

Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA CÁSCARA DE NARANJA, PARA
LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LAS ZONAS
RURALES DE SAN RAMÓN, JUNÍN**

Línea de Investigación.

Ciudades Sostenibles

Tesis para optar el grado académico de:

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor:

Borda Luna Benjamin Emerson

Asesor:

Martel Javier, Edwin Antonio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5626-9867>

Jurado:

Alva Velásquez, Miguel

Castañeda Pérez, Luz G.

Iannacone Oliver, José A.

Lima-Perú

2022

Dedicatoria

A Nathalie Lahura; mi amada esposa y Sophie Borda; mi adorada hija,
mis motivos y razones para existir.

Agradecimientos

A mi esposa Nathalie Lahura y a mi hija Sophie Borda, por su incansable amor, motivación única, sabiduría, paciencia y comprensión infinita.

A la vida, que me permite desarrollar herramientas e instrumentos de gestión ambiental, para contribuir con el desarrollo sostenible del planeta en general.

A Dios por ser el soporte de fe.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Índice	4
Resumen	10
Abstract	11
1. INTRODUCCION	12
1.1. Planteamiento del Problema	13
1.2. Descripción del Problema	14
1.2.1. A nivel global	14
1.2.2. A nivel Nacional	17
1.2.3. A nivel local	18
1.3. Formulación del problema	19
1.3.1. Problema General	19
1.3.2. Problemas Específicos	19
1.4. Antecedentes	20
1.4.1. Antecedentes sobre Sistemas de captación de agua de lluvia	20
1.4.2. Antecedentes de los Sistemas de filtración	25
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	26
1.5.1. Justificación	26
1.5.2. Importancia	29
1.6. Limitaciones de la Investigación	30
1.7. Objetivos	30
1.7.1. Objetivo General.	30
1.7.2. Objetivos Específicos.	31
1.8. Hipótesis	31
1.8.1. Hipótesis General.	31
1.8.2. Hipótesis Específicas.	31
II. MARCO TEÓRICO	32
2.1. Teorías Generales	32
2.1.1. Aspectos generales del agua.	32
2.1.1.1. Conceptos del agua	32
2.1.1.2. Ciclo hidrológico del agua	32
2.1.1.3. Precipitación - lluvia	33
2.1.1.4. Medición de la precipitación	33
2.1.1.5. Disponibilidad del agua de lluvia	34
2.1.1.6. Usos del Agua de Lluvia	35
2.1.1.7. Ventajas y desventajas del uso del agua de lluvia	36
2.1.1.8. El cambio climático	36
2.1.1.9. Cuenca Hidrográfica	37
2.1.2. Situación del agua en el planeta	37
2.1.2.1. Disponibilidad en el mundo	37
2.1.2.2. Servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales	38
2.1.2.3. Relación del agua y salud	39
2.1.3. Situación y disponibilidad del agua en el Perú	40
2.1.4. Definición de calidad de agua	40
2.1.4.1. Características físicas	41
2.1.4.2. Características químicas	41
2.1.4.3. Características biológicas del agua	42
2.1.5. Criterios de calidad para la selección de una fuente de agua cruda	43
2.1.5.1. Criterios fisicoquímicos	43

2.1.5.2.	Criterios biológicos de calidad para la selección de una fuente de agua cruda	45
2.1.5.3.	Las guías de calidad de la OMS aspectos microbiológicos	46
2.1.6.	El agua potable	47
2.1.6.1.	Aspectos fisicoquímicos	47
2.1.6.2.	Aspectos biológicos	47
2.1.6.3.	Criterios de calidad del agua para consumo humano: las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS	48
2.1.7.	El agua de lluvia, para el uso del agua potable	49
2.1.8.	Principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua	50
2.1.8.1.	Transferencia de iones - Absorción	50
2.1.8.2.	Transferencia de iones - Adsorción	50
2.1.8.3.	Transferencia molecular	50
2.1.8.4.	Transferencia de sólidos - filtración	51
2.1.8.5.	Desinfección	52
2.1.9.	Biosorción	52
2.1.9.1.	Biosorbentes	53
2.1.9.2.	Proceso de Biosorción	53
2.1.9.3.	Cinética de Biosorción:	54
2.1.10.	Propiedades de la naranja como medio filtrante o bioabsorbente.	54
2.1.11.	Cáscara de naranja como adsorbente	55
2.1.11.1.	Estructura de la Pectina	55
2.1.11.2.	Pectina como biosorbente	56
2.1.12.	Plantas de tratamiento de agua de lluvia	57
2.1.12.1.	Plantas de filtración lenta	58
2.2.	Marco Normativo	58
2.2.1.	Constitución Política del Perú	58
2.2.2.	Ley 28611 Ley General del Ambiente	59
2.2.3.	Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos	59
2.2.4.	Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos	60
2.2.5.	Ley N° 30640 ley de Recursos Hídricos, mediante el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca	60
2.2.6.	D.S.N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano	60
2.3.	Aspectos de responsabilidad social y ambiental	66
III.	MÉTODO	67
3.1.	Tipo de Investigación	67
3.2.	Población y Muestra	68
3.2.1.	Población.	68
3.2.2.	Muestra.	68
3.3.	Operacionalización de Variables.	68
3.3.1.	Variable Independiente.	69
3.3.2.	Variable Dependiente.	70
3.4.	Instrumentos	72
3.5.	Procedimientos	72
3.5.1.	Requerimientos de diseño	72
3.5.1.1.	Consideraciones previas	72
3.5.1.2.	Precipitación media anual	73
3.5.1.3.	Precipitación media mensual	74
3.5.1.4.	Cálculo de la demanda de agua	74
3.5.2.	Diseño de los procesos de la planta de tratamiento de agua de lluvia	75
3.5.2.1.	Diseño técnico de la superficie de captación	75
3.5.2.2.	Diseño del sistema de canalización	76
3.5.2.3.	Diseño del sistema de almacenamiento temporal	77

3.5.2.4.	Diseño de la planta de filtración primaria	78
3.5.2.5.	Diseño del sistema de almacenamiento permanente	80
3.5.2.6.	Dosificación y desinfección del agua	80
3.5.3.	Diseño del equipo de filtración	81
3.5.3.1.	Diseño del filtro	81
3.5.3.2.	Fabricación de los topes de la rejilla de filtración	83
3.5.3.3.	Diseño para la fabricación de la rejilla de filtración	83
3.5.3.4.	Componentes de diseño del filtro	83
3.5.3.5.	Especificaciones técnicas del filtro	84
3.5.4.	Adecuación del medio filtrante de la cáscara de la naranja	86
3.5.4.1.	Pretratamiento de la cáscara de naranja	87
3.5.4.2.	Procedimiento de desmetoxilación de la cáscara de naranja	88
3.5.4.3.	Procedimiento de reticulación de la cáscara de naranja	88
3.5.5.	Prueba hidráulica final del filtro y medio filtrante	90
3.5.6.	Monitoreo de muestra inicial del agua de lluvia	90
3.5.7.	Monitoreo de muestra final del agua de lluvia	91
3.5.8.	Comparación de resultados finales	92
3.5.9.	Estrategia de Prueba de Hipótesis.	92
3.6.	Análisis de Datos	93
3.6.1.	Procesamiento y Análisis de Datos.	93
3.7.	Consideraciones éticas	95
IV.	RESULTADOS	96
4.1	Cálculo de la precipitación media anual	96
4.2	Cálculo de la precipitación media mensual	96
4.3	Cálculo de la demanda de agua	99
4.4	Construcción de la superficie de captación	99
4.5	Construcción del sistema de canalización	100
4.6	Construcción del sistema de almacenamiento temporal	100
4.7	Construcción de la planta de filtración primaria	101
4.8	Construcción del sistema de almacenamiento permanente	101
4.9	Construcción del equipo de filtración – filtro	102
4.10	Preparación del medio filtrante en etapa de pretratamiento	104
4.11	Preparación del medio filtrante en etapa de desmetoxilación	105
4.12	Preparación del medio filtrante en etapa de reticulación	107
4.13	Prueba hidráulica del filtro	108
4.14	Toma de muestras iniciales y finales del agua de lluvia	109
4.15	Resultados del monitoreo inicial, final y límites máximos permisibles	110
4.16	Contrastación de Hipótesis	115
V.	DISCUSION DE RESULTADOS	116
5.1	Funcionamiento de la planta de tratamiento del agua de lluvia	116
5.2	Funcionamiento del sistema del filtro	117
5.3	Funcionamiento del bioabsorbente de la cáscara de naranja como medio filtrante.	117
5.4	Prueba hidráulica del sistema de filtración.	118
5.5	Remoción de parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia	119
5.6	Remoción de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia	122
5.7	Remoción de formas parasitarias de la calidad del agua de lluvia	124
5.8	Remoción de los parámetros organoclorados de la calidad del agua de lluvia	128
5.9	Remoción de los parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia	131
5.10	Remoción de los parámetros de organismos de vida libre -OVL de la calidad del agua de lluvia	134
5.11	Remoción de los parámetros de metales de la calidad del agua de lluvia	137
VI.	CONCLUSIONES	141

VII.	RECOMENDACIONES	148
VIII.	REFERENCIAS	151
IX.	ANEXOS	162

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Olores característicos del agua y su origen	41
Tabla 2. Recomendación del contenido de flúor en el agua de consumo	42
Tabla 3. Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales	43
Tabla 4. Tratamientos recomendados según el nivel de contaminación fecal	45
Tabla 5. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos	62
Tabla 6. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	63
Tabla 7. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos	63
Tabla 8. Límites máximos permisibles de parámetros químicos orgánicos	64
Tabla 9. Límites máximos permisibles de parámetros radiactivos	65
Tabla 10. Variables del estudio de investigación	69
Tabla 11. Definición conceptual y operacional de la variable independiente	69
Tabla 12. Operacionalización de la variable independiente	70
Tabla 13. Definición conceptual y operacional de la variable dependiente	71
Tabla 14. Operacionalización de la variable dependiente	71
Tabla 15. Precipitación pluvial mensual y anual, en la ciudad de San Ramón (2012-2017mm)	73
Tabla 16. Materiales de fabricación del filtro.	84
Tabla 17. Especificaciones técnicas del filtro	85
Tabla 18. Parámetros a evaluar en muestra inicial de agua de lluvia	90
Tabla 19. Parámetros a evaluar en muestra inicial de agua de lluvia	91
Tabla 20. Determinación de precipitación promedio mensual en San Ramón (2012-2017mm)	98
Tabla 21. Medición de resistencia eléctrica del filtro para prueba hidráulica de filtración.	108
Tabla 22. Resultados de los parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia	110
Tabla 23. Resultados de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia	111
Tabla 24. Resultados formas parasitarias de la calidad del agua de lluvia	111
Tabla 25. Resultados de los parámetros organoclorados de la calidad del agua de lluvia	112
Tabla 26. Resultados de los parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia	113
Tabla 27. Resultados de los parámetros de OVL de la calidad del agua de lluvia	114
Tabla 28. Resultados de los parámetros de metales de la calidad del agua de lluvia	114
Tabla 29. Porcentaje de remoción de los parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia.	120
Tabla 30. Porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia.	123
Tabla 31. Porcentaje de remoción de los parámetros parasitológicos de la calidad del agua de lluvia	125
Tabla 32. Porcentaje de remoción de los parámetros físicos de la calidad del agua de lluvia.	129

Tabla 33. Porcentaje de remoción de parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia.	132
Tabla 34. Porcentaje de remoción de los organismos de vida libre de la calidad del agua de lluvia.	135
Tabla 35. Porcentaje de remoción de los metales de la calidad del agua de lluvia.	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico simplificado con sus componentes y fases.	32
Figura 2. Distribución Global del agua en el planeta	37
Figura 3. Presión sobre los recursos hídricos en el mundo	39
Figura 4. Cobertura de agua potable en el mundo	39
Figura 5. Estructura química de la glucosa.	55
Figura 6. Estructura química de la pectina	56
Figura 7. Pretratamiento de la cáscara de naranja	87
Figura 8. Proceso de desmetoxilación de la cáscara de naranja	88
Figura 9. Estructura de la pectina	89
Figura 10. Proceso de reticulación de la cáscara de naranja	89
Figura 11. Estructura del sistema de captación	99
Figura 12. Construcción del sistema de almacenamiento primario	100
Figura 13. Construcción de la planta de filtración primaria	101
Figura 14. Construcción del sistema de almacenamiento permanente	102
Figura 15. Construcción del filtro	104
Figura 16. Pretratamiento de la cáscara de naranja	105
Figura 17. Desmetoxilación de la cáscara de naranja	106
Figura 18. Reticulación de la cáscara de naranja	107
Figura 19. Prueba hidráulica del filtro	109
Figura 20. Toma de muestra inicial y final del agua de lluvia.	110
Figura 21. Comparación de resultados de parámetros físicos con los LMPs.	121
Figura 22. Comparación de resultados de parámetros microbiológicos con los LMPs.	124
Figura 23. Comparación de resultados de parámetros parasitológicos con los LMPs.	128
Figura 24. Comparación de resultados de parámetros organoclorados con los LMPs.	130
Figura 25. Comparación de resultados de parámetros organolépticos con los LMPs.	134
Figura 26. Comparación de resultados de parámetros de organismos de vida libre con los LMPs.	136
Figura 27. Comparación de resultados de metales con los LMPs.	140

Resumen

El objetivo de la investigación fue desarrollar y evaluar el proceso de filtración de la cáscara de naranja para la potabilización de agua de lluvia, el tipo de investigación fue aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental. La investigación se desarrolló en San Ramón, Chanchamayo, Junin, Perú, del 2019 al 2020. Se diseñó una planta de tratamiento considerando la precipitación media anual y mensual, captación, cañalización, almacenamiento temporal y permanente, filtración primaria, dosificación, desinfección del agua y el equipo de filtración. Además, del medio filtrante de la cáscara de naranja adecuado por procesos de pretratamiento, desmetoxilación y reticulación. También se analizó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua al inicio y final del tratamiento logrando una remoción aceptable; no se presentaron elementos organoclorados; en formas parasitarias se evidenció giardia duodenalis, cryptosporidium parvum, trichuris sp., fasciola sp. y helmintos, que fueron eliminados al 100% posterior al tratamiento, para parámetros microbiológicos se detectó coliformes totales que fueron eliminados al 100%, para STD, nitritos, nitratos, sulfatos, nitrogeno amoniacal y dureza se obtuvo una remoción de 99.7%, el fitoplacton, zooplacton y nemátodos, fueron removidos en 98.8%, los parámetros físicos de olor, sabor, pH y temperatura, se mantuvieron dentro de rangos adecuados para calidad de agua potable. También, la remoción de metales pesados fue superior al 90%, a excepción del Arsénico que tuvo una remoción de 43.7%. Finalmente, la hipótesis fue demostrada utilizando el factor de eficiencia obtenidos antes y después del tratamiento, que permitió cumplir con los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 031-2010-SA.

Palabras clave: agua, biosorvente, calidad, desinfección, filtración, lluvia, naranja, parámetros, potabilización, tratamiento.

Abstract

The objective of the research was to develop and evaluate the orange peel filtration process for the purification of rainwater, the type of research was applied with a quantitative approach and experimental design. The research was carried out in San Ramón, Chanchamayo, Junin, Peru, from 2019 to 2020. A treatment plant was designed considering the average annual and monthly precipitation, collection, channeling, temporary and permanent storage, primary filtration, dosing, water disinfection and filter equipment. In addition, the orange peel filter medium suitable for pretreatment, demethoxylation and crosslinking processes. The physicochemical and microbiological parameters of the water at the beginning and end of the treatment were also analyzed, achieving an acceptable removal; no organochlorine elements were present; in parasitic forms giardia duodenalis, cryptosporidium parvum, trichuris sp., fasciola sp. and helminths, which were 100% eliminated after treatment, for microbiological parameters total coliforms were detected, which were 100% eliminated, for STD, nitrites, nitrates, sulfates, ammoniacal nitrogen and hardness, a 99.7% removal was obtained, phytoplankton, zooplankton and nematodes were removed in 98.8%, the physical parameters of odor, taste, pH and temperature were maintained within adequate ranges for drinking water quality. Also, the removal of heavy metals was greater than 90%, with the exception of Arsenic, which had a removal of 43.7%. Finally, the hypothesis was demonstrated using the efficiency factor obtained before and after the treatment, which allowed compliance with the Maximum Permissible Limits of the D.S. No. 031-2010-SA.

Keywords: *water, biosorbent, quality, disinfection, filtration, rain, orange, parameters, purification, treatment.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

En el Capítulo I, se desarrolla la introducción a la investigación, para el cual se realiza el planteamiento y descripción del problema a nivel global, nacional y local, se muestra, la justificación e importancia, así como las limitaciones de la investigación, definiendo los objetivos y la hipótesis correspondiente a la investigación.

En el Capítulo II, se realiza la descripción de los conceptos teóricos, ideas, procedimientos que se utilizaron como base para el desarrollo de la investigación, esta base teórica y concreta abarca conceptos de referencia legal, técnica y específica a la naturaleza del objetivo del estudio. También, en este capítulo, se presenta una descripción de la Legislación Nacional y Normas Internacionales vigentes aplicables al objetivo de la investigación.

En el Capítulo III, se desarrolla el método de la investigación, donde se describe el tipo de investigación, la población y muestra, la operacionalización de variables, los instrumentos, procedimientos y técnicas de análisis de datos de la investigación. Cabe precisar que la investigación desarrollada es de tipo aplicada por proponer un sistema de potabilización del agua de lluvia, mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja en las zonas rurales de San Ramón, Junín. Asimismo, la investigación es de enfoque cuantitativo, cuyo alcance es explicativo y de diseño experimental. Además, se describen los procedimientos y evidencias de la implementación de la planta que permite la potabilización del agua de lluvia mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, se muestra el acondicionamiento de los filtros, el pretratamiento y tratamiento de la cáscara de naranja para su acondicionamiento como medio filtrante. Finalmente, en este capítulo se describen los

métodos para la toma de muestra del agua de lluvia en fase inicial y tratada que fueron analizados en un laboratorio acreditado por INACAL.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados de la investigación, que se compone del diseño, prueba y operación de la planta de tratamiento, hasta los resultados del análisis del agua de lluvia antes y después del tratamiento, a través de acciones para la contrastación de la hipótesis, y el análisis e interpretación de los datos.

En el Capítulo V, se desarrolla la discusión de los resultados de la investigación, con relación a las propuestas de otras investigaciones.

En el Capítulo VI, se plantean las conclusiones de la investigación.

En el Capítulo VII, se presentan las recomendaciones de la investigación

En el capítulo VIII, se muestran las referencias bibliográficas que sirvieron como referencia e información básica para el desarrollo de la investigación.

Finalmente, en el Capítulo IX, se muestran los anexos correspondientes a la investigación desarrollada.

1.1 Planteamiento del Problema

La realidad ambiental del planeta, obliga a tomar serias acciones sobre el aprovechamiento racional de los recursos naturales en general, la sobrepoblación va en aumento cuya curva exponencial es cada vez más notoria, en consecuencia, existe una necesidad de consumismo que orienta a una destrucción y desabastecimiento de recursos naturales en el planeta al corto y mediano plazo.

Se conoce que uno de los recursos que necesita ser gestionado de manera correcta, eficiente y sostenible es el Recurso Hídrico, en la actualidad, aun no se cuentan con eficientes

sistemas de aprovechamiento y gestión, en consecuencia millones de pobladores en el mundo, no cuentan con un sistema hídrico de calidad, el Perú es uno de los países que viene lidiando con esta necesidad a fin de mejorar el abastecimiento de agua potable o para consumo humano más aún en las zonas más vulnerables y abandonadas por las autoridades nacionales y locales.

Es por ello que, la presente investigación propone un sistema de captación del agua de lluvia que, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, pretende lograr su potabilización a fin de que sea usado para el consumo humano, este resultado se logra mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja a fin de que pobladores de las zonas rurales de San Ramón, Junín., Sean beneficiarios directos. Además, esta tecnología de abastecimiento de agua potable, es ecoamigable al no originar ningun perjuicio al recurso natural, permitiendo su aprovechamiento ambientalmente sostenible.

Para la investigación y desarrollo de la investigación, se seleccionó como unidad de análisis a propietarios del centro poblado de la Auvernia situado a 3.80 km margen derecho del rio oxabamba en el distrito de San Ramón de la provincia de Chanchamayo, departamento de Junin, Perú.

1.2 Descripción del Problema

1.2.1 A nivel global

El aprovechamiento de las precipitaciones pluviales, se origina como respuesta práctica debido a la alarmante y creciente escasez de agua en el planeta ya que en la actualidad en pleno siglo XXI, millones de poblaciones no tienen acceso a este recurso, aún en el planeta se piensa que contamos con alta disponibilidad de aguas superficiales. Por lo tanto, es algo que no nos afecta, pero dentro de esta concepción, claramente nos encontramos equivocados considerando que el agua ya no es un recurso inagotable como antes se

pregonaba. Al hablar de escasez, no mencionamos que el agua se está acabando, ya que el planeta posee una cantidad de agua alrededor de los 1260 mill. de bill de litros en diferentes estados (PNUMA, 2010), el problema radica en la disponibilidad. El 97.5% del agua del planeta se encuentra en los mares y por lo expuesto no es usado para consumo de la población, el 2.5% de agua dulce se encuentra como hielo es decir en fase sólida y como agua subterránea, del cual solo 0.007% en forma de lagos, ríos, represas y fuentes superficiales, destinado para el consumo humano (Chartuni y García, 2012). Agregarle a ello las proyecciones que según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) aproximadamente 1,800 mill de habitantes del planeta para el año 2050 se encontrarán en crisis debido a la exponencial demanda de los recursos hídricos que es directamente proporcional al incremento de la población mundial.

Al respecto la Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que, en el 2025, cerca de 2,000 mill de personas vivirán en países o en regiones donde la escasez de agua será absoluta y la disponibilidad del recurso elemental por persona, estará por debajo de los 500m³ anuales, valor estimado y recomendado para que las personas lleven una vida con disponibilidad adecuada de agua.

También, según el objetivo de desarrollo sostenible número 6 (ODS N°06, 2015), que trata sobre el agua limpia y saneamiento, menciona que que la escasez de agua en la actualidad afecta a más del 40% de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2.100 mill de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes.

En 2011, 41 países experimentaban estrés hídrico; 10 de ellos estaban a punto de agotar su suministro de agua dulce renovable y ahora dependen de fuentes alternativas. El aumento de las sequías y la desertificación por efectos del cambio climático, está empeorando esta tendencia. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá perjudicada por la falta recurrente del recurso hídrico para el año 2050.

Ello nos lleva a pensar y considerar otros factores de suma importancia tales como el acelerado crecimiento poblacional, la aglomeración puntual y específica de poblaciones en urbes o ciudades no contempladas y planificadas, entre otros, hace que en la realidad se vea un comportamiento indirectamente proporcional, pues el agua dulce cada vez es más escaso y las poblaciones cada vez más abundantes lo que se agrava en una verdadera problemática contemporánea por el acceso de este recurso.

Por ello, en la actualidad la disciplina ambiental ha llevado a la necesidad de analizar la problemática desde un contexto global; cada vez la preocupación por el sobreconsumo de los recursos naturales y la carencia de los mismos es más alarmante; a la humanidad le viene costando adaptarse a los cambios y tomar conciencia de la grave problemática que aqueja el planeta debido a la irracional extracción de recursos que hoy en día le cuesta renovarse con facilidad; uno de estos recursos azotados por la mala práctica, el inadecuado manejo en su uso y la inequidad en su gestión; es el agua; elemento líquido vital para la existencia de la humanidad, en la actualidad existen rastros de la implacable contaminación ambiental que se suscita en todo ámbito a nivel global y una visible consecuencia de la escasez de este recurso que cada vez es más indispensable para satisfacer las necesidades y la supervivencia de la humanidad; por lo que es muy importante su adecuada gestión y regulación en materia de financiamiento, saneamiento, conservación y fácil accesibilidad.

1.2.2 A nivel Nacional

El Perú no es ajeno a este problema global ya que por su naturaleza geográfica y localización cuenta con recursos naturales extraordinarios convirtiéndolo en un país vulnerable a los irreversibles cambios producto de la sobreexplotación y la contaminación que se aqueja referente a este vital elemento líquido.

El país cuenta con este recurso natural en abundancia distribuida en sus tres cuencas hidrográficas; sin embargo su distribución es desigual considerando las regiones del Perú (costa, sierra y selva), la mayor cantidad de recurso hídrico se encuentra en la selva y la menor cantidad de este recurso se encuentra en la costa, por lo que los problemas de estrés hídrico de las grandes metrópolis y ciudades con el pasar de los años, será cada vez mayor, existe una tendencia exponencial entre el incremento de las poblaciones, incremento de sus necesidades de acceso a servicios básicos y mayor requerimiento de recurso hídrico para satisfacer sus necesidades, esta relación es inversamente proporcional con la disponibilidad de este vital elemento.

Además, debemos mencionar que el abastecimiento de agua potable en el Perú es aún uno de los problemas más difíciles de solucionar, debido también a la inequidad y desigualdad en su gestión integral; a ello se le suma la problemática de la ausencia del ordenamiento territorial para la distribución de poblaciones de manera adecuada según la disponibilidad y vulnerabilidad del recurso.

Según los datos presentados en el informe “Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico”, por el Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, (2018), “para el año móvil febrero 2017-enero 2018, el 10,6% de la población total del país, no accede a agua por red pública, es decir, se abastecen de agua de otras formas: camión-cisterna (1,2%), pozo (2,0%), río, acequia, manantial (4,0%) y otros (3,3%).

En comparación con año móvil del año 2017, la población con déficit de cobertura de agua por red pública disminuyó en 0,2 punto porcentual, principalmente los que se abastecían de río-acequia-manantial que cae en 0,4 punto porcentual (INEI, 2018).

Específicamente en la zona rural, el 28,1% de las personas no cuentan con acceso a agua por red pública, de los cuales en mayor porcentaje (16,9%) acceden a agua por río, acequia o manantial, seguido de pozo (5,1%)”, es en este contexto específico de la realidad que se plantea la investigación, a fin de aportar de manera sostenible con agua apta para consumo a los pobladores rurales que requieren de este servicio básico. (INEI, 2018).

1.2.3 A nivel local

En el distrito de San Ramón por encontrarse al ingreso de la selva central de departamento de Junín, Perú, abunda el recurso hídrico, básicamente por las características geográficas y por su ubicación. Sin embargo, en la actualidad según las estadísticas demográficas presentadas por la Municipalidad Distrital de San Ramón, 392,983.00 habitantes que representan el 36% de la población total, corresponden a población rural conformados en su gran mayoría por ciudadanos dedicados a la agricultura, esta población se sitúa físicamente en la periferia de la ciudad de manera estable y en la actualidad carecen de sistemas de abastecimiento de agua potable, desencadenando problemas que impactan en la salud y calidad de vida de estos grupos expuestos.

La manera convencional de abastecimiento de agua para la subsistencia de las poblaciones en mención, se compone por fuentes principalente de los rios, (Tulumayo, Tarma, Oxabamba), las aguas subterráneas presentes, aguas de acequias de regadío, entre otras fuentes, aguas que no cuentan con características adecuadas y aptas para el consumo humano, basicamente debido a la presencia de contaminantes (físicos, químicos, y biológicos)

presentes en su composición, ello impacta directamente en la salud de las poblaciones expuestas; mermando su calidad de vida.

Cabe precisar que el acceso a este recurso vital y de calidad, es un derecho de los pobladores que, por situaciones de índole política y tecnológica actual en la zona, se ven desatendidos y abandonados. Razón por el cual se planteó la presente investigación a fin de dar solución a una necesidad real y de esta manera garantizar la disponibilidad de este recurso de manera natural, sin comprometer impacto alguno en el ambiente enfocado en el principio de desarrollo sostenible de la población objetivo.

Finalmente, se menciona que, en la zona, no existen sistemas de tratamiento de agua potable para consumo humano que utilicen tecnologías innovadoras y amigables con el ambiente. También, es necesario mencionar que, en las zonas rurales de San Ramón, Junín, no existen modelos de aprovechamiento o cosecha de agua de lluvia para convertirlo en agua de consumo directo. Asimismo, se debe mencionar que, no existen mecanismos de filtración con cáscaras de naranjas, por lo que la investigación pretende abarcar este campo a fin de dar solución a una problemática creciente, utilizando la materia prima abundante de la zona.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿Cómo influye el proceso de filtración de la cáscara de naranja, en la potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín?

1.3.2 Problemas Específicos

Entre los problemas específicos, podemos mencionar:

- a. ¿De qué manera, será posible diseñar una planta de captación de agua de lluvia para su potabilización de las zonas rurales de San Ramón, Junín?

- b. ¿De qué manera será posible diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja?
- c. ¿Las aguas de lluvia tratadas por el proceso de filtración mediante la cáscara de naranja, cumplirán con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, D.S.N° 031-2010-S.A.?

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes sobre Sistemas de captación de agua de lluvia

Hace dos mil años, en el desierto del Negev, Israel se construían desniveles con la finalidad de recolectar una exigua lluvia almacenándola con el fin de alimentar a los animales domésticos y para los usos y consumos domésticos Kinkade y Levario (2007), citado por Anaya (2007), cabe resaltar que dentro del ciclo hidrológico del agua las lluvias siempre se ha presentado en el planeta y en los campos en diversos contextos la población realiza empíricamente la práctica de uso del agua de lluvia para diversos fines agrícolas y ganaderas.

Los antiguos sistemas de aprovechamiento de los wadis en el medio oriente han estado en uso desde hace cuatro mil años. En nuevo México y Arizona desde hace por lo menos mil años se practican técnicas de aprovechamiento para la agricultura. Zauderer y Hutchinson (1988). Esto demuestra que también en zonas áridas, la cosecha de agua de lluvia representa una alternativa de bajo costo para suplir agua en las zonas de cultivo, el Perú se caracteriza por tener extensas zonas áridas que ocasionalmente presentan precipitaciones que pueden ser aprovechados.

Los primeros sistemas rudimentarios de almacenamientos de agua de lluvia fueron construidos en Europa durante el imperio Romano, utilizando pequeñas presas de tierra y de

mampostería para aprovechar el escurrimiento superficial. Ejemplos de estas estructuras se construyeron en Hungría en la era del emperador Galerio (305 – 311 años d. C.), además de que se utilizaba el agua de lluvia proveniente de los techos y patios de las casas (Kinkade y Levario, 2007).

