



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Programa de Investigación, Estudios Nacionales
y Servicios del Ambiente (**PIENSA**)



**Evaluación de factores humanos, naturales y materiales que
inciden en el uso y eficiencia de filtros Kanchan en la
comunidad San Juan, Tipitapa.**

Tesis para optar al título de:

MAESTRO(A) EN CIENCIAS AMBIENTALES

CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Autores:

Ing. Xochilt Yaosca Barahona Silva

Ing. Jonton Josué Talavera Blandón

Tutor:

M.Sc. Ing. Sergio Rafael Gámez Guerrero

Asesores:

M.Sc. Ing. Larisa Korsak

M.Sc. Lic. Rodolfo Jaen Serrano

Managua. Julio 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación **profesional**.

A mi familia, especialmente a mi madre **Lic. Yolanda Silva** y mi hermano **Ever A. Barahona Silva** por estar siempre apoyándome en cada etapa de mi vida.

A mi hijo **Pablo Alfonso Angulo Barahona** por ser el mejor regalo que he recibido de parte de Dios, el mayor tesoro de mi vida, la luz de mi corazón, a su padre M.Sc. **Pablo Alfonso Angulo** por sus consejos oportunos y motivación que me brinda para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

Ing. Xochilt Yaosca Barahona Silva

DEDICATORIA

A nuestro Padre Celestial, creador de los cielos y la tierra, por permitirme llegar hasta este día gozando de salud.

A mi padre, una figura guía que me apoyó en mi formación académica hasta donde pudo, a mi madre, la fuerza, fortaleza y luz en mi camino, es la estrella que siempre ha estado a mi lado. A mis hermanos que su presencia es una bendición y gracias a ellos he podido mostrar lo mejor de mí.

Ing. Jonton Josué Talavera Blandón

AGRADECIMIENTO

A la Dirección del PIENSA especialmente a M.Sc. Larisa Korsak, Directora del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, por darnos la oportunidad de desarrollar este tema investigativo y por el apoyo brindado durante todo este tiempo.

Al comité de tesis asignado por el PIENSA y a la Doctora Martha González, por la dedicación que han tenido en el desarrollo, contenido y estructura del informe de investigación.

Agradecemos a nuestro tutor de tesis M.Sc. Ing. Sergio Gámez quien con su experiencia, conocimiento y motivación nos ha orientado en este tema investigativo.

CARTA DE APROBACIÓN



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



Managua, 14 de marzo, 2019
CMAP-018-19

Ing. Xochilt Yaosca Barahona Silva
Ing. Jonton Josué Talavera Blandón
Maestría en Ciencias con mención en Ing. Ambiental
XV Ciclo (2015-2017)

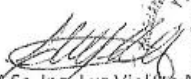
Estimados Maestrandos:

Reciban cordial saludo. Por este medio les comunico oficialmente la **aprobación** de su protocolo de tesis titulado: **Evaluación de factores humanos, naturales y materiales que inciden en el uso y eficiencia de filtros Kanchan en la comunidad San Juan, Tipitapa.**

Este protocolo, así como la tutoría del M.Sc. Ing. Sergio Rafael Gámez Guerrero., fueron unánimemente aprobados mediante **acuerdo N° 2** en la sesión ordinaria **No. 3-2019**, del Comité Académico del PIENSA, realizada en la sala de maestría N° 1, el once de marzo de 2019.

Deben remitir a la suscrita un cronograma de ejecución actualizado en digital en los próximos 15 días hábiles, incluyendo en el mismo al menos dos reuniones de presentación de avances ante su comité de tesis. Se les sugiere que la primera sea en mayo y la siguiente en julio o agosto, quedando a más tardar para octubre 2019 la entrega de su informe final de tesis. De esta manera, su predefensa y defensa de tesis se programarían al mes siguiente.

En nombre de nuestro programa les deseo éxito. Atte.


M.Sc. Ing. Luz Violeta Molina G.
Coordinadora Maestrías PIENSA



Xochilt Barahona
14/03/19 10:04 pm
Recibido x 2

- cc. M.Sc. Ing. Larisa Korsak, Directora PIENSA y miembro del Comité de Tesis Barahona-Talavera.
M.Sc. Lic. Eida H. Escobar, Secretaria Académica PIENSA.
M.Sc. Ing. Sergio R. Gámez G., Tutor y coordinador del Comité de Tesis Barahona-Talavera
M.Sc. Lic. Rodolfo Jaen, miembro del Comité de Tesis Barahona-Talavera.
Expediente estudiantil de tesis

RESÚMEN DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas que afecta la calidad del agua de bebida principalmente en el medio rural de varios departamentos en Nicaragua es la presencia de arsénico en concentración mayor que la indicada en la norma CAPRE. Para remover altas concentraciones se han buscado alternativas de bajo costo, para disminuir la presencia de este analito en el agua de bebida. En el medio rural el filtro Kanchan es una alternativa de remoción de arsénico a nivel familiar y de bajo costos para aquellas comunidades que no cuentan con suficientes recursos, pero al mismo tiempo este dispositivo requiere de ensamblaje y operación cuidadosa y de mantenimiento cada dos o tres meses para mantener una alta eficiencia. Del análisis realizado a 13 filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa para remover arsénico, se obtuvo que la eficiencia oscila entre el 60-70 %. EL principal factor humano que afecta la eficiencia de los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa prevalece dificultad de la operación y mantenimiento, capacitación e involucramiento de todos los integrantes de la familia. En cuanto a la calidad de los materiales y cumplimiento de las especificaciones se encontró que el diámetro efectivo de la arena fina no se encontraba en el rango requerido, este valor resultó ser de 0.40 mm, lo cual es mayor que el rango recomendado para filtros lentos de arena que es de 0.15 a 0.30 mm, por tanto, no cumplen con el diámetro establecido al diseño original. La cantidad de clavos requeridos y cantidad de trozos de ladrillos dentro de pana difusora no cumplen con el volumen especificados en las guías del MIT. En cuanto a la calidad del agua las concentraciones de las sustancias presentes no interfieren con la adsorción del arsénico por el hidróxido de hierro. En la construcción de los filtros Kanchan a nivel de laboratorio se utilizaron algunos materiales de los filtros analizados en la comunidad San Juan de Tipitapa agregando arena fina necesaria para cumplir con el diámetro efectivo, posteriormente se puso a operar, filtrando agua del pozo de la comunidad. Del análisis resultó que los fosfatos se mantuvieron en un rango de 0.1 a 0.3 mg/L, por otro lado, las concentraciones de arsénico en el agua filtrada fueron disminuyendo desde una concentración inicial de 0.045 mg/L hasta 0.014 mg/L, pero a medida que el filtro se tornaba estable se obtuvo concentraciones <0.001 mg/L en el agua filtrada.

