

Área del Conocimiento de Agricultura

EVALUACIÓN DE FILTROS KANCHAN MODIFICADOS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD PITA 1 Y PITA 2 DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DEL PEÑON-LEÓN

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. INGRIS TAHIRIS
MÁRTINEZ GUTIERREZ
CARNET: 2018-1135U

Br. JOSUÉ EXZEQUIEL
ROCHA FLORES
CARNET: 2019-0870U

Tutor:

MSc. Ing.
XOCHILTH BARAHONA

07 de marzo del 2025
Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, darle gracias a Dios, por guiarnos en este camino de altos y bajos momentos, darnos las fuerzas necesarias para lograr llegar hasta aquí.

Agradecemos el apoyo del Lic. Elvis Conde por habernos brindado un poco de su tiempo y guiarnos en la redacción de la monografía, estar pendiente de cualquier detalle y explicarnos algunos procesos para comprender mejor puntos clave del tema, y al Ing. Silvano Cruz por apoyarnos con el tema de investigación, por brindarnos de su tiempo y conocimiento para reforzar aún más nuestra tesis, explicarnos la parte práctica del tema y del como ejecutarlo. Por brindarnos el espacio en el programa PIENSA, por su colaboración constante en los laboratorios, análisis y recursos para lograr llegar acabo nuestro tema.

A todos aquellos maestros, que de alguna manera contribuyeron a nuestro desarrollo como profesionales al compartir sus conocimientos y así poder culminar otra etapa más, nuestros más sinceros agradecimientos a estas personas que en gran manera nos apoyaron a lo largo de este camino.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios porque gracias a él pudimos llegar hasta donde hemos avanzado, a mi madre y hermano, que siempre me han brindado todo su apoyo para culminar mis estudios y poder seguir desarrollándome profesionalmente, a mi abuela y hermana porque me motivaron a nunca rendirme y demostrarme a mí misma que si soy capaz de lograr mis objetivos, y a todas aquellas personas que me aconsejaron a no quedarme estancada y ver de todo de lo que soy capaz de hacer.

Ingris T. Martínez Gutiérrez

DEDICATORIA

Josué 1:9 es el versículo que Dios ha puesto en mi corazón desde que tengo memoria, así que este logro va primeramente a mi padre Celestial que me ha dado la fuerza, salud y fe para llegar hasta aquí, porque hasta aquí Dios me ha ayudado.

A mis abuelos, que desde pequeño velaron por mí y nunca me dejaron solo, especialmente a mi abuelo Misael Flores Sequeira, que desde pequeño me ayudo a salir adelante no solamente material, sino espiritualmente, que para mí ha sido el mejor regalo que me ha dado, por eso esta meta más va para ti mi querido Padre Misael.

A mi abuela Ester Álvarez, que nunca me dejó solo y se preocupó por mí en todo momento, que no me faltará nada en todo mi proceso, por eso te agradezco, por tu compañía y sacrificio este logro también va para ti.

A mi madre Angelica Flores porque en los altos y bajos momentos estuvo conmigo y me brindo su apoyo en todo y los momentos que compartiste conmigo siempre los llevaré en mi corazón.

A familiares que me han apoyado en todo mi proceso de crecimiento y amistades que han estado conmigo hasta esta etapa de mi vida así que gracias Rosa Amanda, Félix Santana, Adrián Urbina, Angelica Álvarez, Byron Pérez y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera fueron parte de una etapa más de mi vida.

Finalmente, agradezco a mi esposa Paula Kazandra Sahisa Maluto por darme su apoyo y motivación en todo momento, por esas oraciones que nunca faltaron de su parte, por alentarme cuando no podía seguir adelante. Gracias amada esposa por estar para mí.

Agradezco aquel Josué que desde pequeño soñó ser un profesional y que esta apunto de lograrlo, que nunca desmayo y siguió adelante cuando pensaba caer, y ahora está aquí escribiendo estas palabras, gracias por no caer y ser fuerte. Estoy orgulloso de lo que has logrado y sigues logrando.

Josué E. Rocha Flores

RESUMEN

En este estudio identificamos que la presencia de arsénico en las fuentes de abastecimiento de consumo humano es indeseable por sus efectos negativos en la salud, el ingerir esto puede producir y causar cáncer, lesiones cutáneas, problemas en el desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes, por tal razón la presente investigación tuvo como objetivo principal la construcción, mejoras y evaluación de filtros Kanchan para la remoción de arsénico en la comunidad Pita 1 y Pita 2 de Santa Rosa del Peñón-León, debido a que dos pozos ubicados en dichas comunidades presentaron una alta concentración de arsénico de 39 y 41 mg/L, según la norma CAPRE estos límites no son permisibles para el consumo humano. Cada uno de los filtros tenían algo diferente que los identificaba, así que nuestra idea fue darle un toque de innovación y mejoras que logren disminuir los niveles de arsénico, prevaleciendo su función de remoción. Estos filtros se lograron construir con materiales locales, siguiendo los parámetros de diseño establecidos por estudios anteriores, para que así los habitantes de las comunidades puedan manipularlo con mayor facilidad.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Arsénico	3
3.2. Toxicidad del Arsénico.....	3
3.3. Presencia de arsénico en las aguas subterráneas.....	3
3.4. Técnicas de remoción de Arsénico	4
3.4.1. Filtración/Coagulación	4
3.4.2. Intercambio Iónico	5
3.4.3. Osmosis Inversa.....	5
3.5. Filtro Kanchan	5
3.6. Retención de arsénico y hierro	8
3.7. Remoción de patógenos.....	8
3.8. Remoción de Turbiedad.....	9
3.9. Tasa de filtración	10
3.10. Parámetros que influyen en la absorción de arsénico en el filtro Kanchan	10
3.10.1. Potencial de Hidrógeno.....	10
3.10.2. Hierro.....	10
3.10.3. Cantidad de arsénico en el afluente	10
3.11. Factores que influyen en la remoción de arsénico del filtro	11
3.11.1. Aireación de los clavos	11
3.11.2. Espacio libre	11
3.11.3. Agregados (grava, arena gruesa, arena fina).....	11
3.12. Hidráulica de tuberías	12
IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	14
4.1. Descripción del ámbito de estudio	14
4.2. Caracterización de la Investigación	15
4.2.1. Enfoque Cuantitativo.....	15
4.2.2. Tipo de Estudio	15
4.2.3. Población y muestra	16
4.3. Criterios de Inclusión y Exclusión	16

4.3.1.	Criterios de Inclusión	16
4.3.2.	Criterios de Exclusión	16
4.4.	Variables	16
4.4.1.	Variables Dependientes.....	16
4.4.2.	Variables Independientes	16
4.5.	Operacionalización de las Variables	16
4.5.1.	Descripción de las variables	16
4.6.	Materiales y Métodos.....	18
4.6.1.	Métodos.....	18
4.7.	Técnicas de muestreo en campo	21
4.8.	Análisis de las muestras	22
4.8.1.	Metales	22
4.8.2.	Físicos químicos	23
4.8.3	Patógenos.....	25
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
5.1.	Desarrollo de tres prototipos modificados de filtro kanchan a partir del modelo GEM505.....	28
5.2.	Selección del prototipo con mejor desempeño en la remoción de arsénico de la comunidad Pita 1 y Pita 2.....	35
5.3.	Contrastación de los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos del agua obtenida en los tres prototipos en base a la Norma CAPRE.....	36
5.3.1.	Color verdadero y aparente	36
5.3.2.	Turbiedad.....	38
5.3.3.	Hierro	38
5.3.4.	Coliformes.....	40
VI.	CONCLUSIONES	44
VII.	RECOMENDACIONES.....	45
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....	46
IX.	ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Filtro Kanchan	6
Figura 2. Sitio de recolección 1	14
Figura 3. Sitio de recolección 2	15
Figura 4. Diagrama de bloque del proceso de elaboración de los prototipos.....	29
Figura 5. Clavos Galvanizados	30
Figura 6. Configuración de tubería	31
Figura 7. Perforación de agujeros.....	32
Figura 8. Tubería Interna.....	33
Figura 9. Prueba y error para filtración de agua.....	33
Figura 10. Materiales usados en la parte superior del filtro	34
Figura 11. Prototipos en validación	34
Figura 12. Slices con muestra	35
Figura 13. Estándares para verificación de HACH	38
Figura 14. Curva de Calibración para Fe.....	39
Figura 15. Prueba Presuntiva.....	40
Figura 16. Prueba confirmativa	41
Figura 17. Prueba confirmativa en medio de cultivo verde brilla	41
Figura 18. Filtro Kanchan Modificado Prototipo 3	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .Volumen de los agregados.....	7
Tabla 2. Materiales.....	7
Tabla 3. Descripción de las variables.....	17
Tabla 4. Volumen de los agregados.....	18
Tabla 5. Materiales.....	19
Tabla 6. Volumen de los agregados.....	19
Tabla 7. Materiales.....	20
Tabla 8. Volumen de los agregados.....	20
Tabla 9. Materiales.....	21
Tabla 10. Reactivos	22
Tabla 11. Materiales.....	23
Tabla 12. Reactivos	24
Tabla 13. Criterios de selección para agregados.....	28
Tabla 14. Volúmenes de los agregados para cada prototipo	32
Tabla 15. Resultados de Arsénico	35
Tabla 16. Resultados de Arsénico en estudios anteriores.....	36
Tabla 17. Resultados de color verdadero.....	37
Tabla 18. Resultados de color aparente	37
Tabla 19. Resultados de Turbiedad	38
Tabla 20. Resultados de Hierro.....	40
Tabla 21. Parámetros bacteriológicos.....	42
Tabla 22. Eficiencia de remoción en los filtros.....	42
Tabla 23: Presupuesto para la construcción de Filtros Kanchan	57

Lista de abreviaciones

CNU – Consejo Nacional de Universidades

AKF – Filtro Kanchan de Arsénico

UNICEF – Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

µg/L - Microgramos por litro

CAPRE - Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana

MTI – Maestrías en tecnología de la Información

L/H - Litros por horas

pH - Potencial de Hidrogeno

mm - Milímetro

PIENSA - Programa de investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

Mg/L - Miligramos Litros

UNT - Unidad Nefelométrica de Turbidez

Pt-Co - Platino-Cobalto

Cm - Centímetros

°C - Celsius

NMP - Número Más Probable

CLT - Caldo Lauril Triptosa

As - Arsénico

Kanchan – nombre propio del filtro en Nepal, significa “Agua de manantial, fresca y limpia

I. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua existe una preocupación socio ambiental, debido a los altos niveles de concentración de arsénico en aguas subterráneas, principalmente en las regiones noreste y suroeste del país, próximas a áreas mineralizadas a lo largo de la estructura tectónica activa más importante, la Depresión o Graben de Nicaragua y en la plataforma central. (Revista Nicaragua CNU, 2020).

Al ingerir agua que contiene arsénico puede aumentar el riesgo de cáncer y causar problemas en la salud de los pobladores, este metal cuando se consume no se puede sentir, ver, ni oler; por lo tanto, no hay forma de conocer el nivel de arsénico en el agua antes de habilitar un pozo. Los niveles de arsénico pueden variar de un pozo a otro dentro de una misma comunidad. (health, 2023).

Una de las estrategias más comunes de remoción de arsénico en zonas donde se presentan altos contenidos de arsénico es utilizando tecnologías para remover este metal. Ante esta situación los investigadores han venido desarrollando algunas tecnologías de bajos costos para ser usadas a nivel domiciliario en el sector rural. El filtro Kanchan es una buena alternativa para mejorar la calidad de vida de las personas, está diseñado para la remoción de arsénico, muy fácil de armar y manipular para los habitantes de estas comunidades.

En Nepal se ha usado el filtro de arsénico Kanchan (AKF) construido con materiales locales, como ladrillos, clavos, arena y grava, logrando remover satisfactoriamente el arsénico.

La presente Investigación está orientada a desarrollar tres prototipos de diseño de filtro, basado en el modelo de diseño de Filtro Kanchan GEM505. Estos serán evaluados con agua provenientes de fuentes subterráneas de las comunidades Pita 1 y Pita 2, ubicadas en el municipio de Santa Rosa del Peñón León, ya que ahí se consumen agua con altos niveles de arsénico.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de filtros Kanchan modificados para la remoción de arsénico en aguas subterráneas provenientes de la comunidad Pita 1 y Pita 2, del municipio de Santa Rosa del Peñón-León.