En la República Popular de China, en Loess de Gansu, donde el líquido elemental es muy escaso, desde 1988 el gobierno local implementó proyectos para la cosecha de agua de las precipitaciones, el cual tiene la finalidad de brindar soporte a las poblaciones para que construyan zonas de acumulación de agua, almacenamientos para el cultivo de tierras (Anaya, 2007). Las acciones antes mencionadas permitieron solucionar el problema de agua potable para 1.2 mill. de personas, que en la actualidad disponen con 10 L/P/D. (Anaya et al., 2003).

En Asia, el país que más ha desarrollado sistemas de captación de lluvia es la India, principalmente por las condiciones meteorológicas con las que cuenta. En este país, se vive una especie de diluvio breve en donde llueve por 100 horas anuales aproximadamente. Otra de las razones es que muchas de sus aguas superficiales sufren una contaminación fuerte por arsénico, lo que evita su potabilización. Con ayuda de la Organización No Gubernamental (ONG) Forum for Drinking Water Supply & Sanitation, se han instalado más de 1000 sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano. Lo interesante aquí, es ver la variedad en sus tanques de almacenamiento, los cuales pueden ser de concreto reforzado, mampostería, cisternas y tanques enterrados, los precios oscilan entre \$50.00 y \$150.00. (UNEP, 2000).

También uno de los países asiáticos que aprovecha parcialmente el agua de lluvia es Tailandia, el almacenamiento de agua de lluvia es un sistema apropiado y económico para obtener agua de muy buena calidad. Esta reserva es causada por escurrimiento del agua por los techos y se almacena en vasijas de arcilla. Estos recipientes están equipados con tapa,

grifo y un dispositivo de drenaje. Se pueden encontrar en diferentes volúmenes, desde 1,000 hasta 3,000 litros con lo cual se puede suministrar agua suficiente para un hogar de 6 personas y tienen un costo promedio de US\$20.00. UNEP (2000), proyectos como estos en zonas rurales de Costa Sierra y Selva pueden tener grandes impactos positivos en el País.

En Tokio, el aprovechamiento de agua lluvia se promueve para disminuir la carencia de agua, contrastar las inundaciones y garantizar agua para los estados de emergencia. Reciben el agua de lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo. Luego, se emplea una bomba manual para poder extraer el agua, la cual es finalmente utilizada para el riego de áreas verdes, limpieza de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo, en situaciones de emergencia. (UNEP, 2000).

En Alemania, existe un gran interés por parte del gobierno en la promoción de la colecta de agua de lluvia en casas para usos no potables, debido a los serios problemas de contaminación del aire por las industrias, ofreciendo incentivos anuales a los pobladores. En la Universidad Técnica de Darmstadt se encuentra uno de los sistemas de captación de agua de lluvia más grandes de Alemania, el cual suministra a toda la Universidad, aunque sólo el 20 % es utilizado para consumo humano.

Las técnicas pueden ser incorporadas en las construcciones en zonas urbanas para ser aprovechadas como agua potable, el cual permitiría satisfacer necesidades esenciales a costo muy bajo. Para ello, es necesario realizar un diagnóstico certero de acceso al recurso de estudio. Es así que también, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron introducidos como parte de un avance urbano a gran escala en 1998, con el fin de contrastar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima. El agua cae en las cubiertas de 19 edificios (32,000 m²), se recoge y acumula en un tanque subterráneo de 3,500 m³ (Ballén et al., 2006).

En Australia, se practica la cosecha de agua de lluvia desde muchos siglos antes, básicamente se debe a la distribución dispersa de su población que padecen de sequías en épocas, es así que varios poblados realizaron proyectos de captación de agua de lluvia en beneficio de sus poblaciones Anaya (2011). En 1994, la Oficina Australiana de Estadística (Australian Bureau of Statistics) realizó un estudio mostrando que el 30.4 % de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de agua lluvia; también se indica en el estudio que el 13 % de las casas donde se ha implementado un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el agua se utiliza para beber y cocinar (Ballén et al., 2006).

En África, la situación es crítica en cuanto a abastecimiento de agua potable, debido a la pobreza que se vive y a la poca inversión en alcantarillados y acueductos que permitan la obtención y tratamiento de agua. Por ello, los sistemas de captación de agua de lluvia son muy bien vistos ya que son muy eficientes en aprovechar al máximo el recurso hídrico disponible. Sin embargo, es muy difícil aplicarlos por su relativo alto costo que no está disponible para las familias de bajos recursos de la zona. Además, otros factores que lo impiden es la poca precipitación con la que cuentan y la dificultad que tienen de encontrar materiales para los techos que sean impermeables y no se deterioren con el paso continuo del agua. No obstante, hay organizaciones que apoyan a los sistemas de captación de aguas pluviales como Development Technology Unit de Inglaterra, quienes realizaron un concurso entre organizaciones africanas para realizar estos sistemas con el menor costo posible. Asimismo, están los sistemas realizados de manera informal los cuales no aprovechan al máximo la cantidad de agua precipitada ni cuidan su buena calidad físico-química, estando en muchos casos contaminada por su poca protección. Hay muchos países africanos en los cuales ya se han desarrollado o se están desarrollando proyectos de gran envergadura que incluyen la

captación de agua pluvial en grandes áreas, como en Sudáfrica, Togo, Bostwana, Mali, Malawi, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania (Ballén et al., 2006).

En EEUU, se utilizan en 15 estados el sistema de captación de lluvia. Uno de los estados con mayor sistema de captación es Texas donde una vivienda, con un área de 200 m² puede llegar a recolectar hasta 150KL de agua al año, considerando una pam de 850 mm (Anaya et al, 2007).

En Honduras, se presentan viviendas diseñadas para el aprovechamiento del agua de lluvia, actualmente en condiciones endeblas para el sistema con falta de mantenimiento y sucios. Pero con todas las deficiencias presentadas permiten mejorar la calidad de vida de la población beneficiada (Ballén et al., 2006).

En Colombia, un proyecto bastante importante es el que se presenta en la edificación de la sede de la Universidad Nacional de Bogotá en su sección de Posgrado, el cual posee un sistema cuyas capas de grava permiten la captación del agua lluvia que es almacenada en un sistema de tanques subterráneos que permite alimentar los servicios básicos de la infraestructura (Ballén et al., 2006).

En el Perú, no es ajeno a este tipo de aprovechamiento; cabe precisar que existen vestigios de las primeras civilizaciones preincas e incas que aprovechaban adecuadamente las aguas de lluvia almacenándolo y distribuyéndolo mediante canales eficientes para abastecer necesidades de agricultura, ganadería y servicios básicos.

Uno de los estudios actuales en el Perú se realizó en el año 2016; cuya investigación para la captación de agua de lluvia tuvo como caso de estudio, la implementación de dicho sistema en viviendas residenciales de la sierra peruana. El lugar de estudio es la Nueva Ciudad de Morococha, ubicada en la provincia de Yauli, departamento de Junín, en la zona

central del Perú, donde se obtuvo una capacidad de abastecimiento anual de 31.95m³ (León, 2016).

1.4.2 Antecedentes de los Sistemas de filtración

Cardona et al. (2013), realizó la investigación sobre biosorción de Plomo (II) y Zinc (II) utilizando el biosorbente de la cáscara de naranja debidamente preparada y acondicionada donde se intervino con y sin tratamiento de reticulación con CaCl₂. Se realizó 8 experimentos diferentes obteniéndose una remoción de 9.39 mg de Plomo (II) / g de cáscara de naranja. El mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue de 9.95 mg de Zinc (II)/ g de cáscara de naranja.

El proceso de filtración mediante el uso de la cáscara de naranja fue usado por diversos investigadores como sistema dentro del proceso de biosorción de metales pesados. Pinzón (2005) realizó una investigación sobre la caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material biosorbente, en el cual concluyo que las cáscaras de naranja en condiciones dadas sobre morfología y composición química establecidos, sirven como elemento adsorbente en el control y eliminación de metales pesados como es el ejemplo del Cromo.

Muñoz (2007), estudió el tratamiento del Plomo (II) para el cual obtuvo una remoción de 141.50 mg/g; en la misma línea, (Villanueva, 2007), obtuvo la remoción de Cobre (II) de 36.10 mg/g. También, (Montero, 2007), empleó la cáscara del cítrico utilizado para la tesis de forma deshidratada a fin de remover el Cromo (VI) en líquidos obteniendo del cual obtuvo un resultado de 6.188 mg/g.

Por su parte Soto (2009), realizó una investigación donde obtuvo 91 mg/g de capacidad máxima de biosorción de Cobre (II) utilizando el biosorbente de la naranja reticulada con resultado de 20 a 100 mg/l de Cobre (II).

1.5 Justificación de la Investigación

1.5.1 Justificación

El Perú es un país privilegiado en la disponibilidad de agua dulce; pues dispone más de 70,000 m³/hab al año, cuenta con la mayor disponibilidad per cápita de agua dulce renovable en América Latina, la distribución se encuentra de la siguiente manera según la región; en la costa con 2,900 m³/hab, donde se concentra más del 53% de la población, principalmente en las grandes ciudades, en la selva tropical se cuenta con más del 80% de los recursos hídricos, con 643,000 m³/hab./año y la disponibilidad en la zona de la cordillera del Perú es 37,200 m³/hab./ año (ANA, 2018).

El 70 – 80 % de los departamentos de la costa tienen acceso a agua potable. Los departamentos de Puno, Huancavelica, Huánuco y Amazonas tienen el porcentaje más bajo de acceso a agua a nivel nacional (30 – 40%), esto según los reportes de la Autoridad Nacional del Agua (ANA,2018).

Es así que el volumen anual promedio de 1´768,172 MMC de agua con que dispone el Perú le otorga el privilegio de ubicarse entre los 20 países más ricos de agua en el mundo.

Según los datos mostrados por WHO/UNICEF (2006), en el Perú en las dos últimas décadas se ha logrado avanzar de manera pausada en el abastecimiento de de agua potable, especialmente en el área rural, que se logró el aumento de accesibilidad del 30,0% al 62,0%.

Es así que teniendo en cuenta la disponibilidad de agua y considerando que solo el 62% de la población rural cuenta con acceso al servicio, encontramos una contrariedad de distribución de este recurso a fin de garantizar una vida digna y de calidad a las poblaciones expuestas a esta necesidad; por ello, la presente investigación se sustenta básicamente en la problemática presentada a causa de la carencia de proyectos y normativas gubernamentales para el abastecimiento de servicios de agua potable y para consumo humano enfóandose

exclusivamente a las poblaciones presentes en las zonas rurales de San Ramón, Junín, cuyo acceso a esta sea de manera equilibrada sin perturbar la disponibilidad a futuro de las generaciones venideras.

Localmente en la zona de estudio el actual sistema de Agua Potable de la ciudad de San Ramón se abastece de dos fuentes, una subterránea que es captada mediante galerías filtrantes en la ribera del río Tarma y conducida por tuberías de 8" de diámetro hasta una cámara de reunión y otra superficial que discurre por la quebrada de Chahuapuquio, donde se capta mediante un canal de concreto y luego se conduce por una línea de 8" de diámetro hasta la cámara de reunión mencionada, de allí continua una línea de 8" de diámetro hasta el Reservorio apoyado de 600 m³. Las primeras obras datan del año 1958, entre ellas las redes del Casco Central, y las galerías filtrantes, el Reservorio se construyó en el año 1982, este sub-sistema no cuenta con dispositivo de desinfección, tampoco tienen estructuras de almacenamiento es por ello que el agua tiene baja turbidez en época de estiaje, sin embargo cuando llueve la turbidez es muy alta, según manifestación de los usuarios, no garantizando un agua de calidad para consumo humano, cabe precisar que las poblaciones de las zonas rurales quedan al margen de esta infraestructura debido a su difícil acceso y a la falta de voluntad política en la ejecución de proyectos de abastecimiento de agua potable. Esta información fue presentada por el Gobierno Regional de Junín en el informe de términos de referencia para el proyecto de ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de San Ramón-distrito San Ramón el año 2006.

Así mismo, otro factor no menos importante es que en la zona de estudio se cuenta con dos grandes cuencas hidrográficas (cuena del río Tarma que incluye al río Oxabamba y la cuena del río Tulumayo) no se aprovechan de manera directa como fuentes para generar reservorios para tratamiento de agua para consumo humano, esto debido al alto costo que demanda la ejecución de este tipo de proyectos por las características físicas, químicas y

biológicas de sus aguas que vienen siendo presionadas por la contaminación de las actividades económicas y la población a lo largo de toda la cuenca hidrográfica.

Otro factor importante a considerar dentro de la investigación es la abundante disponibilidad del recurso hídrico de precipitación fluvial en la zona de estudio que cuenta con un clima característico de la vertiente oriental de los andes peruanos, zona conocida también como ceja de selva, que para el período lluvioso normal presentan precipitaciones acumuladas entre 2 000 a 3 000 mm., registrándose las lluvias más intensas entre los meses de diciembre a abril. San Ramón en condiciones normales presenta precipitaciones promedio de 86.4 mm, según los datos registrados por el SENAMHI.

Los meses de mayor precipitación van de diciembre a abril, mientras los más secos van de mayo a noviembre, esto indica que en todos los meses del año siempre existe disponibilidad de agua de precipitaciones el cual puede ser aprovechado mediante un proyecto sostenible para cubrir esta necesidad primaria de la población rural.

También, teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto, se debe considerar que la selva peruana se caracteriza por contar con abundante producción de naranjas que según datos de la Dirección General de Políticas Agrarias y la Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego, (2017), la producción nacional de esta fruta en los (Últimos 17 años) mostró una tendencia de crecimiento, de modo que, en el 2000 la producción nacional ascendió a 255,7 miles de toneladas, mientras que el año 2016 alcanzó la máxima producción de los últimos 17 años (492 mil toneladas). Este aumento de la producción se explica por el incremento de las áreas cosechadas (subió en 4% por año) y a las mejoras en el rendimiento (2% anual), la principal región productora en el 2016 fue Junín con 55% de la producción nacional, principalmente en la zona de la selva central le siguieron San Martín (11%), Lima (7%), Ica (6%), Puno (5%) y Cusco (5%)., finalmente se debe mencionar

que según el calendario de siembras y cosechas del MINAGRI, en los dos primeros meses del año se produce 10,4% del volumen nacional, mientras que en julio se alcanza la máxima producción mensual (16,3%). En relación al precio en chacra de la naranja, en febrero del 2017, alcanzó los S/0,52 por Kg, monto menor en 6% frente al mes previo (S/0,55 x Kg) y muy similar al precio de febrero del año pasado; es así que teniendo tal disponibilidad de esta materia prima se pueden aprovechar a bajo costo para fines de la investigación.

Finalmente, la potabilización del agua de lluvia mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja se realiza mediante procesos totalmente amigables con el ambiente y/o entorno natural de los pobladores de la zona de estudio, es así que la investigación calza con el principio de sostenibilidad, mediante la adecuada gestión de los recursos de agua dulce, utilizando un método de aprovechamiento sostenible de las precipitaciones eliminando aspectos e impactos de naturaleza ambiental.

1.5.2 Importancia

Importancia social: La presente investigación permitirá mejorar los indicadores de calidad de vida de las poblaciones zonas rurales de San Ramón, Junín, permitiéndoles acceder a un servicio de agua potable que cumplan con los estándares nacionales de calidad para agua potable. Además, permitirá mejorar sus condiciones de salud ambiental previniendo y mitigando enfermedades que derivan de la carencia de este servicio.

Importancia ambiental: La investigación permitirá aprovechar recurso natural de manera amigable con el ambiente el cual contribuirá con garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. Además, se evitarán impactos negativos en el ambiente por parte del abastecimiento del servicio de agua potable y para consumo humano en el ámbito de estudio ya que los procesos de su obtención son netamente limpios en comparación a otras tecnologías existentes para tratamiento de agua en el mundo.

Importancia teórica: La presente investigación pretende abordar una problemática socioambiental real en el país cuya alternativa de solución es vital para el desarrollo sostenible por lo que servirá de base teórica y científica para futuros investigadores en sostenibilidad en el campo de aprovechamiento racional de los recursos hídricos y desarrollo sostenible.

Importancia aplicada: El diseño de una planta de tratamiento para la potabilización del agua de lluvia utilizando como medios filtrantes la cáscara de naranja es una innovación tecnológica que, de lograr su funcionamiento, podría replicarse en otros caseríos de las zonas rurales de San Ramón, Junín permitiendo solucionar la problemática de abastecimiento del líquido vital.

1.6 Limitaciones de la Investigación

El estudio de investigación se desarrolló de manera exclusiva en la quebrada baja del río Oxabamba (auvernia) situado en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, Perú, cuya planta de tratamiento de agua potable por aprovechamiento de las agua de lluvias, se construyó específicamente para un beneficiario como prueba piloto, por lo que los parámetros y resultados obtenidos se rigen a las condiciones geográficas, ambientales, económicas, sociales, y culturales de la zona de estudio.

1.7 Objetivos

A continuación, se describe el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación:

1.7.1 Objetivo General.

Desarrollar y evaluar un proceso de filtración de la cáscara de naranja para la potabilización de agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.

1.7.2 Objetivos Específicos.

- a. Diseñar una planta de captación de agua de lluvia para su potabilización en las zonas rurales de San Ramón, Junín.
- b. Diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja.
- c. Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos, de la calidad de agua del sistema de filtración con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S.N° 031-2010-SA.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis General.

Mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, es posible potabilizar el agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.

1.8.2 Hipótesis Específicas.

- a. Es posible diseñar una planta de captación y tratamiento de agua de lluvia para su potabilización en las zonas rurales de San Ramón, Junín
- b. Es posible diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja.
- c. Las aguas tratadas mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, cumplirá con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N° 031-2010-SA.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Teorías Generales

2.1.1 Aspectos generales del agua.

2.1.1.1 Conceptos del agua

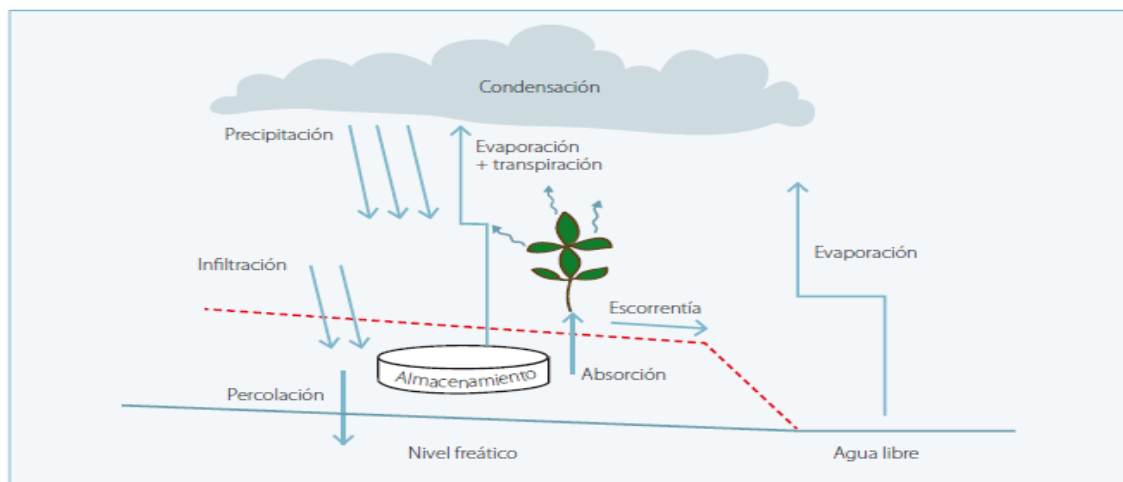
Barrenechea (2004), coinciden en la definición del agua como el elemento más representativo del cuerpo del ser humano y del planeta en general, básicamente debido a que representa una totalidad de procesos e interrelaciones en todos los sistemas bioquímicos que ocurren de forma natural.

2.1.1.2 Ciclo hidrológico del agua

Según la FAO (2013); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se define al ciclo hidrológico como un sistema de fases que debe ser aprovechada de forma racional y responsable, tal como se aprecia en la figura 1 (FAO,2013).

Figura 1

Ciclo hidrológico simplificado con sus componentes y fases.



En el concepto de la FAO, entender el comportamiento de las fases del ciclo del agua, permitirá proponer alternativas de gestión adecuadas para el aprovechamiento sostenible del recurso (FAO, 2013).

2.1.1.3 Precipitación - lluvia

Para la FAO (2013), se define a la precipitación como el agua que se precipita en forma de lluvia puede tomar los siguientes caminos:

Quedar depositada en la superficie vegetal, esto ocurre en caso de lluvias muy cortas y/o de bajo volumen de precipitación y en situaciones en que la vegetación es muy densa. El agua se evapora desde la superficie vegetal y retorna a la atmósfera, sin haber llegado al suelo.

Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse, el suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil. Cuanta más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la napa freática.

Alcanzar la superficie del suelo y escurrir, cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo se produce la escorrentía superficial. La escorrentía puede causar erosión y es negativa porque, además de representar un volumen de agua no aprovechado, causa daños en el área y aguas abajo (crecidas, sedimentación, contaminación).

2.1.1.4 Medición de la precipitación

Grandez (2015), menciona que la medición del agua precipitada es fundamental para todo tipo de estudio hidrológico y consiste en determinar la cantidad de agua que llega a la superficie terrestre, esto se realiza actualmente mediante los pluviómetros o pluviógrafos. El pluviómetro es un recipiente cilíndrico de metal o material plástico, que sirve para almacenar

el agua caída por precipitación, que luego es medida en su altura. El pluviógrafo es un aparato que además de medir la precipitación caída, la registra gráficamente en el tiempo.

Características de las lluvias

- **Cantidad:** La precipitación se expresa como altura de agua recogida en mm/m².
- **Intensidad:** Es la cantidad de lluvia caída por intervalo de tiempo, se expresa en mm/día o mm/h.
- **Duración:** Es el tiempo transcurrido entre el inicio y el término de una lluvia.
- **Frecuencia:** Es el número de veces que se repite una lluvia de determinada intensidad.
- **Variabilidad:** Son las diferencias de precipitaciones a través del tiempo.
- **La disponibilidad del agua es limitada,** por la precipitación pluvial en cada lugar, por la extensión.

2.1.1.5 Disponibilidad del agua de lluvia

Grandez (2015), menciona en su investigación que la información existente se conoce que de los 119,000 km³ de agua de lluvia que se precipita sobre las tierras (superficie sólida), se produce una evaporación anual de 72,000 km³, lo cual da como resultado que el agua de lluvia disponible para escorrentía superficial es de 47,000 km³.

Grandez (2015), también menciona que en forma particular la oferta de agua de lluvia para una determinada zona, depende de la precipitación pluvial y del área de precipitación; en tal sentido en nuestro país existen tres regiones claramente diferenciadas:

- **Costa:** En esta región la oferta de agua de lluvia es mínima, pues las precipitaciones promedias anuales son escasas, en la mayor parte, éstas son menores a los 30 mm, salvo la zona norte, donde puede alcanzar valores de 300 mm., pero en situaciones excepcionales, tales como la presencia del Fenómeno del Niño, donde sí se presentan lluvias de mayor intensidad.

- **Sierra:** En esta región existe adecuada oferta de aguas de lluvias, su precipitación promedio anual fluctúa alrededor de los 1,000 mm.
- **Selva:** Es la región donde se presenta la mayor oferta de aguas de lluvias pues la precipitación promedio anual, es superior a los 1,000 mm., alcanzando valores superiores a los 3,500 mm.

2.1.1.6 Usos del Agua de Lluvia

Grandez (2015), comenta que por razones del objetivo de su investigación, el enfoque en el uso del agua de lluvia en las actividades domésticas que realiza el hombre, en este marco podemos señalar que el aprovechamiento del agua de lluvia por parte del hombre viene desde tiempos inmemoriales y ha sido una práctica muy utilizada por el hombre para lavarse, beber y cocinar directamente con ella; sin embargo con el transcurso del tiempo se produjo el crecimiento de las ciudades y el desarrollo de la tecnología, entonces el agua para los núcleos urbanos fue abastecida mediante tuberías, lo cual contribuyó a que se vaya dejando de lado el empleo directo del agua de lluvia para éstos usos; sin embargo, existen diversas actividades domésticas que no requieren una calidad de agua potable y para las cuales el agua de lluvia es una alternativa eficaz y adecuada: limpieza de inodoros, lavado de ropa, riego, limpieza de pisos, etc. Aplicando estas medidas se puede reducir en un porcentaje importante el consumo de agua potable.

- Actualmente cuando el incremento de la demanda de agua para abastecimiento de los núcleos urbanos está creciendo de forma geométrica, y en muchas regiones se confronta problemas para el abastecimiento del agua, es momento de recuperar la costumbre de aprovechar las aguas pluviales.
- El mal uso del agua de lluvia que llevamos hasta la actualidad, está contribuyendo al problema de escasez y contaminación, ya que no solo no aprovechamos el agua pluvial, sino que además la contaminamos y la desperdiciamos. Al canalizarse a los

colectores, el agua pluvial se mezcla con aguas negras, jabonosas y residuos industriales, convirtiéndose en agua contaminada.

2.1.1.7 Ventajas y desventajas del uso del agua de lluvia

Grandez (2015), menciona en su investigación las ventajas que presenta el uso de agua pluvial son las siguientes:

- Es limpia en comparación con las otras fuentes de agua dulce disponibles.
- Es gratis, la única inversión extra que hay que realizar es para su almacenamiento, por que la captación y recolección, generalmente forman parte de la edificación misma.
- Es preferible para el riego de las plantas de los hogares.
- Los sistemas presentan un fácil mantenimiento.
- Se recolecta y almacena cerca del edificio o casa que la consume.
- No impacta al subsuelo, ni a los ríos y sus ecosistemas, ya que su fuente principal viene de la lluvia. Por tanto, se mantienen los mantos acuíferos en mejores condiciones al tener una menor necesidad de extracción.

Las desventajas del uso de agua de lluvia son:

- Existe una mayor inversión inicial en la construcción; y si se trata de la adecuación del sistema a una construcción existente, el costo se incrementa sustancialmente (Grandez, 2015).

2.1.1.8 El cambio climático

El cambio climático es inminente y se caracteriza por el trastorno climático a nivel mundial debido a factores naturales y existenciales que tienen vital y relevante importancia en el comportamiento del planeta, básicamente es el fenómeno climatológico más importante de

la tierra cuyas consecuencias pueden ser letales para la biodiversidad existente y el ser humano (IPCC, 2007).

2.1.1.9 Cuenca Hidrográfica

Sepúlveda y Rojas (2002), definen que en las cuencas hidrográficas se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos. Los distintos componentes de una cuenca interactúan entre sí, formando un gran sistema natural. Actualmente se les considera un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas.

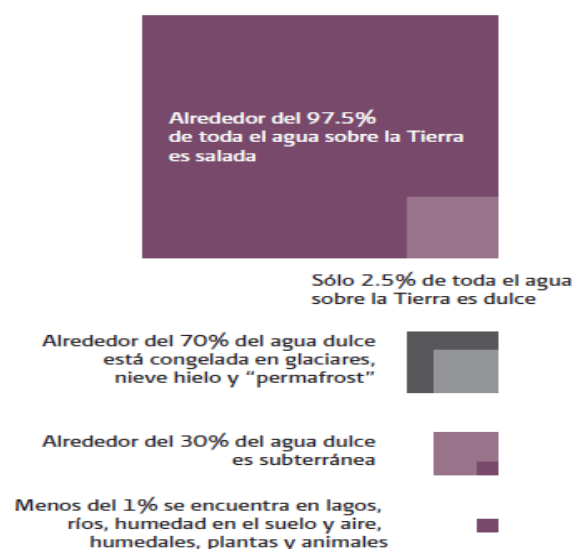
2.1.2 Situación del agua en el planeta

2.1.2.1 Disponibilidad en el mundo

Según la información planteada por Conagua (2010), en el capítulo 8 de libro “Agua en el Mundo”- estadísticas del agua en México edición (2011), menciona que la disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³ cuya distribución se muestra muestra en la figura 2.

Figura 2.

Distribución Global del agua en el planeta



2.1.2.2 Servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales

Según el 2010 último informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) /De las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y Saneamiento (JMP), publicado en marzo de 2010, al año 2008, si bien el 87% de la población mundial y el 84% de la población en países en vías de desarrollo tenía acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable mejoradas, alrededor de 884 mill de personas seguían sin disfrutar de ese beneficio. En tanto que el 61% de la población mundial y el 52% de la población en vías de desarrollo tenía acceso a servicios de saneamiento mejorados, sin embargo, aproximadamente 2,600mill de personas no disponían de ese beneficio (Flores y Vasquez, 2012).

La meta 7.C de los ODM debe contemplarse bajo dos ópticas. La primera es la íntima relación que existe entre la salud y el agua, por lo cual la ampliación en la cobertura del servicio de agua potable y saneamiento contribuiría a reducir la mortalidad por estos padecimientos. La segunda, en general es el efecto que tendría el cambio climático sobre el recurso hídrico y en particular sobre la disponibilidad del agua y su calidad. Véase figuras 3 y 4, (Conagua, 2010).

