/L y Salida con 0,007 mg/L, 0,08 mg/L, 0,10 mg/L, 0,09 mg/L.

3. Determinación de la eficiencia de remoción de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm

Tabla 8

Eficiencia de remoción de hierro

	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}} - C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	0,86	0,30	0,56	65,12%
2	0,75	0,43	0,32	42,67%
3	0,97	0,57	0,40	41,24%
4	1,14	0,64	0,50	43,86%

Nota: Tabla 6

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del hierro: 48,22%

El promedio en porcentaje de remoción 48,22% representa la sumatoria de porcentajes de remoción parcial por cada carrera de filtración realizada para el filtro con diámetro 2,36 mm el cual será dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para comparar la cantidad porcentual de hierro removido con los demás tratamientos aplicas ya sea con filtración con diámetro diferente, o con un pre tratamiento con aireación y sedimentación.

Determinación de la eficiencia de remoción de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm

Tabla 9

Eficiencia de remoción de manganeso

	$C_{\text{Entrada Mn}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Salida Mn}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Entrada Mn}^{+2}} - C_{\text{Salida Mn}^{+2}}$ (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	0,03	0,007	0,023	76,67%
2	0,2	0,08	0,12	60,00%
3	0,3	0,1	0,2	66,67%
4	0,27	0,09	0,18	66,67%

Nota: Tabla 7

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del manganeso: 67,50 %

El promedio en porcentaje de remoción 67.50% representa la sumatoria de porcentaje de remoción parcial por cada corrida realizada para el filtro con diámetro 2,36 mm dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para comparar la cantidad porcentual de manganeso removido.

4. Filtración de agua con zeolita de granulometría diámetro 4,75 mm

Tabla 10

Primera carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	1,06	0,80
Manganeso	0,18	0,09

Interpretación:

De la tabla 10 obtenida de la primera carrera con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 4,75 mm se obtiene que la remoción de hierro es de 0,26 mg/L y de manganeso es de 0,09 mg/L respecto a la concentración entrada al tratamiento.

Tabla 11

Primera carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	1,16	0,89
Manganeso	0,22	0,11

Interpretación:

De la tabla 11 de la segunda carrera de filtración con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 4,75 mm se obtiene que la remoción de hierro es de 0,27 mg/L y de manganeso es de 0,11 mg/L respecto a la concentración entrada al tratamiento. Se observa que la disminución de las concentraciones de entrada es baja.

Tabla 12

Tercera carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	1,18	0,73
Manganeso	0,18	0,097

Interpretación:

De la tabla 12 de la tercera carrera de filtración con zeolita (Clinoptilolita) de diámetro 4,75 mm la remoción de hierro es de 0,45 mg/L y de manganeso es

de 0,083 mg/L respecto a la concentración de entrada al tratamiento. Se observa que la disminución de las concentraciones Entrada es baja.

Tabla 13

Cuarta carrera de filtración

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	1,09	0,68
Manganeso	0,16	0,09

Interpretación:

Según los análisis realizados y los resultados representados en la tabla 13 de la cuarta carrera de filtración con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 4,75 mm la remoción de hierro es de 0,41 mg/L y de manganeso es de 0,07 mg/L respecto a la concentración de entrada al tratamiento. Se observa que la disminución de las concentraciones entradas es baja.

5. Resumen de filtración con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

Tabla 14

Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

	Entrada	Salida
1	1,06	0,8
2	1,16	0,89
3	1,18	0,73
4	1,09	0,68

Nota: Tablas 10, 11,12 y 13

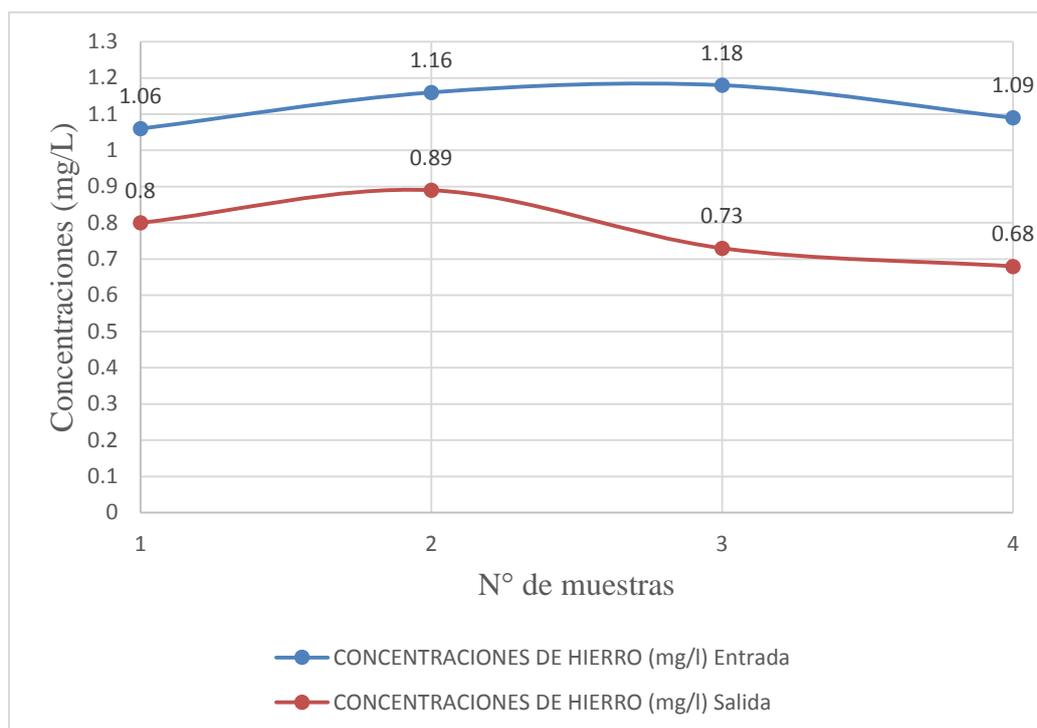


Figura 8: Concentraciones de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

En la figura 8, se evidencia el resumen de las concentraciones del hierro tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita (clinoptilolita) 4,75 mm donde se observa que el hierro ha ido disminuyendo significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 1,06 mg/L y Salida con 0,68 mg/L.

Tabla 15

Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

	Entrada	Salida
1	0,18	0,09
2	0,22	0,11
3	0,18	0,97
4	0,16	0,09

Nota: Tablas 10, 11, 12 y 13

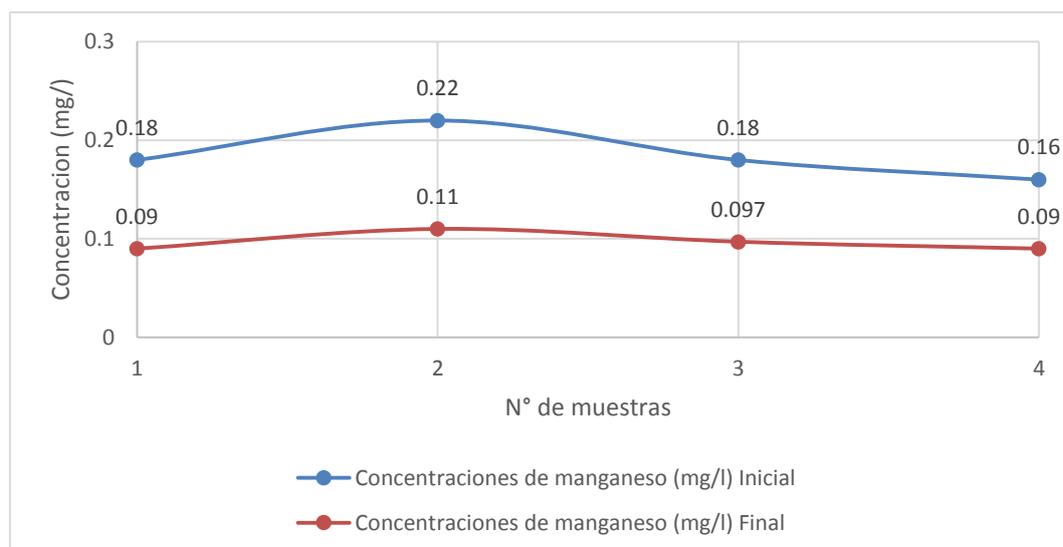


Figura 9: Concentraciones de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

En la figura 9, se evidencia el resumen de las concentraciones del manganeso tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita (clinoptilolita) 4,75 mm donde se observa que el manganeso ha ido disminuyendo significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 0,18 mg/L y salida con 0,09 mg/L.

6. Determinación de la eficiencia de remoción de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

Tabla 16

Eficiencia de remoción de hierro

	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}} - C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	1,06	0,8	0,26	24,53 %
2	1,16	0,9	0,27	23,28 %
3	1,18	0,73	0,45	38,14 %
4	1,09	0,68	0,41	37,61 %

Nota: tabla 14

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del hierro: 30,89%

El promedio en porcentaje de remoción 30,89% representa la sumatoria de porcentaje de remoción parcial por cada corrida realizada para el filtro con diámetro 4,75 mm dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para comparar la cantidad porcentual de hierro removido.

7. Determinación de la eficiencia de remoción de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm

Tabla 17

Eficiencia de remoción de manganeso

	C Entrada Mn ⁺² (mg/L)	C Salida Mn ⁺² (mg/L)	C Entrada Mn ⁺² – C Salida Mn ⁺² (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	0,18	0,09	0,09	50,00 %
2	0,22	0,11	0,11	50,00 %
3	0,18	0,097	0,083	46,11 %
4	0,16	0,09	0,07	43,75 %

Nota: tabla 15

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del manganeso: 47,47%

El promedio en porcentaje de remoción 48,22% representa la sumatoria de porcentaje de remoción parcial por cada corrida realizada para el filtro con diámetro 4,75 mm dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para comparar la cantidad porcentual de manganeso removido.

b) Características de concentración de hierro y manganeso después de tratamiento con filtro de zeolita (clinoptilolita) con un pretratamiento aireación y sedimentación.

Tabla 18*Primera Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,9	0,28
Manganeso	0,04	0,006

Interpretación

Se puede observar en la tabla 19 el comportamiento del tratamiento de hierro y manganeso mediante filtración con zeolita (clinoptilolita) y un pretratamiento de aireación y sedimentación, se aprecia que las concentraciones entrada de los metales bajan considerablemente llegando estos a ser 0,28 mg/L-Fe⁺² y 0,006 mg/L-Mn⁺² siendo muy considerable respecto a un tratamiento directo de filtración con zeolita (clinoptilolita).

Tabla 19*segunda Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,87	0,22
Manganeso	0,05	0,007

Interpretación

De la tabla 20 se puede ver que las concentraciones entradas de hierro y manganeso disminuyen eficientemente de la concentración de entrada, llegando este a ser 0,22 mg/L-fe⁺² y 0,007 mg/L -Mn⁺² concentración de salida.

Tabla 20*Tercera Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,78	0,2
Manganeso	0,06	0,005

Interpretación

De la tabla 21 se puede ver que las concentraciones de entrada de hierro y manganeso disminuyen eficientemente y notoriamente llegando a ser estas: 0,58 mg/L- Fe^{+2} y 0,055 de mg/L- Mn^{+2} .

Tabla 21*Cuarta Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,65	0,28
Manganeso	0,06	0,04

Interpretación

De la tabla 22 se puede observar que el hierro y manganeso disminuyen visiblemente sus concentraciones de entrada siendo estos la variación entre estos valores de 0,37 mg/L- Fe^{+2} y 0,02 mg/L- Mn^{+2} respectivamente las cantidades de variación.

Tabla 22*Quinta Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,88	0,26
Manganeso	0,04	0,006

Interpretación

De los análisis realizados se puede observar que las concentraciones de hierro y manganeso de entrada disminuyen después del tratamiento de filtración y un pretratamiento de aireación y sedimentación llegando estas a ser: 0,26 mg/L- Fe^{+2} y 0,006 mg/L- Mn^{+2} . Obteniendo diferencias entre ellos de: 0,32 mg/L- Fe^{+2} y 0,002 mg/L- Mn^{+2}

Tabla 23*Sexta Carrera de filtración*

Parámetro	Concentración de entrada (mg/L)	Concentración de salida (mg/L)
Hierro	0,85	0,24
Manganeso	0,08	0,005

Interpretación

De la tabla 24 se puede observar que el hierro y manganeso disminuyen considerablemente sus concentraciones de entrada siendo estos 0,24 mg/L- Fe^{+2} y 0,005 mg/L- Mn^{+2} respectivamente a la salida del tratamiento de filtración con pre tratamiento de aireación y sedimentación.