2.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar tres prototipos modificados de filtro Kanchan a partir del modelo GEM505.
2. Seleccionar el prototipo con mejor desempeño en la remoción de arsénico de la comunidad Pita 1 y Pita 2.
3. Contrastar los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos del agua obtenida en los tres prototipos en base a la norma CAPRE.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Arsénico

El arsénico es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es As y número atómico 33. Raramente se presenta de forma sólida, aunque pertenece al grupo de los semimetales, ya que muestra propiedades metálicas y no metálicas. Presenta tres estados alotrópicos, gris metálico, amarillo y negro. (prtr española, s.f.).

- El arsénico gris metálico (forma α) es la forma estable en condiciones normales, tiene estructura romboédrica y es un buen conductor del calor, pero pobre conductor eléctrico, además es una sustancia deleznable que pierde el lustre metálico cuando se expone al aire.
- El arsénico amarillo (forma γ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente, se trata de un compuesto extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico, presentando fosforescencia a temperatura ambiente.
- Una tercera forma alotrópica, es el arsénico negro (forma β) que presenta una estructura hexagonal y tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas anteriormente descritas. Se obtiene en la descomposición térmica de arsina, o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico.

3.2. Toxicidad del Arsénico

Es uno de los tóxicos más viejos conocidos por la humanidad, teniendo 5 características específicas, según Azcui y Nriagu (1994):

1. Es un tóxico violento en la ingestión aguda.
2. Es tóxico a la exposición de largos plazos en concentraciones muy bajas.
3. No es visible en el agua y comida.
4. No tiene gusto.
5. No tiene olor.

3.3. Presencia de arsénico en las aguas subterráneas

El arsénico es un elemento que se encuentra en el grupo 15 (VA) de la tabla periódica, tiene número atómico de 33 y masa atómica de 74,92, con cinco electrones en su órbita exterior. Rara vez se encuentra libre en el ambiente natural,

su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. El arsénico está presente en forma natural en rocas sedimentarias y rocas volcánicas y en aguas geotermiales con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita, los que se encuentran como impurezas en los depósitos mineros, o como arsenato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. (Lillo, 2020)

En el agua la combinación con el oxígeno le permite formar el arsénico inorgánico pentavalente (As^{+5}) y el arsénico inorgánico trivalente (As^{+3}). En medios alcalinos con alta concentración de oxígeno se encuentra el As^{+5} (arseniato) y en medios ácidos con poca concentración de oxígeno se encuentra el As^{+3} (arsenito). Por lo que se deduce que el arsenato es encontrado frecuentemente en agua superficiales, en condiciones aeróbicas, mientras que el arsenito ocurre con más frecuencia en aguas subterráneas o de pozo, en condiciones anaeróbicas. (Lillo, 2020)

Las especies hidrolizadas con valencia 3 son ácido arsenioso H_3AsO_3 , arsenito diácido (H_2AsO_3^-), arsenito monoácido (HASO_3^{-2}) y arsenito (AsO_3^{-3}) y con valencia 5 son ácido ortoarsénico H_3AsO_4 , arseniato diácido (H_2AsO_4^-), arseniato monoácido (HASO_4^{-2}) y arseniato (AsO_4^{-3}). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. (M. Esparza, 1998)

La eficiencia de los procesos de tratamiento del arsénico, depende del grado de disociación del arsénico. La capacidad de ionización del arsénico (V) le permite combinarse fácilmente con otros compuestos, lo cual hace que su remoción por diversos métodos sea más eficiente en comparación con la del arsénico (III).

3.4. Técnicas de remoción de Arsénico

3.4.1. Filtración/Coagulación

En este proceso busca neutralizar las cargas eléctricas de las partículas coloidales (disueltas o suspendidas), mediante la aplicación de sustancias insolubles en agua (coagulantes), lo que forma flóculos que se pueden sedimentar o filtrar. Los coagulantes más usados son el sulfato de Aluminio y/o el sulfato férrico, y su

eficiencia de remoción está en función de las concentraciones de arsénico, pH y la valencia del arsénico. (Pérez, 2013)

3.4.2. Intercambio Iónico

Es un proceso físico químico, en el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por otros iones que se encuentran en solución, no obstante, el selenio, fluoruro, nitrato y sólidos disueltos totales compiten con el arsénico y afectan la duración del proceso, es uno de los métodos menos típicos, debido a su rentabilidad considerada una opción poco rentable debido al precio de las resinas. (Pérez, 2013)

3.4.3. Osmosis Inversa

Este método es muy efectivo en la remoción de arsénico en fuentes de agua subterránea, este proceso se ve afectado por propiedades fisicoquímicas del agua como turbiedad, contenido de hierro, manganeso y sílice. Con este método se pueden tener eficiencias de remoción de 90% y 95% al tratar arsénicos trivalentes y pentavalentes, pero resultan ser tecnologías de alto costo. (Pérez, 2013)

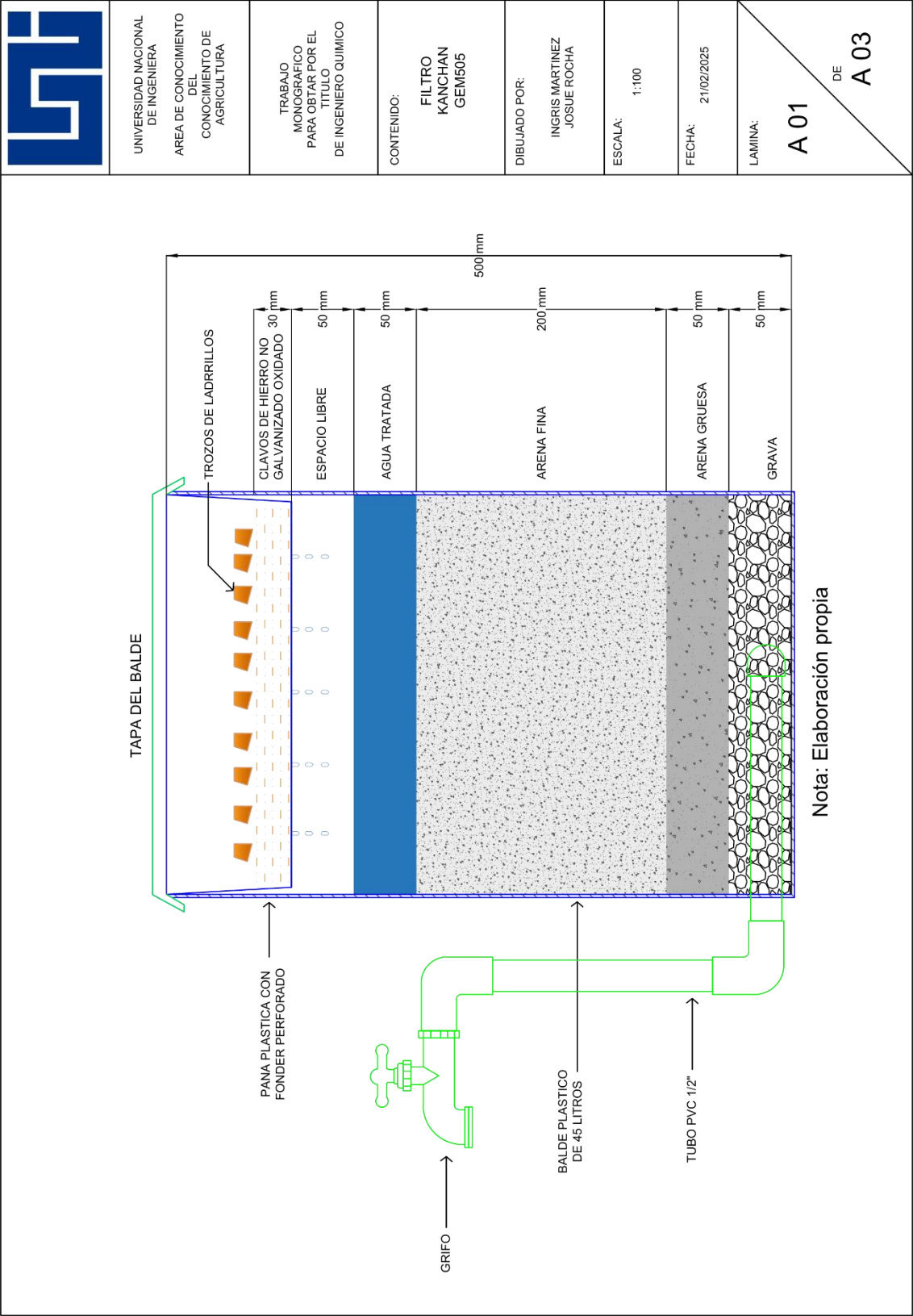
3.5. Filtro Kanchan

El filtro de remoción de arsénico KANCHAN (KAF por sus siglas en inglés) evolucionó a partir del filtro BIOSAND, desarrollado por el Dr. Manz de la universidad de Calgary, Canadá. El KAF es un dispositivo de tratamiento de agua que remueve arsénico, patógenos, hierro, turbiedad, color y algunos otros contaminantes presentes en el agua de consumo humano.

El diseño del filtro está basado en el principio de filtros lentos, desarrollada en los años de 1820 en Escocia por Roberth Thom y en Inglaterra por James Simpson. Los filtros Kanchan están compuestos por diferentes materiales filtrantes como lo son: arena fina, arena gruesa, grava y en la parte interna de la pana ladrillos y clavos oxidados. Estos filtros tienen como función principalmente la remoción de arsénico, patógenos, hierro y turbiedad.

En la figura 1, se muestra el diseño de un filtro Kanchan GEM505

Figura 1. Filtro Kanchan



En la tabla 1, se muestra los agregados que contienen los Filtros Kanchan GEM505

Tabla 1 .Volumen de los agregados

Volúmenes	Agregados
11 libras	Clavos de 1" no galvanizado
20 litros	Arena fina menor a 1 mm
4 litros	Arena gruesa entre 3 a 6 mm
6 litros	Grava de 6 a 15 mm

Nota: Tomada de Propuesto de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

En la tabla 2, se muestra los materiales a usar para el desarrollo del Filtro KanchanGEM505

Tabla 2. Materiales

Cantidad	Materiales
1	tapón liso PVC de ½" de diámetro
1	codo liso 90°pvc de ½" de diámetro
1	codo mixto 90°pvc de ½" de diámetro
1	Tapón hembra (liso PVC ½")
4	empaques de plástico de ½" de diámetro
1	llaves de chorro plásticas con adaptador de manguera
2 pie	manguera blanca de 16mm de diámetro
15-20	Trozos de Ladrillos de barro entre 2 y 3 pulgadas
1	Llave de chorro
1	Empaque plástico (1/2")
1	Codo 90 PVC (1/2" extremo liso y roscado)
1	Tubo PVC (1/2")

Nota: Tomada de Propuesto de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

3.6. Retención de arsénico y hierro

En el mundo, el arsénico con frecuencia se encuentra en el agua potable, muchas personas beben agua con niveles peligrosamente altos de arsénico sin darse cuenta. El arsénico inorgánico está presente en altos niveles en aguas subterráneas que esta puede ir directamente a los pozos, ya que proviene de fuentes naturales (rocas volcánicas o filtrada en los suelos) que puede disolverse y ser llevado a los acuíferos y al agua de pozo.

Por otra parte, el hierro que procede de los subsuelos en zonas rurales es muy frecuente: los niveles de concentración van entre el rango de 0 a 50 mg/L, mientras la OMS recomienda niveles de <0.3 mg/L. El hierro ocurre de manera natural en acuíferos, pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente color naranja.

Las máximas concentraciones de hierro y arsénico son encontradas en la capa de arena fina a una profundidad de 0 cm, es decir, en la superficie, esto es debido a que las partículas son incapaces de entrar en los pequeños espacios de capa de arena fina. (González, 2011)

En las profundidades inferiores de la capa de arena las concentraciones de hierro y arsénico son estables a valores similares, solo con pequeñas fluctuaciones atribuidas a las concentraciones de hierro natural de la arena o errores de laboratorio. Las propiedades físicas de la arena, como, granulometría, porosidad y permeabilidad son tales que no permiten que el arsénico absorbido a las partículas de hidróxido férrico pase a través de las capas de arena fina.

3.7. Remoción de patógenos

No es práctico analizar el agua para detectar todos los microorganismos que causan enfermedades, pero es fácil analizarla para detectar un grupo indicador de bacterias llamadas bacterias coliformes. Estas bacterias son buenas indicadoras de la protección sanitaria del pozo y el sistema de agua porque están en todas partes en la superficie del suelo, pero no suelen ocurrir a pocos pies de profundidad. Si aparecen en una prueba del agua, pueden indicar que la contaminación de la

superficie ha llegado al agua y posiblemente haya microorganismos que causan enfermedades. Así como la desinfección mata a la mayoría de los microorganismos que causan enfermedades, también mata a las bacterias coliformes. (Hidalgo J. M., 2020)

Por lo general las aguas subterráneas contienen bajos niveles de contaminantes patógenos. Si en algún dado caso existen, eso puede ser debido a las malas prácticas de higiene o extracción del agua de pozo. No obstante, la remoción de patógenos en el filtro Kanchan, consta de cuatro mecanismos importantes generales: La retención física, adsorción, y extinción física natural que se presentan en el flujo.