Figura 3

Presión sobre los recursos hídricos en el mundo

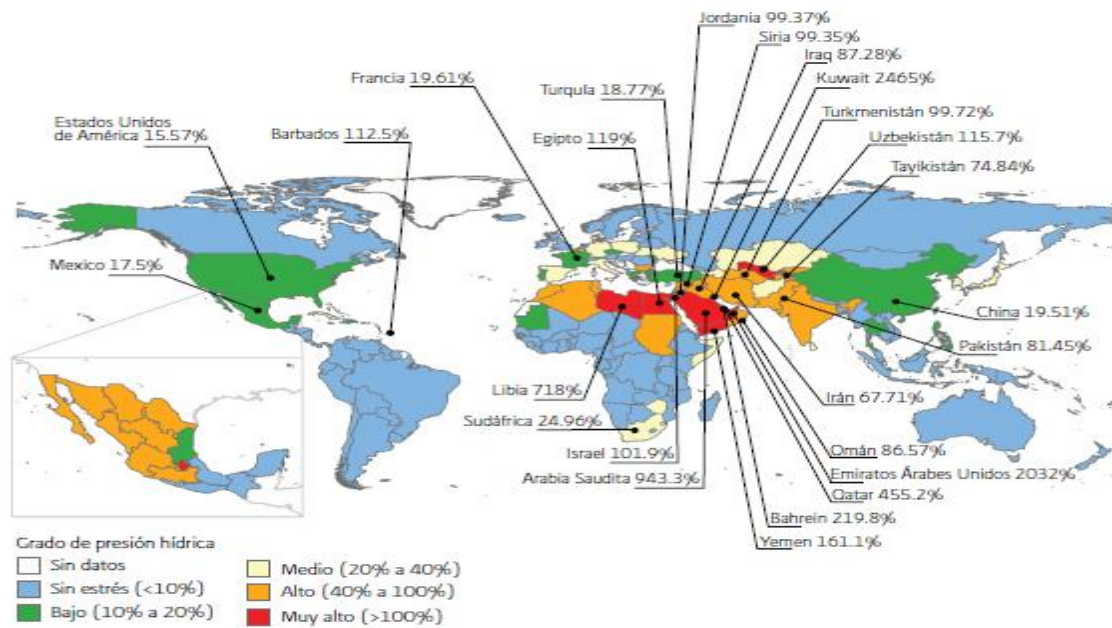
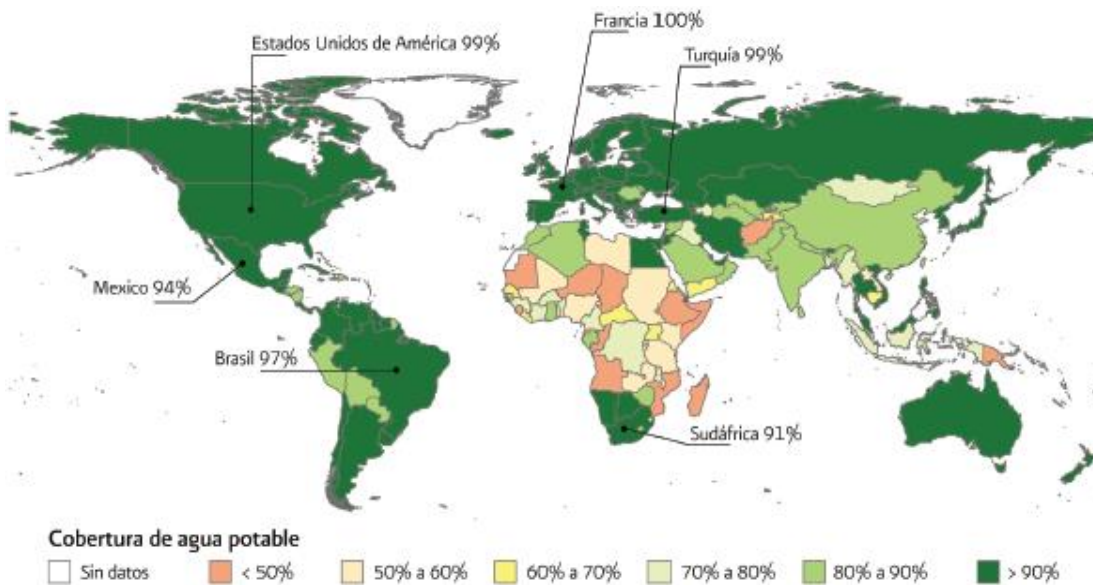


Figura 4

Cobertura de agua potable en el mundo



2.1.2.3 Relación del agua y salud

Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water, (2010), indican que 1.5 mill., fallecen niños

por EDAs. Básicamente estas pérdidas se originan en países subdesarrollados y que cuentan con escasos recursos hídricos, cabe precisar que las enfermedades más comunes causantes de las muertes en asociación por la mala calidad de agua son el Cólera, la tifoidea y la desinteria asociada a la mala higiene (Conagua, 2010).

2.1.3 Situación y disponibilidad del agua en el Perú

El informe sobre Desarrollo Humano para el Perú desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, (2009), menciona que el Perú es uno de los países más ricos en recursos hídricos: no obstante que su extensión representa solamente el 0,87 de la superficie continental del planeta, posee el 4,6% del agua superficial planetaria. Sus problemas, por lo tanto, no son de dotación sino de distribución territorial y de deficiente gestión.

No obstante, este inmenso desequilibrio, según el cual menos del 2% del agua disponible debe cubrir las necesidades de más del 60% de la población nacional asentada en la vertiente del Pacífico, en la costa se arroja al mar el 53% del agua, mientras que el 47% restante se utiliza con una eficiencia de apenas entre 25% y 40%. Por su parte, la ciudad de Lima, en este marco de escasez hídrica, arroja anualmente al mar 400 millones de m³ de aguas servidas, en vez de tratarlas para reciclar su uso. Distribución distorsionada y uso ineficiente se conjugan así en uno de los más grandes desafíos propuestos al Estado y la sociedad peruanos (PNUD,2009).

2.1.4 Definición de calidad de agua

Barrenechea (2004), definen a la calidad de agua como relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Es decir, la calidad del agua se mide por el grado de su uso y el impacto en el cuerpo receptor. Además, se debe tener

especial atención en la caracterización física, química, microbiológica comparados con un estándar para ser considerados como buena o mala calidad del agua.

2.1.4.1 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 (Mejía, 2010).

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad; Sólidos solubles e insolubles; Color; Olor y sabor; Temperatura, y pH.

Mencionar que solo para el caso del parámetro de Olor, 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, 2004)

Tabla 1

Olores característicos del agua y su origen

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
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
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

2.1.4.2 Características químicas

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor (Mejía, 2010).

A continuación, se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de agua:

- Aceites y grasas, Agentes espumantes, Alcalinidad, Aluminio, Antimonio, Arsénico, Asbesto, Bario, Boro, Cadmio, Cianuro, Zinc, Cloruros, Cobre, Cromo, Dureza, Fenoles, Fluoruros, Fosfatos, Hidrocarburos, Hierro, Manganeseo, Materia orgánica, Mercurio, Nitritos y nitratos, Oxígeno disuelto (OD), Plaguicidas, Plata, Plomo, Selenio, Sulfatos, entre otros.

Como especial atención se debe evaluar la presencia de fluoruros cuyo elemento es esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños (0,8 a 1,2 mg/L). Sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta, podría generar manchas en los dientes (“fluorosis dental”) y dañar la estructura ósea. Algunos países como el Canadá y Estados Unidos han implementado programas de fluorización del agua de consumo como una medida para prevenir la caries dental infantil. La OMS, indica como valor guía 1,5 mg/L (Mejía, 2010).

Tabla 2

Recomendación del contenido de flúor en el agua de consumo

Promedio anual de temperatura máxima del ambiente, °C*	Nivel óptimo de flúor en mg/L
10,0 – 12,2	1,2
12,7 – 14,4	1,1
15,0 – 17,7	1,0
18,3 – 21,6	0,9
22,2 – 26,1	0,8
26,6 – 32,7	0,7

* Datos de por lo menos cinco años.

2.1.4.3 Características biológicas del agua

Arauzo (2004), menciona que las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar su calidad biológica y ocasionar cambios simples o complejos y con diferentes niveles de intensidad. Esta alteración se puede originar en eventos

naturales o en actividades antropogénicas, como el uso doméstico del agua y la consiguiente producción de aguas residuales, de la industria, minería y agricultura, entre otras.

CEPIS-OPS (2004), comenta que los agentes patógenos y los organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuya transmisión hídrica está demostrada pertenecen a los siguientes grupos:

Tabla 3

Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales

Bacterias	<i>Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni.</i>
Virus	<i>Enterovirus, Rotavirus, Adenovirus.</i>
Protozoos	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.</i>
Helmintos	<i>Ascaris, Trichuris, Taenia.</i>
Cyanobacterias	<i>Anabaena, Microcystis.</i>

2.1.5 Criterios de calidad para la selección de una fuente de agua cruda

2.1.5.1 Criterios fisicoquímicos

Antes de establecer los criterios de selección de una fuente de agua cruda, es necesario dividir en tres grandes grupos los principales contaminantes fisicoquímicos. Los detalles sobre cada contaminante en forma individual se han tratado en la sección anterior (Mejía, 2010).

- **Contaminantes inorgánicos**

Este es el grupo que más dificultades puede presentar, ya que los métodos convencionales de tratamiento no son efectivos en todos los casos cuando se identifiquen contaminantes inorgánicos muy tóxicos en concentraciones altas o estos sean de difícil remoción, como factor de seguridad, debería considerarse la búsqueda de otras fuentes alternas que no los contengan. Aunque en teoría, en las plantas piloto existen sistemas para reducir o remover contaminantes inorgánicos deletéreos, como se expuso anteriormente, la

forma química en la que estos se encuentren y el pH del agua son factores críticos que, si no se toman en cuenta y no se controlan adecuadamente durante el proceso de tratamiento, pueden hacer fracasar el método (Barrenechea, 2004).

- **Contaminantes orgánicos**

Mejía (2010), en su investigación mencionan que los contaminantes orgánicos biodegradables son de fácil remoción y no constituyen problema durante el tratamiento, siempre y cuando se encuentren en concentraciones no excesivas. En este último caso, la precloración puede constituir una alternativa que debe ser cuidadosamente controlada para evitar la formación de contaminantes aún más peligrosos.

Los contaminantes orgánicos no biodegradables (hidrocarburos, pesticidas, productos aromáticos, etcétera) son un problema difícil de afrontar para plantas de tratamiento convencionales. En la mayoría de los casos, pueden ser controlados mediante la adición de carbón activado pulverizado o el uso de carbón activado granular dispuesto sobre los lechos de los filtros. Sin embargo, es necesario considerar que esto representa costos adicionales de tratamiento y un mayor control analítico, en la mayoría de los casos especializado, de los procesos de tratamiento en planta (Barrenechea, 2004).

Se debe tomar en cuenta, además, que los pesticidas que se mencionan en las normas de calidad representan a más de 700 compuestos orgánicos que han sido detectados en Estados Unidos en las aguas de bebida y que provienen de contaminaciones por descargas industriales o domésticas, escorrentías de zonas rurales o urbanas o descomposición natural de materia animal o vegetal. Como se expuso, la descomposición de cierta materia vegetal genera ácidos húmicos que, en combinación con el cloro usado en la desinfección, da origen a la formación de trihalometanos, compuestos que últimamente están siendo asociados a la aparición de cáncer en animales de experimentación. En casos en que se sospeche de la presencia de compuestos que puedan descomponerse en trihalometanos, el sistema de

cloración deberá localizarse en otro punto o deberá cambiarse a otro agente desinfectante no halógeno como el ozono (Mejía, 2010).

- **Contaminantes radiológicos**

Se deben considerar dos tipos de contaminación radiológica: la natural y la provocada por el hombre. Los radionúcleos naturales (emisores alfa) ocurren algunas veces en aguas subterráneas, pero el tratamiento con cal-soda empleado para el ablandamiento es suficiente para eliminarlos, así como la ósmosis reversa. Los radionúcleos artificiales (emisores beta y gama) son el producto de residuos de plantas atómicas o de fallas en su control y, por lo tanto, son fácilmente controlables si se ejerce una vigilancia permanente sobre ellas, ya que para su eliminación se requieren estudios particulares en cada caso (Barrenechea, 2004).

2.1.5.2 Criterios biológicos de calidad para la selección de una fuente de agua cruda

Es más seguro obtener un suministro de agua con calidad satisfactoria para el consumo humano cuando se utilizan fuentes de agua con baja o nula contaminación y se tiene en cuenta su variabilidad en caudal y calidad. La calidad bacteriológica del agua, relacionada con los niveles de contaminación fecal, es una de las variables que se tienen en cuenta para la selección de la fuente. Otra variable con igual importancia es el tipo de tratamiento que técnica y económicamente se puede adoptar (CEPIS-OPS, 2004).

Tabla 4

Tratamientos recomendados según el nivel de contaminación fecal

Tipo de fuente de agua	<i>Escherichia coli</i> /100 mL	Tratamiento recomendado
Cuencas protegidas y libres de contaminación fecal	< 20	Desinfección
Cuencas no protegidas y con contaminación fecal	> 20 – 2.000	Filtración y desinfección
Alta contaminación fecal	> 2.000 – 20.000	Filtración, desinfección más la adición de un tercer proceso
Muy alta contaminación fecal	> 20.000	No recomendada como fuente de agua

Fuente: OMS. 1992. Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Pathogenic Agents. Ginebra: OMS.

2.1.5.3 Las guías de calidad de la OMS aspectos microbiológicos

El Manual I sobre tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida presentada por el CEPIS-OPS (2004), menciona que una de las metas de la OMS es que todas las personas logren, por derecho, tener acceso a un suministro adecuado de agua de bebida segura; es decir, que no represente ningún riesgo para la salud. Las enfermedades transmitidas por el agua o por medios afines figuran entre las tres causas principales de enfermedad y muerte en el mundo y contribuyen a la elevada mortalidad infantil, la reducida esperanza de vida y la mala calidad de vida. Estas enfermedades podrían prevenirse si se adoptaran medidas eficaces para evitar la transmisión. Entre estas medidas una de las más importantes es el suministro de agua potable en cantidad y calidad apropiada para el abastecimiento humano.

Es difícil contar con estudios epidemiológicos que permitan conocer profundamente los riesgos para la salud que representa un determinado nivel de patógenos en agua, debido a que la infección depende de múltiples factores como conocer el grado de infectividad del patógeno y el grado de inmunidad de los consumidores (CEPIS-OPS, 2004)

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS indican que no es práctico monitorear cada agente patógeno que está en el agua y que el enfoque más lógico es detectar organismos que por lo general se encuentran en las heces de los seres humanos y de los animales de sangre caliente (CEPIS-OPS, 2004)

En las guías se mencionan dos tipos de indicadores microbiológicos: los coliformes termotolerantes y los coliformes totales y, como organismo indicador de mayor precisión para detectar la contaminación fecal, la *Escherichia coli* (CEPIS-OPS, 2004)

Las guías establecen que el agua de bebida no debe contener agentes patógenos que puedan ser transmitidos a los seres humanos mediante la ingestión del agua y propone que los coliformes termotolerantes o *E. coli* no deben estar presentes en 100 mililitros de muestra en el agua tratada, tanto la entubada como la transportada en camiones cisterna o almacenada en reservorios de agua potable. En el caso de sistemas de suministro en los cuales se cuenta con un programa de vigilancia que considera un número de muestras y una frecuencia adecuada, se acepta la presencia de coliformes totales en el sistema de distribución en un máximo de 5% de las muestras tomadas en un periodo de 12 meses (CEPIS-OPS, 2004)

La vigilancia de la calidad del agua efectuada a través de la medición de los parámetros antes mencionados garantiza, con las limitaciones y el grado de incertidumbre que conlleva la aplicación de cualquier sistema de vigilancia, que el agua está libre de microorganismos infecciosos (CEPIS-OPS, 2004).

2.1.6 El agua potable

2.1.6.1 Aspectos fisicoquímicos

El Manual I sobre tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida presentada por el CEPIS-OPS (2004), define a este criterio, al agua que fue intervenida mediante el proceso de tratamiento con la finalidad de utilizarla como apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos.

2.1.6.2 Aspectos biológicos

El agua potable debe estar libre de agentes patógenos que pueden afectar la calidad de vida y salud de los usuarios o consumidores. Específicamente, los indicadores de

contaminación fecal, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* no deben estar presentes en 100 mL de muestra. Esta calidad debe mantenerse desde que el agua sale de la planta de tratamiento o de la fuente de agua, en el caso de aguas de origen subterráneo hasta llegar al consumidor.

2.1.6.3 Criterios de calidad del agua para consumo humano: las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS

El Manual I sobre tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida presentada por el CEPIS-OPS (2004), define los programas de control y vigilancia del agua potable requieren normas adecuadas que regulen la calidad del agua de consumo humano, que permitan seleccionar fuentes adecuadas de agua cruda y los procesos de tratamiento y distribución.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS, constituyen una herramienta válida referida a la calidad fisicoquímica del agua destinada al consumo del hombre, a partir de ellas cada país puede establecer sus propias normas y tener en cuenta los siguientes criterios básicos:

- Los valores establecidos para cada parámetro deben asegurar la aceptabilidad estética del agua y no representar riesgos para la salud del consumidor.
- La calidad del agua debe ser adecuada para el consumo humano y tomar en cuenta todos los usos domésticos.
- Los valores establecidos sirven como señal para que cuando se supere este valor:
 - a) Se investigue la causa
 - b) Se consulte con las autoridades responsables de la salud pública.

Las autoridades deben asegurar que la calidad del agua sea aceptable para ser consumida durante toda la vida. Las metas señaladas están dirigidas a salvaguardar la salud del consumidor. Algunas exposiciones a contaminantes por periodos cortos pueden ser

toleradas, siempre que el nivel de toxicidad se controle adecuadamente. El no cumplimiento de las metas señaladas por corto tiempo no significa necesariamente que el agua deba ser descartada definitivamente para el consumo (CEPIS-OPS, 2004).

La elaboración de las normas nacionales de calidad del agua potable debe tomar en cuenta consideraciones locales como la geografía, la situación socioeconómica, la dieta y las actividades industriales (CEPIS-OPS, 2004).

Aspectos fisicoquímicos. Las normas de calidad fisicoquímica del agua potable son muy estrictas respecto a sus regulaciones. Solo aquellas relacionadas con la preservación de la vida acuática son más exigentes (CEPIS-OPS, 2004).

2.1.7 El agua de lluvia, para el uso del agua potable

Grandez (2012), define en su investigación que la cosecha de agua de precipitaciones es una técnica utilizada desde años atrás y que en el olvido por un tiempo hoy se están retomando los proyectos de captación del agua de lluvia para satisfacer a las poblaciones rurales y urbanas.

Bajo esta premisa en nuestro país aún teniendo el tremendo potencial con el que contamos referente a la disponibilidad del recurso hídrico, no se cuentan con proyectos en el cual se hayan establecido de manera sostenible la captación de agua de lluvia por lo que es una buena oportunidad de abordar esta problemática a fin de aprovechar los recursos naturales para beneficio de la sociedad los cuales se detallan

- Reemplaza la fuente de agua potable convencional
- Permite aprovechar aguas de lluvia controlando su escurrimiento y erosión.
- La instalación de los mecanismos del sistema de captación y tratamiento son de bajo costo económico.
- Garantiza la sostenibilidad y permite la sensibilización ambiental de la población que realiza uso de este recurso.

Es por ello evaluando y analizando la facilidad con el que disponemos de este recurso en la zona de estudio el aprovechamiento de agua de lluvia se iza como una buena alternativa para dotar de agua potable a las poblaciones rurales; para ello, se requiere implementar instrumentos normativos y de gestión dirigidos a promover e incentivar la práctica de la captación y aprovechamiento de agua de lluvia.

2.1.8 Principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua

A continuación, se mencionará el proceso unitario empleado para fines de la presente investigación:

2.1.8.1 Transferencia de iones - Absorción

La absorción es un proceso que se fundamenta en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz (García, 2008).

2.1.8.2 Transferencia de iones - Adsorción

La adsorción es un proceso por el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida), mientras que la bioadsorción es el fenómeno físico mediante el cual, el material contaminante o sólido se adhiere a la superficie de materiales orgánicos vivos o en descomposición García (2008), considerándose ambas como un fenómeno subsuperficial. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente" (Leyva y Flores, 2009). Según la clase de compuestos químicos que se encuentren en la superficie del adsorbente que se emplee, se pueden captar diferentes metales (CEPIS-OPS, 2004).

2.1.8.3 Transferencia molecular

CEPIS – OPS (2004), menciona “que en el proceso de purificación natural del agua. Las bacterias saprofitas degradan la materia orgánica y transforman sustancias complejas en

material celular vivo o en sustancias más simples y estables, incluidas los gases de descomposición”.

También los organismos fotosintéticos convierten sustancias inorgánicas simples en material celular, utilizando la luz solar y el anhídrido carbónico producto de la actividad de las bacterias y, a la vez, generan el oxígeno necesario para la supervivencia de los microorganismos aeróbicos presentes en el agua (García, 2008).

Este tipo de transferencia se lleva a cabo en la filtración, en la cual los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos (CEPIS-OPS, 2008).

2.1.8.4 Transferencia de sólidos - filtración

CEPIS-OPS (2004), definen la transferencia de sólidos en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

A continuación, mostraremos los procesos de filtración más comunes que son clasificados por (Reséndiz, 2012).

Filtros de arena: Este tipo de filtros consisten en el arreglo de varias capas de arena de diferentes grosores en procesos de filtración rápida y lenta.

Filtros de tierra diatomea: Los filtros de tierras diatomeas, son compuestas de capa de tierra diatomea entre 1 a medio centímetro de espesor en el interior de un filtro puesto a presión o al vacío, (CEPIS-OPS, 2004).

Filtros empacados: Estos filtros, contienen todas las etapas de filtración en una unidad, como son, la adición de reactivos, floculación, sedimentación y filtración. Se utilizan comúnmente para tratar agua superficial, remover turbiedad, color y algunos organismos coliformes, (CEPIS-OPS, 2004).

Filtros de carbón activado: Estos filtros se fundamentan en el tipo de material que tienen una gran superficie y una gran capacidad de adsorción de compuestos químicos o aspectos físicos del agua. Se utilizan principalmente cuando se desea remover olor, sabor, color o compuestos orgánicos volátiles del agua. (CEPIS-OPS, 2004).

2.1.8.5 Desinfección

Es la etapa en donde se tratan los microorganismos, recordando que deben ser eliminados o inactivados ya que su presencia puede originar daños a la salud a causa de múltiples enfermedades. Este proceso, permite controlar a microorganismos como coliformes totales y fecales, los cuales sirven como indicador. Para la investigación se utilizará el método de dosificación con la sustancia de cloro (CEPIS-OPS, 2004).

Cloración: Krishna (2005), define que el cloro, es usado para la asepsia del agua desde principios de siglo y se sigue utilizando para desinfectar agua de lluvia en Hawái, las Islas Vírgenes, Kentucky y Ohio. Reséndiz (2012) en su investigación mencionan que el agua puede ser clorada por medio de hipoclorito de sodio o de calcio, los cuales, se pueden encontrar en forma líquida o sólida. Finalmente, es importante mencionar que, para obtener una buena limpieza y remoción de microorganismos, el cloro debe tener una concentración de 1 ppm.

2.1.9 Biosorción

Muñoz (2007), menciona este proceso como algo volátil que consiste en multiplicar la concentración de moléculas e iones en la superficie de líquidos y sólidos debido a la existencia de fuerzas no compensadas en la superficie de éstos. También menciona que las paredes celulares de los materiales bioadsorbentes contienen polisacáridos, proteínas y lípidos, y, por tanto, numerosos grupos funcionales capaces de enlazar metales pesados en la superficie de estos.

Entre los grupos funcionales presentes se pueden mencionar los grupos amino, carboxílico, hidroxílico, fosfato y tiol que difieren en su afinidad y especificidad respecto a la susceptibilidad para unirse a los diferentes iones metálicos (Ghimire et al., 2003).

2.1.9.1 Biosorbentes

Los biosorbentes son materiales derivados de microorganismos, bacterias, hongos, algas marinas, plantas o algunos polímeros naturales. Estos biosorbentes para ser aplicados necesitan ser pretratados químicamente para tener una mejor capacidad de adsorción en los procesos de aplicación como remoción de metales pesados o recuperación de especies metálicas en solución (Brierley,1987). Los biosorbentes son capaces de adsorber especies iónicas de metales en soluciones acuosas, esta propiedad es bien utilizada en la biorremediación y recuperación de efluentes industriales contaminados con metales pesados (Muñoz, 2007).

2.1.9.2 Proceso de Biosorción

Muñoz (2007), define al proceso de biosorción como la tecnología se basa en la recuperación de metales usando biomasa de organismos vivos y no vivos como bacterias, microalgas, hongos, etc., que deben tener especiales factores tales como:

- Diámetro del material empleado como medio del proceso de filtración
- ph del agua
- Concentración de contaminantes e impurezas en el agua a tratar
- Aniones o cationes presentes en el agua a tratar.
- Velocidad de filtración o tiempo de retención
- Temperatura.

2.1.9.3 Cinética de Biosorción:

Muñoz (2007), define que los modelos cinéticos describen el proceso desde el inicio del contacto soluto adsorbente hasta el tiempo en que se alcanza el equilibrio (Ho, 2000 y Jansson, 1996).

Se han postulado las siguientes etapas en el mecanismo de la cinética de biosorción (Seki y Susuki,2002) citado por (Muñoz, 2007).

- Desplazamiento de los iones metálicos desde la solución hasta la capa exterior alrededor de la partícula.
- Difusión externa: Desplazamiento desde la capa exterior hasta la superficie del adsorbente.
- Difusión intraparticular: Cuando el soluto se desplaza desde la superficie externa hasta el sitio de adsorción al interior de la partícula. Puede ser difusión Intraparticular de poro o difusión homogénea de superficie.
- Adsorción sobre los sitios activos por acomplejamiento, interacción iónica o precipitación.

El paso a) solamente requiere la homogeneidad del medio mediante agitación suficiente y el d) se considera instantáneo, así, la biosorción es controlada por mecanismos de difusión a partir de una velocidad mínima de agitación. El análisis demuestra que los sitios activos son provistos por macromoléculas llamadas biopolímeros; las cuales ordenadas en capas confieren la adecuada condición a la membrana celular.

2.1.10 Propiedades de la naranja como medio filtrante o bioabsorbente.

Los cítricos pertenecen a la clase Angiospermae, a la subclase dico-tiledónea, a la orden rutae, a la familia rutaceae y al género citrus, y dentro de ellos se conocen las siguientes especies: naranja (citrus sinensis), mandarina (citrus reticulata), limón (citrus aurantifolia), toronja (citrus paradisi) y tangelo (citrus paradisi*citrus reticulata) (Cardona, 2008).

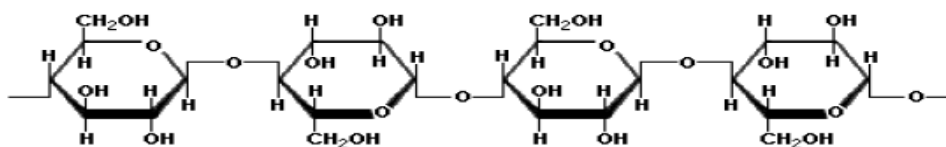
Como se sabe la naranja tiene múltiples usos, sin embargo, casi el 100% de sus residuos como son las cáscaras de naranja son eliminados en los procesos, es por ello conociendo el poder de bioadsorción de la cáscara de naranja se planteó esta investigación a fin de reutilizarla para fines de tratamiento de aguas de lluvias cuyo objetivo es su potabilización para el consumo humano (Cardona, 2008).

2.1.11 Cáscara de naranja como adsorbente

Cardona et al. (2013), menciona que las paredes celulares de los materiales bioadsorbentes poseen polisacáridos, proteínas y lípidos, y, por tanto, numerosos grupos funcionales capaces de enlazar metales componentes indeseados. Entre los grupos funcionales presentes, podemos hacer mención de los grupos amino, carboxílico, hidroxílico, fosfato y tiol que difieren en su afinidad y especificidad respecto a la susceptibilidad para unirse a los diferentes iones metálicos (Ghimire y Yamaguchi, 2003). También, se debe mencionar que la cascara de la naranja contiene celulosa, pectina, hemilcelulosa y otros compuestos de bajo peso molecular como limoneno. Poseen, por tanto, grupos funcionales activos como los carboxilos de las pectinas y los hidroxilos de la celulosa, susceptibles de unirse a los iones metálicos en disolución, en este caso, del cromo (VI) tal como se muestra en la figura 5, (Pinzón y Cardona, 2010).

Figura 5

Estructura química de la glucosa.



2.1.11.1 Estructura de la Pectina

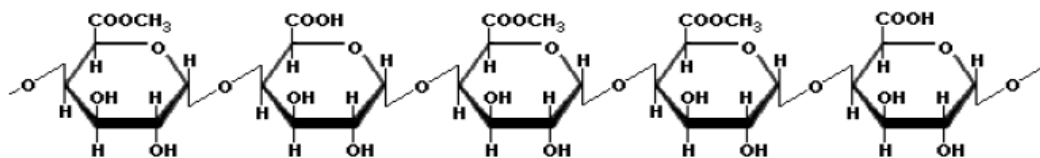
La estructura de la pectina es importante para determinar la fuerza y flexibilidad en las paredes celulares de las plantas. En cuanto a su composición, podemos definir las pectinas

como polímeros que constan fundamentalmente por cadenas de unidades de ácido poli- α -D-galacturónico unidas por enlaces glicosídicos, interrumpidas por la presencia de residuos de rammosa mediante enlaces 1,2; esto corresponde a una masa promedio de 50,000 a 150,000 (Cardona et al, 2013).

La cáscara de naranja es una muy buena fuente de pectina la cual también se encuentra en frutas y vegetales, estas fuentes provienen principalmente de la industria de extracción de jugos y zumos tal como se muestra en la figura 6, (Cardona et al, 2013).

Figura 6

Estructura química de la pectina



2.1.11.2 Pectina como biosorbente

Muñoz (2007) menciona que la cáscara de naranja posee abundantes pectinas que son moléculas complejas que se encuentran en las paredes celulares y en las láminas intercelulares de las plantas superiores. Algunas pectinas son solubles en agua y otras como las protopectinas no lo son. Aunque todas las plantas contienen pectina, su composición y calidad de la misma varía según la fuente, el método de obtención y los factores del medio

Debido a las diferentes propiedades que presentan, las pectinas, se dividen en dos grupos básicos: Las pectinas de alto metoxilo (HM), con más de un 50% de grupos carboxilo esterificados con un radical metil; y los de bajo metoxilo, (LM) con menos de un 50 % de grupos esterificados (Muñoz, 2007).

Las pectinas de alto metoxilo, son mayoritariamente utilizadas para la producción de geles azucarados, como las mermeladas y jaleas.

Las pectinas de bajo metoxilo, son utilizadas como agentes gelificantes en productos de bajo contenido de azúcar, ya que en su gelificación es menos sensible a la concentración de azúcar, si bien, por otra parte, requieren de la presencia de iones calcio para su reticulación (Rombouts y Thibault, 1986).