- 1. Resumen de filtración con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm adicionando un pretratamiento de aireación con bandejas múltiples sedimentación.**

Tabla 24

Concentraciones de hierro con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación.

	Entrada	Salida
1	0,9	0,28
2	0,87	0,22
3	0,78	0,2
4	0,65	0,28
5	0,88	0,26
6	0,85	0,24

Nota: Tablas 19, 20, 21, 22,23 y 24

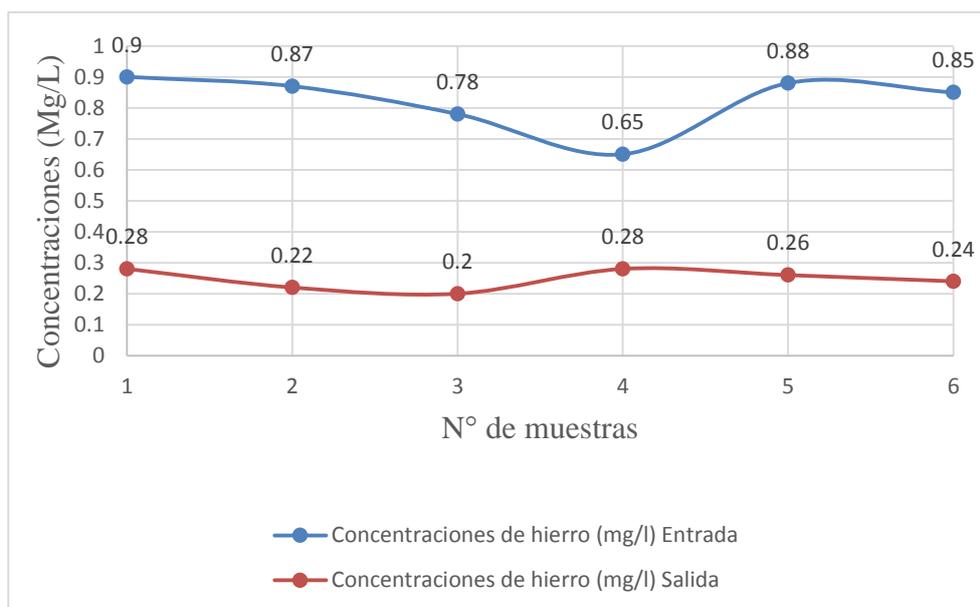


Figura 10: Concentraciones de hierro con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación

En la figura 10, se evidencia el resumen de las concentraciones del manganeso tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita (clinoptilolita) 4,75 mm donde se observa que el manganeso ha disminuido significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 0,18 mg/L y salida con 0,09 mg/L.

Tabla 25

Concentraciones de manganeso con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación.

	Entrada	Salida
1	0,04	0,006
2	0,05	0,007
3	0,06	0,005
4	0,06	0,04
5	0,04	0,006
6	0,08	0,005

Nota: Tablas 19, 20, 21, 22,23 Y 24

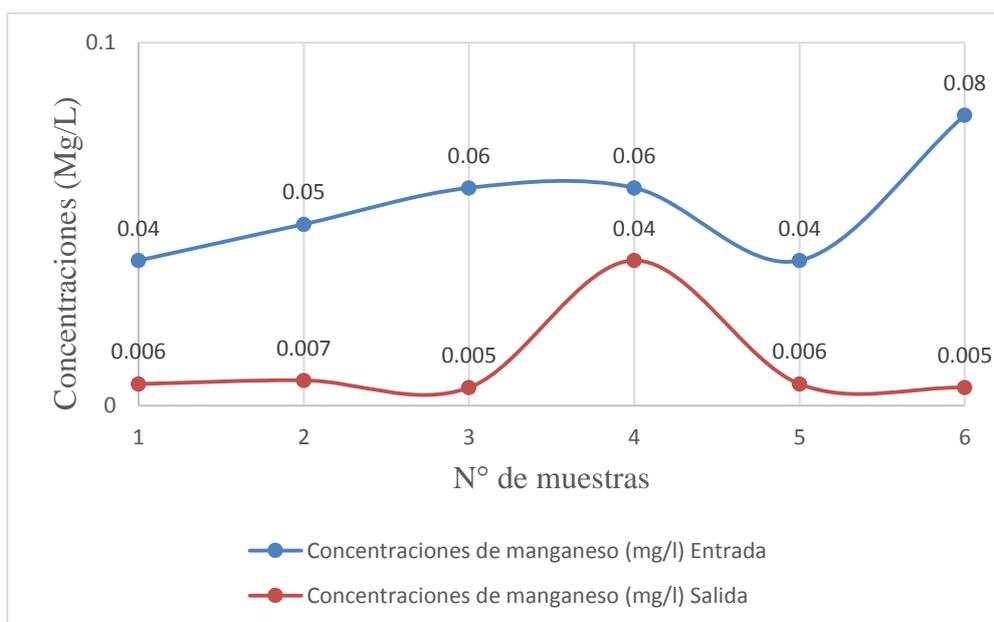


Figura 11: Concentraciones de manganeso con pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación

En la figura 11, se evidencia el resumen de las concentraciones del manganeso tomadas a la entrada y salida de la filtración con diámetro de zeolita (clinoptilolita) 4,75 mm donde se observa que el manganeso ha ido disminuyendo significativamente de acuerdo con la cantidad de carrera de filtración que se ha realizado, donde inicia con una concentración de entrada de 0.18 mg/L y Salida con 0,09 mg/L.

8. Determinación de la eficiencia de remoción de hierro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2.36 mm con pretratamiento de aireación y sedimentación.

Tabla 26

Eficiencia de remoción de hierro

	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Entrada Fe}^{+2}} - C_{\text{Salida Fe}^{+2}}$ (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	0,9	0,28	0.62	68.89 %
2	0,87	0,22	0.65	74.71 %
3	0,78	0,2	0.58	74.36 %
4	0,65	0,28	0.37	56.92 %
5	0,88	0,26	0.62	70.45 %
6	0,85	0,24	0.61	71.76 %

Nota: tabla 15

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del hierro: 69.52%

El promedio en porcentaje de remoción de hierro es 69.52% representa la sumatoria de porcentaje de remoción parcial por cada corrida realizada para la batería de filtros con diámetro 2.36 mm con pre tratamiento de aireación y sedimentación dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para obtener la cantidad porcentual removido de hierro.

9. Determinación de la eficiencia de remoción de manganeso con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2.36 mm con pretratamiento de aireación y sedimentación.

Tabla 27

Eficiencia de remoción de manganeso

	$C_{\text{Entrada Mn}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Salida Mn}^{+2}}$ (mg/L)	$C_{\text{Entrada Mn}^{+2}} - C_{\text{Salida Mn}^{+2}}$ (mg/L)	Eficiencia de Remoción
1	0,04	0,006	0.034	85.00 %
2	0,05	0,007	0.043	86.00 %
3	0,06	0,005	0.055	91.67 %
4	0,06	0,04	0.020	33.33 %
5	0,04	0,006	0.034	85.00 %
6	0,08	0,005	0.075	93.75 %

Nota: tabla 15

Porcentaje en promedio de eficiencia de remoción del Manganeso: 79.13%

El promedio en porcentaje de remoción de hierro es 79.13% representa la sumatoria de porcentaje de remoción parcial por cada corrida realizada para la batería de filtros con diámetro 2.36 mm con pre tratamiento de aireación y sedimentación dividido entre la cantidad de carreras de filtración realizada el cual sirve para obtener la cantidad porcentual removido de hierro.

10. Resumen del porcentaje de remoción de hierro y manganeso

Tabla 28

Porcentaje de remoción del hierro y manganeso

Diámetro 2,36mm		Diámetro de 4,75 mm		Diámetro 2,36mm con aireación y sedimentación	
Hierro	Manganeso	Hierro	Manganeso	Hierro	Manganeso
48,22%	67,50%	30,89%	47,47%	69.52%	79.13%

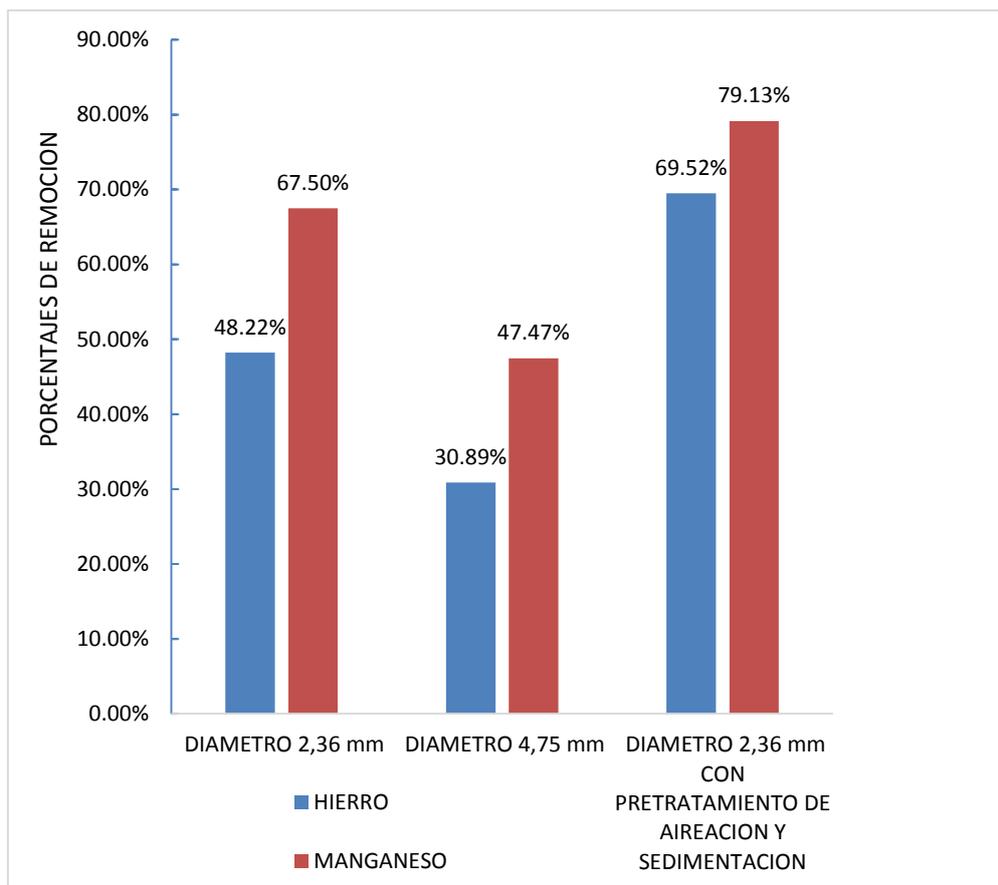


Figura 12: Porcentaje de remoción de hierro y manganeso

En la figura 12 se puede observar los porcentajes de remoción promedio de hierro los cuales tienen valores de 48, 22 % para 2,36 mm de diámetro y 30,89 % para 4,75 mm de diámetro de zeolita (clinoptilolita) determinando que la zeolita (clinoptilolita) de 2,36 mm remueve mejor el hierro; los porcentajes de remoción promedio del manganeso los cuales tienen valores de 67,50 % para 2,36 mm de diámetro y 47,47 % para 4,75 mm de diámetro de zeolita (clinoptilolita) determinando que la zeolita de 2,36 mm remueve eficientemente el manganeso. También se puede observar el porcentaje promedio de remoción de hierro con pre tratamiento de aireación y sedimentación los cual representa un porcentaje promedio de 69.52 % y el manganeso representa un porcentaje de remoción promedio de 79.13 % lo cual significa una disminución en las concentraciones parciales de los metales en evaluación debido a la adición de un sistema adicional a la filtración directa con zeolita (clinoptilolita).

c) **Comparación del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) de diámetro 2.36 mm, 4.75 con un pretratamiento de aireación y sedimentación con los LMP**

Tabla 29

Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2.36 mm con los LMP

	Parámetros	
	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Muestra N° 01	0,300	0,007
Muestra N° 02	0,430	0,080
Muestra N° 03	0,570	0,100
Muestra N° 04	0,640	0,090
LMP	0,3	0,4