Las partículas que presentan masa grande quedan atrapadas en la etapa de retención física, en este proceso puede eliminar parásitos, compuestos orgánicos y bacterias grandes. Algunas de los virus y bacterias que son demasiado pequeños son retenidos en la etapa de adsorción, ya que en este proceso las partículas extrañas son adsorbidas (retenidas) por otras partículas y por la arena (es el medio filtrante). (Gonzalez, 2011)

En la retención física, la suciedad y sustancias orgánicas quedan atrapadas en la superficie de la arena fina, en esta el oxígeno disuelto y los nutrientes en el agua forman un afluyente biológico, llamada biopelícula, esta crecerá en la capa delgada, alrededor de cada grano de arena que está en la parte superior de la arena fina. Esta población está formada por algas, protozoos y bacterias. Cuando esta agua contaminada es vertida en el filtro, los organismos que residen en la biopelícula atrapan, digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua. (González., 2015)

3.8. Remoción de Turbiedad

El agua de pozo puede contener partículas de polvo finas en suspensión lo que causaría turbiedad, ya que estas mismas provienen de las llamadas aguas subterráneas. Cuando esta agua es adherida al filtro Kanchan, la mayoría de las partículas de hierro y la turbiedad son atrapadas encima de la arena final por medios físicos. Esto según investigaciones de campo realizadas en el MTI y ENPHO que

indica que la remoción de hierro y turbidez esta entre el 93% y 95% a más, esto dependerá de la estructura e higiene al momento de diseñar el filtro. (González, 2011)

3.9. Tasa de filtración

La tasa de filtración del KAF es de 15 a 20 L/h. Una tasa de filtración más alta puede comprometer la eficiencia de remoción de arsénico, hierro, patógenos y turbiedad. Una tasa de filtración baja (menor a 5L/h) puede ser un inconveniente para el usuario. La organización mundial de la salud recomienda como mínimo 7,5 L/por persona/día para la salud básica y la higiene. (Tommy Ngai, 2003)

3.10. Parámetros que influyen en la absorción de arsénico en el filtro Kanchan

3.10.1. Potencial de Hidrógeno

Las condiciones de solubilidad bajas son preferibles para la remoción de arsénico por adsorción, los efectos del pH también se relacionan con el potencial redox de las especies químicas que adquieren electrón. Un potencial redox mayor necesitará un pH bajo para desplazar a los iones de hierro y arsénico de su estado de equilibrio a sus formas más solubles. (Talavera, 2022)

3.10.2. Hierro

La eficiencia del Kanchan es directamente proporcional a la concentración de hierro que hay en el afluente y en los clavos. Las concentraciones altas de Fe (II) en la unidad de adsorción, el agua de los clavos, tiene correlación significativa con concentraciones bajas de arsénico en el efluente del filtro, es decir, con alto porcentaje de remoción de arsénico. Por lo tanto, la cantidad de hierro determina la remoción de arsénico, en principio, entre más hierro hay, más arsénico será adsorbido. Esto no debe incrementar la cantidad de hierro en el efluente del filtro, el cual no debe ser mayor de 0.3mg/L, según la norma CAPRE. (CAPRE, 1994)

3.10.3. Cantidad de arsénico en el afluente

En estudios anteriores, se ha demostrado que el Kanchan es eficiente adsorbiendo concentraciones altas de arsénico y que la cantidad de arsénico adsorbido es

directamente proporcional a la cantidad de hidróxido de hierro presente. Por tanto, para eliminar concentraciones altas de arsénico en el afluente, es necesario concentraciones altas de hidróxido de hierro. (Hidalgo J. M., 2020)

3.11. Factores que influyen en la remoción de arsénico del filtro

3.11.1. Aireación de los clavos

Para una buena absorción de arsénico, es necesario que los clavos estén en constante aireación para garantizar la producción de Fe (II), que combinado con agua producirá hidróxido férrico. Este adsorberá arsénico fuertemente a través de formación de complejos de esfera interna. Según estudios realizados en Nepal han demostrado efectividad en la remoción entre un 87% a 96%. (Jenisa Maylí García Flores J. J., 2020)

3.11.2. Espacio libre

Por eso es que se debe de respetar la distancia de 5cm entre la pana y el agua, para que tanto los clavos como las capas de arenas logren oxigenarse, y que permita el paso del agua que contiene la pana y logre filtrarse a la siguiente fase.

3.11.3. Agregados (grava, arena gruesa, arena fina)

- Grava

La utilizada en el filtro Kanchan debe ser de 6-15 mm de tamaño de partícula. El filtro requerirá la grava previamente lavada, esta funcionara como una cama del tubo recolector y al mismo tiempo evitará que las partículas de arena fina entren.

- Arena gruesa

Este requerirá de un tamaño de partícula entre 3-6mm, será previamente lavada, y esta evitará el paso de la arena fina hacia la grava.

- Arena fina

Esta es la arena principal, ya que retiene los coloides de hidróxido de hierro con arsénico, su granulometría debe ser menor de 1mm.

3.12. Hidráulica de tuberías

Según (Crisóstomo, R, Valenzuela, & Claudio), las tuberías pueden estar construidas por varios materiales. Poseen un diámetro que es aquel que define una sección o área para que circule el agua. Según sea el diámetro será la sección que dispone el agua para recorrer la tubería. Una tubería de diámetro menor tendrá también una menor sección que una de mayor diámetro.

La hidráulica de tuberías determinará la cantidad de agujeros se necesitan a partir de las ecuaciones 1,2,3 y 4:

Donde:

$$Ec.1 \quad A = \pi \frac{d^2}{4}$$

A= Área (m²)

π= 3.14159

d= Diámetro (m)

Donde:

$$Ec.2 \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Q= Caudal de agua (m³/s)

A= Área (m²)

V= Velocidad de flujo (m/s)

Donde:

k=Coeficiente adimensional de contracción de boquilla

V= Velocidad de flujo (m/s)

Donde:

h= Pérdida de carga (m)

Q= Caudal de agua (m³/s)

g= Aceleración gravitacional (m/s²)

Vol= Volumen de agua en la pana (m³)

$$Ec.4 \quad Q = \frac{Vol}{T}$$

T= Tiempo de retención (s)

Utilizando las ecuaciones 5,6,7,8,9 y 10 para determinar el diámetro del agujero en función del tiempo de retención, la carga de agua, altura de la pana y tres valores constantes; gravedad, k y π . Por prueba y error se determina el número de agujeros de la pana. A continuación, se desarrolla la fórmula aplicando las ecuaciones anteriores:

$$Ec.5 \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi d^2/4} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$Ec.6 \quad h = \frac{kV^2}{2g} = \frac{(k)\left(\frac{4Q}{\pi d^2}\right)^2}{2g} = \frac{\frac{16Q^2k}{\pi^2 d^4}}{2g} = \frac{16Q^2k}{2g\pi^2 d^4}$$

$$Ec.7 \quad 2g\pi^2 d^4 = 16Q^2k$$

$$Ec.8 \quad d^4 = \frac{16Q^2k}{2g\pi^2 h} = \frac{16\left(\frac{Vol}{T}\right)^2 k}{2g\pi^2 h}$$

$$Ec.9 \quad (d^4)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{16\left(\frac{Vol}{T}\right)^2 k}{2g\pi^2 h} \right)^{1/2}$$

$$Ec.10 \quad d^2 = \frac{4\left(\frac{Vol}{T}\right)(k)^{1/2}}{(2gh)^{\frac{1}{2}}\pi} = \frac{4\left(\frac{Vol}{T}\right)}{\left(2g\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{2}}\pi} = \left[\frac{4\left(\frac{Vol}{T}\right)}{\left(2g\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{2}}\pi} \right]^{\frac{1}{2}}$$

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Descripción del ámbito de estudio

Este estudio fue realizado en las instalaciones de Laboratorio UNI-PIENSA ubicado en el Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB) porque presto las condiciones aptas para el desarrollo de la propuesta de filtro.

Las muestras fueron procedentes del departamento de León, municipio de Santa Rosa del Peñón, comunidades Pita 1 y Pita 2 porque en estudios anteriores realizados por el programa PIENSA existe un registro de los altos índices de contaminación por arsénico en aguas subterráneas de las comunidades antes citadas.

La figura 2, muestra el primer sitio de recolección

Figura 2. Sitio de recolección 1



Nota: Google Earth, 2024.Elaboración propia

La figura 3, muestra el segundo sitio de recolección.

Figura 3. Sitio de recolección 2



Nota: Google Earth, 2024.Elaboración propia

4.2. Caracterización de la Investigación

4.2.1. Enfoque Cuantitativo

Según Hernández Sampieri (2018), esta investigación tiene un enfoque de carácter cuantitativo dado al conjunto de procesos de recopilación de datos y al análisis de los mismos, mediante las etapas de desarrollo investigativo en la obtención de resultados expresados en tablas y gráficos de datos.

4.2.2. Tipo de Estudio

En primera instancia es un estudio descriptivo, porque describe las etapas de diseño de filtro hasta la obtención de resultados en la evaluación de los prototipos, especificando las características y propiedades del fenómeno sometido análisis.

Por otro lado, también presenta características de estudio correlacional porque vincula las variables en estudio mediante el funcionamiento y la efectividad del prototipo mejor acertado.

4.2.3. Población y muestra

4.2.3.1. Población

La población correspondió a tres prototipos de diseño de filtros para la remoción de arsénico en aguas subterráneas provenientes de las comunidades Pita 1 y Pita 2.

4.2.3.2. Muestra

La muestra correspondió al prototipo que presento mejor efectividad de remoción de arsénico de las aguas subterráneas provenientes de las comunidades de Pita 1 y Pita 2.

4.3. Criterios de Inclusión y Exclusión

4.3.1. Criterios de Inclusión

Se incluyo solamente al prototipo de diseño que presento efectividad en los parámetros Fisicoquímicos de agua subterránea de conformidad a la normativa CAPRE.

4.3.2. Criterios de Exclusión

Se excluyo a los prototipos de diseño que no presentaron efectividad en los parámetros Fisicoquímicos de agua subterránea de conformidad a la normativa CAPRE.

4.4. Variables

4.4.1. Variables Dependientes

Concentración de arsénico, turbidez, concentración de hierro, color, eficiencia de remoción.

4.4.2. Variables Independientes

Potencial de Hidrogeno (pH), temperatura, concentración de arsénico inicial, Termotolerantes.

4.5. Operacionalización de las Variables

4.5.1. Descripción de las variables

La tabla 3, muestra la descripción de las variables en relación a los objetivos específicos planteados en la realización de este estudio.

Tabla 3. Descripción de las variables

Objetivos específicos	Variables conceptuales	Sub variables	Variable Operativa	Experimento de Laboratorio	Tipo de variable estadística cuantitativa	Categorías Estadísticas
Desarrollar tres prototipos modificados de filtro Kanchan a partir del modelo GEM505	-Grava: funciona como cama del tubo recolector. -Arena gruesa: esta evita el paso de la arena fina hacia la grava. -Arena fina: es el medio filtrante principal que retiene los coloides de hidróxido de hierro con arsénico	Desarrollo de los diseños de prototipos	Volumen específico en los agregados de los diferentes prototipos	✓	Cuantitativa	Continua
Seleccionar el prototipo con mejor desempeño en la remoción de arsénico de la comunidad Pita 1 y Pita 2	- Arsénico: es el medio filtrante principal que retiene los coloides de hidróxido de hierro con arsénico. -Turbidez: la medida del grado de transparencia que pierde el agua. -Color: es uno de los parámetros organolépticos que indican la calidad del agua de consumo humano. -pH: medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. -Coliformes: es una señal de que hay desechos fecales en el agua.	Evaluación de desempeño según la remoción	Determinación de concentración de Arsénico, turbidez, color, pH y coliformes	✓	Cuantitativa	Continua
Contrastar los parámetros Físicos y Químicos del agua obtenida en los tres prototipos en base a la norma CAPRE	Parámetros Físicos y Químicos: es una medida del estado del agua en relación con las necesidades de una o más especies, en relación con cualquier necesidad u objetivo humano.	Limites permisibles	Limites permisibles según la Norma CAPRE Arsénico: 0.01 mg/L Turbidez: 5 UNT Color: 15 Pt-Co (mg/L) pH: 6.5 – 8.5 Hierro: 0.3 mg/L	✓	Cuantitativa	Continua

Nota: Elaboración propia

4.6. Materiales y Métodos

4.6.1. Métodos

4.6.1.1. Construcción de los filtros

Los prototipos se construyeron, instalaron y operaron en el laboratorio de Operaciones Unitarias para facilitar la identificación de las variables a estudiar.