La gelificación de las pectinas de bajo metoxilo es debida a la formación de una red tridimensional, por interacción de las cadenas de pectinas en disolución acuosa con los iones calcio y el azúcar, que retiene a la fase sólida en el interior de su estructura. Esta red se forma en condiciones óptimas de pH ácido, contenido de azúcar y a determinadas concentración de calcio (Muñoz, 2007).

El mecanismo de gelificación que tiene lugar se conoce como “egg box”, o “caja de huevos”, denominado así porque la adsorción se realiza sobre los centros activos por acomplejamiento, interacción iónica o precipitación muy similar al que tiene lugar en los alginatos (Muñoz, 2007).

Cabe precisar que en la actualidad no existen estudios a nivel local e internacional relacionados específicamente con el proceso de filtración de agua de lluvias para su potabilización utilizando la cáscara de naranja como medio absorbente. Es por ello que la presente investigación pretende recabar esta información y emplearla como experimento para obtener resultados que convengan con el objetivo de estudio.

2.1.12 Plantas de tratamiento de agua de lluvia

El el conjunto de procesos unitarios seleccionados según la necesidad y en función al tipo de fuente que se va a tratar. El objetivo fundamental es la potabilización del agua para el cual una planta debe estar diseñada de manera adecuada para remover totalmente contaminantes biológicos y parámetros y/o sustancias químicas y fisicoquímicas hasta ubicarlos dentro de los límites aceptados por las normas nacionales para este tipo de recurso (CEPIS-OPS,2004).

2.1.12.1 Plantas de filtración lenta

Para la presente investigación ahondaremos en información relacionada a plantas de tratamiento cuyo proceso sea la filtración lenta, debido a que el objetivo de la investigación está orientada a dar solución de abastecimiento de agua en una zona rural en el cual no se cuenta con el fácil acceso a la tecnología por la ubicación de las viviendas y por su elevado costo, es por ello que se planteará una planta de tratamiento de filtración lenta acorde a la situación y necesidad de la población (CEPIS-OPS,2004).

Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0,10 y 0,30 m/h; esto es, con tasas como 100 veces menores que las tasas promedio empleadas en los filtros rápidos; de allí el nombre que tienen, (CEPIS-OPS,2004).

La razón por el cual se utiliza filtros lentos, se debe a que simulan el comportamiento de la filtración que se origina en la naturaleza el cual es de forma espontánea, al igual que en la naturaleza, los procesos que emplean estos filtros son físicos y biológicos (CEPIS-OPS,2004).

2.2 Marco Normativo

2.2.1 Constitución Política del Perú

La constitución Política del Perú en su artículo 195°, establece que los gobiernos locales promueven el desarrollo y la economía local, y la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo (Constitución Política del Perú, 1993).

Es así que en el ítem N° 8 establece que se deben desarrollar y regular actividades y/o servicios en materia de educación, salud, vivienda, saneamiento, medio ambiente, sustentabilidad de los recursos naturales, transporte colectivo, circulación y tránsito, turismo,

conservación de monumentos arqueológicos e históricos, cultura, recreación y deporte, conforme a ley (Constitución Política del Perú, 1993).

2.2.2 Ley 28611 Ley General del Ambiente

En el artículo 67° establece que Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reuso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento (Ley General del Ambiente, 2005).

Así mismo en el artículo 90°, establece que el recurso agua continental El Estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran; regula su asignación en función de objetivos sociales, ambientales y económicos; y promueve la inversión y participación del sector privado en el aprovechamiento sostenible del recurso (Ley General del Ambiente, 2005).

2.2.3 Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos

La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable (Ley de Recursos Hídricos, 2019).

2.2.4 Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

El Reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden al agua continental: superficial y subterránea, y los bienes asociados a esta; asimismo, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, todo ello con arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 (Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, 2010).

2.2.5 Ley N° 30640 ley de Recursos Hídricos, mediante el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca

La presente ley tiene por objeto regular la conservación y protección de las cabeceras de cuenca, incorporando en el artículo 75 de la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos, el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca, a fin de evaluar la implementación de medidas especiales para su protección y conservación según su vulnerabilidad (Ley N° 30640, 2017).

2.2.6 D.S.N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

El presente Reglamento establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

El objetivo de la norma con arreglo a la Ley N° 26842 - Ley General de Salud, tiene como objeto normar los siguientes aspectos:

La gestión de la calidad del agua;

La vigilancia sanitaria del agua;

El control y supervisión de la calidad del agua;

La fiscalización, las autorizaciones, registros y aprobaciones sanitarias respecto a los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano;

Los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano; y

La difusión y acceso a la información sobre la calidad del agua para consumo humano.

El ámbito de aplicación del presente reglamento y las normas sanitarias complementarias que dicte el Ministerio de Salud son de obligatorio cumplimiento para toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro del territorio nacional, que tenga responsabilidad de acuerdo a ley o participe o intervenga en cualquiera de las actividades de gestión, administración, operación, mantenimiento, control, supervisión o fiscalización del abastecimiento del agua para consumo humano, desde la fuente hasta su consumo;

No se encuentran comprendidas en el ámbito de aplicación del presente Reglamento:

Las aguas minerales naturales reconocidas por la autoridad competente; y

Las aguas que por sus características físicas y químicas, sean calificadas como productos medicinales.

Los lineamientos de gestión del presente reglamento se enmarcan dentro de la política nacional de salud y los principios establecidos en la Ley N° 26842 - Ley General de Salud. La gestión de la calidad del agua para consumo humano garantiza su inocuidad y se rige específicamente por los siguientes lineamientos:

Prevención de enfermedades transmitidas a través del consumo del agua de dudosa o mala calidad;

Aseguramiento de la aplicación de los requisitos sanitarios para garantizar la inocuidad del agua para consumo humano;

Desarrollo de acciones de promoción, educación y capacitación para asegurar que el abastecimiento, la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo, sean eficientes, eficaces y sostenibles;

Calidad del servicio mediante la adopción de métodos y procesos adecuados de tratamiento, distribución y almacenamiento del agua para consumo humano, a fin de garantizar la inocuidad del producto;

Responsabilidad solidaria por parte de los usuarios del recurso hídrico con respecto a la protección de la cuenca, fuente de abastecimiento del agua para consumo humano;

Control de la calidad del agua para consumo humano por parte del proveedor basado en el análisis de peligros y de puntos críticos de control; y Derecho a la información sobre la calidad del agua consumida.

Tabla 5

Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

Fuente: D.S.N° 031-2010-SA.

Tabla 6*Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica*

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniacaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
 UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

*Fuente: D.S.N° 031-2010-SA.***Tabla 7***Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos*

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

Fuente: D.S.N° 031-2010-SA.

Tabla 8*Límites máximos permisibles de parámetros químicos orgánicos*

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrin	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroetano	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloroprop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Cloropirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodichlorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹ mgL ⁻¹	0,07 0,07
70. Dibromoacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,05
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
73. Dicloroacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,9
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,02
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

Fuente: D.S.N° 031-2010-SA.

Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL-1.

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL-1.

Nota 3: La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros. (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodichlorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{LMP_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{LMP_{\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L

Tabla 9

Límites máximos permisibles de parámetros radiactivos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Dosis de referencia total (nota 1)	mSv/año	0,1
2. Actividad global α	Bq/L	0,5
3. Actividad global β	Bq/L	1,0

Fuente: D.S.N° 031-2010-SA.

Nota 1: Si la actividad global c de una muestra es mayor a 0,5 Bq/L o la actividad global es mayor a 1 Bq/L, se deberán determinar las concentraciones de los distintos radionúclidos y calcular la dosis de referencia total; si ésta es mayor a 0,1 mSv/año se deberán examinar medidas correctivas; si es menor a 0,1 mSv/año el agua se puede seguir utilizando para el consumo.

2.3 Aspectos de responsabilidad social y ambiental

La principal motivación del estudio de investigación, es mejorar la calidad de vida de los pobladores rurales mediante la potabilización del agua de lluvia a través de la filtración de la cáscara de naranja, preservando significativamente el ambiente, basado en el enfoque de desarrollo sostenible.

La investigación, al ser novedosa; está enfocada en abastecer de agua saludable a los pobladores del ámbito rural de San Ramón, Junín, utilizando un proceso amigable con el ambiente que es el uso de bioabsorbentes producidos de la cáscara de naranja, materia prima abundante en la zona de estudio, de esta manera se mejora la calidad de vida de los usuarios sin contaminar el ambiente, el cual permite catalogar la investigación como una novedad responsable desde el enfoque socioambiental.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de Investigación

La investigación planteada fue de tipo aplicada, puesto que se caracteriza por incluir esfuerzos sistemáticos y sociales en la zona de intervención, con la finalidad de resolver una situación problemática real con innovación técnica y científica (Caballero, 2013). El diseño de la planta de captación de agua de lluvia y el diseño del proceso de tratamiento del agua de lluvia hasta su potabilización mediante la filtración de la cáscara de naranja, permitió mejorar la calidad de vida de los pobladores de las zonas rurales de San Ramón, Junín, los cuales accederán a agua con características aptas para consumo humano, solucionando una problemática de abastecimiento actual de este recurso.

De acuerdo a su función científica o nivel de complejidad, el alcance de la investigación fue explicativa al establecer una hipótesis causal a ser contrastada. (Caballero, 2013). También, debido a que en el proceso de la investigación se explicaron las causas existentes en la relación de las variables tales como eventos, fenómenos, cambios, sucesos inherentes a la investigación desarrollada.

Para la investigación se aplicó el enfoque cuantitativo, debido a que se potabilizó el agua de lluvia que implicó la modificación física química y microbiológica de sus componentes estructurales; el cual se realizó mediante la implementación de un filtro elaborado con la cáscara de naranja. También, se midieron las variables antes y después del proceso de filtración para analizar el impacto causa efecto del proceso de la investigación (Caballero, 2013).

El diseño de la investigación fue experimental, debido a que se evaluaron muestras del agua de lluvia filtrada a fin de observar los cambios que se fueron mostrando en los componentes del agua; para de esta manera analizar la contribución con su potabilización y su cumplimiento con los límites máximos permisibles, del cual se genera información para investigaciones futuras (Hernández et al., 2014).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población.

El estudio fue ejecutado en el anexo la Auvernia situada en las coordenadas $11^{\circ}06'36.8''S$ $75^{\circ}23'04.9''W$, a 3.80 km margen derecho del río oxabamba en el distrito de San Ramón de la provincia de Chanchamayo, departamento de Junin, Perú., en el periodo comprendido del 2019 al 2020. La población se consideró a los centros poblados del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, Perú, el cual cuenta con 60 centros poblados, con un total de 2615 viviendas en las cuales habitan 8480 habitantes considerados como zonas rurales del distrito (INDECI, 2007).

3.2.2 Muestra.

La muestra de estudio de investigación se consideró al centro poblado de la Auvernia que cuenta con 51 viviendas y 220 habitantes (INDECI, 2007), donde se instaló el prototipo de la planta de potabilización de agua de lluvia mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja.

3.3 Operacionalización de Variables.

De acuerdo a la hipótesis planteada, en la siguiente Tabla 10 se lista y define el tipo de cada una de las variables, según la relación que mantienen en la hipótesis propuesta:

Tabla 10*Variables del estudio de investigación*

	Tipo	Variables
(VI)	Variable Independiente	Proceso de filtración de la cáscara de naranja
(VD)	Variable Dependiente	Potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.3.1 Variable Independiente.

En la Tabla 11 se muestra la definición conceptual y operacional de la variable independiente.

Tabla 11*Definición conceptual y operacional de la variable independiente*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Proceso de filtración de la cáscara de naranja	Consiste pasar el agua a través de un medio poroso o medio filtrante (biosorbente), en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio filtrante.	Nivel, grado y adecuación del filtro y medio filtrante (biosorbente), cuyo componente es la cáscara de naranja: Altura de filtro, capacidad del filtro, tiempo de retención del filtro, diámetro del medio filtrante, volumen y profundidad del medio filtrante.

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la Tabla 12 se definen las dimensiones, indicadores e instrumentos de relevamiento de la variable independiente Proceso de filtración de la cáscara de naranja

Tabla 12

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Proceso de filtración de la cáscara de naranja	Diseño del filtro y componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Altura del filtro • Capacidad del filtro • Tiempo de retención del filtro 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones • Diseño (autocad) • Pruebas insitu
	Adecuación del medio filtrante a partir de la cáscara de naranja	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría (diámetro del biosorvente) • Volumen del medio filtrante • Profundidad del medio filtrante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones, • Pruebas insitu • Registros insitu

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.3.2 Variable Dependiente.

En la Tabla 13 se muestra la definición conceptual y operacional de la variable dependiente.

Tabla 13*Definición conceptual y operacional de la variable dependiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.	Agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano.	Modificación de los componentes físicos químicos y biológicos del agua de lluvia hasta lograr valores que son recomendables para su uso y aptos par consumo humano como agua potable.

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la Tabla 14 se definen las dimensiones, indicadores e instrumentos de relevamiento de la variable dependiente.

Tabla 14*Operacionalización de la variable dependiente*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.	Características físicas del agua	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de parámetros físicos del agua 	<ul style="list-style-type: none"> Toma de muestra, cadena de custodia, análisis en laboratorio
	Características químicas del agua	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de parámetros químicos del agua 	<ul style="list-style-type: none"> Toma de muestra, cadena de custodia, análisis en

		laboratorio
Características biológicas del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de parámetros biológicos del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestra, cadena de custodia, análisis en laboratorio

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.4 Instrumentos

Para la investigación se utilizaron instrumentos válidos a nivel de investigación, tales como: AutoCAD (para el diseño de la planta de tratamiento de agua de lluvia), Google maps y GPS (para la ubicación del lugar de estudio y desarrollo de la investigación), microsoft excel (para la contrastación de la hipótesis mediante la técnica estadística del T- students y análisis de criterios estadísticos), fichas de recolección de datos insitu para llevar el control de parámetros evaluados insitu en el desarrollo de la investigación, cadenas de custodia, rótulos y etiquetas para el tratamiento de muestras de agua y evaluación de la calidad de la misma.

3.5 Procedimientos

Al tratarse de una investigación del tipo experimental, se aplicó el siguiente procedimiento de diseño:

3.5.1 Requerimientos de diseño

3.5.1.1 Consideraciones previas

Para realizar el diseño de captación del agua de lluvia, se consideró el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio de 6 años previos, al no contar con una estación de monitoreo en la zona de estudio se recurrió a la data de la estación meteorológica y

pluviologica del SENAMHI instalada en el distrito de Vitoc, situado en la Provincia de Chanchamayo, departamento de Junin, esta estación es la más próxima al distrito de San Ramón. Los datos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Precipitación pluvial mensual y anual, en la ciudad de San Ramón (2012-2017mm)

AÑO	En	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
2012	184	198	156	167	104	95	36	18	14	22	45	76	1115
2013	143	162	145	123	92	84	42	21	18	24	32	43	929
2014	156	172	132	134	91	86	32	24	16	18	21	52	934
2015	152	152	142	153	82	92	41	23	13	21	22	42	935
2016	135	143	143	164	83	93	32	21	15	23	18	46	916
2017	245	252	267	245	162	123	42	23	13	14	26	86	1498

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2 Precipitación media anual

Se refiere al cálculo promedio de las precipitaciones anuales durante el período de observación, es decir a lo largo de los 6 años de registro de precipitaciones.

Para obtener este valor es necesario sumar el total de precipitaciones por año, y se divide entre 6; tal como se muestra en la fórmula:

$$PMa = \left(\frac{\sum(pp1 + pp2 + pp3 + pp4 + pp5 + pp6)}{6} \right)$$

Donde:

PMa: Precipitación media anual

pp1,pp2,pp3,pp4,pp5,pp6: Precipitaciones promedios anuales.

Luego de analizar los datos de la estación pluviométrica de los años previos a la investigación, se realizó el cálculo de la precipitación media mensual, considerando el promedio de precipitaciones por meses. Todo ello se realizó año por año a fin de tener una data exacta.

3.5.1.3 Precipitación media mensual

Se expresa a la media de las precipitaciones pluviales mensuales en el periodo de observación, el resultado se logra realizando la sumatoria de precipitaciones totales de cada mes y dividiendo por la cantidad de años en observación. Este valor puede ser expresado en mm/mes (CEPIS, 2004).

Para la determinación de la precipitación promedio mensual, se utiliza la siguiente formula:

$$PMm = \left(\sum_{i=1}^{i=n} Mm \right)$$

Donde:

n: Número de años evaluados

Mm: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)

PMm: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm)/mes

3.5.1.4 Cálculo de la demanda de agua

Según el detalle de las especificaciones técnicas mencionadas por el Centro Panamericano de Investigación Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS (2004), la demanda de agua para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia debe ser de 4 litros/persona/día, para ser estimada para bebida, preparación de alimentos e higiene bucal., sin embargo considerando la realidad de las poblaciones rurales en la zona de estudio, para la presente investigación se considerará una dotación mínima de agua de 10 litros/persona/día.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$Dm = \frac{Nb \times Ndma \times D}{1000}$$

Nb: número de usuarios beneficiados con el sistema

Ndma: número de días del mes analizado

D: dotación (L/personaxdía)

Dm: demanda mensual (m³)

3.5.2 Diseño de los procesos de la planta de tratamiento de agua de lluvia

3.5.2.1 Diseño técnico de la superficie de captación

Para la superficie de captación se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Contar con un mínimo de 6% de inclinación en relación a los canales de recolección del agua de la lluvia.
- La superficie de recolección para fines de la investigación, fue de tres metros de largo por tres metros de ancho.
- Los parantes o columnas y las estructuras de las vigas que soportan el techo son de madera, de preferencia resistente a la humedad y a las plagas, la razón de este material es por el bajo costo generado a diferencia de otros.
- CEPIS (2004), establece ciertos criterios para el tipo de sistema de techado o cobertura de la superficie de captación, para el caso de la investigación, se utilizó la calamina como material, cuyo coeficiente de escorrentía es de 0.9. para fines de cálculo.
- Para la investigación se consideró una superficie rectangular para el cual el área de captación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Ac = Lxa$$

Donde:

Ac = Area de captación

L: Largo del techo en (m)

a: Ancho del techo en (m)

3.5.2.2 Diseño del sistema de canalización

- Se utiliza la formula:

$$Ca = Lxaxh$$

Donde:

L: Largo

h: altura

a: ancho de base

- La canalización está compuesta por canaletas metálicas galvanizadas de 3m de largo y 10 cm de ancho de canaleta interna y 15 cm de alto, estas se sujetaron a la parte frontal de la estructura de madera a fin de que el agua de lluvia pueda discurrir fácilmente por la pendiente, (CEPIS, 2004).
- Todo el sistema de recolección fue diseñada, con características herméticas a fin de no originar pérdidas de agua y garantizar el 100% de captación según la superficie establecida.
- La canaleta de recolección fue cubierta por una malla metálica galvanizada de 0.5mm a fin de retener las partículas de mayor tamaño tales como hojas de las plantas, plumas de aves, rastrojos secos, entre otros. Que por acción del viento pueden caer encima de la superficie de captación.
- La limpieza de estas se realizó una vez a la semana para evitar el aglomeramiento y la obstrucción del sistema de canalización del agua de lluvia.

- La canaleta se ubicó en un ángulo de inclinación de 5% en relación al plano, ello permitió el flujo normal del agua y evitó el empozamiento que podría haber originado pérdidas considerables del agua, sobretodo cuando se presentaron precipitaciones considerables de duración continua.
- Al final de la canaleta se consideró un sistema de codos y tubería de pvc de 3" de diametro y de 2.00 metros de largo que llegan directamente al sistema de almacenamiento temporal del agua de lluvia, todo este sistema de tuberías es hermético a fin de evitar pérdidas. Cabe precisar que al inicio del sistema de tuberías se proporcionó el agua, con una tubería de 4" a fin de encausar adecuadamente el flujo de agua y evitar los reboses, este posteriormente fue reducido al sistema de 3".
- En la parte inferior de la tubería a 40 cm antes del ingreso del tanque de almacenamiento se instaló una llave de cierre y una llave de desfogue, esto con la intención de cerrar el sistema cuando el tanque se encuentre en la totalidad de su capacidad de almacenamiento y los remanentes de agua de lluvia puedan canalizarse al exterior del sistema.

3.5.2.3 Diseño del sistema de almacenamiento temporal

- Una vez canalizada el agua de lluvia desde la superficie de captación, esta se almacena temporalmente en un tanque diseñado y construido en concreto para el cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{at} = A \cdot l \cdot h$$

Donde:

Vat = Volumen de almacenamiento temporal

A: Ancho del tanque

L: Largo del tanque

H: altura del tanque

- El tanque de almacenamiento cuenta con una tapa de concreto a fin de evitar la contaminación por vectores y materiales sólidos propios de la zona de estudio.
- El tanque de almacenamiento cuenta con dos sistemas de salida del agua en la parte inferior:
 - a. La primera; es del sistema de drenaje cuyo uso exclusivo es para limpieza y desinfección del tanque o para vaciar el agua almacenada ante la presencia de alguna contingencia en el proceso de tratamiento del agua. Esta tubería es de 1" con su respectiva llave. Esta es ubicada a 5cm por encima del piso del tanque.
 - b. La segunda; es del sistema de ingreso a la planta de filtración primaria, esta conduce el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los dos sistemas de filtración primaria con caudales de distribución similar, cabe precisar que se cuenta con llaves reguladoras del caudal del agua, que están instaladas a 5cm por encima del piso del tanque.

3.5.2.4 Diseño de la planta de filtración primaria

Se denomina proceso de filtración primaria, al sistema compuesto por piedra cantoneada de (30mm), grava (5.00mm), y arena (1mm) de granulometría respectivamente, ello permite reducir la carga de sedimentos, impurezas y carga microbiana en una primera etapa.

Para la construcción de los tanques, según volumen requerido, se aplicó la fórmula

$$V_1 = L \times A \times H ; V_2 = L \times A \times H$$

Donde:

L= largo

A= ancho

H= altura

Diseño:

El diseño está comprendido por dos tanques de concreto cuyas medidas son de 1.00 m de largo, 1.00 m de ancho, 1.00 m de alto, con una capacidad de 1m^3 cada uno. Cada tanque contiene material filtrante en similar cantidad, medida y altura distribuida de la siguiente manera: 20 cm de piedra cantoneada en la base, 20 cm de grava y 30 cm de cubierta de arena todos uniformizados en su distribución. Previamente, los materiales filtrantes fueron lavados con abundante agua hasta observar su total limpieza.

Finalmente, el sistema de filtración o los medios filtrantes garantizan una velocidad de filtración menor a 25cm/h con la finalidad de lograr la remoción necesaria de manera inicial.

Funcionamiento:

El agua ingresa desde el tanque de almacenamiento mediante una tubería de 1" de diámetro con una reducción a $\frac{1}{2}$ ", a fin de generar pérdida de presión y velocidad, al momento del ingreso de los tanques de filtración, que permitirá una mejor distribución del agua sobre el material filtrante.

El ingreso se realiza por la zona media de cada tanque a 5 cm por debajo de la cima de rebose. La distribución del agua se realiza mediante tres sistemas de tuberías de $\frac{1}{2}$ " de 50cm de largo unidas por una T $\frac{1}{2}$ " sobreexpuestas a 5cm de la superficie del último medio filtrante (arena), con la intención de que los chorros de agua se distribuyan de manera uniforme.

Cada tubería cuenta con agujeros de 0.5 cm de diámetro distribuidos uniformemente, los cuales permiten la salida del agua de manera uniforme sobre el medio filtrante.

La recolección del agua filtrada, se realizó por la zona media de cada tanque a 5 cm por encima del piso. La recolección del agua filtrada se desarrolló mediante tres sistemas de tuberías de $\frac{1}{2}$ " de 50cm de largo unidas por una T $\frac{1}{2}$ " sobreexpuestas a 5cm de la superficie del piso justo debajo del primer medio filtrante (piedra cantoneada) con la intención de recolectar toda el agua filtrada.

Cada tubería cuenta con agujeros de 0.5 cm distribuidos uniformemente que permiten la entrada del agua de manera uniforme para luego dirigirse al sistema de almacenamiento permanente, la salida es una sola tubería de ½” que cuenta con sistema de cierre y apertura a fin de controlar el flujo del agua.

3.5.2.5 Diseño del sistema de almacenamiento permanente

El sistema está compuesto por dos tanques de rotoplas de 1,4m³ que en conjunto almacenan 2,8m³; el agua pretratada llega desde los tanques de filtración primaria para ser almacenados y tratados con el fin de reducir la carga microbiana y parasitaria.

El sistema se ubica en desnivel (ángulo de inclinación de 45°), a fin de aprovechar la gravedad para su almacenamiento, la entrada a los tanques de almacenamiento se encontrará ligeramente por debajo del nivel de la salida de tuberías proveniente de los tanques de filtración primaria.

Los tanques siempre se deben mantener cerrados y bajo sombra a fin de garantizar la calidad del agua, el almacenamiento se realiza hasta el volumen sugerido por los fabricantes a fin de no sobre exponer su capacidad y ocasionar pérdidas.

3.5.2.6 Dosificación y desinfección del agua

En este punto se realizó la dosificación con fines de desinfección, para el cual se utilizó la lejía con compuesto de cloro activo/litro de agua en porcentaje de 0.5% (50gr/litro de lejía) en proporciones de 2 gotas por 1 litro de agua, este procedimiento de dosificación es de vital importancia puesto que debemos agregar la dosis exacta por la cantidad de agua almacenada a fin de no alterar su calidad y lograr la eficiencia en la desinfección (reducción y eliminación de agentes microbiológicos y parasitológicos) principales causantes de enfermedades a los usuarios.

Para garantizar una buena aplicación de la dosificación y desinfección del agua, se debe seguir estrictamente el procedimiento manual, la persona que realice este proceso, debe contar con equipos de protección personal tales como (lentes, guantes, mascarilla) y las instrucciones específicas de los peligros asociados al uso de la sustancia química con la única intención de evitar cualquier tipo de accidente. Además, se debe cumplir con agregar la dosis exacta rociando toda la superficie del agua para una buena homogenización.

Una vez dosificado, los tanques deben permanecer sin uso por lo menos 2 horas; por lo que es recomendable realizar este proceso en horas de la noche.

3.5.3 Diseño del equipo de filtración

3.5.3.1 Diseño del filtro

El filtro está construido de un tubo de PVC de diámetro nominal de 4" (pulgadas) con un espesor de 2,8 mm. El tubo se cortó en segmentos de 50 cm, donde en la base inferior se colocó un tapón de 4" este tapón sirve como base del filtro, en la parte superior se coloca un acople externo de 4" con sistema de tapón rosca autoajustable, este tapón con rosca de 4" nos permite abrir y cerrar para realizar los ajustes internos o la limpieza del filtro luego de su uso.

A 5cm de la base la base del sistema y a 8 cm de profundidad de la parte superior del sistema, se realizó perforaciones de 1/2" a fin de realizar las instalaciones correspondientes al ingreso del agua y al sistema de recolección de agua.

A una profundidad de 5 cm en el lado interno del filtro, se cuenta con el sistema de distribución uniforme del agua proveniente del sistema de almacenamiento permanente, el sistema está conformado por un tapón de 1/2", una unión soquet con rosca interna de 1/2" y un trozo de tubería de PVC de 5cm de longitud unidos en una sola pieza, este sistema es acoplado a la tubería de ingreso mediante un niple con rosca de 5cm de largo que en ambos extremos se cuenta con arandelas de 1/2" de diámetro y 2,5mm de espesor.

En el lado externo el niple y el sistema de distribución se unen mediante una unión universal de ½” con rosca a la tubería de ingreso del agua.

La tubería de 5 cm se perforó en diámetros de 2mm horizontal y uniforme espaciadas cada 5 mm, en total cada recolector contiene 18 perforaciones que permitirán distribuir el agua de manera uniforme en la superficie del medio filtrante

A una altura de 5cm en relación al piso, se cuenta con una salida de tubería de ½” el cual conforma el sistema de recolección del agua filtrada, compuesta por un tapón de ½”, una unión con rosca interna de ½” y un trozo de tubería de PVC de 5cm de longitud, todo este sistema se encuentra unido en una sola pieza, este sistema es acoplado a la tubería de salida del agua filtrada mediante un niple con rosca de 5cm de largo que en ambos extremos se cuenta con arandelas de ½” de diámetro y 2,5mm de espesor.

El sistema interno se une mediante el niple, a una unión universal de ½” con rosca situada en la parte externa del filtro, este sistema permite la distribución del agua filtrada y potabilizada.

La tubería de 5cm es perforada en agujeros de 2mm de diámetro, estos se encuentran distribuidos horizontalmente y uniforme en la superficie de la tubería espaciados cada 5mm, en total cada recolector contiene 21 perforaciones que permitirán recolectar y canalizar filtrada impidiendo su colmatación.

La salida externa del sistema, está compuesta de una pieza de tubería de pvc de ½”, de 10cm de longitud unida a un codo de 90° de ½” con rosca inferior, esta a su vez está unida a una tubería de pvc de ½” de 10cm de longitud vertical unido a un codo universal de ½” a presión de 90° unida con la tubería de salida de distribución.

Este sistema de tuberías, ha sido adoptado con el fin de reducir la longitud de la tubería de salida externa y reducir su exposición a agresiones del ambiente. También, para

proporcionar la fácil reparación de la tubería de salida y permitir reducir la velocidad de transporte del agua filtrada.

3.5.3.2 Fabricación de los topes de la rejilla de filtración

A una altura de 8,0 cm en relación a la base del filtro, se instaló una base de PVC reforzado que servirá de soporte a la rejilla que soporta al medio filtrante, el objetivo es mantener aislado el sistema del medio filtrante con el sistema de recolección del agua tratada, a fin de evitar su saturación posterior y prolongar el tiempo de vida útil de filtración.

3.5.3.3 Diseño para la fabricación de la rejilla de filtración

La rejilla está ubicada con precisión encima de los topes, esta rejilla tiene un diámetro externo de 4" el cual es lijado y pulido ligeramente a fin de asegurar su inserción en el diámetro del filtro, el material es acrílico de 5mm de espesor que por su consistencia y facilidad en su limpieza garantizan la salubridad del material.

La rejilla está compuesta de agujeros de 2,5mm de diámetro distribuidos de manera uniforme en su superficie el cual garantizará una filtración equitativa, en total la rejilla cuenta con 25 orificios debidamente distribuidos. El medio filtrante se coloca encima de esta rejilla por lo que su diseño y funcionamiento, es muy importante.