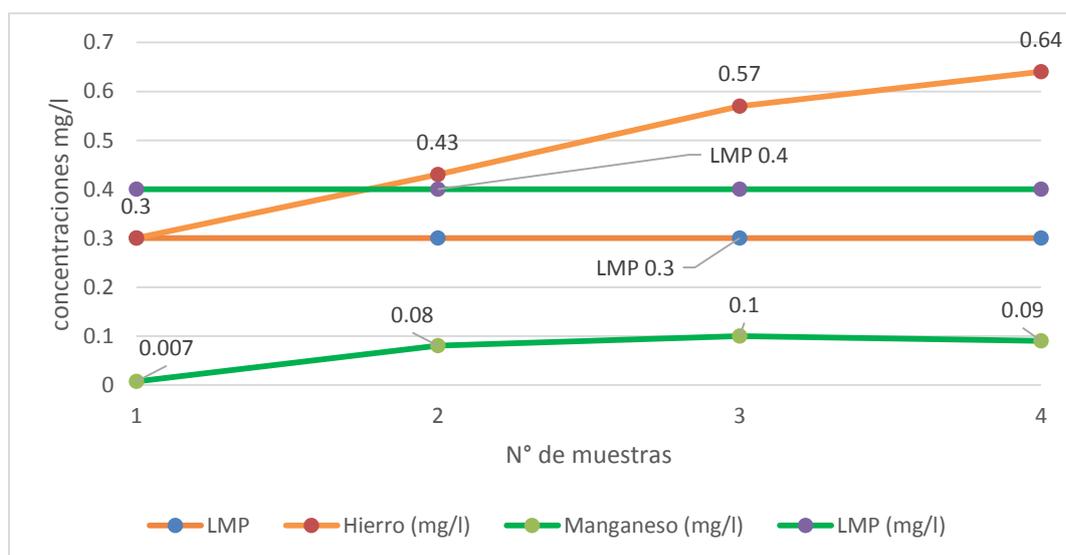


Figura 13: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 2,36 mm con los LMP

En la figura 13, observamos las concentraciones finales de hierro son de 0,3mg/L, 0,43 mg/L, 0,57 mg/L y 0,64 mg/L se puede apreciar que las concentraciones de hierro están por encima de los LMP siendo esta un máximo de 0,3 mg/L y las concentraciones de manganeso los cuales son 0,007 mg/L,

0,08 mg/L, 0,1 mg/L y 0,09 mg/L estos cumplen con los LMP siendo esta un máximo de 0,4 mg/L.

Tabla 30

Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4.75 mm con los LMP

	Parámetros	
	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Muestra N° 01	0,800	0,090
Muestra N° 02	0,890	0,110
Muestra N° 03	0,730	0,097
Muestra N° 04	0,680	0,090
LMP	0,3	0,4

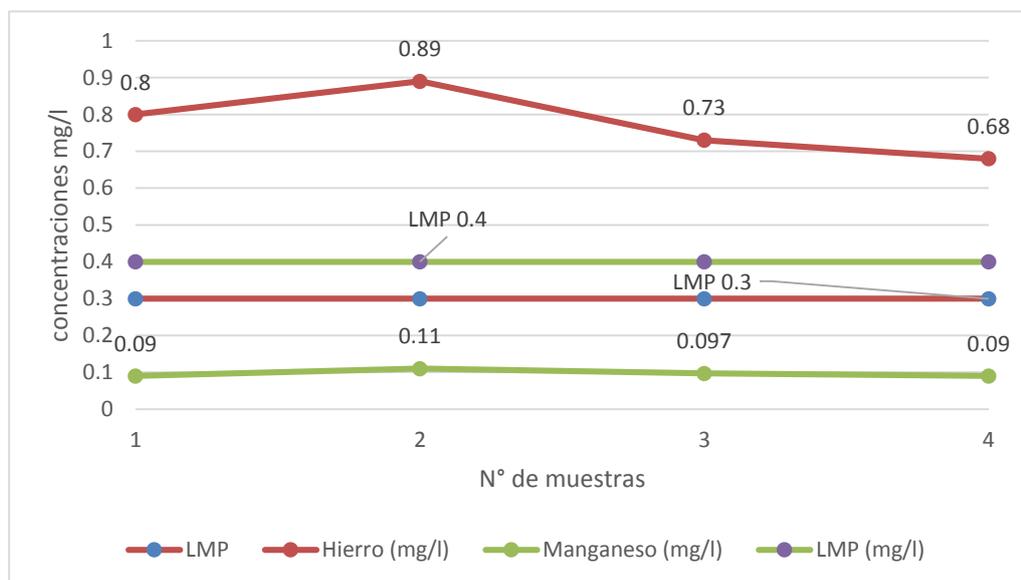


Figura 14: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) diámetro 4,75 mm con los LMP

En la figura 14, observamos las concentraciones finales de hierro son de 0,8 mg/L, 0,89 mg/L, 0,73 mg/L y 0,68 mg/L se puede apreciar que las concentraciones de hierro están por encima de los LMP siendo esta un máximo de 0,3 mg/L y las concentraciones de manganeso los cuales son 0,09 mg/L, 0,11

mg/L, 0,097 mg/L y 0,09 mg/L estos cumplen con los LMP siendo esta un máximo de 0,4 mg/L.

Tabla 31

Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita (clinoptilolita) con aireación y sedimentación con los LMP

	Parámetros	
	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Muestra N° 01	0,280	0,006
Muestra N° 02	0,220	0,007
Muestra N° 03	0,200	0,005
Muestra N° 04	0,280	0,060
Muestra N° 05	0,240	0,005
Muestra N° 06	0,260	0,006
LMP	0,3	0,4

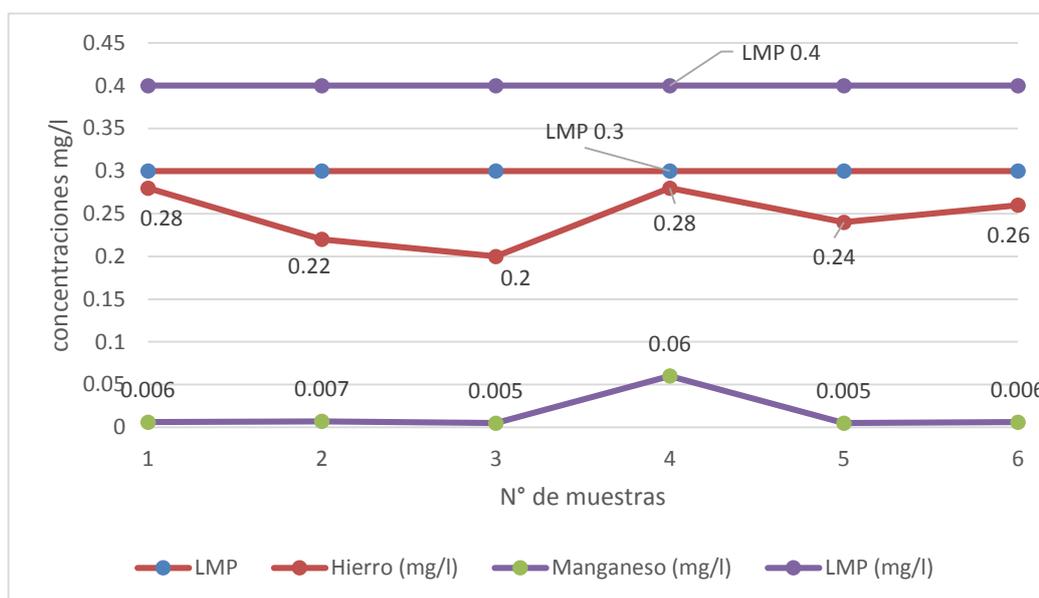


Figura 15: Valores de los parámetros del efluente de la batería de filtro con zeolita Clinoptilolita con aireación y sedimentación con los LMP

En la figura 15 observamos que las concentraciones finales de hierro son de 0,28 mg/L, 0,22 mg/L, 0,2 mg/L, 0,28 mg/L, 0,24 mg/L y 0,26 mg/L se puede apreciar que las concentraciones de hierro están por debajo de los LMP siendo esta un máximo de 0,3 mg/L y las concentraciones de manganeso los cuales son

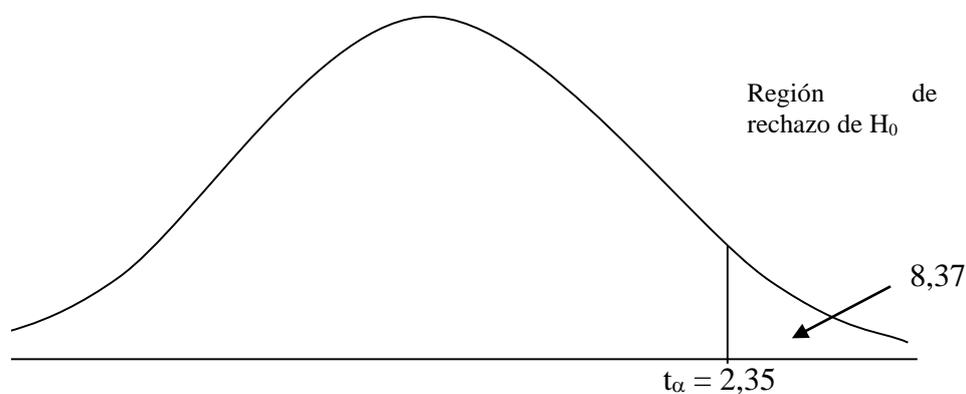
0,006 mg/L, 0,007 mg/L, 0,005 mg/L, 0,06 mg/L, 0,005 mg/L, 0,006 mg/L estos cumplen con los LMP siendo esta un máximo de 0,4 mg/L.

3.1.3. Evaluación para contrastación de hipótesis.

Tabla 32

Prueba t para dos muestras respecto al hierro

	Entrada	Salida
Media	0,93	0,49
Varianza	0,03	0,02
Desviación estándar	0.166	0.151
Hipótesis nula (H0)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis alterna (H1)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	3,00	
Estadístico t	8,37	
Valor crítico de t (una cola)	2,35	



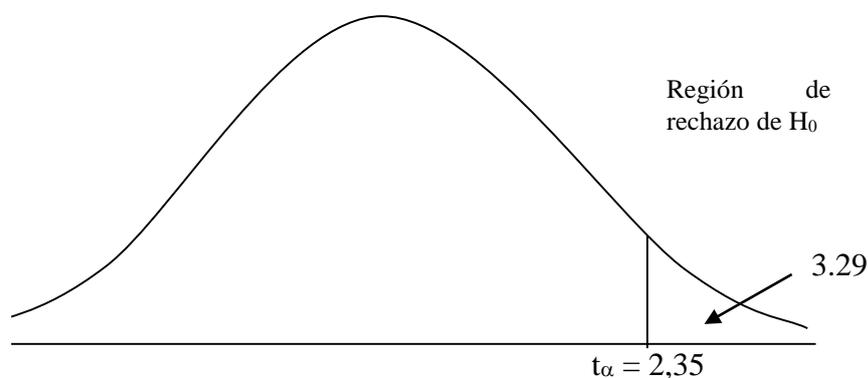
Con una confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 31 se puede observar que las concentraciones en promedio del hierro de entrada es 0.93 mg/L y de salida tenemos 0,49 mg/L lo cual representa una variación de 0.44 mg/L, lo cual es significativa dado que el valor de estadístico t (8,37) es mayor que el valor crítico t (2,35), se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el tratamiento con una batería de filtros empacados con zeolita (clinoptilolita) remueve la concentración de hierro en el agua de la quebrada de Juningullo la Mina aceptando la hipótesis alterna, la desviación estándar nos indica que los

valores obtenidos en los análisis pueden alejarse $\pm 0,151$ mg/L con respecto al promedio de estos datos respecto a la salida.

Tabla 33

Prueba t para dos muestras respecto al manganeso

	Entrada	Salida
Media	0,2	0,07
Varianza	0,01	0,002
Desviación estándar	0,121	0,042
Hipótesis nula (H_0)	$M_E \leq M_S$	
Hipótesis alterna (H_1)	$M_E > M_S$	
Grados de libertad	3,00	
Estadístico t	3,29	
Valor crítico de t (una cola)	2,35	



Con una confiabilidad del 95% y un nivel de significancia del 5%, según la tabla 32 se puede observar que las concentraciones promedio de manganeso de entrada es 0,2 mg/L y de salida tenemos 0,07 mg/L lo cual representa una variación de 0,13 mg/L, lo cual es significativa dado que el valor de estadístico t (3,29) es mayor que el valor crítico t (2,35), se rechaza la hipótesis nula, deduciéndose que el tratamiento con una batería de filtros empacados con zeolita (clinoptilolita) remueve la concentración de hierro en el agua de la quebrada de Juningullo la Mina aceptando la hipótesis alterna, la desviación estándar nos indica que los valores obtenidos en los análisis pueden alejarse $\pm 0,042$ mg/L con respecto al promedio de estos datos respecto a la salida.