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURA

As:	Arsénico
As(III):	Arsénico trivalente
As (V):	Arsénico pentavalente
AsO ₄ ⁻³ :	Arseniato
AsO ₃ ⁻ :	Arsenito
CAPRE:	Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana
CAPS:	Comité de Agua Potables y Sanemiento
CIEMA:	Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente
Cl ⁻ :	Cloruro
COD:	Carbono orgánico disuelto
CU:	Coeficiente de uniformidad
E. Coli:	Escherichia coli
Ecodes:	Ecología y Desarrollo (ONG con actividad en agua y saneamiento)
ENPHO:	Environment and Public Health Organization
E:	Este
F ⁻ :	Fluoruro
H ₃ AsO ₄ :	ácido orto arsénico
H ₂ AsO ₄ ⁻ :	arseniato de Dihidrógeno

HAsO_4^{-2} :	arseniato de hidrógeno
H_3AsO_3 :	ácido arsenioso
H_2AsO_3^- :	Dihidrógeno (orto) arsenito.
HAsO_3^{-2} :	Arsenito de hidrógeno
HPO_4^{-2} :	Fosfato de Hidrógeno
HCO_3^- :	Bicarbonato
HFO:	Oxihidróxido de hierro
KAF:	Filtro Kanchan de arsénico
Km:	Kilómetro
MAG:	Mini Acueducto por gravedad
MIT:	Instituto Tecnológico de Massachusetts
N:	Norte
NO_3^- :	Nitrato
OMS:	Organización Mundial de la salud
OPS:	Organización Panamericana de la salud
OH:	Hidróxido
pH:	Potencial de Hidrógeno
PEM:	Pozo Excavado a mano
PP:	Pozo Perforado
PPb:	Partes por billón
PIDMA:	Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente

PIENSA: Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente

RASNIC: Red de Agua y Saneamiento de Nicaragua

STD: Sólidos Totales Disueltos

SO₄²⁻ Sulfato

UNI: Universidad Nacional de Ingeniería

ZVI: Zero Valent Iron

Tabla de Contenido

Capítulo I. Introducción	1
Capítulo II. Antecedentes	3
Capítulo III. Justificación.....	6
Capítulo IV. Objetivos.....	7
4.1 Objetivo General.....	7
4.2 Objetivos Específicos	7
Capítulo V. Marco Teórico	8
5.1 Arsénico	8
5.2 Características de la matriz de agua que inciden en la selección de las tecnologías de abatimiento de arsénico.	8
5.3 Movilización del arsénico en el ambiente	9
5.4 Tecnologías y Procesos para remoción de arsénico en el agua para consumo humano.....	9
5.4.1 Filtro Kanchan	9
5.4.2 Componentes del filtro Kanchan.....	10
5.4.3 Cantidad y característica de los materiales del Filtro Kanchan (MIT y ENPHO, 2006).....	11
5.5 Mecanismo de remoción de arsénico en los filtros Kanchan	12
5.6 Factores Naturales que afectan la remoción de arsénico en los filtros Kanchan ..	13
5.6.1 pH.....	13
5.6.2 Calcio	13
5.6.3 Fosfatos	13
5.7 Factores humanos que pueden incidir en la eficiencia de filtros Kanchan	14
5.8 Funciones del material recomendado por MIT y ENPHO para construcción de Filtro Kanchan.	14
Capítulo VI. Metodología.....	16
6.1 Tipo de Estudio	16
6.2 Ubicación y Características de la comunidad San Juan de Tipitapa	16
6.3 Variables de estudios	17

6.4 Método y Técnica de recolección de datos	19
6.4.1 Recolección de la información por medio de Encuesta.....	19
6.4.2 Recolección de la información por medio de Encuesta	19
6.4.3 Muestreo y preservación de las muestras	20
6.5 Determinación de la eficiencia de filtros Kanchan seleccionados.....	20
6.6 Contrastación del ensamblaje de los Filtros Kanchan Instalados en la Comunidad con respecto a los criterios establecidos por MIT y ENPHO.....	20
6.7 Evaluación de Interferencias en la remoción de arsénico	21
Capítulo VII. Resultados y Discusión	22
7.1 De los resultados obtenidos de las encuestas	22
7.1.1 Datos Generales de la comunidad estudiada	22
7.1.2 Factores humanos relacionados con el uso de los filtros Kanchan en la comunidad..	22
7.2 Determinación de la eficiencia en la remoción de arsénico de los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa.....	24
7.3 Analisis comparativos de dimensiones, cantidades y propiedades de los componentes del filtro instalado en la comunidad con respecto a lo recomendados por MIT y ENPHO.	25
7.6 Fase de reensamblajeo rehabilitación de una unidad de filtración con lo establecido por guías MIT y ENPHO.	31
7.6.1 Evaluación de Filtro Kanchan construido en Laboratorios PIENSA-UNI	33
7.6.2 Análisis Físicos químicos para evaluación del desempeño del Filtro rehabilitado	35
Capítulo VIII. Conclusiones	37
Capítulo IX. Recomendaciones	38
Capítulo X. Bibliografía	39
Capítulo XI. Anexos	

Índice de Tablas

Tabla 1: Métodos de análisis utilizados para determinar factores naturales.	21
Tabla 2: Análisis comparativo de Filtro construido en comunidad San Juan con respecto a Filtro Kanchan modelo GEM 505 recomendado por el MIT y por ENPHO,2006.	25
Tabla 3: Granulometría de arena Fina	27
Tabla 4: Granulometria de arena gruesa	28
Tabla 5. Resultados del análisis Físicoquímicos del Efluente del Filtro instalado a nivel de Laboratorio	35

Índice de Figuras

Figura 1:Componentes del filtro Kanchan para remoción de arsénico	10
Figura 2: Mapa de macro y micro ubicación del estudio en la comunidad de San Juan de Tipitapa	18
Figura 3:Realización trabajo de campo en la comunidad de San Juan de Tipitapa.	19
Figura 4:Concentración de arsénico en el agua Cruda y en efluente de Filtros evaluados en la Comunidad San Juan de Tipitapa	24
Figura 5:Cobertura de clavos en Filtros en la Comunidad San Juan de Tipitapa	26
Figura 6 :Cobertura de trozos de ladrillos en Filtros Kanchan en la Comunidad San Juan de Tipitapa	29
Figura7: Características o dimensiones del Filtro construido en Comunidad San Juan de Tipitapa	29
Figura 8: Recolección de muestras en Comunidad San Juan de Tipitapa.....	32
Figura 9: Reconstrucción de Filtro Kanchan a nivel de Laboratorio	32
Figura 10: Agua Cruda (Comunidad San Juan de Tipitapa)	33
Figura 11: Filtración de agua cruda haciendo uso de Kitasato	34
Figura 12: Frascos con muestras del agua filtrada en el Kanchan del laboratorio PIENSA	34

Índice de Gráficos

Gráfico 1 :Curva Granulométrica de Arena Fina.....	27
Gráfico 2: Curva Granulométrica de Arena gruesa.....	28

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

La escasez de los recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la salud de los pobladores. El acceso al agua es un derecho humano, que forma parte de las garantías indispensables para asegurar un nivel de vida digno (Naciones Unidas, 2018). El impacto de la calidad inadecuada del agua para consumo humano es riesgoso para la salud y de relevancia clínica, que van desde infecciones asintomáticas a gastroenteritis y diarrea hasta enfermedades graves y en última instancia, la muerte (OMS, 2011).