3.5.3.4 Componentes de diseño del filtro

En la Tabla 16, se muestran los materiales utilizados en el diseño y fabricación del filtro

Los materiales corresponden para la fabricación de un filtro.

Tabla 16*Materiales de fabricación del filtro.*

Materiales	Cantidad
Tubo de PVC de 4"	1
Entrada de la tubería con perforaciones espaciados a 5 mm	1
Salida de la tubería con perforaciones espaciados a 5mm	1
Unión universal con rosca de ½"	2
Niple de 5 cm con rosca de ½"	2
Codo de 90° con rosca de ½"	2
Codo de 90° de SP ½"	2
Tapón de ½"	2
Niple de 10 cm de ½"	2
Unión con rosca interna de ½"	2
Tapones de 4"	1
Tapones con rosca de 4"	1
Acoples con rosca para tubos de 4"	1
Arandelas de jebe	4
Tubería de PVC de ½"	1
Topes de 4"	1
Rejilla de material acrílico de 4" de diámetro	1

3.5.3.5 Especificaciones técnicas del filtro

En la Tabla 17, se muestran las especificaciones técnicas del filtro

Tabla 17*Especificaciones técnicas del filtro*

Especificaciones	Medidas/cantidad
Diámetro interno	111.2 mm
Diámetro externo	114.0 mm
Espesor	2.8 mm
Altura del filtro	50.0 cm
Altura de salida de agua tratada	5.0 cm
Altura de ingreso del agua	5.0 cm
Altura del tope	8.0 cm
Espesor de la rejilla	2.5 mm
Diámetro de las perforaciones de la rejilla	2.0 mm
Distanciamiento de perforaciones en la rejilla	5.0 mm
Número de perforaciones en la rejilla	25.0
Altura del medio filtrante	15.0 cm
Profundidad de nivel de agua sobre el medio filtrante	21.75 cm
Profundidad disponible para almacenamiento de agua en la base del filtro	10.0 cm
Volumen de agua almacenada sobre el medio filtrante	2.11 L
Volumen de clarificación de agua tratada	0.971L
Volumen total del filtro	4.370 L

Tasa de llenado (L/h/m ²)	4 L/h/m ²
Flujo maximo (L/min)	0.5 L/m
Peso del filtro con el medio filtrante	2.0 kg
Peso del medio filtrante	0.5 kg
Tamaño de la perforación del difusor de salida	2.0 mm
Espaciado de perforaciones del difusor de salida	5.0 mm
Número de perforaciones en el difusor de salida	21.0
Tamaño de la perforación del difusor de entrada	2.0 mm
Espaciado de perforaciones del difusor de entrada	5.0 mm
Número de perforaciones en el difusor de salida	18.0

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Adecuación del medio filtrante de la cáscara de la naranja

La cáscara de naranja a fin de usarlo como medio filtrante para la potabilización del agua de lluvia, debe cumplir con requisitos específicos los cuales se detallan en los siguientes procedimientos:

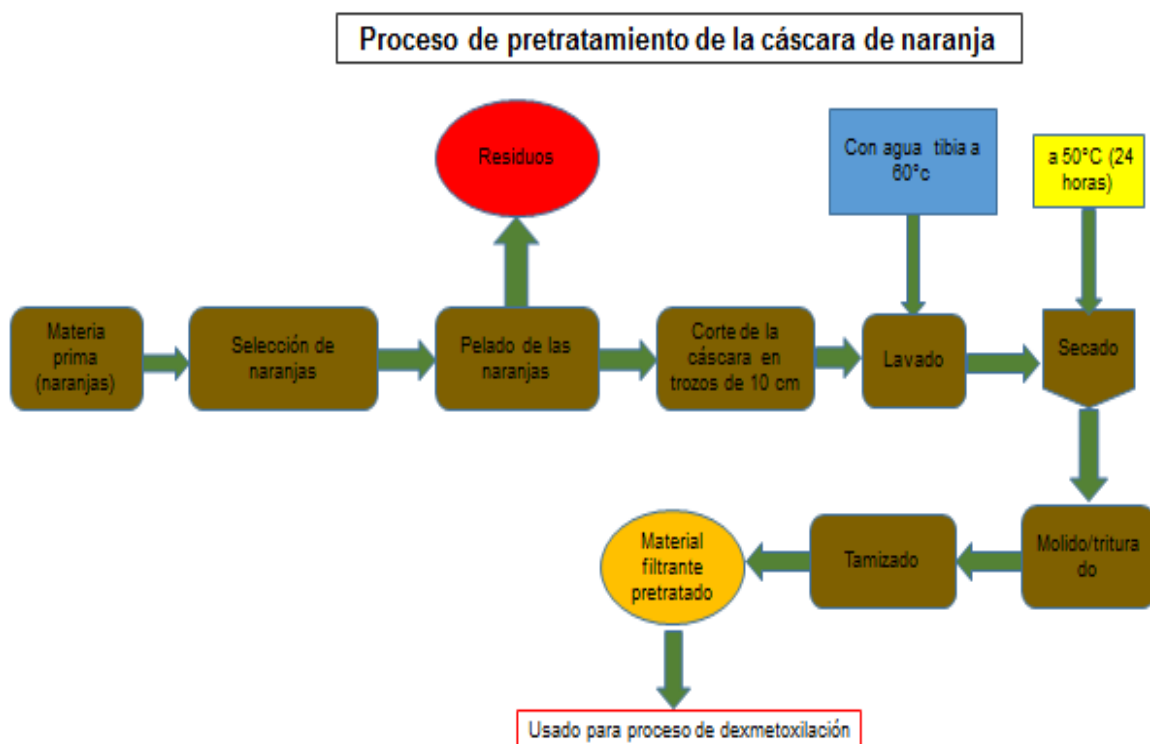
3.5.4.1 Pretratamiento de la cáscara de naranja

Para la investigación se usaron 20 kg de naranjas valencia - *Citrus sinensis*, provenientes del terreno agrícola donde se realizó el proyecto de tratamiento de agua, ello con la intención de darle autosostenibilidad al usuario beneficiado.

Las naranjas fueron seleccionadas para separar aquellas que presentan impurezas o deterioro superficial, luego de este procedimiento se pelan las naranjas que están en buenas condiciones, los residuos pueden ser utilizados en jugos o como abono, posterior a ello se cortan en trozos de 10 cm de longitud y se lava con agua tibia a 60°C, luego de este procedimiento se deja secar a 50°C durante 24 horas (3 días) considerando que cada día cuenta con radiación solar de 8 horas. Finalmente, se tritura y se tamiza a fin de obtener el tamaño ideal del material como medio filtrante, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7

Proceso de pretratamiento de la cáscara de naranja

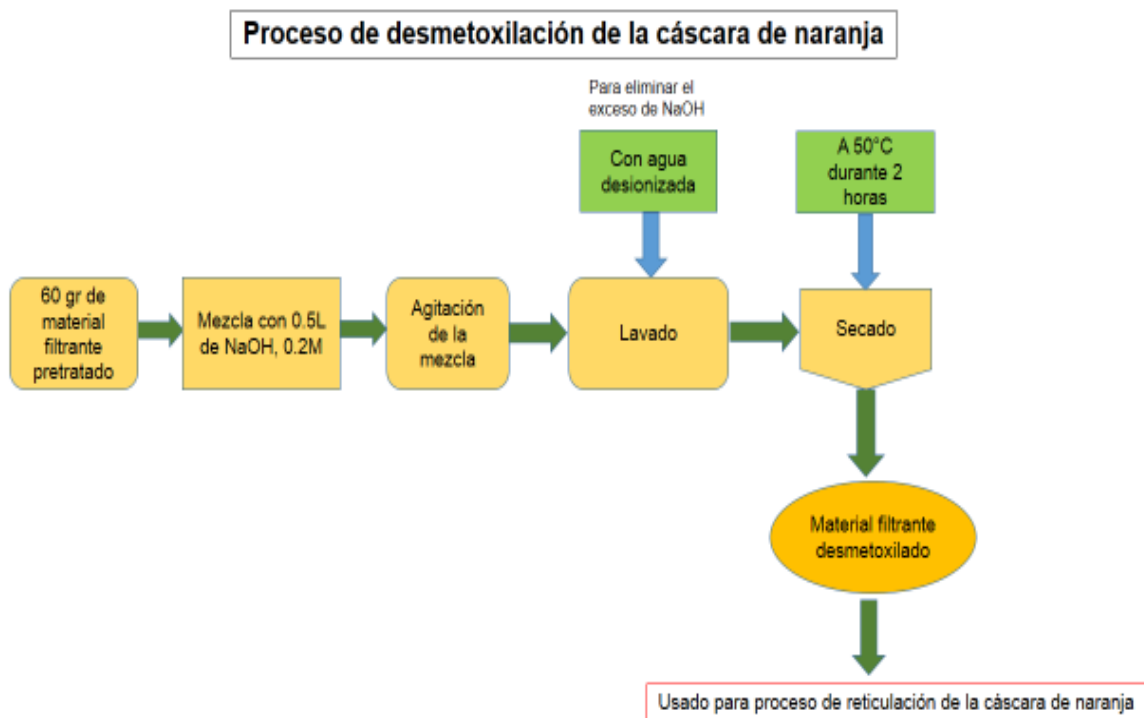


3.5.4.2 Procedimiento de desmetoxilación de la cáscara de naranja

Esta prueba se realizó en laboratorio con el objetivo de reducir los niveles de metoxilo de las pectinas amídicas presentes en las cáscaras de las naranjas, el cual durante este proceso una parte de los ésteres son reemplazados por grupos amidas, lo cual modifica las propiedades de gelación de la pectina, para ello se requiere una intervención química como se detalla en la figura 8.

Figura 8

Proceso de desmetoxilación de la cáscara de naranja



3.5.4.3 Procedimiento de reticulación de la cáscara de naranja

El proceso fue realizado en laboratorio, el cual permitió una formación de mallas tridimensionales en la parte interna molecular, a fin de aumentar la estabilidad mecánica del medio filtrante adquiriendo mayor rigidez con menores movimientos de relajación de las partículas cuando entren en contacto con el agua, tal como se muestra en las figuras 9 y 10.

Figura 9

Estructura de la pectina

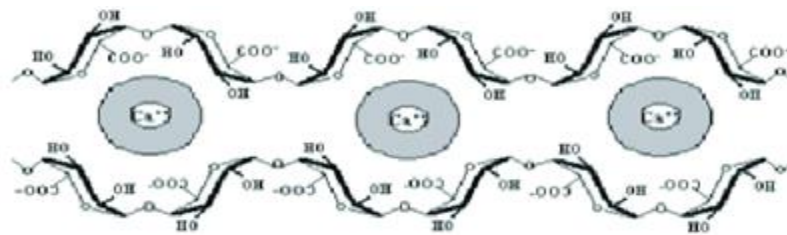


Figura 10

Proceso de reticulación de la cáscara de naranja



Nota: Este proceso se realiza en ciclos repetidos a fin de obtener la cantidad suficiente de material filtrante que se usará en todo el desarrollo de la investigación.

3.5.5 Prueba hidráulica final del filtro y medio filtrante

Las pruebas fueron realizadas para asegurar un flujo uniforme a través del área transversal de la columna del medio filtrante (cáscara de naranja); es decir que el agua no fluya más rápido a lo largo de la pared interior o a lo largo del sistema de tuberías de salida.

Estas pruebas fueron desarrolladas utilizando una solución salina mezclada en proporción de 0.01 litros de Cloruro de Sodio (NaCl) por 1 litro de agua potable, esta solución fue introducida en el filtro para luego medir la resistencia eléctrica de la descarga del agua en el filtro hasta detectar la solución salina. Estas mediciones se realizaron con un Ohmímetro durante 1.5 minutos cada 15 segundos.

La interpretación de la uniformidad se suscita cuando el volumen del agua de ingreso (2.11 L) es descargado totalmente antes de detectar la solución salina, se estima que el flujo de filtración es uniforme, permitiendo una adecuada distribución del agua a través del medio filtrante.

3.5.6 Monitoreo de muestra inicial del agua de lluvia

Se realizó el monitoreo inicial de la calidad de agua de la lluvia siguiendo los protocolos de monitoreo para calidad de agua, con la intención de contar con una línea base de resultados, que nos permitan comparar resultados luego de la intervención experimental, los parámetros a analizar según referencia establecida en la D.S.N° 031-2010-SA, son:

Tabla 18

Parámetros a evaluar en muestra inicial de agua de lluvia

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos	Parámetros Biológicos
•Olor	•Clorito, Clorato, Cloruros, Fluoruros,	• Coliformes fecales
•Sabor	Nitritos, Sólidos totales disueltos,	• Coliformes totales
•Color	Sulfatos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal	• Virus

•Turbiedad	• Pesticidas Organoclorados: (Lindano, Heptacloro, Aldrin, Heptacloro epóxido, Clordano-Trans, Endosulfan I, Clordano-Cis, Dieldrin, DDE-p,p, Endrin, Endosulfan II, DDD-p,p , DDT-p,p, Pentaclorofenol)	• Echerichia Coli
•PH		• Parásitos
•Temperatura		• Fitoplancton (Algas)
•Conductividad		• Zooplancton: (protozoarios, copéodos, rotíferos y nemátodos)
	• Metales totales: (Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo Antimonio, Selenio, Talio, Torio, Uranio, Vanadio, Zinc)	

3.5.7 Monitoreo de muestra final del agua de lluvia

El monitoreo de la calidad de agua, se realizó despues de haber sometido al agua de lluvia a todo el proceso de filtración mediante la cáscara de naranja, los parámetros seleccionados para esta etapa, son los mismos que de la muestra inicial, con la finalidad de contrastar los resultados y observar las posibles diferencias despues del tratamiento.

Tabla 19

Parámetros a evaluar en muestra inicial de agua de lluvia

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos	Parámetros Biológicos
• Olor	•Clorito, Clorato, Cloruros, Fluoruros,	• Coliformes fecales
• Sabor	Nitritos, Solidos totales disueltos,	• Coliformes totales
• Color	Sulfatos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal	• Virus
• Turbiedad	• Pesticidas Organoclorados: (Lindano,	• Echerichia Coli

•PH	Heptacloro, Aldrin, Heptacloro epóxido,	• Parásitos
•Temperatura	Clordano-Trans, Endosulfan I, Clordano-	• Fitoplancton
•Conductividad	Cis, Dieldrin, DDE-p,p, Endrin,	(Algas)
	Endosulfan II, DDD-p,p , DDT-p,p,	• Zooplancton:
	Pentaclorofenol)	(protozoarios,
	• Metales totales: (Plata, Aluminio,	copépodos,
	Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio,	rotíferos y
	Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio,	nemátodos)
	Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo	
	Antimonio, Selenio, Talio, Torio, Uranio,	
	Vanadio, Zinc)	

3.5.8 Comparación de resultados finales

En esta etapa, se realizó el análisis de la eficacia de tratamiento del agua de lluvia mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, donde se comparó el resultado final de los parámetros físicos, químicos y biológicos con el resultado inicial. Además, se estableció una comparación directa con los límites máximos permisibles establecidos en la D.S.N° 031-2010-SA, a fin de cumplir con los requerimientos de calidad de agua apta para consumo humano. Se precisa que la muestra inicial fue tomada a los 50L de filtrado y la muestra final a los 5000L de filtrado en un rango de tiempo de 3 meses, con usos intermitentes según la necesidad de uso regular del agua.

3.5.9 Estrategia de Prueba de Hipótesis.

Para validar la hipótesis, se ejecutaron las siguientes acciones:

- a. Verificación e implementación de los componentes del proceso de filtración de la cáscara de naranja para la potabilización del agua de lluvia.

- b. Pruebas de los componentes del proceso de filtración y del medio filtrante.
- c. Toma de muestras de calidad de agua antes del proceso de tratamiento (muestra inicial) y después del tratamiento mediante la filtración de la cáscara de naranja (muestra final).
- d. Análisis en laboratorio de los componentes de calidad de agua, en muestra inicial y muestra final.
- e. Consolidación, cálculo y análisis cuantitativo de los datos obtenidos.
- f. Aplicación de la prueba *t-Student* con datos obtenidos, en la muestra inicial, muestra final y límites máximos permisibles.
- g. Análisis de resultados y validación de la hipótesis planteada.

3.6 Análisis de datos

3.6.1 Procesamiento y análisis de datos.

La primera actividad desarrollada para la ejecución de la presente investigación, fue revisar a detalle el proyecto en etapa de ingeniería de detalle, es decir el proyecto inicial, se revisaron aspectos de diseño y componentes de todo el sistema de tratamiento, desde la captación hasta la toma de muestra final del agua de lluvia tratada. En esta etapa de corrigieron los posibles rangos de error potenciales en el proceso de potabilización.

Luego, se continuó con la ejecución y construcción de todo el sistema de tratamiento del agua (construcción de la planta según operaciones unitarias descritas en el detalle del proyecto, construcción del sistema de filtración y adecuación de la cáscara de naranja como medio filtrante o biosorbente natural.

Una vez finalizada la construcción de todo el sistema de potabilización del agua de lluvia y de los sistemas de filtración incluyendo el medio filtrante de la cáscara de naranja, se

procedió a tomar la muestra inicial del agua de lluvia, el punto de toma de muestra fue tomada en la recolección proveniente de la superficie de captación. el objetivo es analizar la calidad del agua de lluvia en condiciones naturales. Finalmente, las muestras de agua, fueron analizados por un laboratorio acreditado a nivel nacional a fin de garantizar la trazabilidad de los resultados, las muestras fueron codificadas antes del ingreso al laboratorio según características (físicos, químicos, biológicos).

Además, durante el funcionamiento de la planta de potabilización del agua de lluvia mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, se midieron y registraron semanalmente, parámetros de control insitu (temperatura, pH y conductividad, así como componentes organolépticos como color, sabor y olor del agua).

Posteriormente, luego de la etapa de tratamiento, se tomó la muestra final del agua de lluvia, el cual fue sometido al tratamiento con el proceso de filtración de la cáscara de naranja a fin de evaluar los cambios en sus componentes iniciales (físicos, químicos y biológicos). El punto de toma de muestra fue en la tubería de salida de los filtros que contienen el medio filtrante, el objetivo fue analizar la calidad del agua de lluvia en condiciones post-tratamiento. Finalmente, las muestras de agua, fueron analizados por un laboratorio acreditado a nivel nacional a fin de garantizar la trazabilidad de los resultados, las muestras fueron codificadas antes del ingreso al laboratorio según características (físicos, químicos, biológicos). La muestra final fue recolectada luego de 60 días de funcionamiento del sistema.

Asimismo, los resultados de la muestra de agua inicial y la muestra final, fueron comparados a fin de evaluar descriptivamente los cambios en sus componentes (físicos, químicos, y biológicos). También, estos resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano vigente en nuestro país.

Finalmente, se efectuó el análisis de los resultados, la selección de la información y el cálculo de indicadores que confirman el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis de la investigación.

Para efectuar la prueba de validación de la hipótesis, se consideró comparar y analizar mediante la prueba de T-students, los valores promedios que representan un estado anterior, al nuevo estado posterior al desarrollo de las pruebas del proceso de filtración de la cáscara de naranja para la potabilización del agua de lluvia, planteada y desarrollada en la investigación.

3.7 Consideraciones éticas

En el desarrollo de la investigación se respetó la cultura y costumbres de los pobladores del centro poblado la Auvernia. Se firmó, acta de respeto y facilidades de ejecución de la investigación.

Para el diseño de todo el sistema de tratamiento, se respetaron criterios de ingeniería, los cuales fueron elaborados por un Ingeniero Ambiental.

Los análisis de la calidad de agua, fueron realizados por un laboratorio acreditado ante INACAL, con la finalidad de garantizar la trazabilidad y fiabilidad de los resultados.

Los resultados obtenidos, fueron comparados con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano vigente en nuestro país.

Cadena de custodia de las muestras de agua.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Cálculo de la precipitación media anual

El cálculo de la precipitación media anual se obtiene, sumando el total de precipitaciones por cada año de observación y dividiendo entre la cantidad de años observados, del cual aplicando la formula, se obtuvo que la precipitación media anual, para el período de observación entre los años 2012 – 2017, fue:

$$PMa = \left(\frac{\sum(pp1 + pp2 + pp3 + pp4 + pp5 + pp6)}{6} \right)$$

$$PMa: = \left(\frac{\sum(1115+929+934+935+916+1498)}{6} \right) mm$$

PMa: 1,054 mm.

4.2 Cálculo de la precipitación media mensual

Aplicando la formula:

$$PMm = \left(\left(\sum_{i=1}^{i=n} Mm \right) / 6 \right)$$

- Precipitación media mensual para enero 2012- enero 2017

$$PMm = \left(\left(\sum_{i=1}^{i=n} 184 + 143 + 156 + 152 + 135 + 245 \right) / 6 \right)$$

$$PMm = 169.2mm$$

- Precipitación media mensual para febrero 2012- febrero 2017

$$PMm = \left(\left(\sum_{i=1}^{i=n} 198 + 162 + 172 + 152 + 143 + 252 \right) / 6 \right)$$

$$PMm = 179.8mm$$

- Precipitación media mensual para marzo 2012- marzo 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 156 + 145 + 132 + 142 + 143 + 267)/6)$$

$$PMm = 164.2mm$$

- Precipitación media mensual para abril 2012- abril 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 167 + 123 + 134 + 153 + 164 + 245)/6)$$

$$PMm = 164.3mm$$

- Precipitación media mensual para mayo 2012- mayo 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 104 + 92 + 91 + 82 + 83 + 162)/6)$$

$$PMm = 102.3mm$$

- Precipitación media mensual para junio 2012- junio 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 95 + 84 + 86 + 92 + 93 + 123)/6)$$

$$PMm = 95.5mm$$

- Precipitación media mensual para julio 2012- julio 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 36 + 42 + 32 + 41 + 32 + 42)/6)$$

$$PMm = 37.5mm$$

- Precipitación media mensual para agosto 2012- agosto 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 18 + 21 + 24 + 23 + 21 + 23)/6)$$

$$PMm = 21.7mm$$

- Precipitación media mensual para setiembre 2012- setiembre 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 14 + 18 + 16 + 13 + 15 + 13)/6)$$

$$PMm = 14.8mm$$

- Precipitación media mensual para octubre 2012- octubre 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 22 + 24 + 18 + 21 + 23 + 14)/6)$$

$$PMm = 20.3mm$$

- Precipitación media mensual para noviembre 2012- noviembre 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 45 + 32 + 21 + 22 + 18 + 26)/6)$$

$$PMm = 27.3mm$$

- Precipitación media mensual para diciembre 2012- diciembre 2017

$$PMm = ((\sum_{i=1}^{i=n} 76 + 43 + 52 + 42 + 46 + 86)/6)$$

$$PMm = 57.5mm$$

Se muestra los resultados calculados en el siguiente consolidado:

Tabla 20

Determinación de precipitación promedio mensual en San Ramón (2012-2017mm)

MES	Eno	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
MEDIA	169.2	179.8	164.2	164.3	102.3	95.5	37.5	21.7	14.8	20.3	27.3	57.5

Fuente: Elaboración Propia

De los datos anteriores, evaluamos, que entre los meses de mayo y noviembre de cada año en observación, se presentan las menores precipitaciones; sin embargo debemos precisar que en la zona de la investigación, siempre existe la presencia de lluvias, por lo que almacenar el agua en esta época, es de vital importancia a fin de abastecer a los usuarios durante todos los meses del año garantizando la disponibilidad del agua potabilizado.

4.3 Cálculo de la demanda de agua

En cada familia existen un promedio de 4 personas por hogar, los cuales cada uno hace uso de un promedio de 10 litros de agua por día, es importante mencionar que este dato se basa a la zona de estudio, para ello aplicando la siguiente formula:

$$Dm = \frac{Nb \times Ndma \times D}{1000}$$

Nb: 4 usuarios en promedio por familia

Ndma: 30 días

D: 10 litros/persona/día

Dm: $(4 \times 30 \times 10) / 1000$

Dm: 1.2 m³ mensual equivalente a 1200 litros de agua, para gozar de acceso óptimo.

4.4 Construcción de la superficie de captación

Para el cálculo de la superficie de captación se consideró la forma rectangular de un techo fabricado en calamina, de 3m de largo por 3m de ancho.

$$Ac = L \times a$$

$$Ac = 3m \times 3m$$

$$Ac = 9m^2$$

En la figura 11, se muestra el resultado de la instalación de la superficie de captación

Figura 11

Estructura del sistema de captación



4.5 Construcción del sistema de canalización

La canalización se utilizó la formula:

$$Ca = Lxaxh$$

Donde:

L: 3m, h: 0.15m, a: 0.10 m, $Ca=3m.15m \times 0.10m$, $Ca=0.045m^3$

$Ca= 45L$ de agua recolectada y canalizada

4.6 Construcción del sistema de almacenamiento temporal

Para el cálculo del sistema de almacenamiento temporal, se consideró dimensiones de 1.5m de alto por 2m de largo por 1.5m de ancho, cuyo volumen total es:

$$Vat = Axlxh$$

Vat: $1.5m \times 2m \times 1.5m$

Vat= $4.5m^3$

En total la capacidad de almacenamiento del tanque es de $4.5 m^3$. Sin embargo, para fines de la investigación se consideró no superar los $4.0 m^3$ de volumen del tanque por cuestiones de seguridad, en la figura 12, se muestra el resultado de la construcción.

Figura 12

Construcción del sistema del sistema de almacenamiento primario





4.7 Construcción de la planta de filtración primaria

Para el diseño de los tanques de filtración primaria se tuvo en consideración la formula:

$$V1 = LxAxH ; V2 = LxAxH$$

$$V1 = 1m \times 1m \times 1m = 1m^3$$

$$V2 = 1m \times 1m \times 1m = 1m^3$$

La capacidad total de este sistema es de hasta $2m^3$, operando al 100% de su capacidad, tal como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Construcción de la planta de filtración primaria



4.8 Construcción del sistema de almacenamiento permanente

Se instalaron 4 tanques de $1.4m^3$ de capacidad de almacenaje, sumando en total una capacidad de $5.6m^3$ tal como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Construcción del sistema de almacenamiento permanente

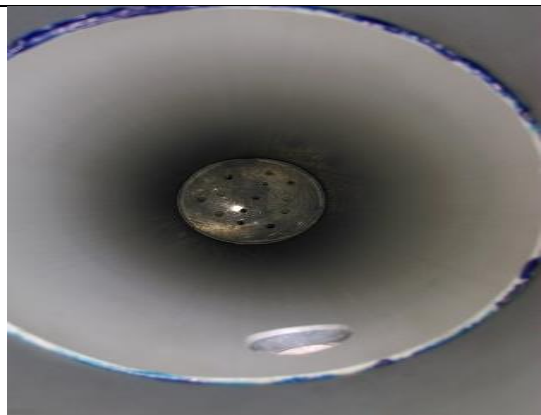


4.9 Construcción del equipo de filtración – filtro

En la figura 15, se muestran todos los detalles de la construcción del soporte y estructura del sistema de filtración.

Figura 15

Construcción del filtro





4.10 Preparación del medio filtrante en etapa de pretratamiento

Para el proceso de filtración se utilizó como medio filtrante la cáscara de naranja, el cual fue sometido a tratamientos de adecuación y/o preparación para asegurar su efectividad, en la figura 16, se muestra el proceso de pretratamiento.

Figura 16

Pretratamiento de la cáscara de naranja



4.11 Preparación del medio filtrante en etapa de desmetoxilación

Para el proceso de desmetoxilación de la cáscara de naranja, se utilizó Hidróxido de Sodio (NaOH a 0.2M) y agua desionizada, que se fueron agregando gradualmente al sustrato filtrante con la intención de realizar el proceso objetivo de la investigación tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Desmetoxilación de la cáscara de naranja



4.12 Preparación del medio filtrante en etapa de reticulación

Para el proceso de reticulación de la cáscara de naranja, se utilizó Cloruro de Hidrógeno (HCl a 0.1 M) y Cloruro de Calcio (CaCl_2 a 0.2M), que se fueron adicionando gradualmente al sustrato filtrante proveniente del proceso de desmetoxilación, luego del tratamiento, se lavó con abundante agua desionizada para retirar impurezas de los compuestos químicos utilizados en el proceso tal como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Reticulación de la cáscara de naranja



4.13 Prueba hidráulica del filtro

La prueba hidráulica del sistema de filtración se realizó con una mezcla compuesta de 0.01L de cloruro de sodio (NaCl) por 1L de agua potable, los datos registrados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21

Medición de resistencia eléctrica del filtro para prueba hidráulica de filtración.

Medidas	Tiempo (Segundos)	Resultado (Ohmios - Ω)
Medición 1	15"	2.22
Medición 2	30"	2.25
Medición 3	45"	2.35
Medición 4	60"	5.12
Medición 5	75"	7.12
Medición 6	90"	6.17

Podemos apreciar el procedimiento de prueba hidráulica en la figura 19

Figura 19.

Prueba hidráulica del filtro





4.14 Toma de muestras iniciales y finales del agua de lluvia

En la figura 20 se muestra el procedimiento en campo de la toma de muestra de agua de lluvia.

Figura 20

Toma de muestra inicial y final del agua de lluvia.





4.15 Resultados del monitoreo inicial, final y límites máximos permisibles

Para mostrar los resultados del análisis de la calidad del agua es importante tener en cuenta las fechas de monitoreo y de análisis. Para la investigación, se consideraron 3 meses de prueba como tiempo máximo de vida útil del bioabsorbente compuesta por la cáscara de naranja (modo prueba experimental), esto debido a la alta carga de agua de lluvia en esta época del año. Se contabilizó un total de 7500 litros filtrados según requerimiento del usuario por el filtro y bioabsorbente.

Vi: Toma de muestra inicial: 24 de noviembre del 2019

Vf: Toma de muestra final: 24 de febrero del 2020

LMP: Límite máximo permisible establecido en el D.S.N° 031-2010-SA.