3.2. Discusión de resultados.

Márquez E. (1995). En su investigación denominada: Determinación de los parámetros hidráulicos de la zeolita natural cubana como material filtrante, demuestra la superioridad del filtro de zeolita con respecto a las convencionales de Arena. La zeolita natural analizada presenta un buen comportamiento para diferentes rangos de los parámetros hidráulicos estudiados. Se pueden operar filtros de zeolita con pequeña altura del lecho, lo que los hace más eficientes desde el punto de vista de diseño de instalación. En nuestra investigación se diseñó las baterías de filtro con espesores del lecho filtrante de espesor pequeño para operar con tasas de filtración de $220 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ obteniendo resultados de salida de la filtración directa inferiores a las concentraciones iniciales.

More María J. y Guerra J. (2013). En su tesis titulada: Evaluación del uso y aprovechamiento potencial de agua para el abastecimiento en la microcuenca de la quebrada Juninguillo Moyobamba concluye que la calidad del agua, el pH, el sulfato y el nitrito no superan los estándares de calidad ambiental de acuerdo al decreto supremo N 002-2008- ministerio nacional del ambiente, el hierro con una concentración máxima de 3 mg/L y el manganeso con una concentración máxima de 0,5 mg/L, estas superan los estándares de calidad ambiental, por otra parte el análisis bacteriológico de coliformes fecales y coliformes totales superan los ECAS en todos los puntos de muestreo por lo tanto el agua para ser utilizada para consumo humano es necesario un tratamiento avanzado en el caso de los Parámetros que sobrepasan los ECAS. Según nuestro trabajo de investigación realizado mediante filtración directa con zeolita de diámetro 2.36 mm se obtuvo concentración promedio 0,485 mg/L- Fe^{+2} y 0,07 de mg/L- Mn^{+2} . Y para filtración directa con zeolita de diámetro 4,75 mm se obtuvo concentración promedio de 0,775 mg/L- Fe^{+2} y 0,0967 de mg/L- Mn^{+2} estos resultados obtenidos no superan los límites máximos permisibles establecidos el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

Por lo tanto, el agua para ser utilizada para consumo humano es necesario un tratamiento avanzado, pudiendo ser estas un sistema de aireación, sedimentación, como pre tratamiento antes de la filtración, también se puede utilizar sistemas de floculación sedimentación para mejorar las condiciones finales del agua y se encuentre listo para consumo humano.

Por otro lado, Cuchimaque C. (2006). En su investigación denominada: Remoción de hierro y manganeso en aguas naturales por adsorción oxidación sobre zeolita natural tipo clinoptilolita señala que utilizar zeolita natural clinoptilolita como medio de filtración es un medio efectivo para la disminución de hierro y manganeso en el agua natural, ya que actúa como soporte poroso sobre el que se obtiene una película adsorbente de óxidos de hierro y manganeso, los cuales presentan alta capacidad para adsorber los cationes de dichos metales disueltos en el agua.

Queda demostrado en nuestra investigación que utilizar zeolita clinoptilolita como material filtrante remueve considerablemente las concentraciones de hierro y manganeso, ya que según **(Bascuñan & Soca, 1995 en su investigación titulada, zeolitas y su uso en diferentes ramas de la industria)**. Ya que se encuentra en función de sus propiedades físico –químicas, como son su capacidad de intercambio iónico, la adsorción, la deshidratación – hidratación y el tamiz molecular, etc.

Por lo que la red iberoamericana de potabilización y depuración del agua, en su informe con los resultados obtenidos en todas las pruebas se comprueba la alta eficiencia de la tecnología desarrollada en el informe interno de la coordinación de tratamiento y calidad del agua, sub coordinación de potabilización, para la remoción de hierro y manganeso disueltos, las concentraciones obtenidas en el agua tratada cumplen con los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-199.

La mayoría de los esquemas típicos de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso se basan en la oxidación del hierro por aireación o en la oxidación química del hierro y manganeso mediante cloro o permanganato de potasio, seguida de la remoción de los precipitados de hierro y manganeso por sedimentación y filtración. En nuestro trabajo de investigación para garantizar la adecuada regeneración del medio de contacto zeolita clinoptilolita se utilizó un sistema de aireación de bandejas múltiples para oxidar el hierro y el manganeso para facilitar su precipitación mediante sedimentación, y posterior filtración obteniendo resultados que cumplen con los límites máximos permisibles de la norma de agua para consumo humano estando estas concentraciones en un promedio de: 0,247 mg/L- Fe^{+2} y 0,012 de mg/L- Mn^{+2} , quedando comprobado que es necesario un tratamiento más avanzado para remover hierro y manganeso no siendo suficiente la filtración directa.

CONCLUSIONES

- ✓ Mediante la aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita se registró resultados satisfactorios en remoción de hierro y manganeso permitiendo dar un tratamiento óptimo al agua de la quebrada Juninguillo la Mina de la ciudad de Moyobamba.
- ✓ Se realizó el diseño de una batería de filtros empacados en zeolita (clinoptilolita) a escala piloto, para aplicar un tratamiento de remoción de hierro y manganeso a las aguas de la quebrada Juninguillo la Mina, la batería de filtros fue de 2 unidades, con área de cada filtro de 0.08 m^2 y con tasa de filtración de $220 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ con capas de arena de 0.067m , una capa de zeolita de 0.134 m y una capa de soporte de grava de $0,025\text{m}$ de espesor respectivamente, fue diseñado tomando en cuenta una forma cilíndrica de un recipiente de $0,32 \text{ m}$ de diámetro y cada batería cuenta con diámetros distintos de material filtrante (Zeolita $\text{Ø}=2,36\text{mm}$ y $\text{Ø}=4,75\text{mm}$).
- ✓ Se obtuvo que la batería de filtros con zeolita de $\text{Ø}=2,36\text{mm}$ es más eficiente para la remoción de hierro y manganeso obteniendo porcentaje en promedio de eficiencia de remoción de $48,22 \%$ para el hierro y $67,50 \%$ para el manganeso para este diámetro y con zeolita $\text{Ø}=4,75\text{mm}$ se obtuvieron porcentaje en promedio de eficiencia de remoción de $30,89 \%$ para hierro y $47,47 \%$ para manganeso; cada diámetro con 4 carreras de filtración.
- ✓ Con un sistema de pretratamiento de aireación con bandejas múltiples y sedimentación en la batería de filtros más eficiente de $\text{Ø}=2.36\text{mm}$ se obtuvo resultados de laboratorio que tienen concentraciones de entrada de Fe^{+2} de 0.9 mg/L , 0.87 mg/L , 0.78 mg/L , 0.65 mg/L , 0.88 mg/L , 0.85 mg/L y en la salida del tratamiento 0.28 mg/L , 0.22 mg/L , 0.20 mg/L , 0.28 mg/L , 0.26 mg/L , 0.24 mg/L y concentraciones de entrada de manganeso de 0.04 mg/L , 0.05 mg/L , 0.06 mg/L , 0.06 mg/L , 0.04 mg/L , 0.08 mg/L y en la salida las concentraciones de fueron 0.006 mg/L , 0.007 mg/L , 0.005 mg/L , 0.04 mg/L , 0.006 mg/L , 0.005 mg/L .
- ✓ Con la adición de un sistema de pretratamiento de aireación y sedimentación al filtro más eficiente de zeolita $\text{Ø}=2,36\text{mm}$ se obtuvieron resultados significativos que comparados con lo que indica el Reglamento de calidad de agua para consumo humano cumplen correctamente. En cambio, los primeros análisis con filtración directa no cumplen con LMP establecidos en la norma.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la EPS Moyobamba, la importancia de la remoción de hierro y manganeso mediante un sistema de tratamiento de filtración con zeolita (clinoptilolita) ya que mediante la presente investigación se ha demostrado que la zeolita remueve en gran cantidad las concentraciones de entradas de hierro y manganeso y que esto mejorará la calidad de agua para consumo humano.
- Para las futuras investigaciones, se recomienda adicionar otros sistemas de pretratamiento, diferentes a las utilizadas en esta presente investigación y lograr mejorar la eficiencia de remoción de elementos contaminantes del agua y mejorar la calidad del agua para consumo humano.
- Se recomienda realizar estudios para determinar algunos derivados que puedan resultar del uso de coagulantes, floculantes y polímeros, utilizados para coagulación y decantación de aguas que contienen grandes cantidades de hierro y manganeso al interactuar con la zeolita (clinoptilolita).
- Realizar estudios de tipo piloto para determinar las tasas de filtración óptimas para la zeolita (clinoptilolita) durante las carreras de filtración en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acoua tecnología S.F. *Zeolita natural para tratamiento de agua*. Ingeniería en tratamiento de agua y procesos.
- A. Fungaro SIB. Synthesis and characterization of zeolite from coal ashes modified by cationic surfactant. [Online]; 2012. Available from: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n345/13.pdf>.
- Arboleda, J. (1981). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima, Cepis/Ops.
- Bascuñán, M. Soca (1985). *Zeolitas y su uso en diferentes ramas de la industria*. Escuela de Ingeniería Química Benemérita -Universidad Autónoma de Puebla, México. CIMTEC, Cuba.
- Costafreda M. (2014). *Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales*. Escuela técnica superior de ingenieros de minas y energía, Madrid.
- Cárdenas A. y Medina A. (2017). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala piloto para el laboratorio de hidráulica de la universidad Santo Tomas. Bogotá*
- Casals Corella, Cosme. (1998), *La Zeolita Mineral del Siglo XX*, Cuba.
- Castro M. (1987). *Parámetros físico -químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Lima, Cepis.
- Cox (1979), Sokolovie (1995), Nikoladze (1989) y Márquez (1992, 1995).
- Consortio Amazónico (2011). *Análisis fisicoquímico del agua de la quebrada Juningullo*. Informe - Moyobamba

- Cortés, S. (2009). *Diagnóstico de la Calidad del Recurso Hídrico Superficial: Índice de Calidad del Recurso Hídrico*, ICA. Bogotá. Colombia. 8 p.
- Cubas Ana Beatriz (2013). *Determinación de la influencia del suelo en dos estaciones en el contenido de las concentraciones de hierro y manganeso en el agua de la microcuenca Juningullo Moyobamba* Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Cuchimaque C. (2006). *Remoción de hierro y manganeso en aguas naturales por adsorción oxidación sobre zeolita natural tipo clinoptilolita*. En su investigación, Cuba.
- Degrémont. (1979), *Manual técnico de agua*, Bilbao, (4ª ed.).
- Dirección general de salud ambiental ministerio de salud (2010), *reglamento de control de calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA*. Lima –Perú.
- Digesa, (2015), *Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte almacenamiento y recepción de agua para consumo humano*. Lima
- Envirolab Perú S.A. (2011). *Informe de ensayo N° 1103072*. Gobierno Regional de San Martín.
- Ecofluidos Ingenieros S.A., (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso dementico y agroquímicos en Apurímac y cuzco*. Lima.
- Fidias G. Arias (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Venezuela, (6ta ed.)
- Gutiérrez M. (1992). *Planta compacta potabilizadora de aguas superficiales con zeolita*. En su doctorado. México.

- Haro Rober C. (2016). Tesis de Ingeniería. “*El uso de la zeolita natural en el proceso de filtración rápida, en el tratamiento de agua para consumo humano en el Distrito de San Miguel, Provincia de San Miguel - Cajamarca, 2015*” Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – Áncash.
- Hatem Khdhiri, OP, JPL. *Aeration efficiency over stepped cascades: Better predictions from flow regimes*. Water Research. 2014 May; 55.
- Harleman C, Jacks G, Rybeck B. (2008). *The use of a clinoptilolite-based filter in emergency*.
- Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. S.f
- Larrea C. (2015). *Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua a nivel domiciliario en el sitio la palestina, cantón el guabo, provincia el oro*”. Tesis de ingeniería universidad técnica de Machala – Ecuador
- Loaiza Duque, A. (2009). *Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión*. Caso el Hormiguero - Cali. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Marín, R. (2010). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Córdoba, España: Plateros
- Márquez E. (1995). *Determinación de los parámetros Hidráulicos de la zeolita natural cubana como material filtrante* Revertie Vol (135). Cuba.
- Metcalf y Eddy. (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery: wastewater characteristics*. Nueva York. Estados Unidos de América. 5ta ed. McGraw-Hill. 57171 p.
- Moholy Nagy (1947), en Quarante, D. *Diseño industrial. Elementos introductorios*, Barcelona CEAC, 1992.