4.6.1.2. Prototipo 1, FILTRO KANCHAN MODIFICADO, aspecto estético y peso

Se utilizó un balde de 45 litros, con una altura de 46 cm, diámetro interno inferior de 31.52 cm y diámetro externo superior de 38 cm, una pana de 10 litros, 11 cm de altura, diámetro interno inferior de 33 cm y diámetro superior de 38 cm. En este prototipo la lámina PVC sustituyo los ladrillos.

En la tabla 4, se muestra los agregados que contenía el prototipo 1

Tabla 4. Volumen de los agregados

Volúmenes	Agregados
11 libras	clavos de 1" no galvanizado
20 litros	arena fina menor a 1 mm
5litros	arena gruesa entre 3 a 6 mm
6 litros	Grava de 6 a 15 mm
2 yardas	maya fibra de vidrio
120 ml	cloro al 0.5%
0.25 m	tela geotextil

Nota: Tomada de Propuesta de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

En la tabla 5, se muestra los materiales usados para el desarrollo del prototipo 1

Tabla 5. Materiales

Cantidad	Materiales
2	tubos PVC ½" diámetro x 10" L
1	tapón liso PVC de ½" de diámetro
1	codo liso 90°PVC se ½" de diámetro
1	Tapón hembra (liso PVC ½")
4	empaques de plástico de ½" de diámetro
2	llaves de chorro plásticas con adaptador de manguera
2 pie	manguera blanca de 16mm de diámetro
1	lámina PVC perforada

Nota: Tomada de Propuesta de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

4.6.1.3. Prototipo 2, FILTRO KANCHAN MODIFICADO, Reducción de volumen de arena fina (19L)

Se utilizó un balde de 45 litros, con una altura de 46 cm, diámetro interno inferior de 31.52 cm y diámetro externo superior de 38 cm, una pana de 10 litros, 11 cm de altura, diámetro interno inferior de 33 cm y diámetro superior de 38 cm. En este prototipo la lámina PVC sustituyo los ladrillos.

En la tabla 6, se muestra los agregados que contendrá el prototipo 2

Tabla 6. Volumen de los agregados

Volúmenes	Agregados
11 libras	clavos de 1" no galvanizado
19 litros	arena fina menor a 1 mm
5 litros	arena gruesa entre 3 a 6 mm
6 litros	grava de 6 a 15 mm
2 yardas	maya fibra de vidrio
120 ml	cloro al 0.5%
0.25 m	tela geotextil

Nota: Tomada de Propuesto de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

En la tabla 7, se muestra los materiales usados para el desarrollo del prototipo 2

Tabla 7. Materiales

Cantidad	Materiales
2	tubos PVC ½" diámetro x 10" L
1	tapón liso PVC de ½" de diámetro
1	codo liso 90°PVC se ½" de diámetro
1	Tapón hembra (liso PVC ½")
4	empaques de plástico de ½" de diámetro
2	llaves de chorro plásticas con adaptador de manguera
2 pie	manguera blanca de 16mm de diámetro
1	lámina PVC perforada

Nota: Tomada de Propuesta de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

4.6.1.4. Prototipo 3, FILTRO KANCHAN MODIFICADO, reducción de volumen de arena fina (15L)

Se utilizó un balde de 45 litros, con una altura de 46 cm, diámetro interno inferior de 31.52 cm y diámetro externo superior de 38 cm, una pana de 10 litros, 11 cm de altura, diámetro interno inferior de 33 cm y diámetro superior de 38 cm.

En la tabla 8, se muestra los agregados que contenía el prototipo 3

Tabla 8. Volumen de los agregados

Volúmenes	Agregados
11 libras	clavo de 1" no galvanizado
15 litros	arena fina menor a 1mm
5 litros	arena gruesa entre 3 a 6 mm
7 litros	grava de 6 a 15 mm
120 ml	cloro al 0.5%
0.25 m	tela geotextil

Nota: Tomada de Propuesto de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

En la tabla 9, se muestra los materiales usados para el desarrollo del prototipo 3

Tabla 9. Materiales

Cantidad	Materiales
2	tubos PVC ½" diámetro x 10" L
1	tapón liso PVC de ½" de diámetro
1	codo liso 90°PVC se ½" de diámetro
1	codo mixto 90°PVC se ½" de diámetro
1	Tapón hembra (liso PVC ½")
4	empaques de plástico de ½" de diámetro
2	llaves de chorro plásticas con adaptador de manguera
2	manguera blanca de 16mm de diámetro
15-20	Trozos de ladrillos de barro entre 2 y 3 pulgadas

Nota: Tomada de Propuesta de proyecto de Filtros Kanchan UNI-PIENSA (2024)

4.6.1.5. Determinación de la Eficiencia de los filtros

El tiempo de contacto que hubo entre los clavos oxidados y el agua, fue directamente proporcional al diámetro de los agujeros del fondo de la pana.

La eficiencia del filtro dependió mucho de la calidad de los materiales, proceso de montaje y control de los parámetros de cada etapa, por ello, para determinar la eficiencia del filtro se planteó la ecuación #11 en donde se demuestra en base a un valor porcentual que tan eficiente fue cada filtro.

Eficiencia global del filtro

$$Ec.11 \quad Ef.global = \frac{Entrada-salida}{Entrada} \times 100$$

4.7. Técnicas de muestreo en campo

1. Antes de tomar la muestra se flameo con un algodón humedecido de alcohol, para la esterilización de la boquilla del grifo donde se tomó la muestra.
2. Se abrió la llave y se dejó fluir, de tal manera de extraer toda el agua retenida dentro de la cañería, por un período de 30 segundos.
3. Se endulzó el recipiente recolector 3 veces con el agua de muestreo, y se almaceno de tal modo que no prevalecieran espacios de aire en el recipiente.
4. Una vez recolectada la muestra se preservó a una temperatura de 4°C y se custodio hasta su proceso de análisis.

4.8. Análisis de las muestras

Una vez que ingresaron las muestras a sus respectivos laboratorios, se procedió a iniciar los análisis, estas llegaron con una temperatura de preservación de 4°C, se siguieron los pasos del estándar método edición 2023.

4.8.1. Metales

4.8.1.1 Arsénico

Este procedimiento es únicamente para arsénico total, el cual fue transformado en su hidruro correspondiente, con boro hidruro de sodio en medio ácido, generando el gas arsina que se retuvo en el filtro de sulfuro de hidrógeno. En la siguiente tabla se muestran los reactivos que se utilizaron para la determinación de arsénico.

Tabla 10. Reactivos

Reactivos
Filtro de Sulfuro de Hidrogeno
Reactivo Ácido Sulfámico, A1
Tabletas de Boro Hidruro de Sodio, A2
Filtro de Retención de As (como arsina)
Ácido nítrico concentrado

Nota: Tomado de Standard Methods for the examination of water and wastewater (William C. Lipps, 2023)

En la tabla 11, se muestra los materiales a manipular en el proceso de construcción de los prototipos de filtro.

Tabla 11. Materiales

Materiales
Arsenator
Trampa triple
Slices rojo y negro
Erlenmeyer boca esmerilada, 125 ml
Frasco de almacenamientos de Filtro para Slices rojos y negros
Probeta Graduada de 50 ml
Pinza

Nota: Tomado de *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (William C. Lipps, 2023)

1. Primeramente, se encendió el Arsenator, y mientras calentaba se midieron 50ml de la muestra adicionándola a un Erlenmeyer de boca esmerilizada.
2. Se adicionó reactivo A1 y A2 al Erlenmeyer y se tapó inmediatamente con la trampa triple.
3. Se introdujo el Slices negro para calibrar el Arsenator, luego de retirarlos comenzaron a correr 20 minutos, que es el tiempo en que pasó en reposo el Erlenmeyer para que se dieran sus reacciones correspondientes.
4. Transcurrido el tiempo se retiró el Slices negro de la trampa triple y se introdujo al Arsenator, a los pocos segundos, el equipo mostró la concentración de arsénico que tenía la muestra analizada.

4.8.2. Físicos químicos

Estos análisis se realizaron para determinar la calidad del agua, una vez que pasaron por los filtros, y se verificó si estaban en el rango permisible según la norma CAPRE.

4.8.2.1 Hierro, método 1,10 Fenantrolina

La tabla 12. Muestra los reactivos que se utilizaron para la determinación de Hierro

Tabla 12. Reactivos

Reactivos
Ácido clorhídrico
Solución hidroxilamina
Acetato de amonio
Fenantrolina
Solución de hierro de reserva

Nota: Tomado de Standard Methods for the examination of water and wastewater (William C. Lipps, 2023)

Las muestras se atemperaron a condiciones del laboratorio, y se encendió el equipo HACH 30 minutos antes de usarlo, para que este calentará.

1. Se usaron Erlenmeyer de 125 ml marca Pyrex, estos se dejaron en lavado durante 10 minutos con la solución de hierro de reserva, pasado el tiempo se enjuagaron de 3 a 4 veces con agua destilada.
2. Luego se tomó en una probeta 50 ml de agua destilada y se añadieron en el Erlenmeyer lavado, se procedió a repetir esto, pero con la muestra a analizar.
3. Se agregaron 2 ml de ácido clorhídrico concentrado y 1 ml de hidroxilamina, se agitó circularmente y digesto hasta quedar aproximadamente 10 ml.
4. Se enfrió hasta temperatura ambiente y se adicionó 10 ml de acetato de amonio y 4 ml de Fenantrolina, se pasó a un balón Scharlau de 100 ml, se aforo y agitó hasta formar una mezcla homogénea, se dejó reposar 15 minutos.
5. Se procedió a leer en el equipo HACH, en el programa "Hierro baja-alta", en las celdas de vidrio de 1 cm. (William C. Lipps, 2023)

4.8.2.2 Turbiedad, método 2130B

El método nefelométrico (NTU) a emplearse en la determinación de la turbiedad se basó en la comparación de la intensidad de la luz dispersa por la muestra bajo condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia. (William C. Lipps, 2023)

Se atemperaron las muestras a las condiciones ambientales del laboratorio, y se procedió a encender el turbidímetro y esperar un período de calentamiento de 30 minutos.

1. Se realizó la calibración del equipo con el kit de calibración siguiendo el instructivo IT-5.4.1. E.03.01
2. Se procedió a agitar vigorosamente la muestra, se llenó la celda con la muestra hasta la marca aproximadamente 25 ml, se eliminó interferencia limpiando con lanilla la superficie de la celda.
3. Se leyó la turbiedad y se anotó.

4.8.2.3. Color, verdadero y aparente, método 2120C

Se encendió el equipo HACH 30 minutos antes de usarlo, para mientras pasó el tiempo se procedió a trabajar en las muestras. Primeramente, se filtraron aproximadamente 50 ml de agua destilada, y se agregaron 10 ml en las celdas cuadradas que son para color.

Para la muestra se filtró 50 ml y se adicionó a la celda 10 ml, rotulando esta como color verdadero, luego tomar 10 ml de la muestra directa y se rotulo como color aparente. Seguidamente se pasó a leer en el equipo HACH en el programa 465 nm, se auto verifico con el agua destilada y luego se leyó la muestra, por último, se anotaron los resultados.