Se relacionan con un sinnúmero de enfermedades transmitidas por la ingesta del agua, aquellas causadas por la presencia de microorganismos y metales pesados. Dentro de los diez elementos tóxicos que constituyen una preocupación para la salud se encuentra el arsénico (OMS, 2018). En más de 30 países, incluyendo India, Nepal, Bangladesh, Indonesia, Camboya, Vietnam, la República Democrata Popular Lao, México, Nicaragua, El Salvador y Brasil, las fuentes de arsénico son en la mayoría de los casos naturales y la liberación se da en gran parte por lixiviación de rocas volcánicas, cuerpos de mineral sulfhídrico, alteraciones hidrotermales, fluidos geotérmicos y exhalaciones volcánicas. Además, las actividades mineras y las industrias metalúrgicas son importantes a nivel local, ya que son contribuyentes de arsénico en los recursos hídricos y otros entornos. Muchas personas se ven afectadas por el consumo de agua con concentraciones por encima de los actuales límites de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998), la Unión Europea (UE) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., de 10 ug/L (USEPA, 2005).

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica, niveles mayores a los 0.010 mg/L, puede ocasionar afecciones como alteraciones de la piel y a exposiciones muy altas de Arsénico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres (OMS, 2016).

Se han desarrollado alrededor de 14 tecnologías para remover arsénico del agua con eficiencias de 70 a 99%. Los métodos de coagulación-floculación y ablandamiento con cal, son los más usados en grandes sistemas y exclusivamente para remover el arsénico. En pequeños sistemas puede aplicarse el intercambio iónico, alúmina activada, ósmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis inversa. Las tecnologías emergentes son: arena recubierta con óxidos de hierro, hidróxido férrico granular, empaques de hierro,

hierro modificado con azufre, filtración con zeolita, adición de hierro con filtración directa y remoción convencional de hierro y manganeso.

Existen dos filtros que por sus bajos costo adquisitivo, se han utilizados en comunidades rurales, siendo estos: el filtro SONO, que ha ganado el primer premio Grainger por la mejor unidad de remoción de As en Bangladesh y el filtro Kanchan basado en ZVI (Valencia de hierro zero) utilizado con éxito en Nepal. La eficiencia de ambos filtros depende fuertemente de las concentraciones de fósforo, sílice, calcio y hierro presentes en la fuente de agua por lo que se puede esperar que la remoción de arsénico con estos varíe mucho entre regiones por la composición del agua subterránea.

En Nicaragua en las regiones noreste, occidente y Suroeste de Nicaragua, próximas a cuerpos mineralizados se encuentra arsénico en el agua. El arsénico es un elemento que se encuentra mayormente asociado en forma natural con la geología, el agua y el suelo. Según Townley (2006), la intensa alteración hidrotermal, vuelve vulnerable a la roca por no tener capacidad para contrarrestar el pH, disminuyendo la acidez y capacidad de neutralizar las reacciones químicas, facilitando la incorporación de elementos nocivos como el arsénico al medio hidrogeológico.

En Nicaragua en varias comunidades rurales se ha instalado Filtro Kanchan y en el año 2009 esta tecnología fue estudiada por el Centro de Investigación y Estudios del Medio Ambiente (CIEMA), hoy en día el Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA), donde se evaluó el comportamiento del filtro a diferentes rangos de concentración en comunidades del país como en la Mina la India, Linda Vista y Santa Rosa del Peñón.

En el año 2014, un organismo con perfil en agua y saneamiento, instaló 118 filtros Kanchan en la comunidad San Juan de Tipitapa, ubicada a 8.5 Km al sureste de la ciudad de Tipitapa y cabecera del municipio que lleva el mismo nombre, en el departamento de Managua. Estos filtros según información proporcionada por funcionarios del Organismo, no han tenido buena aceptación ya que, después de varios meses de funcionamiento, los dispositivos no lograron remover el arsénico, del agua del pozo, hasta niveles que cumplan la Norma CAPRE para agua de bebida. La presente investigación es de interés académico y técnico, en la cual se pretende identificar las causas de esa baja eficiencia remocional en los dispositivos instalados en la comunidad bajo estudio y que no han permitido obtener un agua con niveles permisibles de arsénico conforme a lo establecido en las normas de calidad de agua para bebida.

Capítulo II. ANTECEDENTES

Bundschuh, Armienta, Birkle, Bhattacharya, Matschullat y Mukherjee (2011) indican que al inicio del siglo XXI, en 15 de los 20 países latinoamericanos se encontraron altas concentraciones de arsénico en los recursos hídricos. En Nicaragua (1996/2000), El Salvador (1998), Brasil (1998/2000), Bolivia (2001), Venezuela (2005), Ecuador (2005), Honduras (2006), Uruguay (2005/06), Colombia (2007), Guatemala (2007) y Costa Rica (2005/2009).

En varios lugares de Centroamérica se han detectado altos niveles de Arsénico en aguas superficiales y subterráneas, usadas para beber y riego. En la mayoría de los casos, el origen de arsénico es de origen natural debido a la configuración tectónica de la costa del Pacífico. Nicaragua tiene un relieve variado en las diferentes regiones del territorio, destacan sus impresionantes Volcanes y Montañas. Cuenta con más de 20 volcanes, muchos de ellos activos los que provocan frecuentes sismos entre ellos Volcán Cosigüina, Volcán San Cristóbal, Volcán Telica, Volcán Cerro Negro, El Hoyo, Volcán Apoyeque, Volcán Momotombo, Volcán Masaya, Volcán Concepción, Volcán Maderas. La franja del Pacífico es La llanura que separa la cadena volcánica de, el mar.

Aguilar, Parra, Cantillo y Gómez (2000) aseguran que en Nicaragua, la contaminación de las aguas subterráneas con arsénico fue detectado en mayo de 1996, en el agua de un pozo artesiano de la comunidad El Zapote, en el valle de Sébaco (municipio de San Isidro), que contenía 1320 $\mu\text{g As / L}$. A partir de entonces, diferentes instituciones han realizado estudios que confirmaron extensión del problema en las comunidades vecinas y en otras regiones del país (INAA, 1996).

Debido a la presencia de este analito en el agua de consumo se realizaron evaluaciones médicas en las poblaciones expuestas al consumo de agua con arsénico, en las comunidades de El Zapote (municipio de San Isidro), Kinuma (municipio de La Libertad), en La Curva y Puertas del Paraíso (municipio de San Pedro de Lóvago).

Exámenes realizados en El Zapote durante el año 2002 mostró una prevalencia de 66% de las pigmentaciones y las queratosis, características del arsenicismo, entre las 71 personas que habían ingerido del agua altamente contaminada (1320 $\mu\text{g As/lit}$) durante los dos años que funcionó el pozo. Así mismo presentaron síntomas respiratorios importantes, con estertores (28%) y tos (69%), además de parestesia

(34%), ardor en los ojos (56%) debilidad (46%) cefalea (68%) y ardor cutáneo (56%). Estos valores tuvieron asociación estadística significativa en relación a las personas que habían ingerido agua del pozo mencionado durante menos de seis meses (Gómez, 2009).

En las otras 15 comunidades del valle de Sébaco se detectó la contaminación de las aguas determinándose que unas 3,225 habitantes están potencialmente en riesgo de exposición a As. Los estudios de arsénico en la población afectada de El Zapote y algunas comunidades del departamento de Chontales confirmaron los diferentes niveles de arsénico que ha causado daño en la salud de muchas personas (Gómez y Aguilar, 2000).