Tabla 22

Resultados de los parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia

Parámetro	Unidades	Vi	Vf	LMP
Olor	No aplica	Aceptable		Aceptable
Sabor	No aplica	Aceptable		Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	12	4	15
Turbiedad	UNT	8	1	5
Temperatura	°C	23.8	23.1	25

Ph	Valor de Ph	7.28	7.15	6.5 a 8.5
Conductividad	µmho/cm	1350	450	1 500

Tabla 23. Resultados de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia

Parámetros	Unidades	Vi	Vf	LMP
Coliformes Totales	ufc/100mL	12	0	0
Coliformes Fecales	ufc/100mL	0	0	0
Numeración de Escherichia Coli	ufc/100mL	<1.8	<1.8	1.8
Virus (colífagos)	UFP/L	0	0	0

Tabla 24

Resultados formas parasitarias de la calidad del agua de lluvia

Género/Especie	Unidades	Vi	Vf	LMP
Endolimax nana	Quistes/L	0	0	0
Entamoeba histolytica	Quistes/L	0	0	0
Entamoeba coli	Quistes/L	0	0	0
Giardia duodenalis	Quistes/L	1	0	0
Iodamoeba sp.	Quistes/L	0	0	0
Chilomastix sp.	Quistes/L	0	0	0
Blastocystis hominis	Quistes/L	0	0	0
Balantidium coli	Quistes/L	0	0	0
Isospora sp.	Ooquistes/L	0	0	0
Cyclospora cayetanensis	Ooquistes/L	0	0	0
Cryptosporidium parvum	Ooquistes/L	1	0	0
Ascaris sp.	Huevos/L	0	0	0

Ancylostomideo	Huevos/L	0	0	0
Enterobius vermicularis	Huevos/L	0	0	0
Trichuris sp.	Huevos/L	1	0	0
Toxocara sp.	Huevos/L	0	0	0
Capillaria sp.	Huevos/L	0	0	0
Strongyloides stercoralis	Huevos/L	0	0	0
Dyphylidium sp.	Huevos/L	0	0	0
Taenia sp	Huevos/L	0	0	0
Hymenolepis sp.	Huevos/L	0	0	0
Dyphyllobothrium sp.	Huevos/L	0	0	0
Fasciola sp.	Huevos/L	1	0	0
Paragonimus sp.	Huevos/L	0	0	0
Schistosoma sp.	Huevos/L	0	0	0
Macracanthorhynchus sp.	Huevos/L	0	0	0
Larvas de helmintos (nemátodos)	Larva/L	1	0	0
TOTAL	Organismos/L	5	0	0

Tabla 25

Resultados de los parámetros organoclorados de la calidad del agua de lluvia

Parámetro	Unidades	Vi	Vf	LMP
Pentaclorofenol	mg/L	<0.000008	<0.000008	0.009
Lindano	mg/L	<0.00002	<0.00002	0.002
Heptacloro	mg/L	<0.000003	<0.000003	0.0003
Aldrin	mg/L	<0.000002	<0.000002	0.00003

Heptacloro epóxido	mg/L	<0.000002	<0.000002	0.00003
Clordano -Trans	mg/L	<0.000003	<0.000003	0.0002
Endosulfan I	mg/L	<0.000004	<0.000004	0.0004
Clordano Cis	mg/L	<0.000002	<0.000002	0.0002
Dieldrin	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.00003
DDE-p,p (4,4-DDE)	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.00001
Endrin	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.0006
Endosulfan II	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.00001
DDD-p,p (4,4-DDD)	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.00001
DDT-p,p (Dicloro Difenil Tricloetano)	mg/L	<0.000001	<0.000001	0.001

Tabla 26

Resultados de los parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia

Parámetros	Unidades	Vi	Vf	LMP
Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	98	8	1000
Clorito (ClO ₂)	mg/L	0.21	0.1	0.7
Clorato (ClO ₃)	mg/L	0.34	0.1	0.7
Cloruros	mg/L	24	2	250
Fluor	mg/L	8.78	0.38	1,000
Nitritos	NO ₂ -- N mg/L	0.987	0.003	0.2
Nitratos	mg NO ₃ /L	12.76	3.867	50
Sulfatos	mg SO ₄ /L	84	12	250
Nitrogeno	NH ₃ + -N mg/L	0.345	0.02	1.5

Amoniaco/Amoniaco				
Dureza	mg CaCO ₃ /L	426	128	500

Tabla 27

Resultados de los parámetros de OVL de la calidad del agua de lluvia

Parámetros	Unidades	Vi	Vf	LMP
Fitoplacton	Org/L	995	12	0
Zooplacton	Org/L	8	0	0
Nemátodos	Org/L	<1	0	0
Totales de Organismos de vida libre	Org/L	1003	0	0

Tabla 28

Resultados de los parámetros de metales de la calidad del agua de lluvia

Parámetros	Unidades	Vi	Vf	LMP
Boro (B)	mg/L	0.0596	0.0345	1.5
Sodio (Na)	mg/L	5.089	5.089	200
Aluminio (Al)	mg/L	0.011	0.011	0.2
Cromo (Cr)	mg/L	0.0621	0.0008	0.05
Manganeso (Mn)	mg/L	0.00876	0.00247	0.4
Hierro (Fe)	mg/L	0.243	0.1687	0.3
Niquel (Ni)	mg/L	0.00128	0.00069	0.02
Cobre (Cu)	mg/L	0.0941	0.0047	2
Zinc (Zn)	mg/L	3.2312	0.08776	3

Arsénico (As)	mg/L	0.01923	0.00711	0.01
Selenio (Se)	mg/L	0.0164	0.0006	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.07876	0.00054	0.07
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00456	0.00003	0.003
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0009	0.0003	0.02
Bario (Ba)	mg/L	0.01567	0.00382	0.7
Mercurio (Hg)	mg/L	0.00002	0.00002	0.001
Plomo (Pb)	mg/L	0.2564	0.0022	0.01
Uranio (U)	mg/L	0.000789	0.000202	0.015

4.16 Contratación de Hipótesis

Para contrastar la hipótesis de la investigación se utilizó la comparación de resultados obtenidos antes de la implantación de la planta de tratamiento, con los resultados obtenidos después de la implementación de la planta de tratamiento de agua potable por filtración de la cáscara de naranja. Además, se compararon los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles establecidos en la D.S.N° 031-2010-SA. Finalmente, la hipótesis fue contrastada mediante el cálculo de la eficiencia del tratamiento del agua de lluvia mediante la aplicación del sistema de filtración compuesta por cáscara de naranja.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Funcionamiento de la planta de tratamiento del agua de lluvia

La superficie de captación del agua de lluvia para la presente investigación, cuenta con 9m^2 , una superficie suficiente y acorde a las necesidades de demanda de los beneficiarios, cabe recalcar que los beneficiarios son poblaciones de las zonas rurales de San Ramón, Junín., que viven en sus precarias viviendas instaladas dentro de sus predios productivos, por lo que la instalación de plantas individuales y no colectivos es la mejor opción para abordar el proyecto. Otra condición importante es que en la zona de estudio existe presencia de lluvias de manera permanente durante todo el año, el cual garantiza la disposición de la materia prima para tratamiento; que justifica el área de la superficie de tratamiento seleccionada para la investigación.

Además, el sistema de canalización permite la recolección de 45L de agua de lluvia de manera instantánea los cuales discurren libremente por las canaletas hasta el receptor del tanque primario, cabe precisar que la instalación de mallas metálicas en la superficie de las canaletas permitieron retener significativamente las impurezas macroscópicas como hojas, ramas, plumas de aves, entre otros, que permitieron recolectar agua de lluvia en estado limpio para el inicio del tratamiento sin mayor intervención que origine contaminación cruzada.

También, cabe precisar que el tanque de almacenamiento primario cuenta con una capacidad de 4.5m^3 . Suficientes para realizar el proceso de tratamiento, en épocas de excesiva lluvia los controles de acceso al tanque se realizan de manera manual, una vez que el agua haya llegado al tope de 4.0m^3 se cierran las llaves de ingreso para que el agua de lluvia discurra fuera del proceso de tratamiento y de esta manera evitar los embalses. Como parte del circuito del sistema de tratamiento se implementó un proceso de filtración primaria con 2

tanques de 1m^3 de capacidad cada uno con las mismas dimensiones y mismo diseño de distribución de agua. Además, de similares componentes de medios filtrantes, con la finalidad de alternar el funcionamiento y la limpieza de cada uno para permitir la regeneración de la capacidad de filtración de los medios y la limpieza de los mismos. Cabe precisar que para la investigación en proceso continuo siempre 1 tanque se mantuvo en funcionamiento alternando su limpieza y regeneración de medios filtrantes, cada 10 días. Finalmente, el agua pretratada proveniente de los tanques primarios, fueron almacenados en tanques prefabricados Rotoplast de 1.4m^3 cada uno al final del proyecto se instalaron 4 tanques con una capacidad de 5.6m^3 de almacenamiento. Sin embargo, para el proceso de filtración se contó con 4m^3 de almacenamiento de agua por lo que en cada tanque se almacenó solo 1m^3 de agua de lluvia para el ingreso al proceso de filtración con la cáscara de naranja cuyo efluente o producto final, es para consumo humano de los beneficiarios.

5.2 Funcionamiento del sistema del filtro

El filtro fue diseñado en material de pvc, para la investigación se contó con 1 filtro cuyas características más relevantes fueron el diseño del sistema de ingreso del agua, el porta filtro (para el medio filtrante de la cáscara de naranja) y el sistema de recolección del agua filtrada, cabe precisar que al ingreso del filtro se diseñó un sistema de distribución uniforme del agua con la única intención de distribuir el agua en fase de pretratamiento sobre la totalidad de la superficie circular del medio filtrante y de esta manera asegurar que todo el sistema de filtración opera al 100% de capacidad. Para la investigación se utilizó 1.5kg de material filtrante.

5.3 Funcionamiento del bioabsorbente de la cáscara de naranja como medio filtrante.

La cáscara de naranja fue pretartada en fase inicial para el cual se realizaron cortes de 10 cm de largo y 0.5cm de ancho estos fueron lavados con agua tibia a 60°c y secados durante 24 horas a 50°c secados. En este proceso se obtuvieron tamaños uniformes de

cárcara de naranja reducidas a malla de 80 es decir tamaños de 250 μm , que sirvieron como medio filtrante. Luego, de este proceso las partículas reducidas de cáscara de naranja fueron tratados con hidróxido de sodio (NaOH) para el proceso de desmetoxilación, este proceso tuvo una duración de 2 horas en constante agitación. Cabe precisar que en este proceso el secado se realizó en estufa a 50°C a fin de acelerar el proceso (en laboratorio). Se debe mencionar que en fase operativa (en campo) se realizó el mismo proceso con secado natural a 32°C durante 3 días para garantizar la cantidad suficiente de material filtrante. Al final de la prueba, en ambas condiciones se obtuvieron similares resultados por lo que no existe alteración en la investigación.

También, el material filtrante en fase de desmetoxilación, fue sometido a un proceso de reticulación con CaCl y HCl a una agitación constante de 24 horas, luego se lavó el material filtrante con agua desionizada y con agua fría a 4°C para eliminar impurezas en el medio filtrante, posteriormente se secaron a 50°C durante 5 horas. Para la investigación por requerir buena cantidad de medio filtrante, este proceso se realizó en varios ciclos hasta completar un total de 6 kg de material filtrante tratado, el proceso de secado se realizó de manera natural a 32°C durante 5 días hasta completar la cantidad de material filtrante. Esto se realizó considerando que en la zona de intervención, los usuarios no cuentan a disposición con los instrumentos de laboratorio por lo que fue esencial buscar alternativas que les permitan siempre contar con el medio filtrante tratado de manera permanente. Finalmente, cabe mencionar que para el uso de reactivos se tuvo que adquirir de manera privada para fines de la investigación.

5.4 Prueba hidráulica del sistema de filtración.

La prueba hidráulica nos sirvió para conocer el tiempo de retención del líquido en el filtro compuesto por la cáscara de naranja para completar un ciclo de filtración y garantizar su efectividad; después de 90 segundos de prueba, se pudo evidenciar en el rango de 58 a 60

segundos, un incremento gradual de la conductividad eléctrica (de 2.35 Ω a 5.12 Ω) de la solución incorporada en el filtro tal como se muestra en la tabla 21, ello nos muestra que el tiempo de retención total del filtro es de 60 segundos, tiempo que tarda en pasar el agua de lluvia por el medio filtrante hasta lograr la filtración.

5.5 Remoción de parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 29 se observan valores obtenidos y registrados de parámetros organolépticos/físicos, en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, el resultado final fue comparado con los LMPs, establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los parámetros físicos que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{pf} = ((C_{fi} - C_{ff}) / C_{fi}) * 100$$

Donde:

C_{fi} = Concentración inicial de parámetros organolépticos/físicos del agua de lluvia

C_{ff} = Concentración final de parámetros organolépticos/físicos del agua de lluvia.

$\% R_{pf}$ = Porcentaje de remoción de parámetros físicos del agua de lluvia.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los parámetros organolépticos/físicos del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Porcentaje de remoción de los parámetros organolépticos/físicos de la calidad del agua de lluvia.

Parámetro	Unidades	Concentración inicial (C_i)	Concentración Final (C_f)	% Rpf = ((C_f-C_f)/C_f)*100)	LMP
Olor	No aplica	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor	No aplica	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	12	4	66.7	15
Turbiedad	UNT	8	1	87.5	5
Temperatura	°C	23.8	23.1	2.9	25
Ph	Valor de Ph	7.28	7.15	1.8	6.5 a 8.5
Conductividad	µmho/cm	1350	450	66.7	1 500

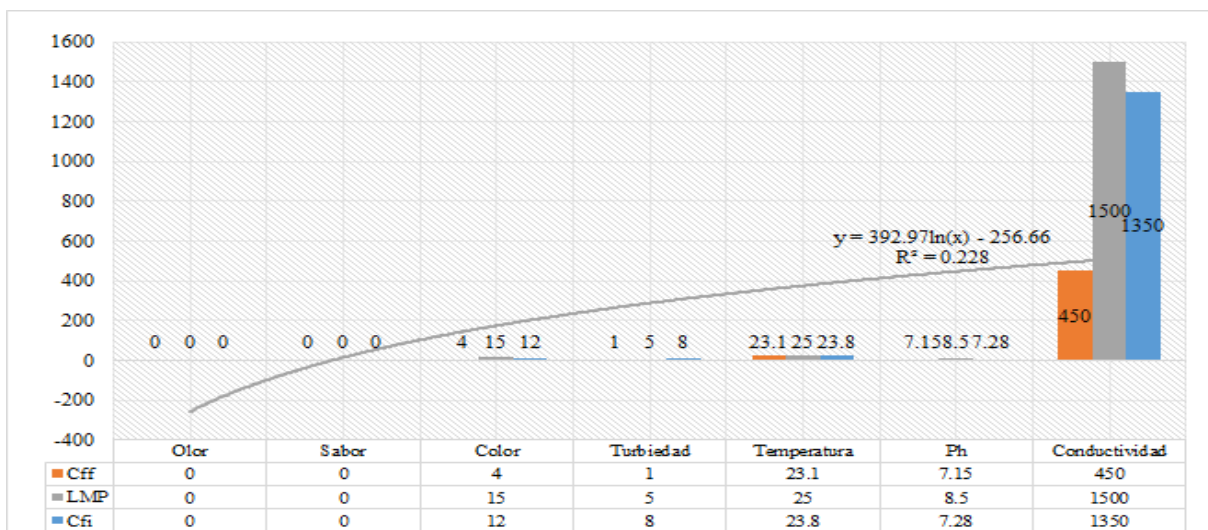
Para evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua de lluvia mediante la filtración de la cáscara de naranja, se evaluaron los parámetros organolépticos de olor y sabor que resultaron aceptables en todas las fases de la investigación coincidiendo con los resultados reportados por Arboleda (2016), donde estimó niveles óptimos para la percepción organoléptica, cabe precisar que para estos dos parámetros no se cuentan con unidades de medida. Sin embargo, para el caso del factor del color, se registró un valor inicial de 12UCV escala Pt/Co debido a la carga de material particulado en suspensión inherentes al agua de lluvia y un valor final de 4 UCV escala Pt/Co luego del tratamiento, logrando una remoción de 66.7%. También, la turbiedad registró una remoción de 87.5% en referencia al valor

inicial, debido a que el sistema de tratamiento, eliminó las partículas totales presentes en el agua de lluvia. Además la conductividad registró un valor inicial de 1350 $\mu\text{mho/cm}$ y un valor final de 450 $\mu\text{mho/cm}$ con un porcentaje de remoción de 66.7% que en coherencia con la turbidez del agua al reducir los niveles de partículas por el proceso de filtración, se logró disminuir los niveles de conductividad eléctrica, resultados esperados teniendo en cuenta los estudios registrados por Chulluncuy (2011), donde la Turbiedad se mantuvo entre 2 y 4 NTU y los valores de conductividad eléctrica se mantuvieron por debajo de los 1500 $\mu\text{mho/cm}$. Finalmente, la temperatura y el pH mantuvieron valores normales dentro del rango de tratamiento del agua de lluvia. Que coincide con los valores de 6.5 a 7.5 de pH reportados por Samboni, et al., (2007) y con los valores finales establecidos en los LMPs de D.S.N° 031-2010-SA.

Comparando la concentración final (C_{f_i}) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 21 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros físicos.

Figura 21

Comparación de resultados de parámetros físicos con los LMPs.



5.6 Remoción de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 30 se observan valores obtenidos y registrados de parámetros microbiológicos en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, los resultados finales de los parámetros microbiológicos, fueron comparados con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los parámetros microbiológicos que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{pm} = ((C_{pm_i} - C_{pm_f}) / C_{pm_{Li}}) * 100$$

Donde:

C_{pm_i} = Concentración inicial de parámetros microbiológicos del agua de lluvia

C_{pm_f} = Concentración final de parámetros microbiológicos del agua de lluvia.

$\% R_{pm}$ = Porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos de la agua de lluvia.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los parámetros microbiológicos del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos de la calidad del agua de lluvia.

Parámetros	Unidades	Concentración inicial (Cpmi)	Concentración final (Cpmf)	% Rpm= ((Cpmi-Cpmf)/CpmLi)*100)	LMP
Coliformes Totales	Ufc/100m L	12	0	100	0
Coliformes Fecales	Ufc/100m L	0	0	0	0
Numeración de Escherichia Coli	Ufc/100m L	1.8	1.8	0	1.8
Virus (colífagos)	UFP/L	0	0	0	0

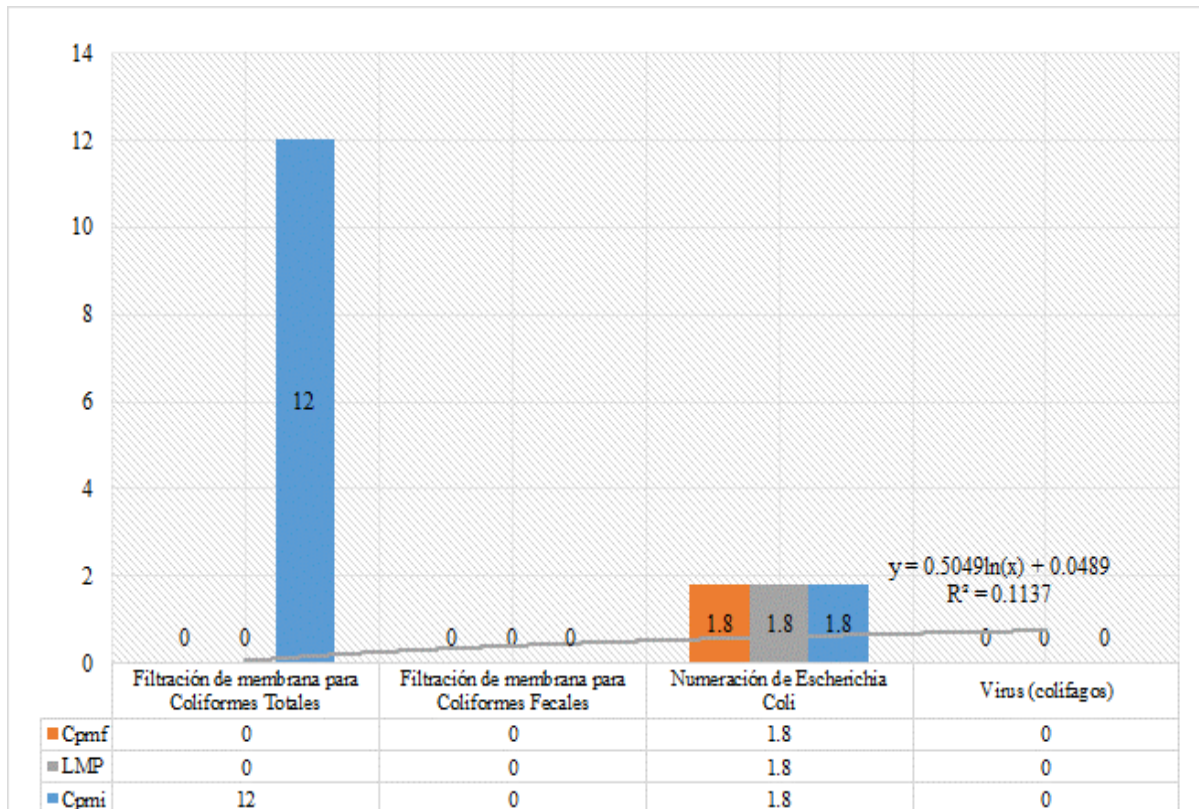
Para los Coliformes Totales, se registró un valor inicial de 12ufc/100mL y un valor final de 0ufc/100mL con un porcentaje de remoción del 100%, valores que coinciden con estudios precedentes de Ríos et al. (2017) donde reportaron la ausencia de Coliformes Totales a corto plazo en el agua luego de su tratamiento. Para los factores de Coliformes Fecales, Echerichia Coli y Virus, no se registraron valores al inicio y al final del tratamiento del agua de lluvia debido a que en la zona de intervención no se contó con presencia de aves y animales que puedan originar contaminación cruzada con este tipo de microorganismos (Vidal et al., 2009).

Comparando la concentración final (Cpm_f) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A.,

podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 22 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros microbiológicos.

Figura 22

Comparación de resultados de parámetros microbiológicos con los LMPs.



5.7 Remoción de formas parasitarias de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 31 se observan valores obtenidos y registrados de parámetros parasitológicos en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, los resultados finales de los parámetros parasitológicos, fueron comparados con los LMPs

establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los parámetros parasitológicos que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{fp} = ((C_{fp_i} - C_{fp_f}) / C_{fp_i}) * 100$$

Donde:

C_{fp_i} = Concentración inicial de parámetros parasitológicos del agua de lluvia

C_{fp_f} = Concentración final de parámetros parasitológicos del agua de lluvia.

$\% R_{fp}$ = Porcentaje de remoción de parámetros parasitológicos de la agua de lluvia.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los parámetros microbiológicos del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31

Porcentaje de remoción de los parámetros parasitológicos de la calidad del agua de lluvia

Género/Especie	Unidades	Concentración inicial (C_{fp_i})	Concentración final (C_{fp_f})	% R_{fp} = ((C_{fp_i} - C_{fp_f}) / C_{fp_i}) * 100	LMP
Endolimax nana	Quistes/L	0	0	0	0
Entamoeba histolytica	Quistes/L	0	0	0	0
Entamoeba coli	Quistes/L	0	0	0	0

Giardia					
duodenalis	Quistes/L	1	0	100	0
Iodamoeba sp.	Quistes/L	0	0	0	0
Chilomastix sp.	Quistes/L	0	0	0	0
Blastocystis					
hominis	Quistes/L	0	0	0	0
Balantidium coli	Quistes/L	0	0	0	0
Isospora sp.	Ooquistes/L	0	0	0	0
Cyclospora					
cayetanensis	Ooquistes/L	0	0	0	0
Cryptosporodiu					
m parvum	Ooquistes/L	1	0	100	0
Ascaris sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Ancylostomideo	Huevos/L	0	0	0	0
Enterobius					
vermicularis	Huevos/L	0	0	0	0
Trichuris sp.	Huevos/L	1	0	100	0
Toxocara sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Capillaria sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Strongyloides					
stercoralis	Huevos/L	0	0	0	0
dyphylidium sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Taenia sp	Huevos/L	0	0	0	0
Hymenolepies					
sp.	Huevos/L	0	0	0	0

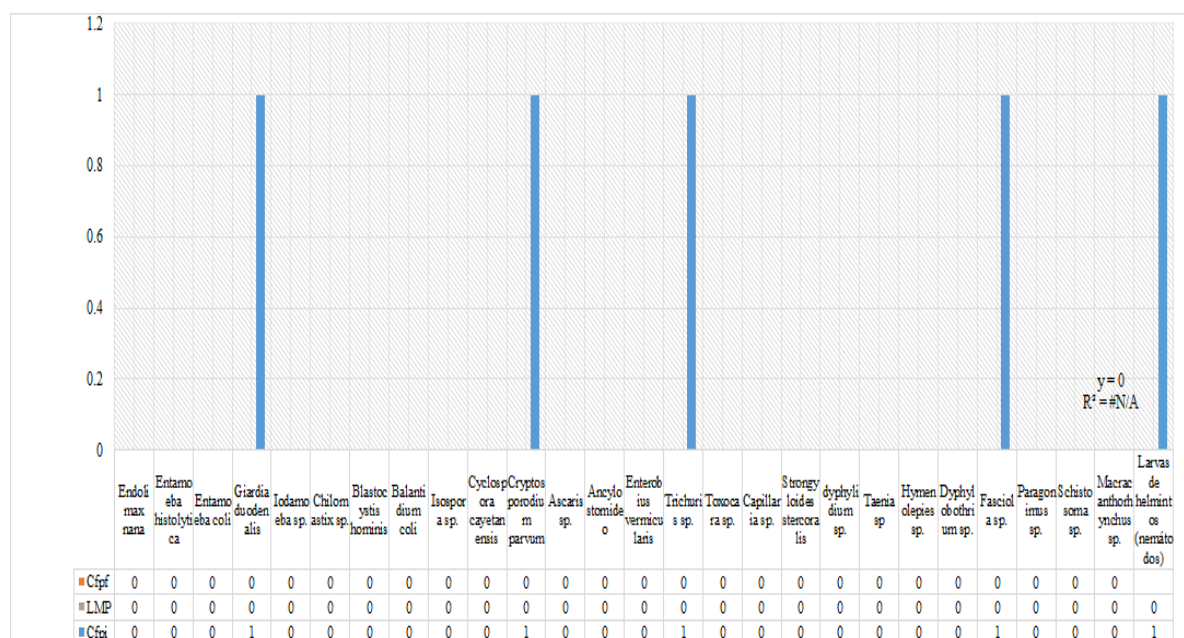
Dyphylobothrium sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Fasciola sp.	Huevos/L	1	0	100	0
Paragonimus sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Schistosoma sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Macracanthorhynchus sp.	Huevos/L	0	0	0	0
Larvas de helmintos (nemátodos)	Larva/L	1	0	100	0
TOTAL	Organismos /L	5	0	100	0

Para los parámetros Parasitarios en la etapa inicial se registraron valores para *Giardia duodenalis* y *Cryptosporidium parvum* de 1 Quiste/L., *Trichuris sp* y *Fasciola sp.* se reportó 1 Huevo/L. Finalmente, para Larvas de helmintos (nemátodos), 1 Larva/Litro, hallazgos similares a los reportados en la investigación de (Chulluncuy, 2011), donde no reportó valores o presencia de este tipo de microorganismos. Posterior a la aplicación del proceso de filtración por intermedio de la cáscara de naranja, los resultados finales fueron nulos, para cada uno de los elementos analizados con presencia de formas parasitarias, garantizando el 100% de efectividad en su remoción tal como se presenta en la investigación desarrollada por Ríos y Gutiérrez (2017), donde no registran presencia de microorganismos después de un tratamiento efectivo del agua. En relación a la demás forma parasitarias, no se reportaron hallazgos tanto en fase inicial y final de la evaluación de la calidad del agua de lluvia, resultados esperados que coincidieron con los reportados por (Córdoba y Basualdo, 2010).

Comparando la concentración final (C_{fpf}) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 23 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros parasitológicos.

Figura 23

Comparación de resultados de parámetros parasitológicos con los LMPs.



5.8 Remoción de los parámetros organoclorados de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 32 se observan valores obtenidos y registrados de parámetros organoclorados, en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, el

resultado final fue comparado con los LMPs, establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los parámetros organoclorados que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{pocl} = ((C_{oci}-C_{ocf})/C_{oci}) * 100$$

Donde:

C_{oci} =Concentración inicial de parámetros organoclorados del agua de lluvia

C_{ocf} =Concentración final de parámetros organoclorados del agua de lluvia.

$\% R_{pocl}$ = Porcentaje de remoción de parámetros organoclorados del agua de lluvia.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los parámetros físicos del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 32.

Tabla 32

Porcentaje de remoción de los parámetros físicos de la calidad del agua de lluvia.