4.8.3 Patógenos

Para la determinación de patógenos el procedimiento a seguido fue la fermentación en tubos múltiples, este se utilizó para estimar la densidad de contaminación de bacterias y determinar la fuente de contaminación aplicando estándares de calidad

del agua. Los resultados de este método se reportaron en términos de Número Más Probable (NMP) de microorganismos existentes. (William C. Lipps, 2023)

Primero se realizó la prueba presuntiva organizando una gradilla con tubos de ensayo que contenían Caldo Lauril Triptosa, rotulados con su código correspondiente y la dilución que se trabajó, en nuestro caso fue agua subterránea con las diluciones de 10 ml, 1 ml y 10^{-1} ml, una vez realizada las inoculaciones correspondientes se llevaron a incubación durante 24hrs - 48hrs. Pasado este tiempo se procedió con los tubos contaminados a la prueba confirmativa (Coliformes Totales, Coliformes Fecales y E-Coli) se emplea Caldo Lactosado Verde Brillante Bilis 2%. (William C. Lipps, 2023)

4.8.3.1 Coliformes Totales

1. En esta prueba se usó Caldo Lactosado Verde Brillante Bilis 2%, se marcaron los tubos correspondientes de los tubos positivos del CLT de la prueba presuntiva.
2. Se agitó muy bien cada tubo positivo en el vortex y con un asa de níquel-cromo esterilizada, se extrajeron de 2-3 asadas del material y se inocularon en el tubo de CLVBB.
3. Después de inocular los tubos positivos, se procedió a incubar en un período de 24hrs - 48hrs.
4. Se leyeron los tubos positivos y se reportaron los resultados. (William C. Lipps, 2023)

4.8.3.2. Termotolerantes

1. Para esta prueba se utilizó el medio EC, se marcaron los tubos de EC correspondientes a cada tubo positivo de la prueba confirmativa.
2. Se agitó muy bien el tubo positivo con el vortex y con un asa de níquel-cromo esterilizada, se extrajeron de 2-3 asa del material y se inocularon en los tubos de EC.
3. Luego de inocular los tubos positivos, se procedió a baño maría de 24hrs - 48hrs.

4. Los tubos positivos se proyectaron con lampara ultravioleta, aquellos que se tornaran de color blanco se anotarían como positivos, y se reportaron los resultados. (William C. Lipps, 2023)

4.8.3.3. Escherichia coli

1. En la aplicación de esta prueba se utilizó el medio ECM al 2%, se marcaron los tubos de ECM correspondientes a cada tubo positivo de la prueba confirmativa.

2. Se agitó muy bien el tubo positivo con el vortex y con un asa de níquel-cromo esterilizada, se extrajeron de 2-3 asa del material y se inocularon en los tubos de ECM.

3. Luego de inocular los tubos positivos, se procedió a baño maría de 24hrs-48hrs.

4. Los tubos positivos se proyectaron con lámpara ultravioleta, aquellos que se tornaran de color blanco se anotaron como positivos, y se reportaron los resultados. (William C. Lipps, 2023)

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Desarrollo de tres prototipos modificados de filtro kanchan a partir del modelo GEM505

Para el desarrollo de los prototipos se realizaron los parámetros de diseño según el modelo propuesto de filtro Kanchan GEM505, tomando en cuenta la altura del recipiente de almacenaje del material filtrante, la granulometría específica de cada agregado y la oxidación correcta en el material de retención del metal en estudio.

En la construcción de los prototipos se tomaron en cuenta los parámetros de diseño propuestos por (Hidalgo G. e., 2020), en la tabla 13, se muestran los criterios y a partir de ellos se estipularon las condiciones de operacionalización.

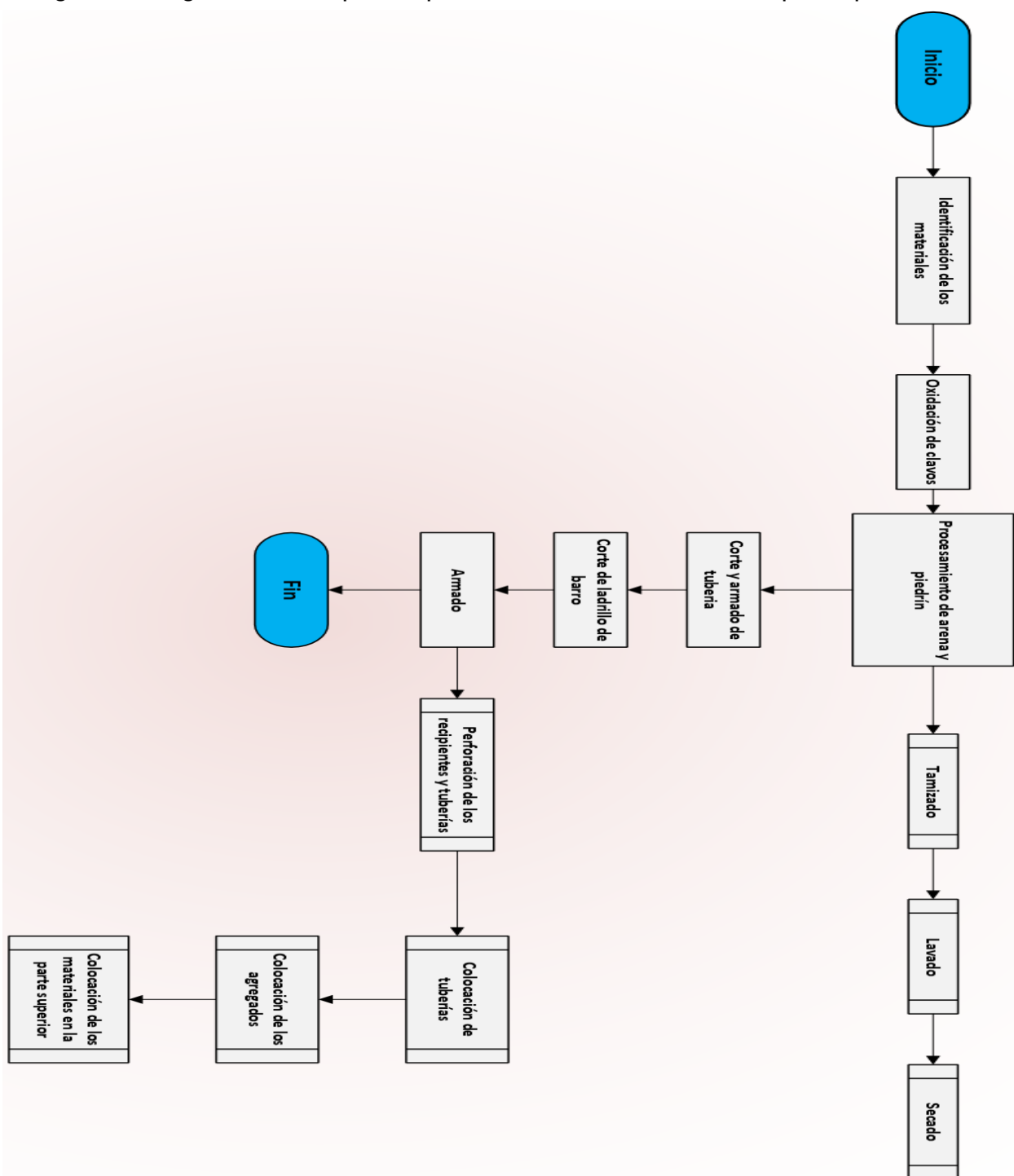
Tabla 13. Criterios de selección para agregados

Agregado	Granulometría
Grava	6 – 15 mm
Arena gruesa	3 – 6 mm
Arena fina	<1mm

Nota: Parámetros de diseño implementados en los prototipos. Tomada de (Hidalgo G. e., 2020)

En la figura 4, se muestra la descripción del proceso para el desarrollo de los prototipo

Figura 4. Diagrama de bloque del proceso de elaboración de los prototipos



Nota: Elaboración propia

La manipulación del material de retención se hizo mediante una técnica de oxidación aerobia que, consistió en sumergir en una solución de agua libre de sales por un período prolongado de siete días consecutivos, posterior a ello se expuso a un proceso de secado en un horno de convección a una temperatura de 70°C por dos horas.

Estos procesos se realizaron con la finalidad de evitar la contaminación cruzada por parte del material de retención y la muestra de la matriz en estudio. La figura 5, se muestra los clavos galvanizados antes y después de la oxidación

Figura 5. Clavos Galvanizados



Nota: Proceso de oxidación del material de retención

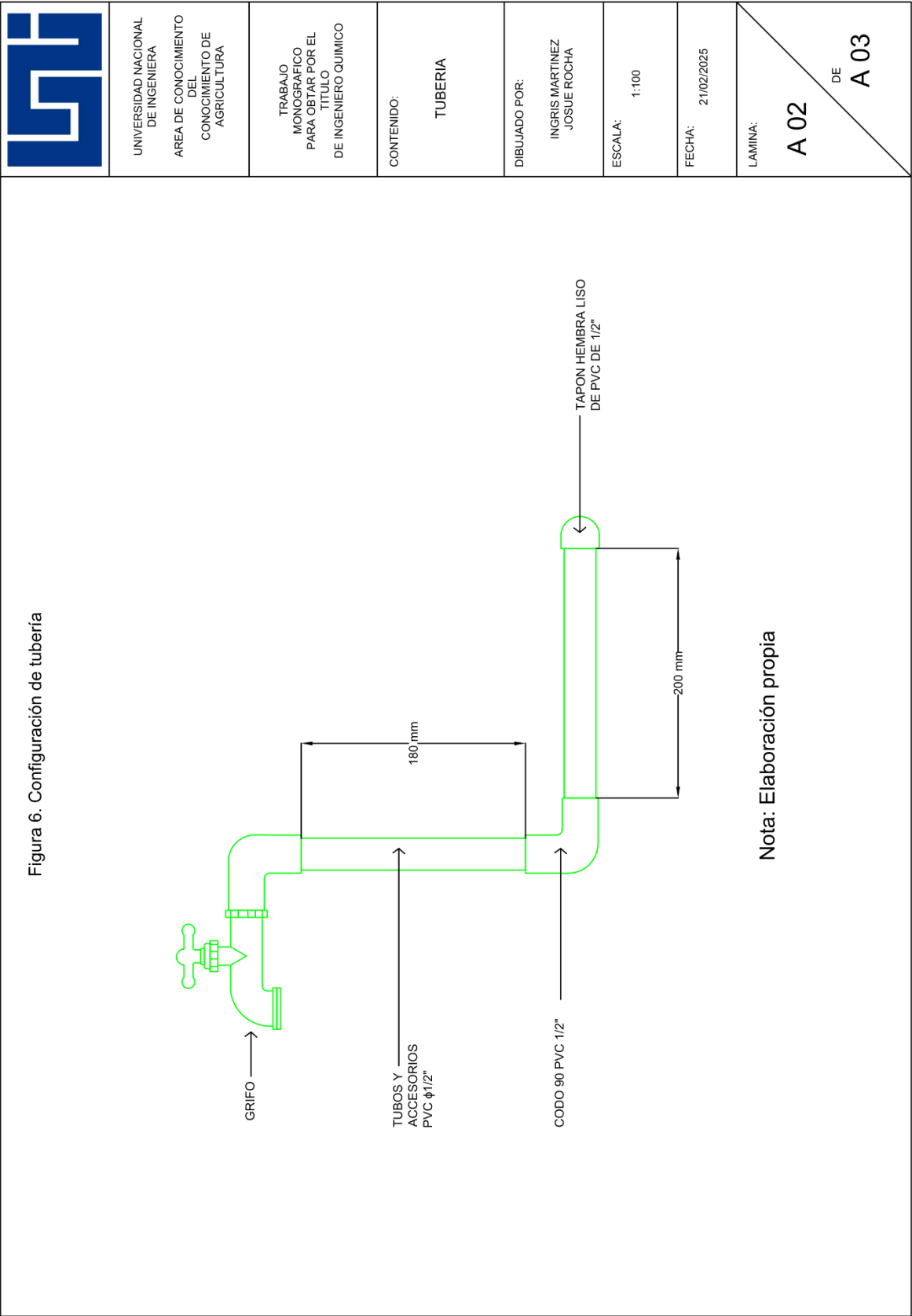
Para el autor (Hidalgo G. e., 2020) los valores de las granulometrías fueron estipulados según la función en específica de cada material de relleno, por ejemplo, la arena fina es el primer lecho de filtración en el que quedan retenidas la mayor parte del oxido que pueda desprenderse del material oxidativo, por otro lado, la arena gruesa y la grava son los que retuvieron el paso de la arena fina para que las tuberías no se saturaran.

Configuración de tuberías

El recipiente de almacenaje del material filtrante se le perforaron orificios con un diámetro de $\frac{1}{2}$ "a una altura de 25 cm y se conformó un sistema de tubería compuesto por: grifo y empaque de hule, lo que refiere a la tubería interior estaba integrada por: codo de 90°, tubo PVC industrial de $\frac{1}{2}$ " (vertical con 29 cm y horizontal con 28 cm), adaptador y tapón hembra.

Una vez dimensionados los tubos, se procedió a la unión de estos con pegamento de policloruro de vinilo (PCV). A continuación, en la figura 6, se muestra cómo se construyó la tubería interna de los filtros evaluados.

Figura 6. Configuración de tubería



El tiempo de contacto del agua es directamente proporcional al diámetro de los agujeros del fondo del recipiente, para ello, en estudios anteriores se hicieron los cálculos del diámetro y número de agujeros en función del tiempo de retención (Castillo R. , 2011), llegando a la conclusión que los diámetros del recipiente de almacenaje del material oxidado fueron de 2 mm, con dos orificios en espacio de 6 cm –12 cm de distancia, estos fueron proporcional a la tubería interior horizontal.