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel (OMS, 2016).

Entre 1996 y 2001, el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), el Centro de Investigaciones y Estudios de Salud (CIES), la Universidad de Ingeniería (UNI) y CARE International realizaron varios estudios de As a 98 fuentes de agua incluyendo manantiales y pozos, ubicados en El Zapote y comunidades aledañas al valle de Sébaco; durante el monitoreo se encontró que un 33% del total superó el Límite máximo permisible de 10 $\mu\text{g/L}$ (INAA, 2001).

González, Provedor, Reyes, López y Lara (1998) en el estudio realizado por CIES en Valle de Sébaco, siendo una de las áreas más agrícolas del país, descartó la contaminación de arsénico en las fuentes de agua por productos agroquímicos, la causa se debe a la mineralización del Arsénico presente en el subsuelo de la Zona.

Altamirano y Bundschuh (2009) señalan que las concentraciones altas de arsénico en el agua, se correlacionaron con altos contenidos de As en rocas y suelos (14.98 y 57.19 $\mu\text{g/kg}$ respectivamente).

PIDMA-UNI y UNICEF (2002) (estudiaron la calidad del agua subterránea en Nicaragua incluyendo metales pesados como el arsénico. Se analizaron muestras de agua recogidas en 106 pozos excavados y manantiales ubicados cerca de estructuras tectónicas con mineralización hidrotermal que son paralelas a la depresión tectónica de Nicaragua. En 5,7% de las muestras, la concentración de As superó los 10 $\mu\text{g/L}$.

A nivel nacional UNICEF y OPS/OMS desarrollaron un estudio de calidad de agua en el año 2004 que incluyó análisis de 1,488 fuentes de agua para consumo humano encontrando que alrededor del 8% de aguas de pozos presentaban concentraciones de arsénico superiores a 10 $\mu\text{g} / \text{L}$. La concentración máxima de As (161 $\mu\text{g} / \text{L}$) se encontró en un pozo de San Juan de Limay (departamento de Nueva Segovia). (PAHO/WHO/ UNICEF, 2005).

Desde el 2009, CIEMA-UNI, después PIENSA, ha realizado estudios de remoción de arsénico utilizando Filtros Kanchan, como alternativa para brindar a las comunidades más desfavorables acceso a agua potable. Dentro de los estudios más destacados en la remoción de arsénico se destaca en el pozo perforado de la Mina La India con una concentración de 96 $\mu\text{g}/\text{L}$ presentando un promedio de remoción del 98.6% (Aragòn, 2008), en Santa Rosa del Peñón pozo perforado con 78 $\mu\text{g}/\text{L}$ As con un porcentaje de remoción del 98.5% (Castillo, 2008) y pozo privado en Santa Rosa del Peñón con 41 $\mu\text{g}/\text{L}$, removiendo un 97.8% de arsénico.

En la comunidad Asiento Viejo, municipio de Teustepe, Boaco, los niveles de arsénico encontrados en las fuentes de agua utilizadas para consumo humano fueron de 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ muy por encima del máximo permisible de 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ (CAPRE, 1994), utilizando filtros Kanchan instalados por CIEMA en dicha comunidad, se logró remover entre el 86% y el 100% del arsénico presente en el agua de consumo reduciéndose la concentración a valores de entre 0 y 4 $\mu\text{g}/\text{L}$.

En el año 2010 CIEMA, acompañó la instalación y monitoreo de filtros Kanchan en la comunidad Kinuma, ubicada a unos 5 Km de la Libertad, Chontales, en el marco de un Proyecto de Hermanamiento entre la municipalidad de La Libertad y la de Doetinchem, Reino de los Países Bajos (Holanda) llamado "Agua Limpia para La Libertad". Los porcentajes de remoción de arsénico logrado en los filtros instalados en cada vivienda familiar en Kinuma oscilaron entre 89% y 98%.

La eficiencia de estos filtros en las comunidades puede verse afectada a corto plazo debido : a) una inadecuada capacitación a los beneficiarios antes de la instalación y al pobre seguimiento por parte de la organización implementadora después de la instalación; b) por la presencia de algunas sustancias como fosforo, sílice y hierro en la fuente de agua y c) los materiales principalmente la selección apropiada de areba es la clave para asegurar el buen funcionamiento del filtro.

Capítulo III. JUSTIFICACIÓN

Las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento para el ser humano en el mundo y han contribuido a reducir las enfermedades diarreicas, pero en algunos casos estas contienen naturalmente contaminación por arsénico, lo cual ocasiona un problema en la salud de los consumidores.

Estudios realizados en Nicaragua evidencian afectaciones en la salud humana por la ingesta de arsénico, principalmente los presentados en la comunidad El Zapote por problemas dérmicos, oftalmológicos y digestivos por el consumo de agua con grandes cantidades de arsénico (Gómez, 2009); debido a esto, para el abastecimiento de agua potable en las comunidades, surge la necesidad de realizar monitoreos de calidad de agua en las fuentes superficiales y principalmente subterráneas, así como la de evaluar alternativas para la remoción de arsénico del agua en comunidades afectadas en el país. , siendo de vital importancia que la población en general conozca las consecuencias que le implica consumir agua con arsénico.

La presente investigación se enfoca en identificar y evaluar las causas humanas, naturales y materiales que ocasionan la baja eficiencia de los dispositivos para remover arsénico, instalados por un organismo en la comunidad San Juan de Tipitapa, con el fin de beneficiar y ayudar a las comunidades a mejorar la calidad de agua para consumo humano. Se instalaron 180 filtros Kanchan por el organismo cooperante, como alternativa económicamente viable y eficaz para esta comunidad, pero en el transcurso de dos años, estos filtros quedaron en desuso, por mal estado, por no remover lo esperado de arsénico, por generar mal olor y color del agua filtrada, por lo que nuevamente los pobladores quedaron expuestos a consumir el agua del pozo con una concentración de arsénico mayor que la indicada en la Norma CAPRE.

Capítulo IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los factores humanos, naturales y materiales que inciden en el uso y eficiencia de filtros Kanchan en la comunidad San Juan, Tipitapa.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los factores humanos que se relacionan con el uso de los filtros Kanchan en la comunidad.
2. Evaluar la eficiencia de la remoción de arsénico de los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Jun de Tipitapa.
3. Contrastar el ensamblaje de los Filtros Kanchan Instalados en la Comunidad con respecto a los criterios establecidos por MIT y ENPHO.
4. Determinar la interferencia en la remoción de arsénico debido a la presencia de calcio, fosfato y valor del pH del agua tratada en los filtros Kanchan.

Capítulo V. MARCO TEÓRICO

5.1 Arsénico

El arsénico se encuentra en las aguas naturales en su forma inorgánica, principalmente como As (III) y As (V) y con menos frecuencia como As (0), As (I) y As (II). Cuando se presenta en su estado de oxidación pentavalente aparece como H_3AsO_4 y en sus productos de disociación: $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ y AsO_4^{3-} . Por su parte el As (V) está presente en la forma H_3AsO_4 y sus correspondientes productos de disociación ($H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ y AsO_4^{3-}), siendo dominante bajo condiciones oxidantes a pH ácidos en ambientes acuosos y aeróbicos (Oremland y Stolz, 2003).