- Montoya, C. Loaiza, D. Torres, P. Hernán, C. Escobar, J. *Efecto del incremento de la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización*. Revista EIA. 16: 137-148.
- More M. y Guerra Córdova J. (2013). *Evaluación del uso y aprovechamiento potencial de agua para el abastecimiento en la microcuenca de la quebrada Juninguillo Moyobamba*. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Orellana J.A. (2005) *Tratamiento de las aguas*. Ingeniería Sanitaria- UTN – FRRO
Unidad Temática N° 6
- Pacini V., Ingallinella A.M., Sanguinetti G. 2003. “*Nuevos avances en la remoción biológica de Fe y Mn*”.
- Padilla B.; Leiva D. y Flores P. (2014). *Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de hierro (Fe^{+2})*. Tesis de Ingeniería. En su investigación - Centro Poblado Alianza, San Martín
- Pérez F. J; Urrea M. A. (2011). *Abastecimiento de aguas Tema 8: filtración*. Universidad politécnica de Cartagena. España
- Pérez Farrás L.E. Agosto (2005) *Teoría de la Sedimentación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental área de hidráulica - Cátedra de hidráulica aplicada a la ingeniería sanitaria.
- Pérez Inés M. (2016) *Agua, pH y Equilibrio Químico* Berlín Primera Edición.
- Pérez P. (S.F) *Tratamiento de aguas* Universidad Nacional - Facultad de Minas
- Petkova Verguinia y Iliev Mintcho (2001). *Remoción de hierro y manganeso del agua para consumo humano*. Artículo: Ceag-A60103 -Guanajato

- Piña, S., Martín., Ramírez, G., Antonio (2001). *Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua para abastecimiento público*. Informe interno de la coordinación de tratamiento y calidad del agua, Subcoordinación de potabilización, IMTA - Camargo, Chihuahua
- Piña M. y Rivera M. (2013) *lineamientos para la optimización del diseño, construcción y operación de la tecnología para remoción de hierro y manganeso en agua potable*. México.
- Restrepo I., Sánchez L.D., Galvis A., Rojas J, Sanabria I.Y. (2007). *Avance en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*: ISBN 958-670-608-7, compilación 28 parte II Gestión integrada de calidad del Agua; Editorial Universidad del Valle.
- Reglamento nacional de edificaciones 2006 *Norma Os.020 planta de tratamiento de agua para consumo humano*. Primera Edición. Lima – Perú
- Rojas. JAR. (1999). *Potabilización del Agua*. 3rd ed. México: ALFAOMEGA, S.A;
- Romero Rojas. 2000 “*Purificación del agua*”. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería- Colombia
- Sánchez, Ó. Herzig, M. Peters, E. Márquez, R. Zambrano, L. (2007). *Perspectiva sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México D.F. México. 71 p.
- Sedalib (2012). *Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable del Distrito Moyobamba- región San Martín*. Consultoría: sedalib s.a. Informe proyecto – Trujillo- la libertad.
- Sommerrfeld, ELMER O. 1999 “*Iron and manganese removal handbook*”, American Water Works Association. pag.104.
- Scavo, M. (2004). *Estudio de un sistema complementario, con pasto vetiver (Vetiveria zizanioides l.), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de*

Cura, estado Aragua". de tratamiento de aguas residuales (Tesis de Maestría Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía). Caracas: Universidad Central de Venezuela. 71 p.

SUNASS (2000). *Glosario de términos en gestión de los servicios de saneamiento* Lima.

Valencia E. (2013). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. Ecuador

Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida: calidad del agua*. Lima. Perú. 1-47 p.

Vargas L. - Barrenechea A. (2004) *Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida* Manual I: Teoría Tomo I- Capítulo 1 *Aspectos Fisicoquímicos de la calidad del agua*, Lima

WWA. (2002). *Calidad y tratamiento del agua*. McGraw-Hill. 5ta edición.

ANEXOS

Anexo 1: Formulas estadísticas**➤ Media**

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = media

$\sum Xi$ = sumatoria de todas las muestras

n = Número de muestras

➤ Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

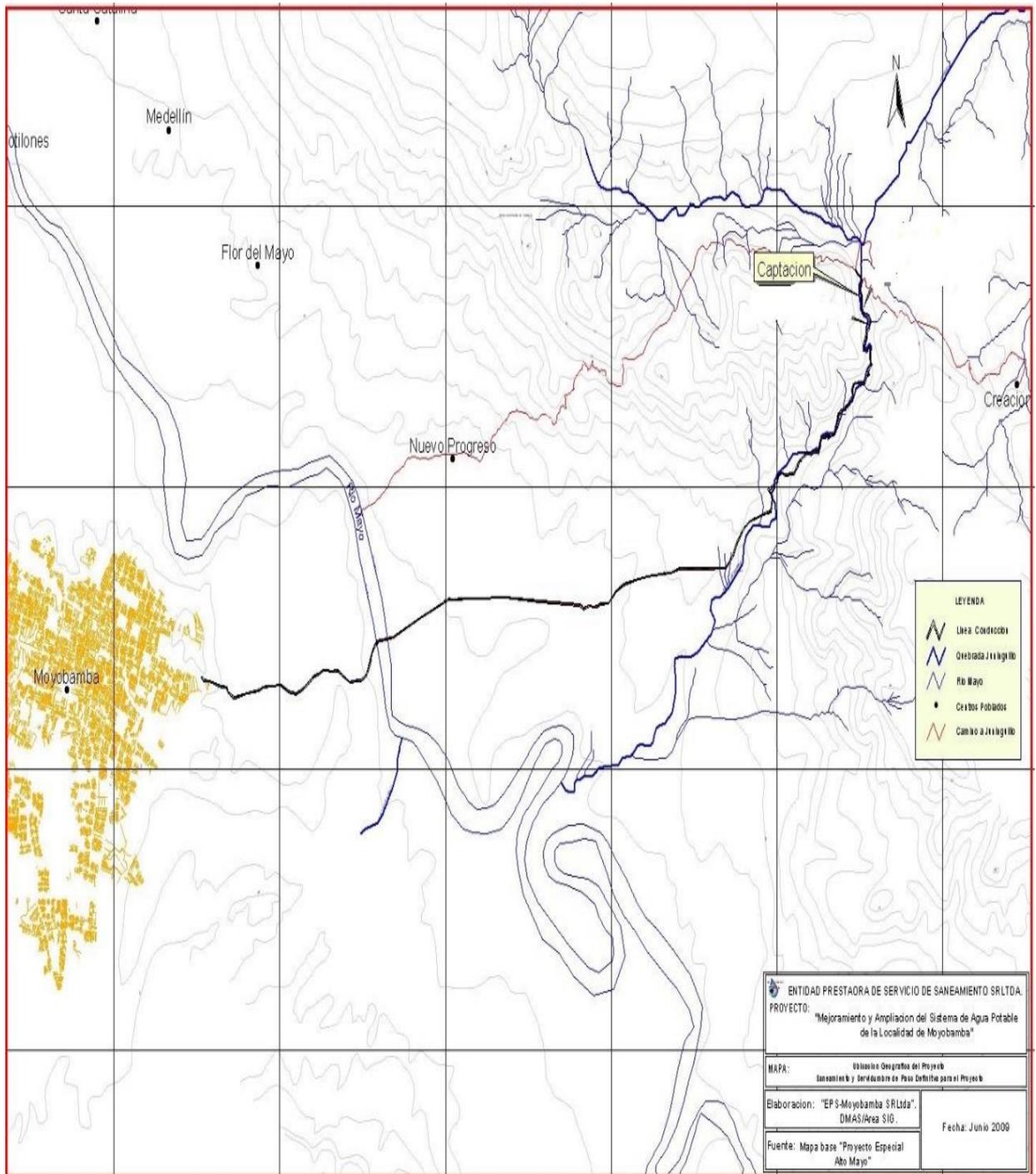
S = desviación estándar

\bar{X} = media

X_i = muestra

n = Número de muestras

Anexo 2: Mapa de Ubicación



Anexo 3: Creación del área de conservación Juninguillo la Mina



**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE
MOYOBAMBA**

CAPITAL DE LA REGION SAN MARTÍN











ORDENANZA N° 070- MPM

Moyobamba, 05 de abril del 2004

EL ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA;

POR CUÁNTO:

El Concejo Provincial de Moyobamba, en sesión ordinaria del 13 de febrero del 2004;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad a lo establecido en lo pertinente del artículo 73° de la Ley N° 27972, Orgánica de Municipalidades, es competencia de los gobiernos locales, formular, aprobar y monitorear los planes y políticas locales en materia ambiental y proponer la creación de áreas de conservación ambiental;

Que, de acuerdo al artículo 76°, Capítulo X DE LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL del Reglamento de Áreas Naturales Protegidas, aprobado por DS. N° 038-2001-AG, se faculta a los gobiernos locales establecer sobre la base de sus Planes de Ordenamiento Territorial y en el exclusivo ámbito de su competencia y jurisdicción, áreas destinadas a complementar las acciones de conservación de la diversidad biológica, de recreación y educación a la población;

Que, la Provincia de Moyobamba, viene soportando una fuerte presión antrópica sobre los recursos naturales y en general la biodiversidad, que afectan severamente su medio ambiente, poniendo en serio riesgo el equilibrio ecológico y por ende la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras;

Que, la referida zona alberga además recursos ecológicos singulares, como humedales, aguas termales, fuentes de agua para consumo humano y para la agricultura, belleza paisajística, plantas medicinales etc., que fortalecen la gran base de recursos para el desarrollo del ecoturismo, la protección y la investigación científica; ofreciendo además una gama de servicios ambientales;

Que, en este sentido, en la jurisdicción provincial de Moyobamba se encuentra ubicado el área denominado Juninguillo - La Mina, sobre el cual existe el expediente técnico sustentatorio para constituirse como área de conservación municipal, con el fin de asegurar la continuidad de los procesos ecológicos en las cuencas altas asegurando la captación, el flujo continuo y la calidad de agua para las poblaciones rurales y urbanas asentadas en el ámbito del distrito de Moyobamba, mantener muestras de los distintos tipos de comunidad natural, paisajes y formas fisiográficas, que puedan proporcionar oportunidades para la recreación y esparcimiento al aire libre y el desarrollo del ecoturismo como actividad económica sostenible, siendo por lo tanto necesario por ser de interés general su creación como Área de Conservación Municipal mediante ordenanza acorde a la normatividad legal vigente;

Que, la Municipalidad Provincial de Moyobamba ha realizado en el año 2000, la gestión para el saneamiento físico-legal de estas áreas con la suscripción de un convenio de cooperación interinstitucional con intervención del PEAM/GTZ y el PETT-San Martín, habiéndose obtenido hasta la fecha la delimitación física por parte de la entidad competente (PETT - San Martín) de 15 Áreas Naturales Protegidas por el Estado, que son de interés local, de las cuales forma parte el área materia de la presente ordenanza;

Que, asimismo, es necesario garantizar la continuidad de la conducción de esta área de conservación municipal de manera compartida, con las entidades comprometidas en este menester, debiendo la Municipalidad Provincial de Moyobamba considerar anualmente en su presupuesto institucional la partida respectiva;

Que, es necesario dar legalidad a las Áreas de Conservación Municipal, delimitadas por el PETT, con el fin de poder formalizar acciones de vigilancia y control, como parte de sus respectivos planes de manejo, los mismos que se elaborarán en convenio y/o coordinación con las instituciones especializadas y sociedad civil involucradas.