Parámetro	Concentración inicial (Coci)	Concentración final (Cocf)	% R_{pocl} = ((Coci-Cocf)/Coci)*100	LMP
Pentaclorofenol	0.000008	0.000008	0	0.009
Lindano	0.00002	0.00002	0	0.002
Heptacloro	0.000003	0.000003	0	0.0003
Aldrin	0.000002	0.000002	0	0.00003
Heptacloro epóxido	0.000002	0.000002	0	0.00003

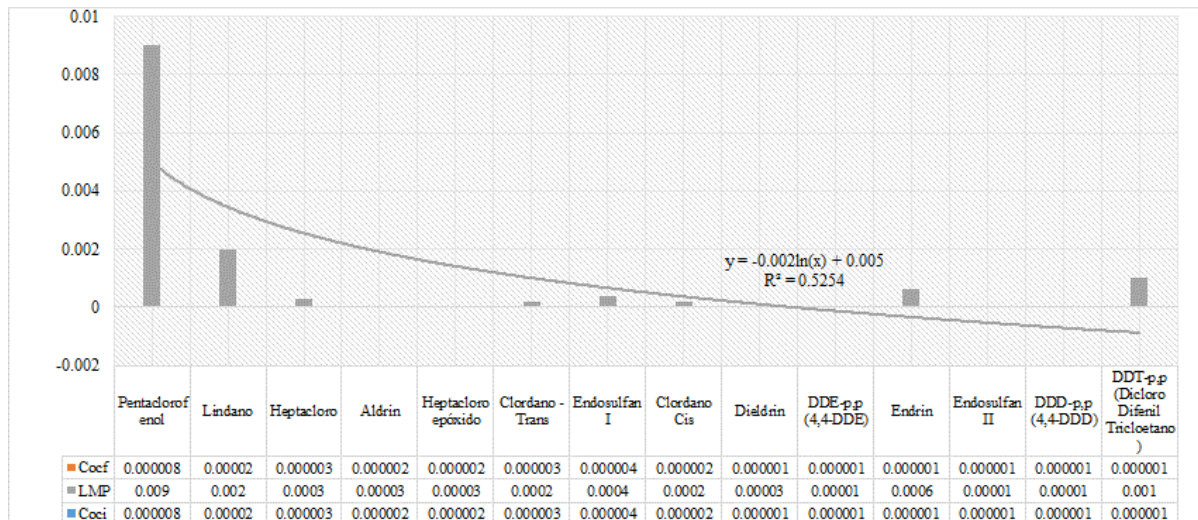
Clordano -Trans	0.000003	0.000003	0	0.0002
Endosulfan I	0.000004	0.000004	0	0.0004
Clordano Cis	0.000002	0.000002	0	0.0002
Dieldrin	0.000001	0.000001	0	0.00003
DDE-p,p (4,4-DDE)	0.000001	0.000001	0	0.00001
Endrin	0.000001	0.000001	0	0.0006
Endosulfan II	0.000001	0.000001	0	0.00001
DDD-p,p (4,4-DDD)	0.000001	0.000001	0	0.00001
DDT-p,p (Dicloro Difenil Tricloetano)	0.000001	0.000001	0	0.001

Los parámetros Organoclorados de Pentaclorofenol, Lindano, Heptacloro, Aldrin, Heptacloro epóxido, Clordano -Trans, Dieldrin, DDE-p,p (4,4-DDE), Endrin, Endosulfan II, DDD-p,p (4,4-DDD) y DDT-p,p, Dicloro Difenil Tricloetano, en el cual se registraron valores iniciales y finales similares en mg/L, resultados esperados teniendo como referencia los registrados por Cárdenas y Rey (2018), quien reporto valores por debajo del límite de detección del método, es decir ausente en el agua.

Comparando la concentración final (Cocf) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados que sitúan el tratamiento del agua de consumo humano, dentro de los rangos establecidos, en la figura 24 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros organoclorados.

Figura 24

Comparación de resultados de parámetros organoclorados con los LMPs.



5.9 Remoción de los parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 33 se observan valores obtenidos y registrados para los parámetros de químicos inorgánicos en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, los resultados finales de los parámetros organolépticos, fueron comparados con los LMPs, establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los parámetros organolépticos y químicos inorgánicos que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{OL} = ((C_{OLi} - C_{OLf}) / C_{OLi}) * 100$$

Donde:

C_{OLi} = Concentración inicial de parámetros organolépticos del agua de lluvia.

C_{OLf} = Concentración final de parámetros organolépticos del agua de lluvia.

$\% R_{OL}$ = Porcentaje de remoción de parámetros organolépticos.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los parámetros organolépticos y químicos inorgánicos del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33

Porcentaje de remoción de parámetros químicos inorgánicos de la calidad del agua de lluvia.

Parámetros	Unidades	Concentración inicial (Coli)	Concentración final (Colf)	% ROL = ((COLi-COLf)/COLi)*100)	LMP
Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	98	8	91.8	1000
Clorito (CLO ₂)	mg/L	0.1	0.21	52.4	0.7
Clorato (CLO ₃)	mg/L	0.1	0.34	70.6	0.7
Cloruros	mg/L	2	24	91.7	250
Fluor	mg/L	0.38	8.78	95.7	1000
Nitritos	NO ₂ -- N mg/L	0.987	0.003	99.7	0.2
Nitratos	mg NO ₃ /L	12.76	3.867	69.7	50
Sulfatos	mg SO ₄ /L	84	12	85.7	250
Nitrogeno	NH ₃ +--N	0.345	0.02	94.2	1.5

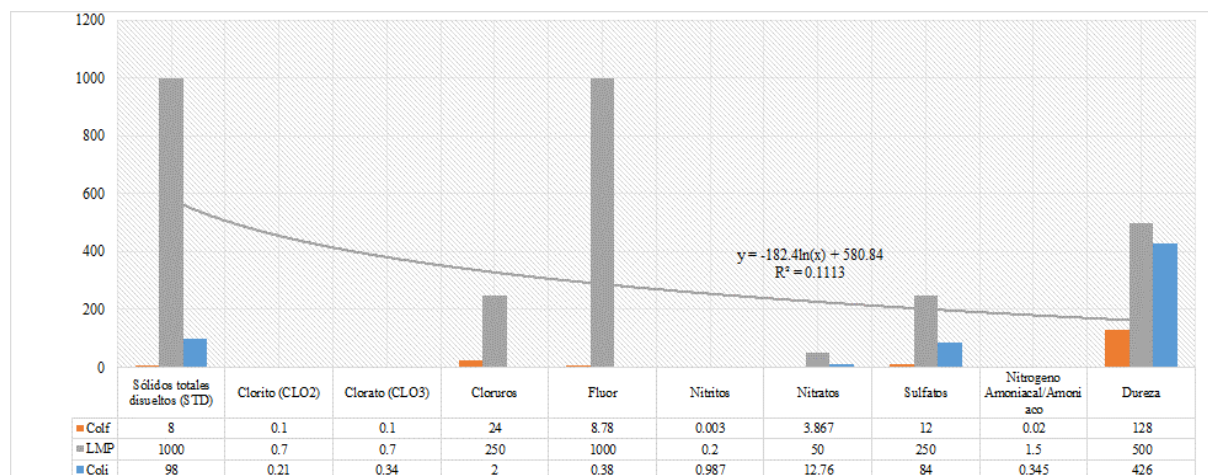
Amoniacal/A moniacal	mg/L				
Dureza	mg CaCO ₃ /L	426	128	70.0	500

Los resultados obtenidos para los Sólidos Totales Disueltos el valor inicial fue de 98mg/L y un valor final de 8mg/L, con un porcentaje de remoción de 91.8%. En el caso de los Nitritos se registró un valor inicial de 0.987NO₂-N mg/L y un valor final de 0.003 NO₂-N mg/L, con un porcentaje de remoción de 99.7%. Para los Nitratos se registraron tuvo un porcentaje de remoción de 69.7%, los Sulfatos se registró un valor de remoción de 85.7%. Para Nitrogeno Amoniacal el valor de remoción de 94.2%. También para el parámetro de Dureza se registró un porcentaje de remoción de 70%, resultados que coinciden con los reportados por Jiménez, et al. (2017), que menciona que en épocas críticas de lluvia la dureza resulta con niveles cercanos a los LMPs de 500 mg CaCO₃/L. Con respecto al porcentaje de remoción del Clorito fue de 52.4%, Clorato 70.6%, Cloruros 91.7% y Fluor 95.7%, esto debido al proceso de desinfección del agua de lluvia tratada, resultados que coinciden con lo reportado en el estudio de Vidales (2000) que obtuvo presencia de niveles de clorito inferiores al 30% de la concentración inicial, Clorato inferior al 15%, cloruros inferior al 5% ((5 a 8 mg/L) y Fluor inferior a 2%.

Comparando la concentración final (C_{OLF}) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 25 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros organolépticos y químicos inorgánicos.

Figura 25

Comparación de resultados de parámetros organolépticos y químicos inorgánicos con los LMPs.



5.10 Remoción de los parámetros de organismos de vida libre -OVL de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 34 se observan valores obtenidos y registrados de organismos de vida libre en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, los resultados finales para OVL, fueron comparados con los LMPs, establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los organismos de vida libre – OVL que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_{OVL} = ((C_{OVLi} - C_{OVLf}) / C_{OVLi}) * 100$$

Donde:

C_{OVLi} =Concentración inicial de organismos de vida libre del agua de lluvia

C_{OVLf} =Concentración final de organismos de vida libre del agua de lluvia.

% R_{OVL} = Porcentaje de remoción de organismos de vida libre.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los organismos de vida libre del agua de lluvia luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 34.

Tabla 34

Porcentaje de remoción de los organismos de vida libre de la calidad del agua de lluvia.

Parámetros	Unidades	Concentración inicial (C_{OVLi})	Concentración final (C_{OVLf})	% $R_{OVL} = ((C_{OVLi} - C_{OVLf})/C_{OVLi}) * 100$	LMP
Fitoplacton	Org/L	995	12	98.8	0
Zooplacton	Org/L	8	0	100	0
Nemátodos	Org/L	1	0	100	0
Totales de Organismos de Vida Libre	Org/L	1003	0	100	0

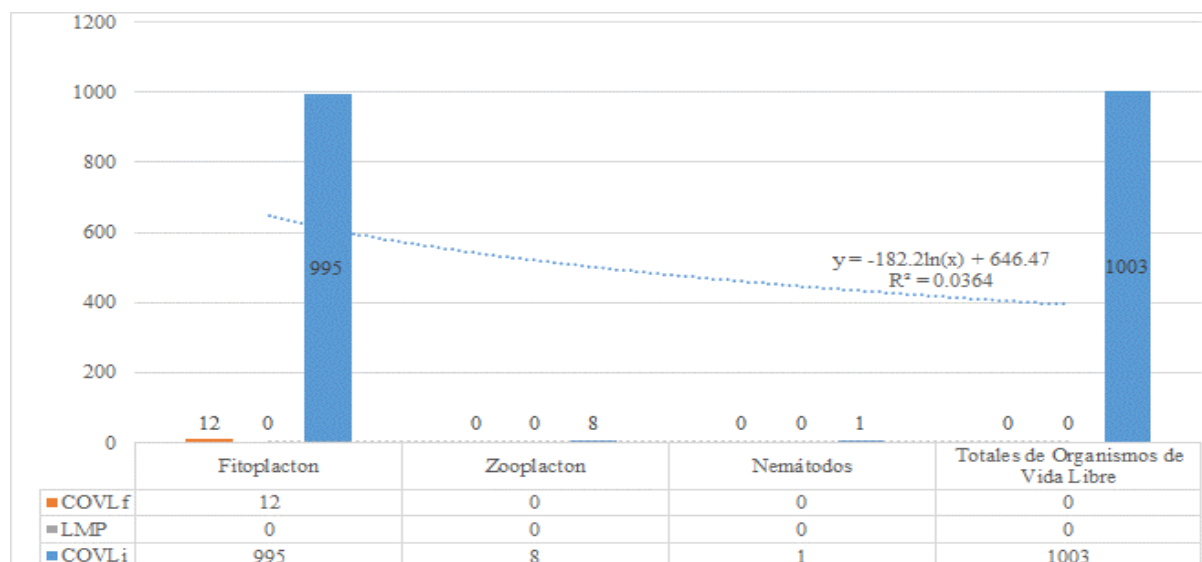
Para el caso de los parámetros de Organismos de Vida Libre (OVL) se consideró como elementos de evaluación al Fitoplacton donde se registró un valor inicial de 995Org/L y un valor final de 12Org/L con un porcentaje de remoción del 98.8%, que coinciden con lo obtenido por Córdoba et al. (2010), donde estructuran resultados ausentes para la calidad del

agua potable. Para el Zooplacton se registró un valor inicial de 8 Org/L y un valor final de 0.0Org/L, con un porcentaje de remoción de 100%. Para los Nemátodos se registró un valor inicial de 1Org/L y un valor final de 0.0 Org/L, con un porcentaje de remoción de 100%, valores finales de nula presencia según los estudios desarrollados por (Ríos, Agudelo, y Gutiérrez, 2017). Además, al calcular el Total de Organismos de Vida Libre se registraron inicialmente 1003Org/L y valores finales de 0.0Org/L, con una eficiencia en la remoción de 100%, resultados que coinciden con lo reportado por Gallegos, et al. (2014), donde obtuvieron ausencia total final del proceso de tratamiento de la calidad del agua.

Comparando la concentración final (C_{OVLF}) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 26 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros de organismos de vida libre.

Figura 26

Comparación de resultados de parámetros de organismos de vida libre con los LMPs.



5.11 Remoción de los parámetros de metales de la calidad del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 35 se observan valores de metales obtenidos y registrados en fase inicial (antes del tratamiento) y en fase final (después del tratamiento) con aplicación del bioabsorbente de la cáscara de naranja en un periodo de prueba de 3 meses, se muestran resultados obtenidos mediante el análisis, realizado en un laboratorio especializado y acreditado en el Perú, con la única intención de garantizar la fiabilidad de los resultados mostrados en la presente investigación. También, los resultados finales para los metales, fueron comparados con los LMPs, establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., a fin de contrastar el cumplimiento con los valores máximos exigidos en la precitada norma.

Para poder calcular el porcentaje de eficiencia en la remoción de los metales que componen la calidad de agua, recurrimos a la fórmula matemática la cual se muestra a continuación:

$$\% R_m = ((C_{mi} - C_{mf}) / C_{mi}) * 100$$

Donde:

C_{mi} = Concentración inicial de metales del agua de lluvia

C_{mf} = Concentración final de metales del agua de lluvia.

$\% R_m$ = Porcentaje de remoción de metales del agua de lluvia.

Esta fórmula nos permitió calcular el grado de remoción en porcentaje (%) de la composición de los metales del agua de lluvia, luego del tratamiento respectivo con el absorbente compuesto por cáscara de naranja tal como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35*Porcentaje de remoción de los metales de la calidad del agua de lluvia.*

Parámetros	Unidades	Concentración inicial (C_{mi})	Concentración final (C_{mf})	% Rm = ((C_{mi}-C_{mf})/C_{mi})*100)	LMP
Boro (B)	mg/L	0.0596	0.0345	42.1	1.5
Sodio (Na)	mg/L	5.089	5.089	0.0	200
Aluminio (Al)	mg/L	0.011	0.011	0.0	0.2
Cromo (Cr)	mg/L	0.0621	0.0008	98.7	0.05
Manganeso (Mn)	mg/L	0.00876	0.00247	71.8	0.4
Hierro (Fe)	mg/L	0.243	0.1687	30.6	0.3
Niquel (Ni)	mg/L	0.00128	0.00069	46.1	0.02
Cobre (Cu)	mg/L	0.0941	0.0047	95.0	2
Zinc (Zn)	mg/L	3.2312	0.08776	97.3	3
Arsénico (As)	mg/L	0.01923	0.00711	43.7	0.01
Selenio (Se)	mg/L	0.0164	0.0006	96.3	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.07876	0.00054	99.3	0.07
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00456	0.00003	99.3	0.003
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0009	0.0003	66.7	0.02
Bario (Ba)	mg/L	0.01567	0.00382	75.6	0.7
Mercurio	mg/L	0.00002	0.00002	0.0	0.001

(Hg)

Plomo (Pb)	mg/L	0.2564	0.0022	99.1	0.01
Uranio (U)	mg/L	0.000789	0.000202	74.4	0.015

Para el caso de los metales como el Boro (B), se registró una remoción del 42.1%, para el Manganeseo (Mn), 71.8%, para el Hierro (Fe) 30.6%, para Níquel (Ni) 46.1%, valores que representan ligera presencia en comparación con los resultados obtenidos por Meléndez, et al. (2015), que obtuvo niveles de remoción por encima del 60% en los elementos analizados. Para el caso del Cobre (Cu) se registró una remoción de 95%, valores superiores a los reportados por Doria (2017) donde obtuvo resultados de presencia del Cobre entre $23,47 \pm 13,97 \mu\text{g/L}$, con una remoción hasta de 65%. Para el Zinc (Zn), se registró una remoción de 97.3%, este elemento metálico es uno de los más altos incluso superando el valor establecido en los LMPs del D.S.N° 031-2010-SA. Para el caso del Selenio (Se), Antimonio (Sb), Bario (Ba) y Uranio(U), la remoción promedio se mantuvo por encima del 60% de la concentración inicial, resultados que se encuentran dentro de los niveles esperados, teniendo en cuenta el estudio presentado por Chulluncuy (2011), donde los elementos se mantuvieron con nula presencia en la calidad del agua.

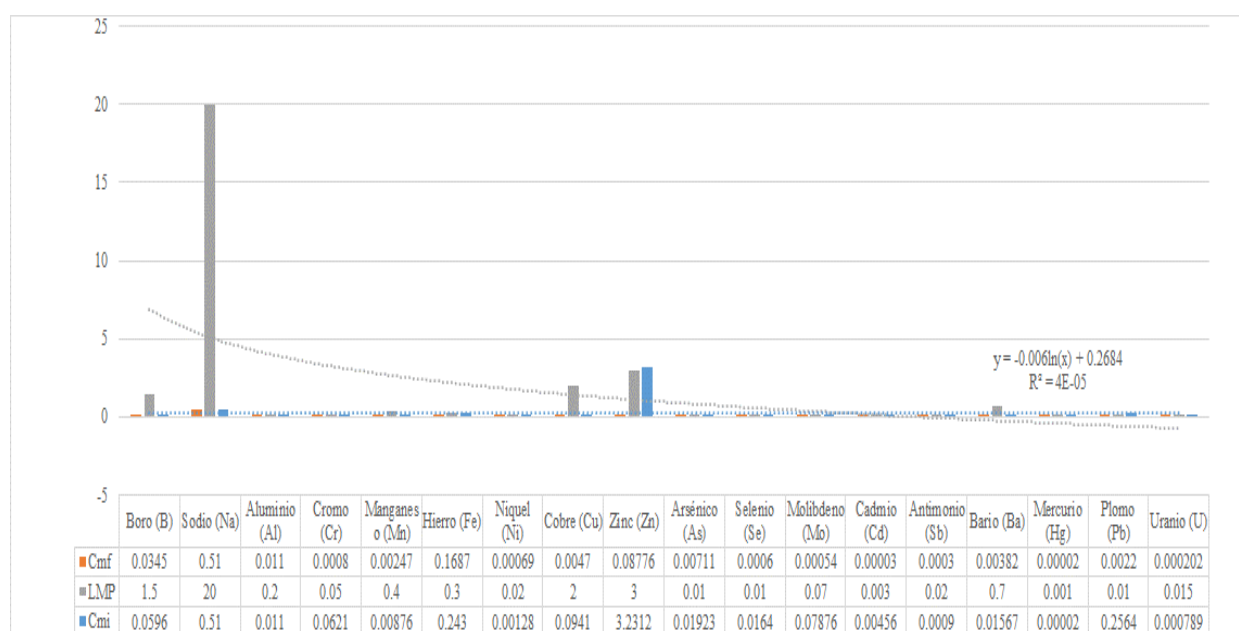
Además, como casos particulares se analizó la presencia de metales pesados altamente dañinos para la salud humana como es el caso del Cromo (Cr) que se obtuvo una remoción de 98.7%, valor superior al resultado obtenido por Garzón y Gonzales (2012) que registraron una remoción y absorción de 68% en una muestra de agua a nivel de laboratorio. Para el caso del Arsénico (As), se obtuvo una remoción del 43.7%, para el Molibdeno (Mo), 99.3%, valores superiores a los obtenidos por Ghimire, et al. (2003), que obtuvo porcentajes de remoción superiores al 50%. Para el Cadmio (Cd), se logró una remoción del 99.3%, valor superior a lo obtenido por García (2008), que registró $65,71 \mu\text{g/L}$ y por Doria (2017) que obtuvo $4,72 \pm$

3,29 µg/L de Cadmio. Finalmente, para el Plomo (Pb) se registró una remoción de 99.1%, superior al valor obtenido por Cardona et al. (2013) que reportaron 0.1mg/L en método de absorción atómica para agua y ligeramente inferior a los obtenidos por Doria (2017) que reportó como ausente la presencia de este elemento metálico en el agua. Todos los metales pesados analizados en fase inicial en el agua de lluvia registraron valores que superan los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA. Sin embargo, es importante mencionar que después de la intervención del proceso de filtración con la cáscara de naranja Pinzón y Cardona (2010), todos los valores analizados presentaron resultados favorables que cumplen con los valores establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA.

Comparando la concentración final (C_{mf}) obtenido en el tratamiento de agua de lluvia con los límites máximos permisibles (LMPs), establecidos en el D.S.N° 031-2010-S.A., podemos mostrar resultados alentadores que sitúan el tratamiento como efectivo para agua de consumo humano, en la figura 27 se muestra la relación de cumplimiento entre el valor final de tratamiento y los LMPs para parámetros metales respectivamente.

Figura 27

Comparación de resultados de metales con los LMPs.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- a) La fase experimental de la investigación, se desarrolló en 6 meses comprendidos de la siguiente manera: 2 meses para el diseño y construcción de la planta de tratamiento en todas sus fases y etapas, 1 mes para el diseño, construcción, e instalación del filtro con adecuación del medio filtrante compuesto por la cáscara de naranja y 3 meses de operación en el proceso de filtración del agua de lluvia para su respectivo tratamiento. Además, debemos mencionar que para la operación se utilizó 1.5kg de medio filtrante que no fue reemplazado ni regenerado durante todo el tiempo que duró el proceso de filtración, considerando la particularidad de la dinámica de consumo de los usuarios de las zonas rurales en la zona donde se desarrolló la investigación.
- b) Finalmente, una vez concluida la fase de instalación de la planta con incorporación del filtro y del medio filtrante, se realizó la prueba de operatividad o prueba hidráulica específicamente del sistema de filtración en un tiempo de 90 segundos con una solución salina de NaCl, encontrando que en un intervalo de 58 a 60 segundos de la prueba, se detectaron cargas incrementales de conductividad eléctrica (5.12Ω), lo cual muestra que el tiempo de retención del material filtrante es de 60 segundos, es decir el tiempo que tarda el agua de lluvia en pasar por el medio filtrante.
- c) En la zona donde se desarrolló la investigación, por su ubicación geográfica, abundan las naranjas que básicamente es la materia prima para desarrollar el medio filtrante. Esta condición, facilita a cualquier usuario contar siempre con la disposición de manera permanente. El gran reto de la investigación fue la

capacitación y el entrenamiento a los usuarios, sobre el procedimiento de preparación, desmetoxilación y reticulación de la cáscara de naranja hasta adecuarlo como medio filtrante apto para el proceso de filtración del agua de lluvia. Cabe precisar que uno de los inconvenientes que se presentó en esta fase de la investigación, es la falta de disponibilidad de los reactivos utilizados como (NaOH, HCl, CaCl y agua desionizada). Por lo que este factor podría ser considerado como un riesgo operacional para los usuarios por el alto costo y la dificultad para su acceso, considerando las zonas remotas del ámbito de investigación. También debemos mencionar que el tiempo promedio de vida útil del medio filtrante es 3 meses con una capacidad máxima de filtración promedio de 7500 litros a fin de seguir garantizando su eficiencia, una vez cumplido estos criterios los medios filtrantes deben ser reemplazados.

- d) Para determinar la eficiencia de la remoción de los parámetros que componen la calidad de agua, se recurrió a un análisis inicial y final de parámetros (físicos, microbiológicos, parasitológicos, organoclorados, organolépticos, organismos de vida libre (OVL) y metales), estos datos fueron comparados en porcentaje de remoción con la intención de determinar su eficiencia. También, el valor final del análisis realizado fue sometido a comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMPs) establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA. con la finalidad de dar cumplimiento a la normativa peruana para agua de consumo humano.
- e) Para los parámetros Físicos se consideró como elementos de evaluación a factores como el olor y sabor donde las condiciones fueron aceptables en todas las fases de la investigación. Para el caso del color se registró un valor inicial de 12UCV escala Pt/Co y un valor final de 4 UCV escala Pt/Co, con un porcentaje de remoción de 66.7%. La turbiedad registró un valor inicial de 12UNT y un valor final de 1 UNT

con un porcentaje de remoción de 87.5%. La conductividad registró un valor inicial de 1350 $\mu\text{mho/cm}$ y un valor final de 450 $\mu\text{mho/cm}$ con un porcentaje de remoción de 66.7%. Además, la temperatura y el Ph mantuvieron valores normales dentro del rango de tratamiento del agua de lluvia. Finalmente, comparando los valores finales con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., el 100% de los parámetros cumplen con los valores establecidos en la precitada norma.

- f) Para los parámetros Microbiológicos, se consideró como elementos de evaluación a los Coliformes Totales donde se registró un valor inicial de 12ufc/100mL y un valor final de 0ufc/100mL con un porcentaje de remoción del 100%. Para los factores de Coliformes Fecales, Echerichia Coli y Virus, no se registraron valores al inicio y al final del tratamiento del agua de lluvia. Además, comparando los valores finales con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., el 100% de los parámetros cumplen con los valores establecidos en la precitada norma.
- g) Para los parámetros Parasitarios, se consideró como elementos de evaluación a 27 factores parasitarios, de los cuales en una etapa inicial se registraron valores para Giardia duodenalis y Cryptosporodium parvum de 1 Quiste/L. Para Trichuris sp y Fasciola sp. 1Huevo/L. Finalmente, para Larvas de helmintos (nemátodos), 1Larva/Litro. Posterior a la aplicación del proceso de filtración por intermedio de la cáscara de naranja, los resultados finales fueron de 0, para cada uno de los elementos analizados con presencia de formas parasitarias, garantizando el 100% de efectividad en su remoción. En relación a las demás forma parasitarias que figuran en la tabla 31, no se reportaron hallazgos tanto en fase inicial y final de la evaluación de la calidad del agua de lluvia. Finalmente, comparando los valores finales con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., el 100% de los parámetros cumplen con los valores establecidos en la precitada norma.

- h) Para los parámetros Organoclorados, se consideró como elementos de evaluación a: Pentaclorofenol, Lindano, Heptacloro, Aldrin, Heptacloro epóxido, Clordano - Trans, Dieldrin, DDE-p,p (4,4-DDE), Endrin, Endosulfan II, DDD-p,p (4,4-DDD) y DDT-p,p (Dicloro Difenil Tricloetano), donde se registraron valores iniciales y finales similares en mg/L, el 100% de los parámetros registrados se encuentran por debajo de los LMPs establecidos en la D.S.N° 031-2010-SA. Ello nos muestra que no existe presencia de este tipo de compuestos en el agua de lluvia dentro del área geográfica de investigación.
- i) Para los parámetros químicos inorgánicos se consideró como elementos de evaluación a 10 factores, de los cuales para los Sólidos Totales Disueltos (STD) se registró un valor inicial de 98mg/L y un valor final de 8mg/L, con un porcentaje de remoción de 91.8%. Para los Nitritos se registró un valor inicial de 0.987NO₂-N mg/L y un valor final de 0.003 NO₂-N mg/L, con un porcentaje de remoción de 99.7%. Para los Nitratos se registraron valores iniciales de 12.76 NO₃-N mg/L y un valor final de 3.867 NO₃-N mg/L con porcentaje de remoción de 69.7%. Para los Sulfatos se registró un valor inicial de 84mg SO₄/L y un valor final de 12mg SO₄/L con un valor de remoción de 85.7%. Para Nitrogeno Amoniacal (Amoniaco), se registró un valor inicial de 0.345NH₃+N mg/L y un valor final de 0.02NH₃+N mg/L, con un valor de remoción de 94.2%. También para el parámetro de Dureza, se registró un valor inicial de 426 mg CaCO₃/L y un valor final de 128 mg CaCO₃/L, con un porcentaje de remoción de 70%. También, en la investigación se pudo evidenciar el incremento de valores de parámetros como Clorito (CLO₂) (52.4%), Clorato (CLO₃) (70.6%) Cloruros (91.7%) y Fluor (95.7%), esto debido al proceso de desinfección del agua de lluvia tratada. Finalmente, comparando los resultados finales del tratamiento, incluido los incrementales, con los LMPs

establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., se precisa que el 100% de los parámetros cumplen con los valores establecidos en la precitada norma.

- j) Para los parámetros de Organismos de Vida Libre (OVL), se consideró como elementos de evaluación al Fitoplacton donde se registró un valor inicial de 995Org/L y un valor final de 12Org/L con un porcentaje de remoción del 98.8%. Para el Zooplacton se registró un valor inicial de 8 Org/L y un valor final de 0Org/L, con un porcentaje de remoción de 100%. Para los Nemátodos se registró un valor inicial de 1Org/L y un valor final de 0Org/L, con un porcentaje de remoción de 100%. Además, al calcular el Total de Organismos de Vida Libre se registraron inicialmente 1003Org/L y valores finales de 0Org/L, con una eficiencia y la remoción de 100%. Finalmente, comparando los valores finales con los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., el 100% de los parámetros cumplen con los valores establecidos en la precitada norma.
- k) Para los parámetros metálicos en la calidad de agua de lluvia, en la presente investigación, se consideró a 18 metales, de los cuales el Sodio(Na), Aluminio(Al) y Mercurio(Hg) no registraron presencia en todas las fases de la investigación. Para el caso del Boro(B), se registró un valor inicial de 0.0596mg/L y un valor final de 0.0345mg/L, obteniéndose una eficacia de 42.1% en la remoción. Para el Manganeseo (Mn), se registró un valor inicial de 0.00876mg/L y un valor final de 0.00247mg/L, con una efectividad de 71.8% en su remoción. Para el Hierro (Fe) se registró un valor inicial de 0.243mg/L y un valor final de 0.1687mg/L, con una efectividad de 30.6% en su remoción. Para Niquel (Ni) se registró un valor inicial de 0.00128mg/L y un valor final de 0.00069mg/L, con una efectividad de 46.1% en su remoción. Para el Cobre (Cu) se registró un valor inicial de 0.0941mg/L y un valor final de 0.0047mg/L, con una efectividad de 95% en su remoción. Para el Zinc

(Zn), se registró un valor inicial de 3.2312mg/L y un valor final de 0.08776mg/L, con una efectividad de 97.3% en su remoción, este elemento metálico es uno de los más altos incluso superando en valor inicial de la evaluación, los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA. Para el Selenio (Se), se registró un valor inicial de 0.0164mg/L y un valor final de 0.0006mg/L con una efectividad de 96.3% en su remoción. Para el Antimonio (Sb) se registró un valor inicial de. 0.0009mg/L y un valor final de 0.0003mg/L, con una efectividad de 66.7% en su remoción. Para el Bario (Ba), se registró un valor inicial de 0.01567mg/L y un valor final de 0.00382mg/L con una efectividad de 75.6% en su remoción. Para el Uranio (U) se registró un valor inicial de 0.000789mg/L y un valor final de 0.000202mg/L con una efectividad de 74.4% en su remoción.