El As trivalente se encuentra como H_3AsO_3 y sus correspondientes productos de disociación ($H_4AsO_3^+$, $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ y AsO_3^{3-}) (Lillo, 2003). los cuales, en condiciones oxidantes, son dominantes a pH alcalinos. Sin embargo, la forma sin carga del As (III) [$As(OH)_3$] es dominante en ambientes reducidos y anóxicos, siendo así el más tóxico y difícil de eliminar.

5.2 Características de la matriz de agua que inciden en la selección de las tecnologías de abatimiento de arsénico.

El elemento básico de una matriz de agua que se somete a alguna tecnología de abatimiento de arsénico, es el arsénico mismo y específicamente la forma o especie bajo la cual se presente. El arsénico puede estar acompañado de una gran variedad de macro- y micro constituyentes. Para el caso de los aniones, se destacan como macroconstituyentes: cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-) y, como micro constituyentes, nitrato (NO_3^-) y fosfato (PO_4^{3-}). Para el caso de los cationes, se destacan como macro constituyentes sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y como micro constituyentes, una gran variedad de trazas metálicas, según sea el origen del agua. Se unen a estos constituyentes los silicatos y el carbón orgánico disuelto (COD), los que pueden llegar a jugar un importante rol en la eficiencia de muchas de las tecnologías actualmente disponibles para la remoción de arsénico. El pH, alcalinidad, dureza y potencial redox, características globales del agua que se derivan de

los constituyentes de la matriz, también pueden influir en la eficiencia de los procesos de abatimiento de arsénico (Litter M, 2010).

5.3 Movilización del arsénico en el ambiente

El arsénico se moviliza en el medio ambiente a través de diversos procesos naturales como el desgaste de las rocas, las actividades hidrotermales y geotérmicas, las actividades biológicas y una serie de actividades antropogénicas. Las actividades antropogénicas generalizadas incluyen la minería, la combustión de combustibles fósiles, el uso de plaguicidas arsenicales, herbicidas y desecantes de cultivos, y el uso de arsénico como aditivo para la alimentación del ganado y en particular para las aves. El arsénico puede entrar en el cuerpo humano a través del agua potable, la inhalación y la dieta, pero sobre todo el agua potable probablemente posee la mayor amenaza para la salud humana. El agua potable contiene arsénico a diversas concentraciones dependiendo de la fuente. Sin embargo, el agua subterránea contiene la mayor concentración de arsénico debido a diversas actividades naturales y humanas (Campos et al, 2007).

5.4 Tecnologías y Procesos para remoción de arsénico en el agua para consumo humano

5.4.1 Filtro Kanchan

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en colaboración con ENPHO (Environment and Public Health Organization) y RWSSSP (Rural Water Supply and Sanitation Support Programme) han desarrollado el filtro Kanchan de arsénico KAF (Kanchan Arsenic Filter, anteriormente denominado filtro de Bioarena de Arsénico), versión modificada convencional que fue Desarrollado por el Dr. Manz de la Universidad de Calgary. El filtro Bio-sand modificado llamado Kanchan se basa en el Principio de la filtración lenta (Ngai et al, 2006).

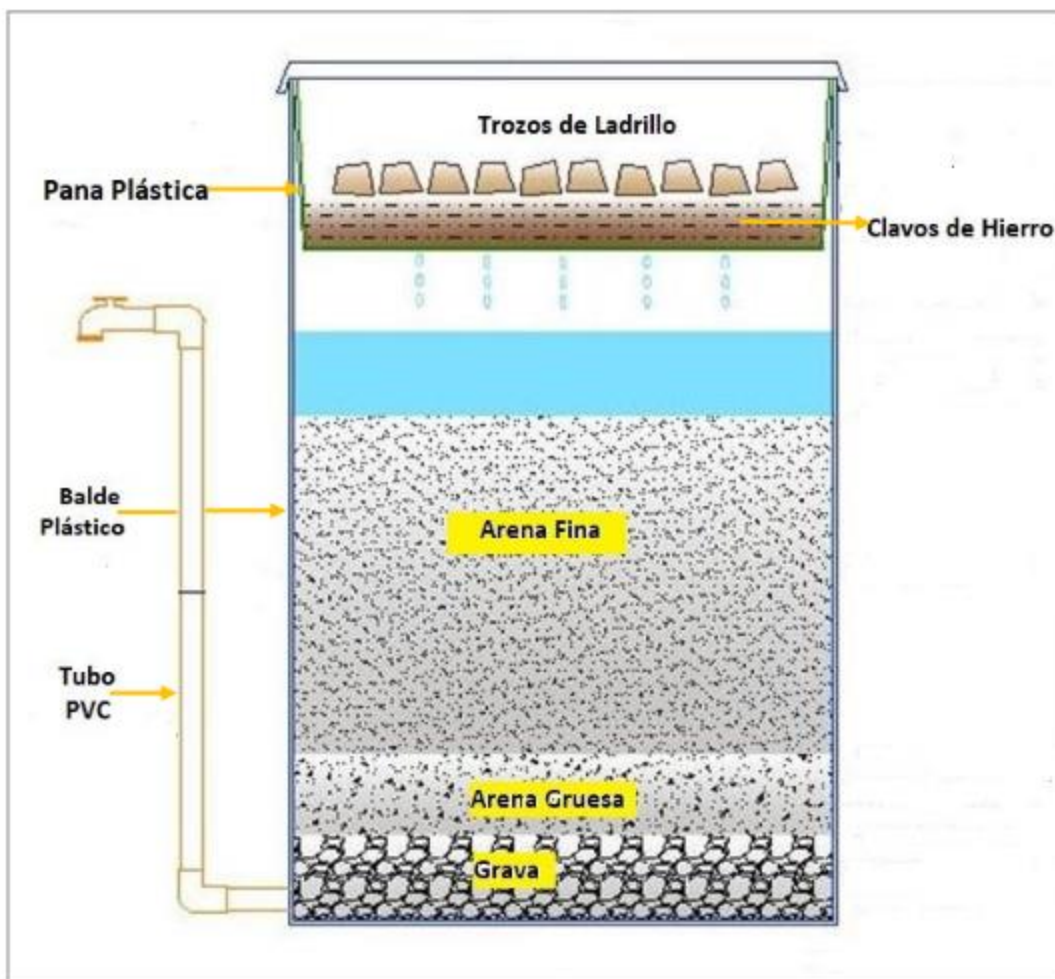
Ravenscroft, Brammer & Richards. (2009) aseguran que el filtro remueve entre 85% y 95% del arsénico en aguas que contienen entre decenas y cientos de ppb ($\mu\text{g/L}$) de arsénico, y puede producir entre 15 y 20 litros de agua limpia por hora.

5.4.2 Componentes del filtro Kanchan

El filtro Kanchan está conformado por una unidad para eliminar arsénico, que consiste en: a) Una pana plástica conteniendo trozos pequeños de hierro que adsorben el arsénico, b) Un balde, que soporta a la pana, conteniendo una gruesa capa de arena fina que retiene las partículas de hidróxido de hierro con el arsénico adsorbido además capas de menor espesor de arena media y de grava que cubre la tubería de recolección del agua filtrada. Sobre los trozos de hierro se coloca material (trozos de ladrillo, por ejemplo) para que al verter el agua no forme algún canal preferencial entre los pequeños clavos de hierro.