Que, revisados los actuados y los expedientes técnicos sustentatorios de las 15 Áreas propuestas para constituirse Áreas de Conservación Municipal, donde esta comprendida el área Juninguillo - La Mina materia de la presente ordenanza; y efectuadas las coordinaciones correspondientes, debe seguirse un procedimiento nuevo acorde a la Ley orgánica de Municipalidades N° 27972 y demás normas sobre la materia;

Estando a lo expuesto y a lo normado por los artículos 39° y 40° de la Ley orgánica de Municipalidades N° 27972, concordante con el numeral 3) del artículo 9° del mismo cuerpo legal con el voto unánime de sus miembros aprobó la siguiente:

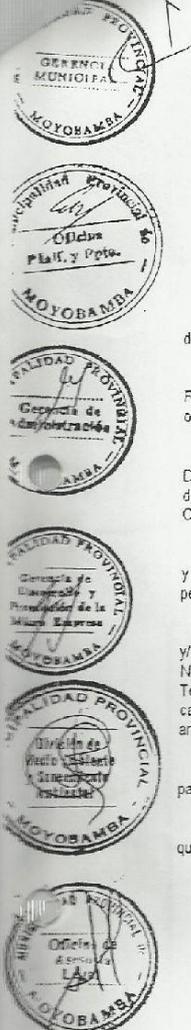
Jr. Pedro Canga N° 262 - Plaza de Armas - Telefax: (042) 563164 - Teléf. 562191

ORDENANZA:
CREACIÓN DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL JUNINGUILLO - LA MINA

ARTICULO 1º.- Crear el Área de Conservación Municipal Juningullo - La Mina, ubicado en la Región San Martín, jurisdicción de la Provincia y Distrito de Moyobamba. Que abarca una superficie de 6,174.34 hectáreas, cuyo perímetro comprende 52,268.00 metros lineales, con las siguientes georeferencias:



DISTANCIA (m)	ÁNGULOS	COORDENADAS UTM		DISTANCIA (m)	ÁNGULOS	COORDENADAS		DISTANCIA (m)	ÁNGULOS	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE (18M)			NORTE	ESTE			NORTE	ESTE
536	43°	9327281	292384	97	240°			275	194°		
386	347°			136	284°			140	207°		
390	356°			172	261°			213	179°		
124	38°			139	248°			84	73°		
547	63°			53	220°			361	44°		
149	352°			107	259°			109	60°		
83	44°			155	218°			134	112°		
172	77°			440	157°			557	193°		
508	117°			167	234°			146	126°		
155	78°			331	149°			221	182°		
219	341°			142	65°			170	154°		
229	351°			152	1°			129	51°		
145	85°			103	96°			81	83°		
526	53°			104	66°			302	132°		
363	324°			124	180°			111	233°		
250	350°			165	223°			294	179°		
639	4°			262	128°			262	102°		
241	73°			192	224°			194	121°		
535	21°			87	277°			58	61°		
242	77°			183	263°			667	117°		
487	2°			72	223°			67	201°		
725	40°			180	196°			231	109°		
437	75°			157	254°			140	137°		
109	48°			371	123°			177	178°		
208	344°			96	48°			117	137°		
59	27°			334	100°			98	188°		
306	110°			370	123°			236	126°		
339	351°			147	97°			166	356°		
2710	311°			486	195°			91	103°		
1746	308°			164	137°			240	154°		
1657	306°			320	78°			199	37°		
1319	280°			96	43°			161	124°		
2033	297°			69	143°			76	181°		
2986	369°			51	26°			174	184°		
521	308°			213	119°			735	129°		
24	265°			55	57°			167	73°		
41	288°			103	120°			506	178°		
49	302°			125	200°			651	138°		
51	280°			91	157°			615	214°		
63	271°			141	238°			271	123°		
39	286°			86	207°			87	186°		
32	321°			141	256°			111	230°		
22	275°			153	226°			398	140°		
45	239°			216	125°			190	165°		
39	263°			274	101°			260	130°		
22	243°			321	186°			509	149°		
28	287°			57	244°			485	121°		
85	333°			72	163°			388	87°		
44	305°			251	241°			114	136°		
153	253°			91	154°			183	216°		
46	216°			326	64°			240	250°		
266	248°			176	358°			342	155°		
246	325°			161	25°			357	234°		
234	281°			150	52°			481	216°		
250	282°			163	30°			519	141°		
109	323°			348	112°			299	143°		
249	273°			153	62°			155	80°		
155	287°			82	150°			338	104°		
74	232°			104	113°			500	126°		
93	210°			162	145°			347	114°		
55	255°			99	81°			289	171°		
79	323°			228	95°			107	143°		
74	248°			238	114°						
56	195°			233	203°						



Elaborado por la municipalidad Provincial de Moyobamba con el apoyo de la glc en base al plano digital proporcionado por el P.E.T.T.

Con los límites y colindancias siguientes:

- Norte: Quebrada Juningue; Área de Conservación Municipal Suglaquiro.
Área no Catastrada.
- Este: Quebrada Yanayacu
- Sur: Río Mayo; Área Titulada
- Oeste: Área Titulada

ARTICULO 2°.- Adjuntar como parte de la presente ordenanza los planos digitalizados y sus respectivas memorias descriptivas elaboradas por el Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural (PETT-San Martín).

ARTICULO 3°.- Solicitar al Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA, su correspondiente inscripción en el Registro Nacional de Áreas de Conservación Municipal; remitiéndole para el efecto copia autenticada y/o certificada de la presente ordenanza con el expediente técnico sustentatorio.

ARTICULO 4°.- Disponer que la Gerencia de Desarrollo y Promoción de la Micro Empresa, a través de sus Divisiones de Medio Ambiente, Defensa Civil y Participación Ciudadana, o las que hagan sus veces, asuma a partir de la vigencia de la presente ordenanza, los planes de trabajo y demás acciones necesarios para la conservación y protección del Área de Conservación Municipal materia de esta ordenanza.

ARTICULO 5°.- Prepublicar en el diario oficial El Peruano la presente ordenanza, para que las personas naturales y jurídicas; así como la ciudadanía en general, tengan la oportunidad de hacer las observaciones y/o aportes que estimen pertinentes en un plazo de treinta (30) días calendario, contados a partir de la fecha de su prepublicación.

ARTICULO 6°.- Disponer que por la Gerencia de Desarrollo y Promoción de la Microempresa, remita copia autenticada y/o certificada a la Dirección Regional Agraria - San Martín, Agencia Agraria Moyobamba, Subprefectura Provincial, Policía Nacional del Perú, Fiscalía Provincial, Corte Superior de Justicia de San Martín, Proyecto Especial Alto Mayo y Cooperación Técnica Alemana (G.T.Z); Alcaldías de Centros Poblados y Agencias Municipales, gobernadores, teniente gobernadores y rondas campesinas de los caseríos circundantes al área de conservación municipal creada, y a otras entidades que correspondan, con arreglo a ley.

ARTICULO 7°.- Disponer que, a partir del año 2005 se asigne en el Presupuesto Municipal la correspondiente partida para garantizar la continuidad de la conducción de esta área de conservación municipal.

ARTICULO 8°.- La presente ordenanza municipal entrará en vigencia desde el día siguiente de vencido el plazo al que se hace referencia en el artículo quinto de la presente norma.

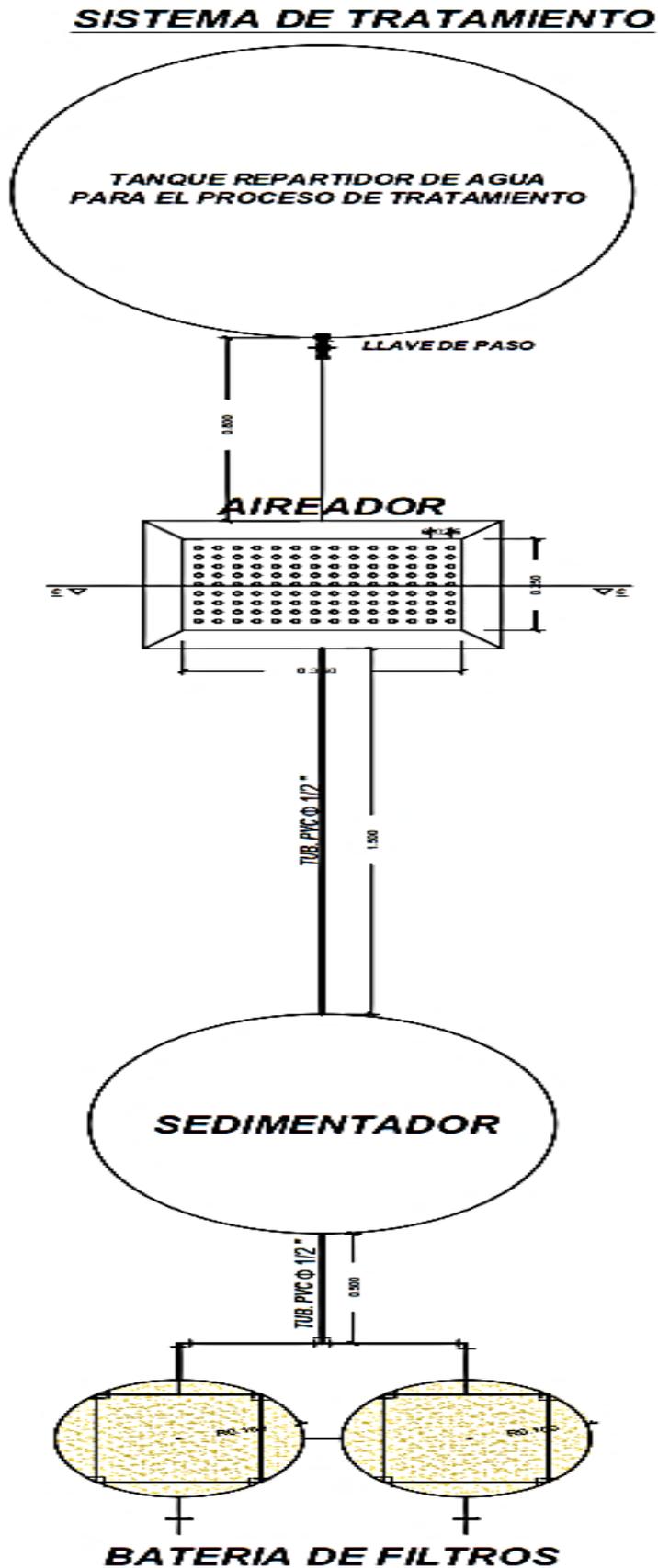
PORTANTO:

REGISTRESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE.



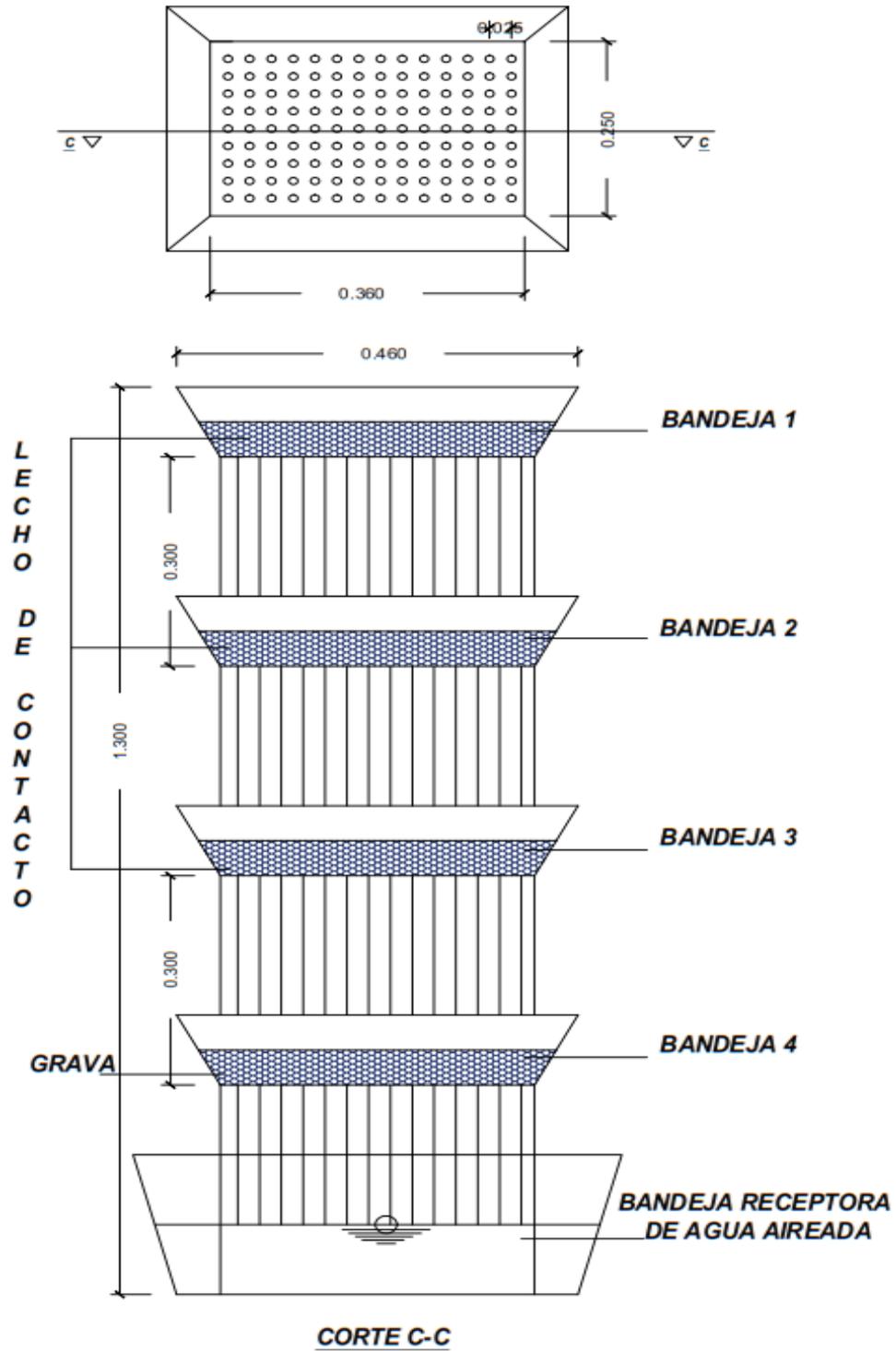
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL MOYOBAMBA
REGION SAN MARTIN