En la figura 7, se muestra la perforación de la pana con un taladro.

Figura 7. Perforación de agujeros



Nota: Proceso de perforación del recipiente de retención, elaboración propia

Siguiendo los parámetros de filtro Kanchan GEM505, se propuso hacer una innovación en los agregados de lechos filtrantes. La tabla 14, se muestra el volumen que se añadió a cada prototipo.

Tabla 14. Volúmenes de los agregados para cada prototipo

Prototipos	Arena Fina(L)	Arena Gruesa(L)	Grava(L)
GEM505	19	4	6
Prototipo 1	17	5	5
Prototipo 2	19	5	5
Prototipo 3	15	4	7

Nota: Valores de diseño de prototipos basados en Filtro Kanchan GEM505.
Elaboración propia

Otro punto a innovar fue la tubería, teniendo en cuenta que en la mayoría de casas hay niños y son curiosos, se tuvo la idea de colocar la tubería por dentro del recipiente de almacenaje del material filtrante para evitar cualquier percance, dejando por fuera solamente la llave de chorro. En la figura 8 se muestra la tubería interna.

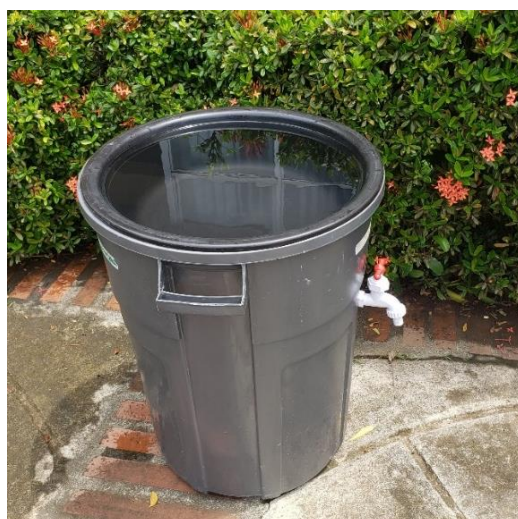
Figura 8. Tubería Interna



Nota: Instalación de la tubería interna

Se procedió a hacer la prueba y error una vez instalada la tubería, para determinar si el agua podía filtrarse, y si los orificios del recipiente del material oxidativo tenían un buen pase del agua. En la figura 9, se muestra la prueba y error de filtración de agua en ambos recipientes.

Figura 9. Prueba y error para filtración de agua



Nota: Puesta en marcha de prototipo

Se hizo el corte de los ladrillos con un diámetro alrededor de 10 cm promedio, se cortó el PVC con un diámetro de 33 cm para que esta calzara con el recipiente del material oxidativo y se le perforaron orificios de 2 cm de diámetro, ambos materiales se usaron para evitar que los clavos pudieran flotar. En la figura 10, se muestra los dos materiales usados para la parte superior de estos filtros.

Figura 10. Materiales usados en la parte superior del filtro



Nota: Materiales de soporte del medio de retención

Por último, se añadieron los agregados con sus volúmenes específicos en cada prototipo, y se colocó el recipiente con el material oxidado encima del recipiente de lecho de filtración, para realizar un lavado completo de estos, con agua de grifo, y luego poner a prueba con el agua de la comunidad. La figura 11 muestra los cuatro prototipos en uso.

Figura 11. Prototipos en validación



Nota: Prototipos en proceso de validación

Finalizada la prueba y error con los ladrillos y el PVC, llegamos a la conclusión que estos materiales no dan ningún aporte a los filtros, de lo contrario, los ladrillos expulsaban mucho color y esto hizo que los resultados se alteraran en los análisis de turbiedad y hierro, por esto, no se siguieron usando y los cuatro prototipos quedaron solamente con el material oxidado dentro del recipiente.

5.2. Selección del prototipo con mejor desempeño en la remoción de arsénico de la comunidad Pita 1 y Pita 2

Para proceder con el análisis de arsénico, se trabajó con una soluciones madre de 1 mg/L As a partir de ella se preparó una solución intermedia de 10 µg/L As para poder obtener resultados confiables, de la solución intermedia se preparó una solución hija de una concentración de 1 µg/L As como parte de los controles de calidad en los ensayos realizados manteniendo un patrón por triplicado de la matriz en estudio garantizando que los resultados prevalezcan dentro de los tres rangos de concentraciones establecidas en las soluciones de control. En la tabla 15, se muestran los valores iniciales y finales de cada prototipo.

Tabla 15. Resultados de Arsénico

Pita 1 con concentración inicial de 39 mg/L				
Filtros	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Norma CAPRE (mg/L)
GEM505	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Prototipo 1	<0.002	<0.002	<0.002	
Prototipo 2	<0.002	<0.002	<0.002	
Prototipo 3	<0.002	<0.002	<0.002	
Pita 2 con concentración inicial de 41 mg/L				
GEM505	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Prototipo 1	<0.002	<0.002	<0.002	
Prototipo 2	<0.002	<0.002	<0.002	
Prototipo 3	<0.002	<0.002	<0.002	

Nota: Concentraciones del ensayo de determinación de arsénico en los prototipos.
Elaboración propia

En la figura 12, se muestran los Slices con la muestra antes y después que pasarán por el filtro, el círculo amarillo índico la presencia de arsénico, es decir, de la muestra antes de ser tratada, mientras la que no tiene color mostró ausencia de este, que fue el agua ya tratada.

Figura 12. Slices con muestra



Nota: Análisis de arsénico antes y después del proceso de filtración

Los prototipos removieron el 100% del arsénico que contenían las aguas subterráneas en estudio, por tanto, para la selección del filtro se tomó en cuenta los parámetros físicos y químicos para elegir el que mejor se ajuste según la normativa CAPRE.

Comparación de porcentajes de remoción de arsénico en estudios anteriores y el estudio actual. En la tabla 16, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 16. Resultados de Arsénico en estudios anteriores

Estudios Anteriores	Porcentaje de Remoción
Remoción de arsénico del agua para consumo humano utilizando filtros Kanchan en la comunidad de Kimuna	79.57%
Comportamiento de tecnología Kanchan para la remoción de arsénico en la comunidad Mina la India	97.75%
Comportamiento de tecnología Kanchan para la remoción de arsénico en la comunidad Linda Vista, Santa Rosa del Peñón	97%
Evaluación de Filtros Kanchan modificados para la remoción de arsénico en aguas subterráneas de la comunidad Pita 1 y Pita 2 del municipio de Santa Rosa del Peñón, León	100%

Nota: Comparación del porcentaje de remoción de arsénico en distintas comunidades usando filtros Kanchan. Elaboración propia

5.3. Contrastación de los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos del agua obtenida en los tres prototipos en base a la Norma CAPRE

5.3.1. Color verdadero y aparente

Para los análisis de color verdadero y aparente no se realizó una curva de calibración porque el ensayo se realizó con un equipo de campo, es decir método colorímetro, para verificar los resultados se realizó un triplicado y así obtener datos más exactos.

En la tabla 17, se muestran reflejados los resultados que se obtuvieron en el triplicado de los análisis de color verdadero.

Tabla 17. Resultados de color verdadero

Pita 1, Análisis de Color Verdadero mg/L(Pt-Co)						
Filtros	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Valor recomendado Norma CAPRE	Valor admisible CAPRE	máximo Norma
GEM505	3	3	3	1 mg/L	15 mg/L	
Prototipo 1	2	2	2			
Prototipo 2	2	2	2			
Prototipo 3	<1	<1	<1			
Pita 2, Análisis de Color Verdadero mg/L(Pt-Co)						
GEM505	2	2	2	1 mg/L	15 mg/L	
Prototipo 1	2	2	2			
Prototipo 2	2	2	2			
Prototipo 3	<1	<1	<1			

Nota: Resultados de ensayo de color verdadero a los prototipos. Elaboración propia

En la tabla 18, se muestran reflejados los resultados que se obtuvieron en el triplicado de los análisis de color aparente.

Tabla 18. Resultados de color aparente

Pita 1, Análisis de Color Aparente mg/L(Pt-Co)						
Filtros	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Valor recomendado Norma CAPRE	Valor admisible CAPRE	máximo Norma
GEM505	4	4	3	1 mg/L	15 mg/L	
Prototipo 1	5	6	5			
Prototipo 2	6	4	5			
Prototipo 3	2	2	2			
Pita 2, Análisis de Color Aparente mg/L(Pt-Co)						
GEM505	4	4	2	1 mg/L	15 mg/L	
Prototipo 1	2	3	2			
Prototipo 2	3	2	2			
Prototipo 3	2	3	2			

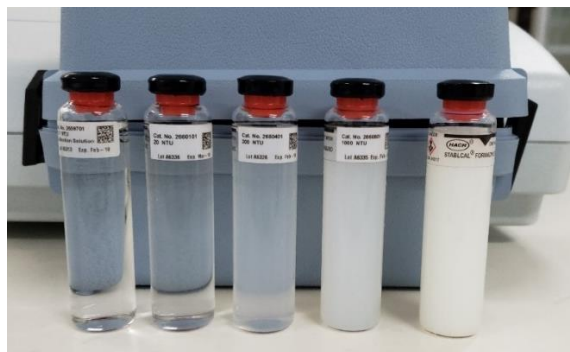
Nota: Resultados de ensayo de color aparente a los prototipos. Elaboración propia

Finalizado los análisis concluimos que el prototipo que mejor se ajusta a la normativa CAPRE es el Prototipo 3.

5.3.2. Turbiedad

Para la turbiedad se realizó una verificación con los estándares y así obtener datos con mejor exactitud y confiabilidad. La figura 13, muestra los estándares usados.

Figura 13. Estándares para verificación de HACH



Nota: Estándares de verificación para equipo HACH

La turbiedad también tuvo un triplicado para verificar los resultados. En la tabla 19, se muestran los valores obtenidos.

Tabla 19. Resultados de Turbiedad

Pita 1, Turbiedad (UNT)					
Filtros	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Valor recomendado Norma CAPRE	Valor máximo admisible Norma CAPRE
GEM505	4.8	4.2	2.1	1 UNT	5 UNT
Prototipo 1	3.9	4.1	3.9		
Prototipo 2	3.2	3.7	3.1		
Prototipo 3	2.1	1.8	0.9		
Pita 2, Turbiedad (UNT)					
GEM505	5.2	3.1	2.0	1 UNT	5 UNT
Prototipo 1	4.3	3.2	2.7		
Prototipo 2	3.5	5.3	2.5		
Prototipo 3	2.2	1.9	0.8		

Nota: Elaboración propia

El prototipo número tres es el que mejor se ajusta según los límites permisibles de la norma CAPRE para consumo humano.

5.3.3. Hierro

Para realizar el análisis de Hierro, primero se verificó que prototipo cumplía con los parámetros admisibles de turbiedad y color según la norma CAPRE debido a que estos valores son los que indican el alto o bajo porcentaje de hierro presente en el

agua, obteniendo el filtro número 3 que mejor se ajustó a los rangos establecidos por la norma.

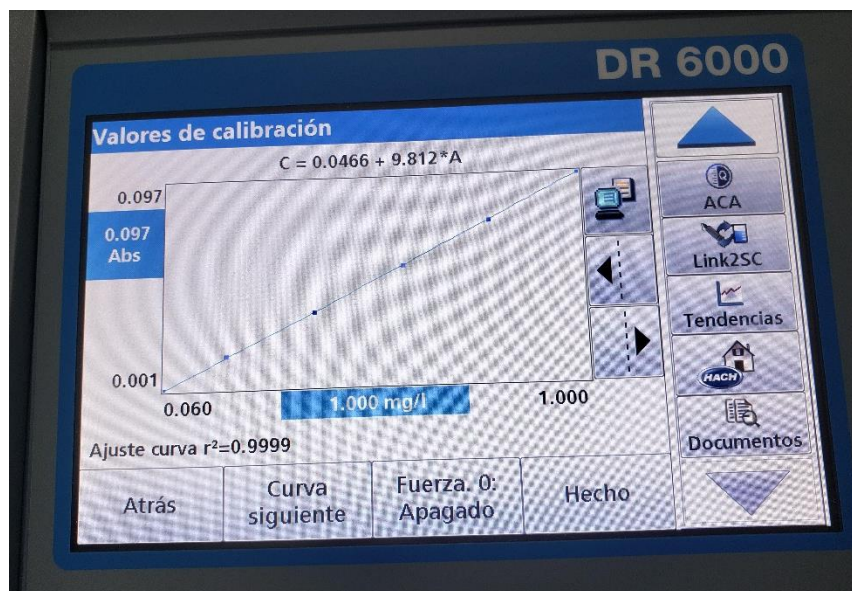
Se realizó una curva de calibración en el Espectrofotómetro para obtener resultados más confiables. Se tomaron dos ampollas de solución madre certificadas que cada una contenía 10 ml y se aforo en 50 ml de agua destilada para obtener una solución de 10 mg/L. Se hizo con cinco patrones de referencia variando volumen 1 y concentración 2, manteniendo constante el volumen 2 y concentración 1.