Figura 1

Componentes del filtro Kanchan para remoción de arsénico. (Tomado de ENPHO,2006)



5.4.3 Cantidad y característica de los materiales del Filtro Kanchan (MIT y ENPHO, 2006).

Las cantidades, características y especificaciones que deben cumplir los materiales con los cuales se construirá un filtro Kanchan los declaran el MIT y ENPHO en su Guía para Construcción, Instalación, operación y solución de problemas de filtro Kanchan para remoción de arsénico.

5.4.3.1 Volúmen de los recipientes

- Pana plástica para clavos capacidad de 5 kg.
- A la pana de diámetro tal que se pueda colocar sobre el balde como indica la figura 1.
- Balde plástico (cuerpo del filtro) con una altura de 45 cm y diámetro de 32 cm.

5.4.3.2 Volúmenes de arena fina y media y de grava y espesor de capas

- Arena fina 20 a 22 litros
- Arena media 4 litros
- Grava 6 litros

5.4.3.3 Características granulométricas de arena fina y media y de grava

- Arena fina < 1 mm de diámetros y diámetro efectivo 0.15-0.35 mm de arena fina para filtro lento.
- Arena media de 3-6 mm de diámetros y diámetro efectivo de la arena media
- 6-15 mm de diámetros para grava

5.4.3.4 Tamaño y peso total de clavos

- Tamaño de 1 pulgada
- Peso 1 Kg

5.4.3.5 Altura del espacio entre nivel permanente interno del agua y fondo de pana de clavos de 5 cm

5.5 Mecanismo de remoción de arsénico en los filtros Kanchan

En el Filtro Kanchan los clavos de hierro se exponen al aire y al agua, oxidándose rápidamente, produciendo partículas de hidróxido férrico. Cuando el agua se vierte en la pana con clavos oxidados, el arsénico se adsorbe rápidamente en la superficie de las partículas del hidróxido de hierro. Este hidróxido queda atrapado en la parte superior de la capa de arena fina, como resultado, el arsénico se elimina eficazmente del agua. Otra hipótesis, es que el hierro en lugar de permanecer en la parte superior de la capa de arena con el tiempo se moviliza dentro de la capa de arena mezclándose con ella, a Este proceso se conoce como cama de filtración (ENPHO,2005).



5.6 Factores Naturales que afectan la remoción de arsénico en los filtros Kanchan

5.6.1 pH

El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox y el pH. El arsénico es un elemento singular entre los metaloides pesados y elementos formadores de oxianiones por su sensibilidad a movilizarse en los valores de pH típicos de las aguas subterráneas (pH 6.5-8.5). En condiciones oxidantes, el estado As(V) predomina sobre As(III), encontrándose fundamentalmente como H_2AsO_4^- a valores de pH bajos (inferiores a 6.9), mientras que, a pH más alto, la especie dominante es HAsO_4^{2-} (en condiciones de extrema acidez, la especie dominante será H_3AsO_4 , mientras que en condiciones de extrema basicidad, la especie dominante será AsO_4^{3-}). En condiciones reductoras a pH inferior a 9,2, predominará la especie neutra (Brookins, 1988; Yan et al., 2000).

Estudio realizado sobre factores que afectan la remoción de arsénico utilizando columnas de hierro (tipo Kanchan) nos demuestra que hay mejor remoción de arsénico a pH 7 que a pH 8 (Wenk et al, 2014).

5.6.2 Calcio

El calcio tiene un efecto positivo al aumentar la absorción y precipitación de fosfato junto con el hierro. El fosfato en combinación con alto contenidos de calcio disminuye la remoción de arsénico, pero tiene un efecto positivo a concentraciones bajas de calcio (Hug S. et al, 2008).

5.6.3 Fosfatos

El fosfato interactúa fuertemente con los precipitados de óxidos de Fe III y supera al arsénico en la absorción e incorporación, de modo que se necesita hierro adicional para eliminar tanto el arsénico como el fosfato. Altas concentraciones de As(III) combinadas con bajo hierro y altas concentraciones de fosfato y silicato son una mezcla difícil para la eliminación de arsénico (Hug S. et al, 2008).

El fosfato causó la mayor disminución en la tasa de eliminación de As en relación con el cloruro, Silicato, cromato, y el molibdato también causó una fuerte inhibición de la eliminación de As, seguido de carbonato y nitrato, mientras que el borato y el sulfato solo causaron una ligera inhibición de la eliminación de As (III) (Chunming, S. et al,2001).

El fosfato se une fuertemente a la precipitación de los óxidos férricos hidratados, y solo el hierro que queda después de la eliminación del fosfato está disponible para la eliminación del arsénico (Hug S.et al,2008).

5.7 Factores humanos que pueden incidir en la eficiencia de filtros Kanchan

Los factores humanos son los principios sobre las características humanas, culturales y psicológicas (emociones, valores, percepciones, motivaciones, capacidades, comportamientos, etc.) que sujetos a la influencia de variables internas y externas- condicionan el éxito de cualquier actividad, proyecto, organización y país.

La eficacia de los filtros caseros está muy relacionada con una serie de factores como capacitación previa a los usuarios, instalación inadecuada del filtro, uso del filtro, mantenimiento del filtro, nivel de escolaridad, aceptación del tipo de filtro y factores culturales (Palacios N.,2002).

5.8 Funciones del material recomendado por MIT y ENPHO para construcción de Filtro Kanchan.

- a) La Función de los **trozos de Ladrillos** de barro es evitar que al verter el agua a la pana se forme un flujo preferencial en la cama de clavos. este material no debe cambiarle el color, sabor y olor del agua a filtrar. Se aprecia en las unidades Kanchan instalados en la comunidad que hay muchos ladrillos en los filtros.
- b) **Los clavos** se colocan en una pana plástica la cual debe calzar en la boca del balde que contiene la arena del filtro Kanchan, se recomienda colocar 5 Kg de clavos en la pana. Se debe garantizar que exista suficiente cantidad para que el agua pueda estar en contacto con la superficie oxidada de los mismos. Los clavos son los encargados de eliminar el arsénico, es por esto que su selección es muy importante.

c) Capas de arena

C1. Arena Fina: Los granos de arena actúan como material filtrante y éstos tienen un tamaño muy fino, inferior a 0.7 mm. Se estima que el tamaño de poro (espacios entre los granos de arena) es de aproximadamente 1 micra (10^{-3} mm). Esto significa que, cuando se haga circular agua por el filtro, todas aquellas partículas, que tengan un tamaño mayor al poro, quedarán atrapados al no poder pasar por ser tan grandes. De ahí, la importancia de seleccionar y preparar la arena de forma adecuada.

Un parámetro importante en la arena fina es el diámetro efectivo, que deja pasar el 10% de la arena (o sea, 90% de los granos de arenas son de mayor diámetro que ese). Los valores recomendados de d_{10} para filtros de arena lentos comunitario van de 0.15 mm a 0.30 mm. Si el tamaño efectivo es menor a 0.15 mm, puede que el flujo por el filtro sea muy lento. Si el tamaño efectivo es más de 0.30 mm, puede que el flujo por el filtro sea muy rápido y partículas de hidróxido de hierro con arsénico adherido no queden atrapadas en los poros de la arena fina.