Victor Mardonio Del Castillo Redtegui
ALCALDE

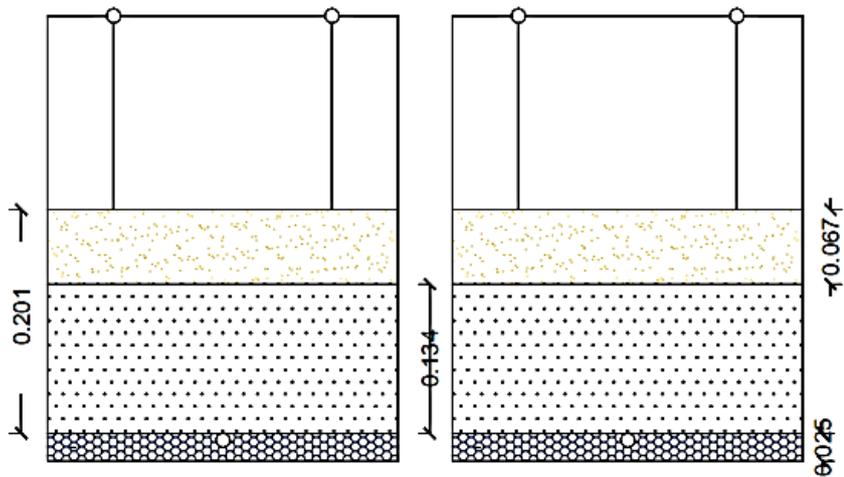
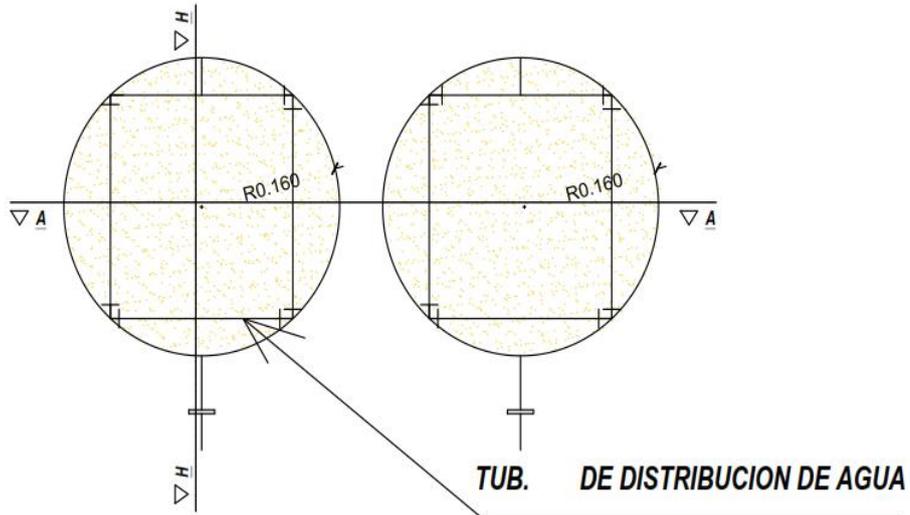
Anexo 4: Diseño de la batería de filtro.

AIREADOR DE BANDEJAS MÚLTIPLES

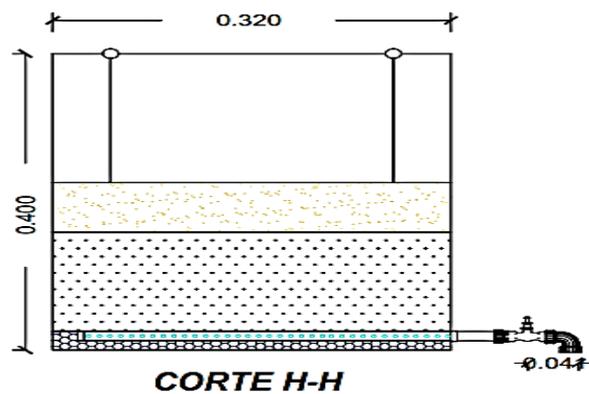
DISTRIBUCION DE ORIFICIOS



BATERIA DE FILTROS



CORTE A-A



CORTE H-H

Anexo 5: Autorización para ejecución tesis en la EPS Moyobamba



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Moyobamba, 22 de setiembre de 2017.

CARTA N° 194-2017-EPS-M/GG

Señor:
MIGUEL VELA RODAS
 Bach. Ing. Sanitaria
 DNI N° 73017070
Presente.-

Asunto : Autorización para la Ejecución de Tesis Titúlada "Aplicación de un Bateria de Filtros empacados en zeolita (clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la mina a escala piloto Moyobamba – 2016" en el área de la EPS Moyobamba SRL.

Referencia : Documento S/N, de fecha 28.08.2017.

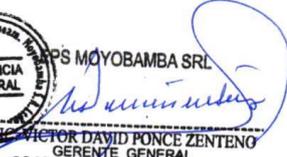
De mi consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, en atención al documento de la referencia, mediante el cual solicita permiso para llevar a cabo la Ejecución de Tesis Titúlada "Aplicación de un Bateria de Filtros empacados en zeolita (clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la mina a escala piloto Moyobamba – 2016" en el área de la EPS Moyobamba SRL.

Al respecto, esta Gerencia General **AUTORIZA** su intervención en el área de la EPS Moyobamba SRL en la fuente de la **Microcuenta Juninguillo - La Mina** para la ejecución de la tesis antes mencionada.

Es propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima.

Atentamente,


 EPS MOYOBAMBA SRL

 VICTOR DAVID PONCE ZENTENO
 GERENTE GENERAL
 COORDINADOR DEL RAT - OTASS

CC
 ARCHIVO



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Moyobamba, 25 de setiembre de 2017.

CARTA N° 193-2017-EPS-M/GG

Señorita:
MAYRA TUESTA LAVI
 Bach. Ing. Sanitaria
 DNI N° 48322244
Presente.-

Asunto : Autorización para la Ejecución de Tesis Titúlada "Aplicación de un Bateria de Filtros empacados en zeolita (clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la mina a escala piloto Moyobamba – 2016" en el área de la EPS Moyobamba SRL.

Referencia : Documento S/N, de fecha 28.08.2017.

De mi consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, en atención al documento de la referencia, mediante el cual solicita permiso para llevar a cabo la Ejecución de Tesis Titúlada "Aplicación de un Bateria de Filtros empacados en zeolita (clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la mina a escala piloto Moyobamba – 2016" en el área de la EPS Moyobamba SRL.

Al respecto, esta Gerencia General **AUTORIZA** su intervención en el área de la EPS Moyobamba SRL en la fuente de la **Microcuenta Juninguillo - La Mina** para la ejecución de la tesis antes mencionada.

Es propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima.

Atentamente,



EPS MOYOBAMBA S.R.L.

CPC FAUSTINO RAMÍREZ MAS
 Gerente General (e)

CC
 ARCHIVO

Anexo 6: Análisis granulométrico de la zeolita (clinoptilolita)



RUC. 1000815220-4

CONSULTORÍA SELVA

Consultores en Ingeniería Geotécnica y Ensayo de Materiales
 Pasaje Sargento Tejada Mz. 5190-LT-36A Barrio Belén - Distrito y Provincia de Moyobamba - Región San Martín
 Celular: (42) 942623907 E - mail: consultoriaselva@hotmail.com

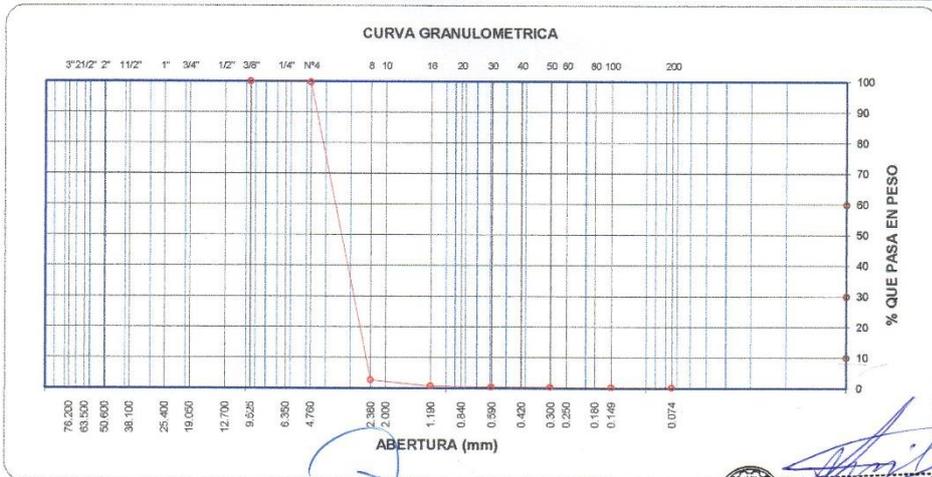
Proyecto : " Aplicación de una Batería de Filtrros Empacados en Zeolita (Clinoptilolita) para la Remoción de Hierro y Manganeseo del Agua de la Microcuenca Juninguillo la Mina a Escala Piloto Moyobamba - 2016"
Ubicación : Distrito y Provincia de Moyobamba, Region San Martin, Perú.
Solicitante : Miguel Vela Rodas
 Mayra Tuesta Lavi
Material : Zeolita (Clinoptilolita) - Muestra 01
Fecha : 13 de Junio de 2,017

Análisis Mecánico por Tamizado ASTM D-422

HUMEDAD NATURAL	
Sh + Tara	: 534.6
Ss + Tara	: 532.5
Tara	:
Peso Agua	: 2.1
Peso Suelo Seco	: 532.5
Humedad(%)	: 0.39

Datos de Ensayo
 Peso de muestra humeda :
 Peso de muestra seca : 500.00 g

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificaciones	Indice de Consistencia
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						L. Líquido : -
2"	50.600						L. Plástico : -
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : -
1"	25.400						Clas. SUCS : -
3/4"	19.050						Clas. AASHTC : -
1/2"	12.700						
3/8"	9.525					100	
No4	4.750	1.07	0.2	0.2	99.8		
8	2.360	485.10	97.0	97.2	2.8		
16	1.190	10.40	2.1	99.3	0.7		
30	0.590	1.58	0.3	99.6	0.4		
50	0.300	0.22	0.0	99.7	0.3		
100	0.149	0.15	0.0	99.7	0.3		
200	0.074	0.09	0.0	99.7	0.3		
pasa		1.4					



OBSERVACIONES :

Jorge Pezo Dávila
 TÉCNICO OPERADOR DE LABORATORIO



Luis Guerrero Soplin
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 65202



RUC. 1000815220-4

CONSULTORÍA SELVA

Consultores en Ingeniería Geotécnica y Ensayo de Materiales
 Pasaje Sargento Tejada Mz. 5190-LT-36A Barrio Belén - Distrito y Provincia de Moyobamba - Región San Martín
 Celular: (42) 942623907 E - mail: consultoriaselva@hotmail.com

Proyecto : " Aplicación de una Batería de Filtros Empacados en Zeolita (Clinoptilolita) para la Remoción de Hierro y Manganeseo del Agua de la Microcuenca Juninguillo la Mina a Escala Piloto Moyobamba - 2016"

Ubicación : Distrito y Provincia de Moyobamba, Region San Martín, Perú.