Usando la ecuación

$$\text{Ec. 12 } C_1V_1=C_2V_2$$

Se obtuvieron los datos para realizar la curva de calibración y se insertaron los valores en el espectrofotómetro obteniendo una curva como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Curva de Calibración para Fe



Nota: Elaboración propia

Realizando un triplicado para hierro, se obtuvieron los siguientes valores reflejados en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados de Hierro

Pita 1, Hierro (mg/L)					Valor recomenda do NORMA CAPRE	Valor máximo admisible Norma CAPRE
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3			
Prototipo 3	0.28	0.26	0.21	-		0.3
Pita 2, Hierro (mg/L)					Valor recomenda do NORMA CAPRE	Valor máximo admisible Norma CAPRE
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3			
Prototipo 3	0.23	0.25	0.21	-		0.3

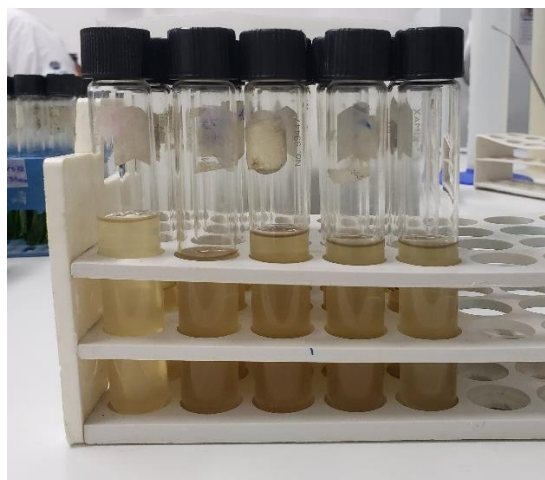
Nota: Elaboración propia

Se llegó a la concentración estipulada según la norma CAPRE para que estas aguas puedan ser consumidas.

5.3.4. Coliformes

Se realizó un triplicado para descartar alguna contaminación cruzada por las bacterias, obteniendo todas estas negativas en coliformes totales, Termotolerantes y ecoli. En la figura 15 se muestra la prueba presuntiva, a estas se le hicieron diluciones de 10 ml, 1 ml y 10^{-1} ml con un triplicado para cada muestra.

Figura 15. Prueba Presuntiva



Nota: Diluciones de las muestras

Pasada las 24 horas se inició con la siembra para determinar si había crecimiento bacteriano, tomando todas las medidas de higiene y seguridad, se sembraron las tres repeticiones, y transcurridas otras 24 horas más las muestras no presentaron ningún crecimiento de bacterias tanto para Termotolerantes, Totales y Ecoli, dejando transcurrir así las 48 horas, pero las muestras no tuvieron cambio alguno, por tanto, el agua estuvo libre de presencia de estos microorganismos.

Figura 16. Prueba confirmativa



Nota: Resultados de Ecoli y Termotolerantes

Figura 17. Prueba confirmativa en medio de cultivo verde brilla



Nota: Resultados para Coliformes Totales

Tabla 21. Parámetros bacteriológicos

Parámetro	Resultado	Valor máximo admisible
Coliformes Totales	Negativo	Negativo
Termotolerantes	Negativo	Negativo
Ecoli	Negativo	Negativo

Nota: Elaboración propia

Recapitulando la ecuación número 11 que es para determinar la eficiencia del filtro

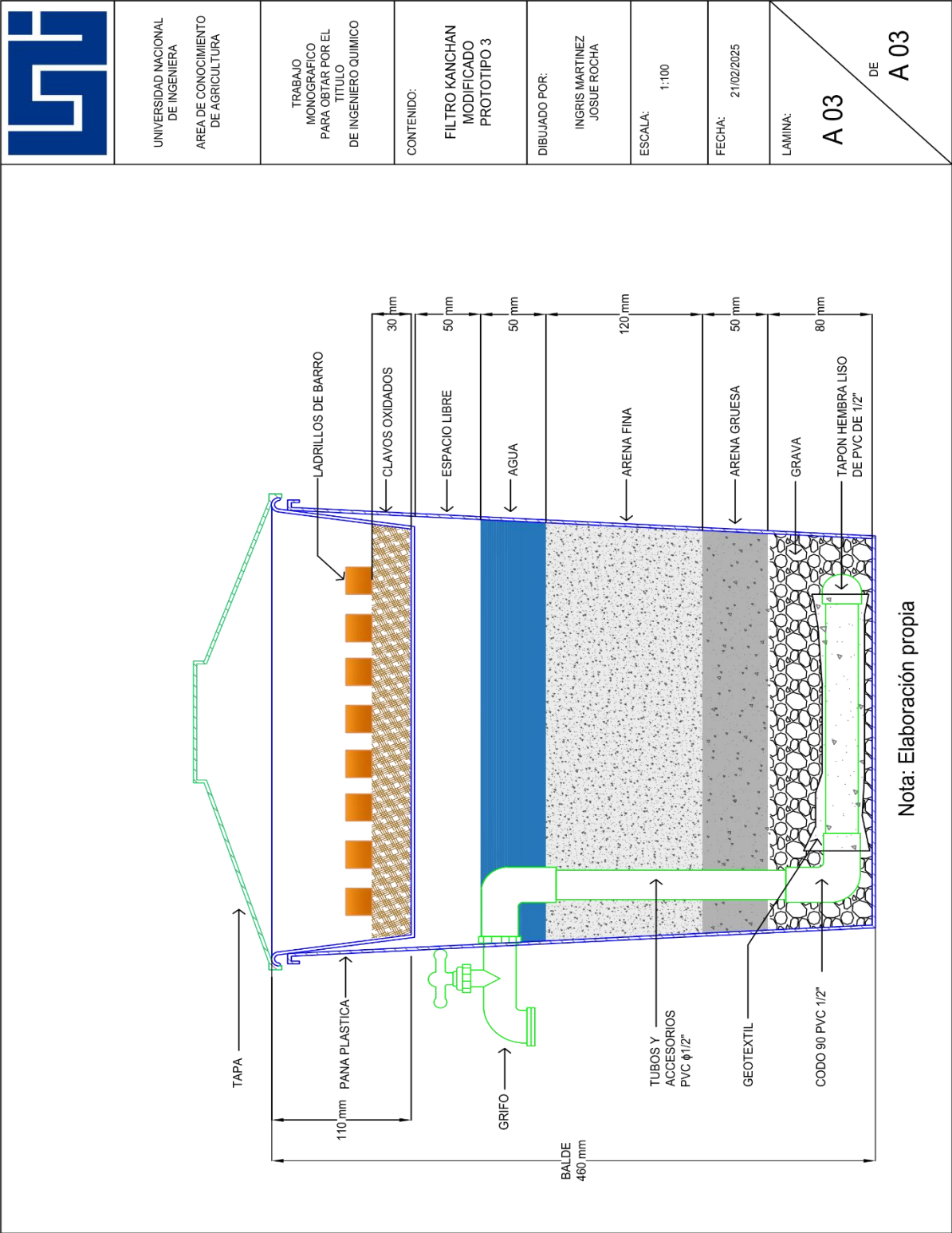
$$Ec. 11 \quad Ef. global = \frac{Entrada - salida}{Entrada} \times 100$$

Tabla 22. Eficiencia de remoción en los filtros

Filtro	Análisis	Comunidad	Eficiencia (%)
Prototipo 1	Arsénico	Pita 1	100
		Pita 2	100
Prototipo 2		Pita 1	100
		Pita 2	100
Prototipo 3		Pita 1	100
		Pita 2	100
Prototipo 4		Pita 1	100
		Pita 2	100

Nota: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el diseño del filtro modificado prototipo 3, siendo este el seleccionado para poder utilizarse en las comunidades-
 Figura 18. Filtro Kanchan Modificado Prototipo 3



VI. CONCLUSIONES

La eficiencia de remoción de arsénico del 100% para los tres prototipos modificados en ambas comunidades, evidencia que es un método seguro para realizar una completa remoción.

Se logró demostrar que los filtros Kanchan modificados pueden ser construidos con materiales locales, aptos para cumplir con la función de remover arsénico en aguas subterráneas y cumplir con los límites permisibles que especifica la norma CAPRE.

Realizando una serie de triplicados para el análisis de arsénico en los tres prototipos, tuvieron un buen desempeño de remoción de As, pero, aun mostrando este comportamiento las aguas no podían ser para consumo, por esto, se procedió a realizar otros ensayos para cumplir con las normas de calidad del agua.

Los análisis realizados de turbiedad, hierro, color verdadero y color aparente a los tres prototipos modificados para determinar cuál de estos se acercaba más al cumplimiento de los límites permisibles que nos especifica la norma CAPRE, por tanto, el resultado fue que el prototipo 3 se ajustó a los valores que estipula la norma para los análisis físico químicos y, análisis microbiológicos una vez seleccionado el prototipo, y no presentó crecimiento alguno de microorganismos, cumpliendo con los parámetros que deben de tener para que estas puedan ser de consumo humano.

En términos generales, el filtro Kanchan modificado es una solución efectiva, económica y accesible para el tratamiento del agua en zonas rurales afectadas por la contaminación por arsénico. La adaptación de este sistema a las condiciones locales, así como la mejora en su capacidad de retención de arsénico, lo convierte en una herramienta crucial para combatir los riesgos sanitarios en esta región. Con su implementación, se espera una reducción significativa de enfermedades relacionadas con el agua contaminada, lo que llevará a una mejora notable en la salud y bienestar de las comunidades beneficiadas. Este filtro no solo ofrece una solución técnica a un problema ambiental, sino que también fortalece la resiliencia de las comunidades al empoderarlas con una herramienta accesible que contribuye a la sostenibilidad y a la mejora de la calidad de vida en el largo plazo.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar programas de concientización con persona especializadas sobre el tema de tal manera que se les explique detalladamente a los pobladores el riesgo de consumir aguas contaminadas por arsénico, y así mismo brindar una capacitación práctica a las comunidades para que dominen el uso de los filtros Kanchan.
- Desarrollar un manual sobre la estructuración y el armado de los filtros para mayor claridad, donde incluya todas las especificaciones técnicas que conlleva a tener una buena eficiencia.
- Recomendamos el prototipo número 3 para uso domiciliario, pues, este demostró tener mejor desempeño de remoción en todos los análisis que se realizaron anteriormente cumpliendo con los límites permisibles que nos especifica la norma CAPRE según la calidad del agua para consumo humano.
- Realizar estudios más a profundidad sobre la aceptación social del filtro Kanchan modificado en el medio rural a través de la implementación de un proyecto piloto que puede ser evaluado por un espacio de tiempo de 1 año, que permita conocer su grado de colmatación y de esta forma darle mantenimiento.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Alina Gómez Cuevas. (09 de 2007). Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/6951/1/t548.pdf>
- Barragne Bigot, P. (2004). Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua. Managua UNICEF .
- CAPRE, N. R. (1994). Normas de calidad del agua para el consumo humano. https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20Generales/ACTUALIZACION%20051217/Normas_oficiales_para_la_calidad_del_agua_nicaragua.pdf.
- Castillo, R. (Junio de 2011). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250144666.pdf>
- Castillo, R. B. (06 de 2011). COMPORTAMIENTO DE TECNOLOGÍA KANCHAN Y SONO FILTER PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS CON CONCENTRACIONES DE 60 µg/L A 80 µg/L EN LA COMUNIDAD DE LINDA VISTA DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DEL PEÑÓN. .
- Castillo, R. B. (31 de 05 de 2011). CORE. Obtenido de CORE: https://core.ac.uk/outputs/250144666/?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- COMPORTAMIENTO DE TECNOLOGÍA KANCHAN Y SONO FILTER PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CONCENTRACIONES ENTRE 80 µg/L - 100 µg/L, EN LA COMUNIDAD MINA LA INDIA. (2011). Ariel Aragón González. .
- Crisóstomo, R, D. J., Valenzuela, D. A., & Claudio. (s.f.). HIDRAULICA DE TUBERIAS. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/516154630/Hidraulica-de-Tuberias-Jorge-Jara>
- Gonzalez, A. A. (mayo de 2011). Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/2053/1/PIENSA05.pdf>
- González, A. A. (03 de 06 de 2011). COMPORTAMIENTO DE TECNOLOGÍA KANCHAN Y SONO FILTER PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CONCENTRACIONES ENTRE 80 µg/L - 100 µg/L, EN LA COMUNIDAD MINA LA INDIA. COMPORTAMIENTO DE TECNOLOGÍA KANCHAN Y SONO FILTER PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CONCENTRACIONES ENTRE 80 µg/L - 100 µg/L, EN LA COMUNIDAD MINA LA INDIA., pág. 33.