El Coeficiente de Uniformidad (CU) indica si hay un rango grande o pequeño de tamaños de grano en la muestra de arena. Para calcular el CU, se necesita el d_{10} (TE de arriba), y el d_{60} . El d_{60} es definido como el tamaño de agujero que permite que el 60% de la arena pase (es decir 40% de la arena es más grande que este tamaño de agujero). Lea este valor de la gráfica donde la línea trazada cruza la línea Porcentaje que pasa a través del tamiz al 60%. El CU es d_{60} dividido por d_{10} . Los valores recomendados de CU para filtros de arena lentos comunitario van de 1.5 a 3.0 .

Un CU cercano a 1 significa un rango pequeño de tamaño de granos dentro de la muestra de arena. Habrá pocos granos finos para acomodar entre los granos más gruesos, lo que hará que la arena sea menos compacta. Esto llevará a una tasa de flujo (ligeramente) más alta. Un valor mayor de CU significa un rango de tamaños más grande dentro de la muestra de arena. Los granos más finos llenarán los espacios entre los granos más gruesos, resultando una arena más compacta. Esto llevará a una tasa de flujo ligeramente menor pero que retendrá más eficazmente las partículas de hidróxido de hierro con arsénico adherido.

C2. Arena Gruesa: La función de la **arena gruesa** es servir de soporte a la capa de arena fina y lo recomendado es que contengan diámetros de 3-6 mm (Tommy Ngai et al, 2006)

C3. Grava: Mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se obstruya.

Capítulo

Capítulo VI. METODOLOGÍA

6.1 Tipo de Estudio

El tipo de investigación de la presente tesis es **Transversal Analítico**, se recolectó información de la población en un tiempo determinado para obtener aquellos factores que inciden en la baja eficiencia de los filtros Kanchan.

De tipo **Social** con el fin de ayudar a los pobladores a hacer buen uso de los filtros Kanchan para consumir agua con niveles de arsénico menores a 10 ug/L.

Experimental se determina aquellos factores naturales pueden afectar la remoción de arsénico.

6.2 Ubicación y Características de la comunidad San Juan de Tipitapa

El presente estudio fue realizado en la Comunidad de San Juan de Tipitapa, ubicada a 8.5 Kms. al sureste de la ciudad de Tipitapa y departamento de Managua, donde 118 familias fueron beneficiadas con la construcción de Filtros Kanchan en año 2014, estos particularmente dejaron de remover eficientemente la concentración de arsénico presente en el agua subterránea del que se abastecen los pobladores.

A la comunidad se accesa mediante un camino de todo tiempo revestido con material selecto, en regular estado, el cual inicia en la salida norte de la ciudad de Tipitapa, inmediatamente después del Paso Viejo sobre el río Tipitapa, se vira hacia el sureste paralelo al río y sigue su mismo curso hasta llegar a los barrios Pasquier, La Carbonera y finalmente al extremo sur, conformando estos barrios la comunidad San Juan de Tipitapa. Específicamente se localiza en las coordenadas geográficas latitud Norte 12°09'52", longitud Oeste 86°02'00" W, a una elevación promedio de 48 msnm.

6.3 Variables de estudios

Las variables de estudio se enuncian a continuación:

6.4.1 Factores Humanos

- ❖ Conocimientos
- ❖ Aceptación
- ❖ Capacitación
- ❖ Operación y Mantenimiento

6.4.2 Eficiencia de los filtros

- ❖ Remoción de arsénico

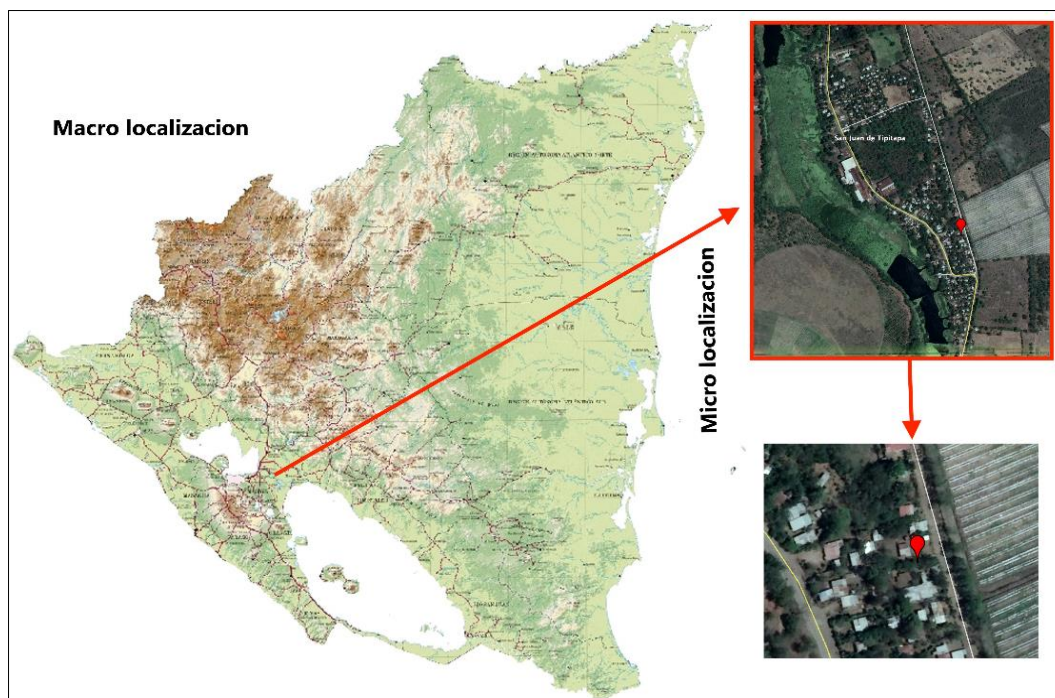
6.4.3 Factores Materiales

- ❖ Volúmen de Arena fina, media y Grava
- ❖ Peso de los Clavos
- ❖ Dimensiones del Filtro

6.4.4 Factures Naturales

- ❖ Arsénico
- ❖ pH
- ❖ Calcio
- ❖ Fosfato

Figura 2 Mapa de macro y micro ubicación del estudio en la comunidad de San Juan de Tipitapa.



Fuente: Ineter 2004 Google EarthPro 2020.

6.4 Método y Técnica de recolección de datos

6.4.1 Recolección de la información por medio de Encuesta

La encuesta fue dirigida a 118 jefes de familias de la comunidad San Juan de Tipitapa que tenían en uso el filtro, este trabajo de campo se realizó con el apoyo de 10 estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ), técnicos PIENSA y representantes del organismo de cooperación.

La recolección de la información se realizó tres sábados consecutivos 11/06/16, 18/06/16 y 25/06/16 por la mañana, aprovechando la permanencia de las familias en sus casas.

La encuesta se realiza para cumplir con el objetivo 1, establecer los factores humanos (conocimientos, efectos en la salud, aceptación, operación y mantenimiento) que influyen en la baja eficiencia del filtro Kanchan.