Solicitante : Miguel Vela Rodas
 Mayra Tuesta Lavi

Material : Zeolita (Clinoptilolita) - Muestra 02

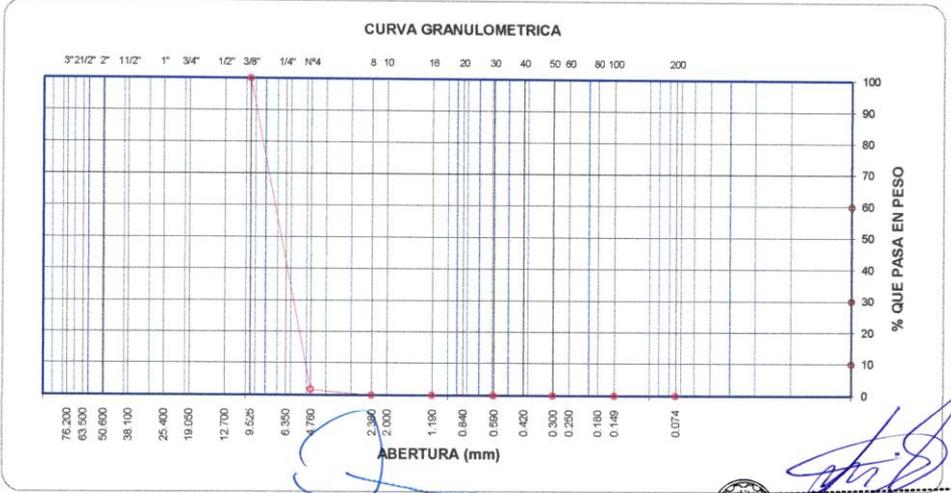
Fecha : 13 de Junio de 2,017

Análisis Mecánico por Tamizado ASTM D-422

HUMEDAD NATURAL	
Sh + Tara	: 490.0
Ss + Tara	: 487.9
Tara	:
Peso Agua	: 2.1
Peso Suelo Seco	: 487.9
Humedad(%)	: 0.43

Datos de Ensayo
 Peso de muestra humeda :
 Peso de muestra seca : 500.00 g

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificaciones	Indice de Consistencia
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						L. Líquido : --
2"	50.600						L. Plástico : --
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : --
1"	25.400						Clas. SUCS : --
3/4"	19.050						Clas. AASHTC : --
1/2"	12.700				100.0		
3/8"	9.525	0.20	0.0	0.0	100.0	100	
4	4.750	490.70	98.1	98.2	1.8		
8	2.360	8.80	1.8	99.9	0.1		
16	1.190	0.30	0.1	100.0	0.0		
30	0.590	0.00		100.0	0.0		
50	0.300	0.00		100.0	0.0		
100	0.149	0.00		100.0	0.0		
200	0.074	0.00		100.0	0.0		
pasa		0.3					



OBSERVACIONES :

Jorge Pezo Dávila
 TÉCNICO OPERADOR DE LABORATORIO



LUIS GUERRERO SOPLÍN
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 65202

Anexo 7: Resultados obtenidos de laboratorio.



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

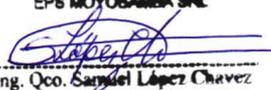
INFORME DE ENSAYO N° 029-2017/EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE	: MIGUEL VELA RODAS MAYRA TUESTA LAVI
PROYECTO	: "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA), PARA LA REMOCION DE HIERRO Y MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO MOYOBAMBA - 2016."
PUNTO DE MUESTREO	: Quebrada Juninguillo.
MUESTRA	: Caracterización de agua de la quebrada Juninguillo.
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	: 15-09-2016.
HORA TOMA DE MUESTRA	: 10:12 a.m.
MUESTREADO	: Por el Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN	: 23-09-2017

RESULTADOS DE ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	L.M.P	RESULTADOS
01	TURBIEDAD	U.N.T	5	25
02	SST	mg/L	150	25
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.5-8.5	6.87
04	HIERRO	°C	<35	1.1
05	MANGANESO	mg/L	0.4	0.04
06	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	1500	50



EPS MOYOBAMBA SRL

 Ing. Qco. Samuel López Chavez
 JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 030-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 2.36
mm.

MUESTRA : M_a ENTRADA – M_b SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 04-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 9:25 a.m. Salida 10:05 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 06-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	21	4.80
02	SST	mg/L	18	13
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.92	6.70
04	HIERRO	°C	0.86	0.30
05	MANGANESO	mg/L	0.03	0.007
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	33.3	27



EPS MOYOBAMBA SRL
Samuel López
Ing. Gen. Samuel López Chevez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 031-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 2.36
mm.

MUESTRA : M_c ENTRADA – M_d SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 04-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:23 a.m. Salida 2:18 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 06-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	30.6	13.7
02	SST	mg/L	43	35
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.85	6.52
04	HIERRO	°C	0.75	0.43
05	MANGANESO	mg/L	0.2	0.08
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	85	76



EPS MOYOBAMBA SRL
Ing. Qcn. Samuel López Chávez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 032-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 2.36
mm.

MUESTRA : M_e ENTRADA – M_r SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 13-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 10:40 a.m. Salida 11:15 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 15-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	20.6	10.4
02	SST	mg/L	44	42
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.66	6.51
04	HIERRO	°C	0.97	0.57
05	MANGANESO	mg/L	0.30	0.10
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	88	85



EPS MOYOBAMBA SRL

Samuel López
Ing. Qco. Samuel López Chávez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 033-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 2.36
mm.

MUESTRA : M_g ENTRADA – M_h SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 13-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:14 a.m. Salida 2:03 p.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 15-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	28.6	4.52
02	SST	mg/L	24	23
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.83	6.48
04	HIERRO	°C	1.14	0.64
05	MANGANESO	mg/L	0.27	0.09
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	49	48



EPS MOYOBAMBA SRL

Samuel López Chávez
Ing. Oco. Samuel López Chávez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 034-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 4.75
mm.

MUESTRA : M_a ENTRADA – M_b SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 21-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 10:15 a.m. Salida 11:02 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 25-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	27.9	3.20
02	SST	mg/L	75	65
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.75	6.44
04	HIERRO	°C	1.06	0.80
05	MANGANESO	mg/L	0.18	0.09
06	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	130	126



EPS MOYOBAMBA S.R.L

[Signature]
Ing. Qco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 035-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 4.75
mm.

MUESTRA : M_e ENTRADA – M_d SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 21-11-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:35 p.m. Salida 2:26 p.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 25-11-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _e)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	17.8	4.19
02	SST	mg/L	41.6	37
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.30	6.80
04	HIERRO	°C	1.16	0.89
05	MANGANESO	mg/L	0.22	0.11
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	83.20	79



EPS MOYOBAMBA S.R.L.
[Signature]
ing. Qcn. SÁMUEL LÓPEZ CHEVEZ
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 036-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 4.75
mm.

MUESTRA : M_e ENTRADA – M_r SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 02-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 9:33 a.m. Salida 10:42 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 04-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	20.2	4.51
02	SST	mg/L	81	78
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.88	6.37
04	HIERRO	°C	1.18	0.73
05	MANGANESO	mg/L	0.18	0.097
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	162	159



EPS MOYOBAMBA SRL
[Signature]
Ocho Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 037-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de filtros de zeolita Φ 4.75
mm.

MUESTRA : M_g ENTRADA – M_h SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 02-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:29 p.m. Salida 2:18 p.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 04-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M_a)	SALIDA (M_b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	30.8	8
02	SST	mg/L	47	46
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.63	6.34
04	HIERRO	°C	1.09	0.68
05	MANGANESO	mg/L	0.16	0.09
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	96	95



EPS MOYOBAMBA S.R.L.

Samuel López Clavez
ing. Oco. Samuel López Clavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 038-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : “APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016.”

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.

MUESTRA : M_a ENTRADA – M_b SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 09-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 8:23 a.m. Salida 9:05 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 11-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	14	2.35
02	SST	mg/L	12	10
03	pH	Potencial de Hidrógeno	7.40	6.64
04	HIERRO	°C	0.90	0.28
05	MANGANESO	mg/L	0.04	0.006
06	CONDUCTIVIDAD	μmho/cm	24	19



EPS MOYOBAMBA SRL

[Signature]
Ing. Oco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 039-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.

MUESTRA : M_c ENTRADA – M_d SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 09-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:20 p.m. Salida 2:28 p.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 11-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	10	2.45
02	SST	mg/L	10	9
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.54	6.54
04	HIERRO	°C	0.87	0.22
05	MANGANESO	mg/L	0.05	0.007
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	20	18



EPS MOYOBAMBA SRL

Samuel López Chávez
Ing. Oco. Samuel López Chávez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 040-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI
PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."
PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.
MUESTRA : M_e ENTRADA – M_r SALIDA.
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 15-12-2017.
HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 9:17 a.m. Salida 9:54 a.m.
MUESTREADO : Por el Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN : 17-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	12	2.20
02	SST	mg/L	14	11
03	pH	Potencial de Hidrógeno	7.21	6.52
04	HIERRO	°C	0.78	0.20
05	MANGANESO	mg/L	0.06	0.005
06	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	27	24



EPS MOYOBAMBA SRL
Samuel López Chavez
Ing. Qco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

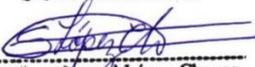
INFORME DE ENSAYO N° 041-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI
PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."
PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.
MUESTRA : M_g ENTRADA – M_h SALIDA.
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 15-12-2017.
HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 1:00 p.m. Salida 1:53 p.m.
MUESTREADO : Por el Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN : 17-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	12.7	1.95
02	SST	mg/L	11	9
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.48	7.08
04	HIERRO	°C	0.65	0.28
05	MANGANESO	mg/L	0.06	0.04
06	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	22	19



EPS MOYOBAMBA SRL

Ing. Qco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda**
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO N° 042-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI

PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."

PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.

MUESTRA : M_i ENTRADA – M_j SALIDA.

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 22-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 8:53 a.m. Salida 9:45 a.m.

MUESTREADO : Por el Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 23-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M _a)	SALIDA (M _b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	12.2	2
02	SST	mg/L	10	8
03	pH	Potencial de Hidrógeno	6.20	6.90
04	HIERRO	°C	0.88	0.26
05	MANGANESO	mg/L	0.04	0.006
06	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	20	17



EPS MOYOBAMBA SRL

S. López
Ing. Qco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE MOYOBAMBA S.R.Lda
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD**

INFORME DE ENSAYO N° 043-2017/ EPS.MOYOBAMBA S.R.Ltda./DPTO.CC

SOLICITANTE : MIGUEL VELA RODAS
MAYRA TUESTA LAVI
PROYECTO : "APLICACIÓN DE UNA BATERIA DE FILTROS
EMPACADOS EN ZEOLITA (CLINOPTILOLITA),
PARA LA REMOCION DE HIERRO Y
MANGANESO DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
JUNINGUILLO LA MINA A ESCALA PILOTO
MOYOBAMBA - 2016."
PUNTO DE MUESTREO : Entrada y salida de la batería de Filtros más eficiente de
zeolita (Φ 2.36 mm) con pre tratamiento de aireación y
sedimentación.
MUESTRA : M_k ENTRADA – M_l SALIDA.
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 22-12-2017.
HORA TOMA DE MUESTRA : Entrada 12:45 p.m. Salida 1:35 p.m.
MUESTREADO : Por el Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN : 23-12-2017

RESULTADOS DE ENSAYO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	ENTRADA (M_a)	SALIDA (M_b)
01	TURBIEDAD	U.N.T	13	3.5
02	SST	mg/L	12	11
03	pH	Potencial de Hidrógeno	7.38	6.70
04	HIERRO	°C	0.85	0.24
05	MANGANESO	mg/L	0.08	0.005
06	CONDUCTIVIDAD	μ mho/cm	23	24



EPS MOYOBAMBA S.R.L.
[Signature]
Ing. Qco. Samuel López Chavez
JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD

Anexo 8: Panel fotográfico.

➤ MUESTREO DE AGUA PARA CARACTERIZACION

Fotografía N° 1: Muestreo para la caracterización*Fotografía N° 2: Grava de ¼ pulg.**Fotografía N° 3: Arena de 1 mm.**Fotografía N° 4: zeolita
(clinoptilolita)*

➤ TRANSPORTE DE MATERIALES PARA EXPERIMENTO DE FILTRACION

Fotografía N° 5: Transporte de los materiales*Fotografía N° 6: Materiales para construir el filtro*

➤ CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Fotografía N° 7: Construcción del filtro*Fotografía N° 8: Colocación de las llaves de paso**Fotografía N° 9: Construcción del aireador**Fotografía N° 10: Colocación del material filtrante en la batería de filtro.*

➤ TRATAMIENTO DE AGUA CON PRETRATAMIENTO DE AIREACION, SEDIMENTACION Y FILTRACION

Fotografía N° 11: Abastecimiento del tanque repartidor de agua



Fotografía N° 12: Regulando caudal de salida



Fotografía N° 13: Proceso de tratamiento



Fotografía N° 14: Proceso de tratamiento



Fotografía N° 15: Proceso de aireación



Fotografía N° 16: Recolección de las muestras