- González., A. A. (2015). COMPORTAMIENTO DE TECNOLOGÍA KANCHAN Y SONO. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/2053/1/PIENSA05.pdf>
- health, D. o. (15 de 06 de 2023). Obtenido de <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/water/docs/wells/waterquality/arsenicspan.pdf>
- Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la investigación. Sede Académica La Paz, Colombia: McGrawHill.
- Hidalgo, G. e. (octubre de 2020). Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/4001/1/95284.pdf>
- Hidalgo, J. M. (Octubre de 2020). REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/4001/1/95284.pdf>
- Jenisa Maylí García Flores, J. J. (10 de 2020). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/479892407.pdf>
- Jenisa Maylí García Flores, J. J. (2020). REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO FILTROS KANCHAN EN LA COMUNIDAD DE KINUMA – LA LIBERTAD CHONTALES. 7.
- Lillo, J. (25 de 05 de 2020). iaguas. Obtenido de iaguas: <https://www.iagua.es/blogs/javier-lillo/contaminacion-geogenica-arsenico-aguas-subterraneas#:~:text=En%20las%20aguas%20subterr%C3%A1neas%20se,ligado%20a%20procesos%20geoqu%C3%ADmicos%20naturales.>
- M. Esparza, M. M. (1998). semanticscholar. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/XXVI-CONGRESO-INTERAMERICANO-DE-INGENIERIA-Y-TEMA-%3A-Esparza-Medina/e49641fbe6745c25fb3ac6700a81696570d8019c>
- Pérez, F. M. (03 de 2013). Scielo. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200005
- propia, E. (24 de 06 de 2024). google earth. Obtenido de google earth: <https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>
- prtr españa. (s.f.). Obtenido de Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes: <https://prtr-es.es/Ar-Arsenico-y-compuestos,15604,11,2007.html>

Revista Nicaragua CNU. (13 de 01 de 2020). Obtenido de Revista Torreón Universitario:

<https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/torreon/article/view/6076#:~:text=Estudios%20previos%20han%20revelado%20que,termales%2C%20gasas%20y%20fluidos%20geot%C3%A9rmicos>

Talavera, B. y. (01 de 12 de 2022). Obtenido de <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/elhigo/article/view/7909>

Tommy Ngai, M. I. (07 de 2003). THE ARSENIC BIOSAND FILTER (ABF) PROJECT: DESIGN OF AN APPROPRIATE HOUSEHOLD DRINKING WATER FILTER FOR RURAL NEPAL. Nepal: Rural Water Supply and Sanitation Support Programme Butwal.

Ulloa, J. (marzo de 2015). Obtenido de https://prezi.com/rhr9k__v0x0j/especificaciones-tecnicas-y-procedimiento-de-construccion-en-filtros-kanchan-gem505/

UNI, P. (2016). Slideplayer. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/5843962/>

William C. Lipps, E. B. (2023). Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington DC: American Water Works Association.

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Viales para realizar curva de Hierro	50
Anexo 2. Estándares de verificación para el Arsenator	50
Anexo 3. Arsenator.....	51
Anexo 4. Kit para determinación de Arsénico	51
Anexo 5. Taladro para la perforación de las tuberías.....	52
Anexo 6. Geotextil envuelto en la tubería.....	52
Anexo 7. Cortado de ladrillos.....	53
Anexo 8. Secado de arenas	53
Anexo 9. Tamizado de arenas.....	54
Anexo 10. Normas de calidad del agua para consumo humano	55

IX. ANEXOS

Anexo 1. Viales para realizar curva de Hierro



Anexo 2. Estándares de verificación para el Arsenator



Anexo 3. Arsenator



Anexo 4. Kit para determinación de Arsénico



Anexo 5. Taladro para la perforación de las tuberías



Anexo 6. Geotextil envuelto en la tubería



Anexo 7. Cortado de ladrillos



Anexo 8. Secado de arenas



Anexo 9. Tamizado de arenas



Anexo 10. Normas de calidad del agua para consumo humano

Cuadro 1. Parámetros Bacteriológicos (a)

Origen	Parámetro (b)	Valor recomendado	Valor máximo admisible	Observaciones
A. Todo tipo de agua de bebida	Coliforme fecal	Neg	Neg	En muestras no consecutivas
	Coliforme fecal	Neg	Neg	
B. Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme Total	Neg	≤4	
	Coliforme Total	Neg	≤4	
C. Agua en el sistema de distribución	Coliforme fecal	Neg	Neg	En muestras puntuales. No debe ser detectado en el 95% de las muestras anuales (C).

Cuadrado 2. Parámetros organolépticos

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible c
Color verdadero	Mg/l(Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2 a 12°C 3 a 25°C
Sabor	Factor dilución	0	2 a 12°C 3 a 25°C

Cuadro 3. Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Concentración iones hidrógenos	Valor de pH	6.5 a 8.5 (a)	
Cloro Residual	mg/l	0.5 a 1.0 (b)	(c)
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	μS/cm	400	-
Dureza	mg/l CaCO ₃	400	-
Sulfato	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	-	0.2
Calcio	mg/l CaCO ₃	100	-
Cobre	mg/l	1.0	2.0
Magnesio	mg/l CaCO ₃	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l	-	10
Sol. Tot. Dis.	mg/l	-	1000
Zinc	mg/l	-	3.0

Cuadro 4. Parámetros para sustancias no deseadas

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Nitratos NO ₃ ⁻	mg/l	25	20
Nitritos NO ₂ ⁻	mg/l		(1)
Amonio	mg/l	0.05	0.5
Hierro	mg/l		0.3
Manganeso	mg/l	0.01	0.5
Fluoruro	mg/l		0.7-1.5 ²
Sulfuro de Hidrogeno	mg/l		0.05

Cuadro 5. Parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud

Parámetro	Unidad	Valor máximo admisible
Arsénico	mg/l	0.01
Cadmio	mg/l	0.05
Cianuro	mg/l	0.05
Cromo	mg/l	0.05
Mercurio	mg/l	0.001
Níquel	mg/l	0.05
Plomo	mg/l	0.01
Antimonio	mg/l	0.05
Selenio	mg/l	0.01

Tabla 23: Presupuesto para la construcción de Filtros Kanchan

PRESUPUESTO MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA CONSTRUCCIÓN DE FILTROS KANCHAN					
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (C\$)	Costo total (C\$)
Materiales plásticos					C\$9,915.00
1	Balde plástico (70 Litros de volumen, diámetro interno de 43.5 cm en la boca, 56.5 cm de altura y diámetro interno del fondo 36 cm), resina plástica número 7 (OTHER) de color azul con tapa	Unidad	5	C\$425.00	C\$2,125.00
2	Pana plástica (10 L. de volumen), resina plástica número 5 de color azul. (Diámetro interno de 44 cm en la boca, 16 cm de altura interna de la pana y 17 cm de altura externa)	Unidad	5	C\$280.00	C\$1,400.00
3	Balde plástico para almacenar agua (20 Litros de volumen, diámetro interno de 31 cm de la boca, 32 cm de altura interna y 22 cm de diámetro interno del fondo), resina plástica número 7 (OTHER), de color azul con tapa.	Unidad	5	C\$390.00	C\$1,950.00
4	Bolsas de plástico de 10 lb	Unidad	20	C\$12.00	C\$240.00
5	Bolsas plásticas de 25 lb	Unidad	20	C\$25.00	C\$500.00
6	Plástico negro	Yarda	30	C\$90.00	C\$2,700.00
7	Recipiente de plástico con capacidad de 1 L	Unidad	5	C\$50.00	C\$250.00
8	Colador fino de plástico (menor de 1 milímetro de criba)	Unidad	3	C\$250.00	C\$750.00
Materiales de construcción					C\$8,505.00
9	Arena fina cribada con diámetro menor que 1 mm ($\phi < 1 \text{ mm}$)	*m ³	3	C\$1,092.00	C\$3,276.00
10	Arena media cribada (de 3 mm ϕ).	*m ³	2	C\$1,300.00	C\$2,600.00
11	Grava (de 10 mm ϕ)	*m ³	1	C\$1,929.00	C\$1,929.00
12	Ladrillos de barro (12" x 6" x 3")	**Unidad	20	C\$35.00	C\$700.00
Herramientas (FERRETEROS)					C\$41,364.00
13	Clavos de hierro de 1"	Caja de 50 lb	24	C\$250.00	C\$6,000.00
14	Tapón hembra liso de PVC de 1/2" Pulgada de diámetro	Unidad	20	C\$35.00	C\$700.00
15	Adaptador macho con rosca PVC 1/2" pulgada de diámetro.	Unidad	20	C\$35.00	C\$700.00
16	Empaques de hule de 1/2" Pulgada de diámetro.	Unidad	20	C\$20.00	C\$400.00
17	Codo de 90° PVC 1/2" pulgada de diámetro, liso ambos extremos.	Unidad	20	C\$20.00	C\$400.00
18	Codo de 90° PVC 1/2" pulgada de diámetro mixto agua potable (Un extremo liso y el otro extremo roscado)	Unidad	20	C\$20.00	C\$400.00
19	Teflón Coflex 3/4" x 12 m	Unidad	10	C\$50.00	C\$500.00
20	Pegamento PVC gris 1/32 de galón	Unidad	5	C\$180.00	C\$900.00

21	Tubo 1/2" pulgada de diámetro por 6m PVC agua potable SDR-13.5 315 PSI	Unidad	20	C\$150.00	C\$3,000.00
22	Lámina de PVC para cielo falso 5.9m x 0.2m x 6 mm	Unidad	10	C\$450.00	C\$4,500.00
23	Llave de chorro 1/2" pulgada de diámetro de PVC. Con adaptador para manguera de 16 mm de diámetro	Unidad	20	C\$120.00	C\$2,400.00
24	Niple galvanizado con rosca 1/2" pulgada de diámetro por 3" pulgadas de longitud.	Unidad	5	C\$75.00	C\$375.00
25	Geotextil no tejido de polipropileno NT200	m ²	5	C\$150.00	C\$750.00
26	Cedazo fibra de vidrio 14x14x36	Yarda	5	C\$95.00	C\$475.00
27	Cedazo metálico malla calibre # 19. (< 1 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
28	Cedazo metálico malla calibre # 18. (1.023 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
29	Cedazo metálico malla calibre # 9. (2.9 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
30	Cedazo metálico malla calibre # 6. (4.1154 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
31	Cedazo metálico malla calibre # 4. (5.18 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
32	Cedazo metálico malla N°3. (5.8 mm de Ø)	m ²	2	C\$150.00	C\$300.00
33	Hoja de sierra para metales	Unidad	3	C\$90.00	C\$270.00
34	Alicate de 6"	Unidad	2	C\$379.00	C\$758.00
35	Taladro eléctrico inalámbrico	Unidad	1	C\$3,500.00	C\$3,500.00
36	Disco para corte de metal de 6 pulgadas de diámetro	Unidad	2	C\$250.00	C\$500.00
37	Esmeriladora angular eléctrica (Metabo)	Unidad	1	C\$3,200.00	C\$3,200.00
38	Broca Escalonada de 1/2 Pulgada de diámetro.	Unidad	2	C\$1,950.00	C\$3,900.00
39	Reglas plásticas de 30 cm Longitud.	Unidad	3	C\$90.00	C\$270.00
40	Cinta métrica 3/4" pulgada por 5 metros de longitud.	Unidad	2	C\$350.00	C\$700.00
41	Colador fino de plástico (menor de 1 milímetro de criba)	Unidad	2	C\$385.00	C\$770.00
42	Colador medio de plástico (4 milímetros)	Unidad	2	C\$315.00	C\$630.00
43	Criba con malla N°18.	Unidad	2	C\$890.00	C\$1,780.00
44	Criba con malla N°5.	Unidad	2	C\$790.00	C\$1,580.00
45	Tape industrial 2" X 100 yardas transparente (770) 48mm x 91.4m	Unidad	2	C\$103.00	C\$206.00
				Total, C\$:	C\$59,784.00