- 1) Además, como casos particulares se analizó la presencia de metales pesados altamente dañinos para la salud humana como es el caso del Cromo (Cr) donde se registró un valor inicial de 0.0621mg/L y un valor final de 0.0008mg/L, con una efectividad de 98.7% en su remoción. Para el caso del Arsénico (As), se registró un valor inicial de 0.01923mg/L y un valor final de 0.00711mg/L con una efectividad de 43.7% en su remoción. Para el Molibdeno (Mo) se registró un valor inicial de 0.07876mg/L y un valor final de 0.00054mg/L con una efectividad de 99.3% en su remoción. Para el Cadmio (Cd), se registró un valor inicial de 0.00456mg/L y un valor final de 0.00003mg/L con una efectividad de 99.3% en su remoción. Finalmente, para el Plomo (Pb) se registró un valor inicial de 0.2564mg/L y un valor final de 0.0022mg/L, con una efectividad de 99.1% en su remoción. Todos los metales pesados analizados en fase inicial en el agua de lluvia registraron valores que superan los LMPs establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA. Por lo que se relacionan directamente con la actividad minera de la zona. Sin embargo, es

importante mencionar que después de la intervención del proceso de filtración con la cáscara de naranja, todos los valores de los metales presentaron resultados bastantes favorables tal como se aprecia en la tabla 35 que cumplen con los valores establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., referente a la calidad de agua para consumo humano.

- m) Finalmente concluimos mencionando que la hipótesis planteada en la presente investigación fue demostrada favorablemente, donde se aplicó el factor de porcentaje de eficiencia para realizar la comparación de las características del agua de lluvia, antes y después de su tratamiento con el medio filtrante de la cáscara de naranja. Adicionalmente, los resultados finales obtenidos se compararon con los valores límites establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA. Norma para calidad de agua para consumo humano, donde el 100% de los parámetros (físicos, microbiológicos, formas parasitarias, organoclorados, organolépticos, OVL y metales), cumplen con los límites establecidos en la precitada norma, cuyo producto final es agua apta para consumo humano.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- a) Las zonas rurales de San Ramón, Junín., cuentan con morfología variada (lomas, colinas y zonas planas). Además, es importante mencionar que los moradores de estas zonas son carentes de servicios básicos como la electricidad. Por lo que se recomienda que en el proceso de selección la ubicación, instalación y operación de la planta de tratamiento, se consideren zonas de pendiente entre 15 a 25% de inclinación en relación al plano para evitar colocar desaceleradores y fundamentalmente para aprovechar la gravedad en el proceso de tratamiento y evitar el consumo de electricidad en todo el proceso de tratamiento.
- b) Para el proceso de filtración primaria, se recomienda utilizar materia prima local como medio filtrante, las rocas cantoneadas, la arena fina y gruesa y la piedra chancada, son buena opción para formar lechos de medio filtrante que permitan disminuir la carga de concentración de los parámetros evaluados en la calidad de agua en su etapa inicial. Es importante utilizar materia prima local a fin de evitar sobrecostos en el proceso de filtración, considerando que los usuarios son de bajos recursos económicos.
- c) La materia prima de cáscara de naranja para elaborar el medio filtrante en la zona de investigación, es abundante. Sin embargo, esta disposición no es efectiva si no se cuenta con los conocimientos del procedimiento y los reactivos necesarios para su adecuación. Por lo que se recomienda un programa intensivo de capacitación y entrenamiento a los usuarios, con la finalidad de darles independencia en la operación y mantenimiento de todo el sistema de filtración y en la preparación de los medios filtrantes. También, se recomienda instruir a los usuarios en el manejo y

preparación de reactivos tales como (NaOH, HCl, CaCl y agua desionizada), con la finalidad de evitar errores e incidentes en los procesos de desmetoxilación y reticulación de la cáscara de naranja. Finalmente, se comenta que en el proceso experimental, el secado de la cáscara de naranja en las diversas fases se realizó en estufas, dada la realidad de la zona de estudio y al no contar con este equipamiento, se recomienda evaluar el secado de manera natural incrementando los tiempos de secado y disminuyendo los costos operativos.

- d) Se recomienda, que en el proceso de almacenamiento permanente, se cuenten con 4 tanques por usuario, con la finalidad de almacenar el agua de lluvia pretratada, a fin de mantener activa la planta de tratamiento aún en épocas del año donde no exista lluvias de manera permanente en la zona. También, se recomienda que en la etapa final del sistema de tratamiento se instale dos filtros con medio filtrante a fin de garantizar el mantenimiento y limpieza sin afectar la continuidad en el abastecimiento del agua potabilizada.
- e) Los resultados finales después de 3 meses de tratamiento, fueron favorables cumpliendo significativamente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S.N° 031-2010-SA., y se obtuvo agua potable apta para consumo humano. Sin embargo, en todo el proceso se tuvo que controlar permanentemente la limpieza de toda la planta de tratamiento. Por lo que es recomendable, establecer un programa de limpieza de los principales componentes del sistema de tratamiento y filtración con una frecuencia de 1 vez a la semana, para evitar acumulación de algas y sobrecargas en la superficie de captación, en los medios filtrantes tanto del sistema de filtración primario y del sistema de filtración de la cáscara de naranja.

- f) Una de las desventajas presentadas en el proceso de tratamiento, se origina en el tiempo de vida útil del medio filtrante (3 meses) y en la capacidad de filtración del agua de lluvia (7500 litros), siendo estos la mitad del tiempo de duración y la capacidad de filtración en comparación con otros medios filtrantes convencionales existentes en el mercado, por lo que se recomienda para futuras investigaciones, realizar la transformación del medio filtrante reticulado en carbón activo de la cáscara de naranja, con la intención de comprobar el posible incremento en el tiempo de vida útil del medio filtrante e incrementar la capacidad de filtración de agua de lluvia.
- g) Al finalizar el proceso experimental de la investigación, el 100% de los parámetros que componen la calidad de agua para consumo humano, cumplen con los valores establecidos como límites máximos permisibles LMPs en el .D.SN° 031-2010-SA., Por lo que nos permite afirmar una buena efectividad del sistema de tratamiento. Sin embargo, se menciona que la mayor efectividad de filtración se obtuvo en los metales pesados llegando a remover casi en su totalidad. Por lo que se recomienda que los medios filtrantes una vez cumplidos su tiempo de vida útil, sean desechados en bolsas con la bioseguridad necesaria a fin de evitar contaminación cruzada en otros componentes ambientales de la zona de estudio.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS

Anaya, G. (1998). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe. Manual técnico, México: IICA.

Anaya, G. y Martínez, J. (2007). Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y el Caribe. México: Colegio de Postgraduados.

Anaya, G. y Rivera, O. (2003). Editores de la memoria electrónica de la XI th International Conference on Rainwater Catchment Systems, México.

Anaya, G. (2006 – 2007). Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano. Diplomado internacional, Texcoco, México: CIDECALLI-CP.

Anaya, G. (2011). Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano y animal, producción en traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. XV Diplomado Internacional, Texcoco, México: CIDECALLI – CP.

Arauzo, M. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida, aspectos biológicos de la calidad del agua, Organización Panamericana de la Salud OPS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales CEPIS, Lima, Perú.

Arboleda, N. (2016). Evaluación de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los

lagos, Buenaventura. *Scientia Et Technica*, 21(3) ,278-285. [fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950585012>

Arboleda, N. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, buenaventura. *Revista Luna Azul*, (43),29-55.[fecha de Consulta 4 de Febrero de 2022]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321745921003>.

Arqui, C., Alvarez, D., Gómez, G., Valenzuela, R., Fernandez, I., y Espinoza, P. (2016). Calidad bacteriológica del agua para consumo en tres regiones del Perú. *Revista de Salud Pública*, 18(6),904-912.[fecha de Consulta 4 de Febrero de 2022]. ISSN: 0124-0064. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42249786006>.

Ballén, J. A., Galarza, M. A., Ortíz, O. R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, VI SEREA – Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. Joao Pessoa, Brasil.

Barrenechea, A. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida, aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, Organización Panamericana de la Salud OPS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales CEPIS, Lima, Perú.

Besner, M.; Gauthier, V.; Barbeau, B.; Millette, R.; Chapleau, R. y Prévost, M. (2001) Understanding Distribution System Water Quality. *Journal of the American Water Works Association*, julio, pp. 101-108.

- Campo, Y., Delgado, A., Roa, Y. y Mora, G. (2017). Efecto antimicrobiano del quitosano y cascara de naranja en el tratamiento de aguas residuales. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(4), 381-388. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.312>
- Cardona, A., Cabañas, D. y Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1-9.[fecha de Consulta 10 de Octubre de 2021]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>.
- Cárdenas, S., Marquez, A., Guevara, E., y Rey, D. (2018). Caracterización de plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos en el río Tucutunemo, Venezuela. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(5), 131-169. Epub 24 de noviembre de 2020.<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-06>.
- Centeno, J. (2002). Población y medio ambiente. *Interciencia*, 27(5),217.[fecha de Consulta 4 de Febrero de 2022]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33906801>
- Conagua (2010), Elaborado a partir de: ONU. UNICEF-OMS Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. *Progresos en materia de agua y saneamiento*. UNICEF, Nueva York y OMS, Ginebra, 2010 (Datos de 2008).
- Córdoba, M., Del Coco, V., y Basualdo, J. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3),105-119.[fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86315692002>.
- Chartuni y García (2012). Aprovechamiento de agua lluvia en los establecimientos educativos oficiales de la ciudad de Cartagena: Potencial de ahorro de agua potable y estudio de viabilidad financiera. Cartagena.

Chino Calli, M. (2013). Evaluación y propuesta de diseño de captación de agua de lluvia en viviendas rurales de la comunidad vilca maquera - Pilcuyo. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.

Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería Industrial, (29),153-170.[fecha de Consulta 5 de Febrero de 2022]. ISSN: 1025-9929. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>.

Craun, G. y Calderón, R. L. 2001. Waterborne Disease Outbreaks Caused by Distribution System Deficiencies. Journal of the American Water Works Association, setiembre, pp. 64-75.

Doria, C. (2017). Metales pesados (Cd, Cu, V, Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colombia. Revista Colombiana de Química, 46(2),37-44.[fecha de Consulta 16 de Febrero de 2022]. ISSN: 0120-2804. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309051244004>.

Dimas, M., Garza, M. y Treviño, D. (2015). Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(),113-118.[fecha de Consulta 26 de Febrero de 2022]. ISSN: 2007-0934. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243016>

Gallegos, N., Elvia M., Lugo, A., Calderón, A., Sánchez, M. y Mayén, R.(2014). Biodiversidad de protistas amébidos de vida libre en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(),10-25.[fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: 1870-3453. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42529679041>

- García, M. (2008). Biosorción de cadmio con raspo de uva. Aproximación a la monitorización del proceso mediante sensores químicos.
- Garrido, H. S., (2006). Sistemas para la captación y tratamiento de aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales. México: IMTA.
- Garzón Santa María, J. A. y Gonzales Lopez, L. A. (2012), adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja, Facultad de Ingenierías, Programas de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.
- Grant G. Morris E, "Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model". FEBS Lett, 1973, 195-198.
- Grandez Rodríguez, P. (2015). Aprovechamiento de agua de lluvia, para optimizar el uso de agua potable residencial. Tesis para optar el grado académico de maestro en tecnología de la construcción, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- Ghimire, K., et al. (2003). Adsorptive separation of arsenate and arsenite anions from aqueous medium by using orange waste. Water Research, Vol. 37 pp. 4945-4953.
- Ghimire, & Yamaguchi. (2003). Adsorptive separation of arsenate and arsenite anions from aqueous medium by orange waste. Water Research.
- Fernandez (1990), Estudio del proceso óptimo de extracción de aceite esencial y pectina de lima (Tesis título Químico). Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Health and Welfare Canada. A national survey for asbestos fibres in Canadian drinking-water supplies. Environmental Health Directorate 79 EHD 34, 1979.

IPCC/ONU – Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. Mudança climática 2007:

A base da ciência física.

IPCC/ONU, Ecolatina. Paris, fevereiro, 2007. (Grupo de Trabalho I - Quarto Relatório de Avaliação). (FAO, 2013)

Jimenez, M., y Cova, R., Trías, L., Vega, C. y Manganiello, L. (2017). Parámetros relativos a propiedades químicas y calidad organoléptica de aguas que confluyen a embalses destinados al consumo humano. Revista INGENIERÍA UC, 24(1),128-136.[fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70750544014>

Kinkade – Levario, H. (2007). Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse. Canada: New Society Publishers.

Krishna, H. J., (2007). The Texas Manual on Rainwater Harvesting (Third Edition), Austin, Texas: Texas Water Development Board.

Leal, A. M., (2005). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones, SOLARSAFE WATER, España: PSA.

León, R. (2016). Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Hídricos Pluviales en Zonas Residenciales. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.

Lidia de Vargas, (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida, procesos unitarios y plantas de tratamiento, Organización Panamericana de la Salud OPS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales CEPIS, Lima, Perú.

Meléndez, J., Cervantes, J. y Barradas, V. (2015). Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México: resultados preliminares. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(2),122-130.[fecha de Consulta 26 de Febrero de 2022]. ISSN: 1405-888X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43241353004>

Montero, I. (2007). Cuantificación de Cr (VI), Cr (III) y Cr total, en un estudio de biosorción utilizando cáscara de naranja. Tesis de Licenciatura de Química. México.

Muñoz, J. C. (2007). Biosorción de Plomo (II) por cáscara de naranja “citrus cinecis” pretratada. Tesis de licenciatura de Químico. Universidad Nacional del Mayor de San Marcos, Facultad de química e ingeniería química, Lima-Perú.

NAS. Drinking water and health. Safe drinking-water committee, National Academy of Sciences, U. S. National Research Council, Washington, D. C., 1977

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2013) captación y almacenamiento de agua de lluvia opciones técnicas para la agricultura, en américa latina y el caribe, participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y la Cooperación Suiza, Santiago de Chile.

OMS. 1992. Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Pathogenic Agents. Ginebra: OMS.

Orta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, 6(3),55-62.[fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: 1562-3009. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118292006>

PNUMA. (2010). Agua: ¿pero a que precio? TUNZA.

- Pinzón, M. (2005). Eliminación de Cadmio, Zinc y Cromo de efluentes líquidos por biosorción mediante Posidonia Oceánica. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación en Tecnología del Agua. Universidad de Murcia, España.
- Pinzón, M., y Cardona, A. (2010). Caracterización de la cascara de naranja para uso como material bioadsorbente. *Revista de la Facultad de las Ciencias Basicas*, 1-23.
- Querol, María. 2003. Estudio sobre los convenios y acuerdos de cooperación entre los países de América Latina y el Caribe, en relación con sistemas hídricos y cuerpos de agua transfronterizos. Santiago de Chile, CEPAL, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No 64, noviembre de 2003
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias. San José, IICA/ GTZ.
- Recalde, G. (2016). Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado: una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. *Revista de Derecho*, (46),257-291.[fecha de Consulta 4 de Febrero de 2022]. ISSN: 0121-8697. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85147561010>.
- Reséndiz Hernandez, R. (2012). Diseño de un sistema de captación y purificación de agua de lluvia mediante fotocatalisis solar. Tesis de maestría en Ingeniería Mecánica-diseño mecánico.Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, México.
- Ríos, S., Agudelo, R. y Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 2017; 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08.

- Rosas, P., (2008). Estudio de adsorción para Cr (VI) utilizando chacay (*ulex europaeus*) como carbón activo cubierto con quitosán. Seminario para optar al título de Ingeniero en Medio Ambiente y Manejo Costero, Universidad de los Lagos, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Puerto Montt- Chile.
- Rombouts F. Thibault J. "Sugar beet pectin: Chemical structure and gelation through oxidative coupling. In: Chemistry and Functions of Pectins". American Chemical Society. Ser 310, 1986, 5-16.
- Sepúlveda, S. y Rojas, P. (2002). Elementos del Desarrollo Sostenible. En: Chavarría, Hugo; Sepúlveda, Sergio y Rojas, Patricia (Comp.): COMPETITIVIDAD: Cadenas Agroalimentarias y Territorios Rurales. San José, IICA, páginas 17-28
- Samboni, N., Carvajal, Y. y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. Retrieved February 05, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019&lng=en&tlng=es.
- Soto, E., (2009). Estudio de la remoción de Cu (II) en medio acuoso utilizando el albedo de la cáscara de naranja. Tesis de licenciatura de Químico. Universidad Nacional de Ingeniería, Escuela profesional de Química, Lima-Perú.
- Sorg, T. J. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulation for organics. *Journal of the American Water Works Association* 70, 1978, pp. 105-112.
- Vargas, M. (2010). Escalamiento de la biosorción de un colorante tipo azo en medio acuoso utilizando cáscaras de naranja. Tesis de licenciatura de Ing. Quím. Ind. FIQ-UADY. Mérida.

- Vidal, D., Consuegra, A., Gomescaseres, L., y Marrugo, J. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica del agua envasada en bolsas producida en Sincelejo. *Revista MVZ Córdoba*, 14(2),1736-1744.[fecha de Consulta 31 de Enero de 2022]. ISSN: 0122-0268. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69312277010>.
- Villanueva, C., (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de citrus sinesis (Naranja), citrus limonium (limón y opuntia ficus (plameta de nopal). Tesis de licenciatura de Químico. . Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima-Perú.
- Vidales, A. (2000). Diagnóstico de la Calidad de Agua de Mesa: Una Acción Positiva. *Conciencia Tecnológica*, (14),41-46.[fecha de Consulta 5 de Febrero de 2022]. ISSN: 1405-5597. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401409>.
- United Nations Environment Programme – UNEP; Rainwater Harvesting and Utilisation, International Environmental Technology Centre; 2000.
- United Nations Environment Programme – UNEP and Stockholm Environment Institute; Rainwater Harvesting: a lifeline for human well-being; 2009.
- WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme for water supply and sanitation. Coverage Estimates Improved Sanitation. Perú. Update in June 2006. wssinfo.
- Zaunderer, J. and Hutchinson C.F., (1988) *A review of water harvesting techniques of the Arid Southwestern US and North Mexico*. (Draft) Working paper for the World Bank's Sub-Saharan Water Harvesting Study.

Consulta WEB

(Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (IFRC).

Informe Mundial sobre Desastres 2010. Consultado en: <http://www.ifrc.org/Docs/pubs/disasters/wdr2010/WDR2010-full.pdf> (21/10/2010).)

(Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water, 2010. Consultado en:

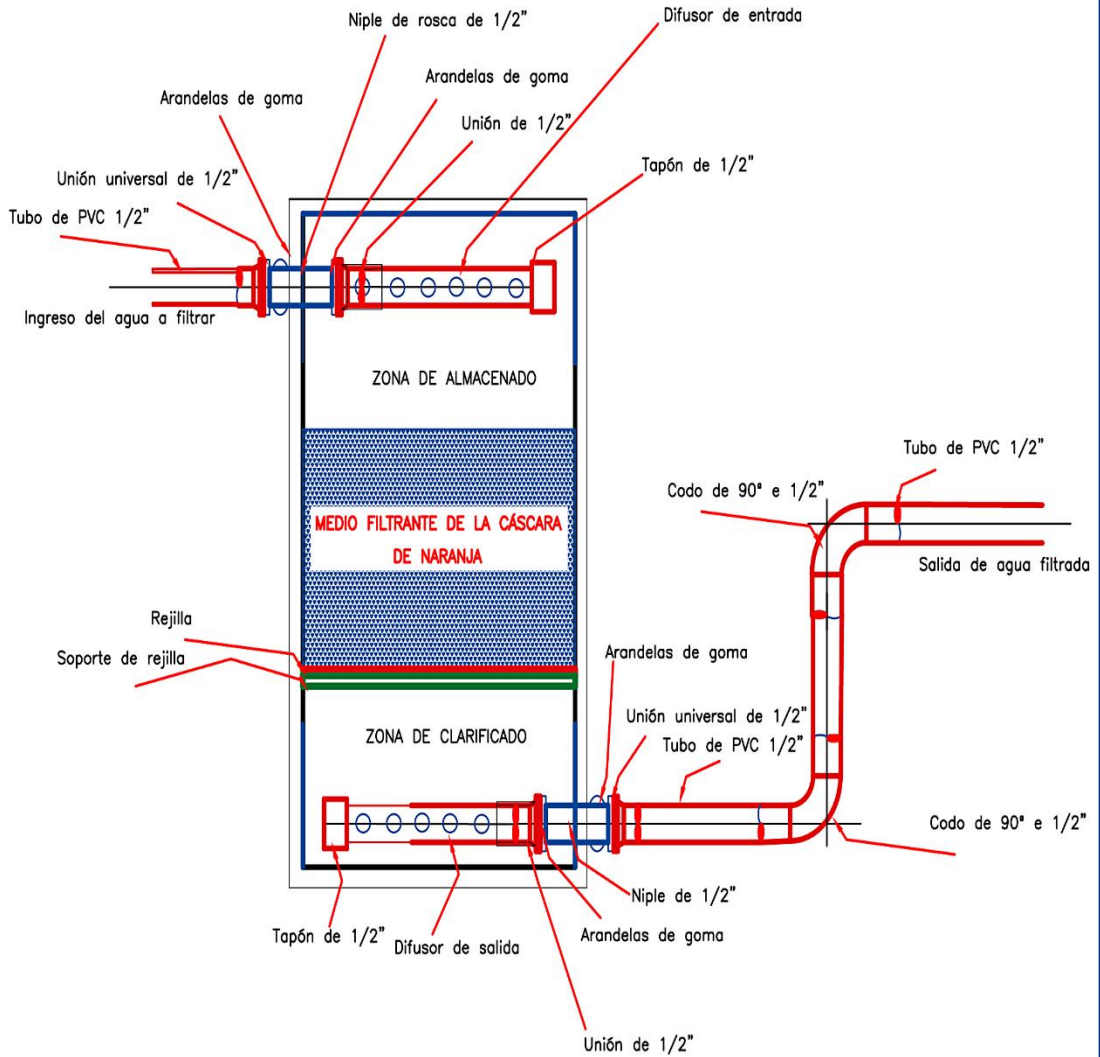
http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599351_eng.pdf (15/12/2010).

UNEP-UN Habitat. Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable

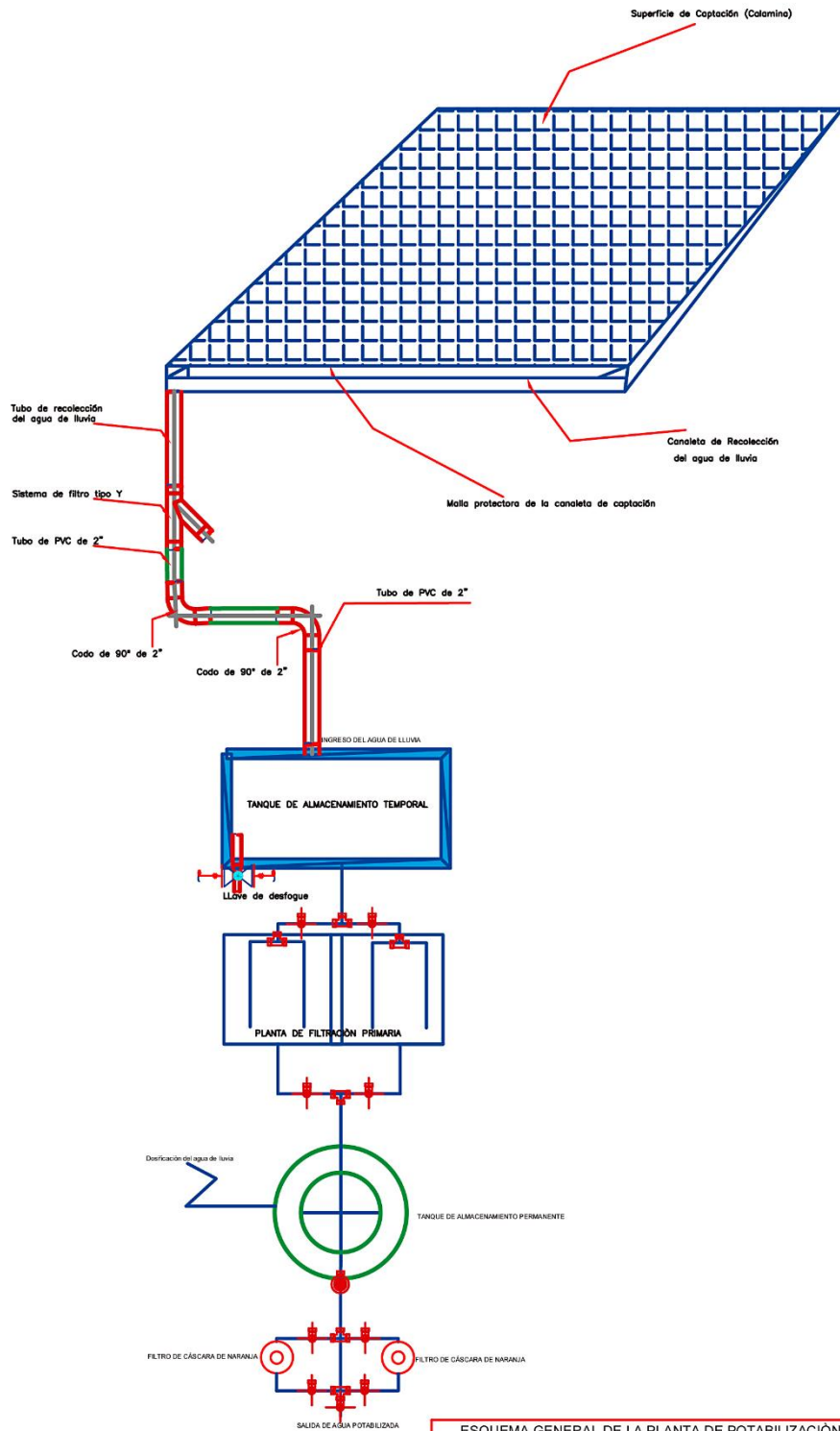
development. 2010. Consultado en: http://www.unwater.org/downloads/sickwater_unep_unh.pdf (15/12/2010).

CAPITULO IX

ANEXOS



ESQUEMA GENERAL DEL FILTRO DE PVC QUE CONTIENE AL MEDIO FILTRANTE DE LA CÁSCARA DE NARANJA			BBL
PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA DESARROLLO SOSTENIBLE			
UBICACION:	La Auvernia- San Ramón	LUGAR:	San Ramón
	Provincia de Chanchamayo, departamento de Junín- Perú		
FECHA:	ESC:	REVISADO:	APROBADO:
2020	1/50	BENJAMIN BORDA	BENJAMIN BORDA



ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA MEDIANTE CASCARA DE NARANJA PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA DESARROLLO SOSTENIBLE			BBL
UBICACION: La Auvernia- San Ramón Provincia de Chanchamayo, departamento de Junin- Perú			
FECHA:	ESC:	REVISADO:	APROBADO:
2020	1/50	BENJAMIN BORDA	BENJAMIN BORDA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título de la investigación	Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Método	
Proceso de filtración de la cáscara de naranja, para la potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín	Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente	Enfoque de la investigación: Cuantitativo		
	¿Cómo influye el proceso de filtración de la cáscara de naranja, en la potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín?	Desarrollar y evaluar un proceso de filtración de la cáscara de naranja para la potabilización de agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.	Mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, es posible potabilizar el agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.	Proceso de filtración de la cáscara de naranja	Altura del filtro	Alcance de la investigación: Explicativo	
					Capacidad del filtro		
					Tiempo de retención del filtro	Diseño de la investigación: Experimental	
					Tiempo de retención del medio filtrante	Población: La población se consideró a los centros poblados del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, Perú, el cual cuenta con 60 centros poblados, con un total de 2615 viviendas en las cuales habitan 8480 habitantes considerados como zonas rurales del distrito (INDECI, 2007).	
					Granulometría (diámetro del biosorvente)	Unidad de análisis: La investigación está orientada a captar el agua de lluvia, potabilizarlos mediante el proceso de filtración por la cáscara de naranja donde se analizará las características físicas, químicas y microbiológicas a fin de garantizar su óptima calidad cuyo beneficiario será la población rural cuya actividad económica predominante es la agricultura y que radican en sus propiedades sitadas a las periferias de la ciudad de San Ramón.	
					Volumen del medio filtrante	Técnicas: La técnica utilizada es la observación siguiendo el protocolo de monitoreo de aguas para plantas de tratamiento tales como la ubicación del punto de monitoreo, etiqueta de las muestras, cadena de custodia y reporte de resultados del monitoreo.	
	Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable dependiente	Instrumentos: Para la investigación se utilizaron instrumentos válidos a nivel de investigación, tales como: AutoCAD (para el diseño de la planta de tratamiento de agua de lluvia), Google maps y GPS (para la ubicación del lugar de estudio y desarrollo de la investigación), microsoft excel (para la contrastación de la hipótesis mediante la técnica estadística del T- students y análisis de criterios estadísticos), fichas de recolección de datos insitu para llevar el control de parámetros evaluados insitu en el desarrollo de la investigación, cadenas de custodia, rótulos y etiquetas para el tratamiento de muestras de agua y evaluación de la calidad de la misma.. Análisis de datos: Se utilizó el software Excel con la finalidad de calcular y graficar los resultados. Luego para la interpretación de resultados se analizará mediante la estadística t – student con el fin de contrastar la hipótesis planteada. Finalmente, las muestras fueron analizados en un laboratorio acreditado.		
	¿De qué manera, será posible diseñar una planta de captación de agua de lluvia para su potabilización de las zonas rurales de San Ramón, Junín?	Diseñar una planta de captación de agua de lluvia para su potabilización en las zonas rurales de San Ramón, Junín.	Es posible diseñar una planta de captación y tratamiento de agua de lluvia para su potabilización en las zonas rurales de San Ramón, Junín	Potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín.			Concentración de parámetros físicos del agua
	¿De qué manera será posible diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja?	Diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja.	Es posible diseñar y determinar la eficiencia de todo el sistema de filtración para agua de lluvia mediante el uso de la cáscara de naranja.				Concentración de parámetros químicos del agua
¿Las aguas de lluvia tratadas por el proceso de filtración mediante la cáscara de naranja, cumplirán con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S.N° 031-2010-S.A.?	Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos, de la calidad de agua del sistema de filtración con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S.N° 031-2010-S.A.	Las aguas tratadas mediante el proceso de filtración de la cáscara de naranja, cumplirá con los LMPs establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S.N° 031-2010-S.A.		Concentración de parámetros biológicos del agua			