Figura 3

Realización trabajo de campo en la comunidad de San Juan de Tipitapa.



Fuente: UNI,2016.

6.4.2 Muestreo y preservación de las muestras

Debido a la naturaleza muy homogénea del universo: todos los filtros tienen el mismo diseño y construcción o ensamblado, están instalados en la misma zona, se alimentan de la misma fuente de agua, y a los usuarios se les brindó igual capacitación por lo que se decidió evaluar solamente 13 de estos.

A cada uno de los 13 filtros seleccionados se les tomó muestras del efluente para determinarles la concentración de arsénico y determinar el porcentaje de remoción en cada uno y la remoción promedio de arsénico.

Las muestras fueron recolectadas por técnico PIENSA el día 15 de agosto del 2016 en frascos plásticos oscuro de 500 ml, con previa adición de HNO₃ concentrado, para ayudar a conservar las características del agua del efluente de dichos filtros. Una vez recolectadas fueron trasladadas a los laboratorios PIENSA-UNI, donde con un equipo Arsenator, fotómetro digital portátil, se realizaron las determinaciones de arsénico.

6.5 Determinación de la eficiencia de filtros Kanchan seleccionados

Una vez determinada la concentración de arsénico en el agua cruda y en agua filtrada (13 filtros), se calculó el porcentaje de remoción (ver fórmula 1) con el fin de determinar cual era la eficiencia de los filtros kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentracion inicial} - \text{Concentracion final}}{\text{Concentracion Inicial}} * 100 \quad (6)$$

6.6 Contratación del ensamblaje de los Filtros Kanchan Instalados en la Comunidad con respecto a los criterios establecidos por MIT y ENPHO.

De acuerdo a los criterios de diseño y construcción original de los filtros Kanchan (MIT y ENPHO, 2004 se desensambló un filtro de los instalados en la comunidad) en los laboratorios del PIENSA UNI y se contrastó las características, tamaño, cantidad y volumen de cada uno de sus componentes con las establecidas en la Guía o Manual del Filtro Kanchan elaborado por el MIT ENPHO. Se asume que las características del filtro que se desensamble son similares a los demás dispositivos instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa.

Al encontrarse diferencias en los filtros de la comunidad con respecto a lo recomendado por Guías MIT y ENPHO, se ensambló un filtro Kanchan conforme a la guía, subsanando lo que fue necesario. Este se construyó con los mismos componentes del dispositivo desensamblado, con el propósito de verificar si los materiales que componen el filtro mejoran o mantienen el desempeño, en la remoción de arsénico presente en el agua de la comunidad.

6.7 Evaluación de Interferencias en la remoción de arsénico

En la tabla 1 se detallan las interferencias (Factores Naturales) que se van a determinar en la presente tesis, con el fin de evaluar si estos analitos interfieren en la remoción de arsénico. Las mediciones se realizarán en la entrada (agua cruda) y Salida (Agua filtrada) del filtro Kanchan.

Tabla 1: *Métodos de análisis utilizados para determinar factores naturales.*

Parámetros	Código del método	Nombre del método
pH	4500-B	Potenciométrico
Calcio	3500-B	Método Titulométrico
Fosfatos	3500-C	Método del ácido Vanadomolibdofosfórico
Arsénico	**	Arsenator

Capítulo VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Resultados obtenidos de las encuestas (ver sección de anexos).

Se resaltan los siguientes aspectos de encuesta realizada en junio 2016 a los pobladores de la comunidad San Juan de Tipitapa.

7.1.1 Datos Generales de la comunidad estudiada

El tamaño de la muestra fue de 118 encuestados, de los cuales 77.2 % fueron mujeres y el 22.8% hombres.

El 42.1% de la población era mayor a 46 años, el 24 % oscilan 36 a 45 años el resto de grupo etareos obtuvieron bajos porcentajes.

En términos de educación se encontró que la mayor parte de los encuestados cuenta con sus estudios de primaria (44.6%), un 20.5% no cuenta con estudios (analfabetos), seguidamente un 14.3% tiene solamente año básico ,12.5% han terminado su bachillerato y un 8% solamente sabe leer.

7.1.2 Factores humanos relacionados con el uso de los filtros Kanchan en la comunidad

a) Conocimientos

Un 36% de los pobladores se dieron cuenta recientemente de la presencia de arsénico en el agua de consumo en un periodo de 0- 6 meses, el 33% se enteró de 6 meses-1año y el 31% desde hace más de 1 año (Ver anexo 3).

En la comunidad se tiene conocimientos del tema de calidad de agua, pero no a toda la población se le ha explicado el tema del arsénico y sus efectos en la salud. Un 50 % conoce los efectos del arsénico en las personas y un 50.5 % desconoce estos efectos en la salud (ver anexo gráfico 4.6).

Los pobladores de la comunidad debido a que no se les presenta información en las escuelas ni centros de Salud sobre el tema de arsénico, tienden a relacionar los efectos de arsénico, con razon o sin razón, a enfermedades como cáncer, daños al organismo, diarrea, ceguera, dolor de estómago, problemas renales, enfermedades cutáneas (ver anexo gráfico 4.7).

Solamente un 16 % conoce que la parte mas importante del filtro son los clavos.

82 personas de la comunidad no saben como se llama el filtro para remover arsénico el resto simplemente le llama filtro y el resto desconoce el nombre.

b) Capacitación del Filtro Kanchan

El filtro utilizado para remover arsénico es nombrado por un 26.7 % de los comunitarios Filtro Kanchan el resto desconoce el nombre del filtro que han utilizado.

Un 89.5% fue capacitado para usar el filtro y el resto no. Estas capacitaciones fueron realizadas por el organismo coperante al 71.2 % de los habitantes, 11.5 % fue capacitado por un familiar, 5.2% por un vecino y el resto por CAPS u Otra entidad.

C) Operación y mantenimiento

Solamente un 55 % de los pobladores utiliza el filtro, en su mayoría alegan haber armado el filtro Kanchan después de su mantenimiento e indican que se realiza fácil, pero el resto aduce que es difícil armarlo cuando se le agrega la arena fina, clavos y las tejas.

El mantenimiento del filtro Kanchan se realiza de manera semanal hasta mensual y dura para algunos desde horas hasta semanas; dentro de lo que más se les dificultad es armarlo y desarmarlo, es muy pesado, retirar el agua, lleva mucho tiempo y se olvida del manejo.

los pobladores en algunos casos por asuntos laborales han capacitado y delegado a otro miembro de la familia la limpieza de los filtros cuando estos se colmatan o contienen exceso de óxido.

d) Aceptación

Un 55 % realmente utilizó el filtro y seguidamente un 23 % indica que nunca lo utiliza.

Un 12 % destaca tener dificultad para usar el filtro, de los Problemas encontrados con respecto al uso del filtro, son (ver anexo gráfico 7.9):

- a) Obtención de bajo caudal: difícilmente se logrará recolectar 15 a 20 Litros por hora, caudal de diseño para una familia de gran tamaño.
- b) Obtención de agua turbia y mal sabor: desconfianza del agua obtenida por presentar color y sabor.
- c) fragilidad del filtro: incurre en gasto para los pobladores y hace que la tecnología quede en desuso.

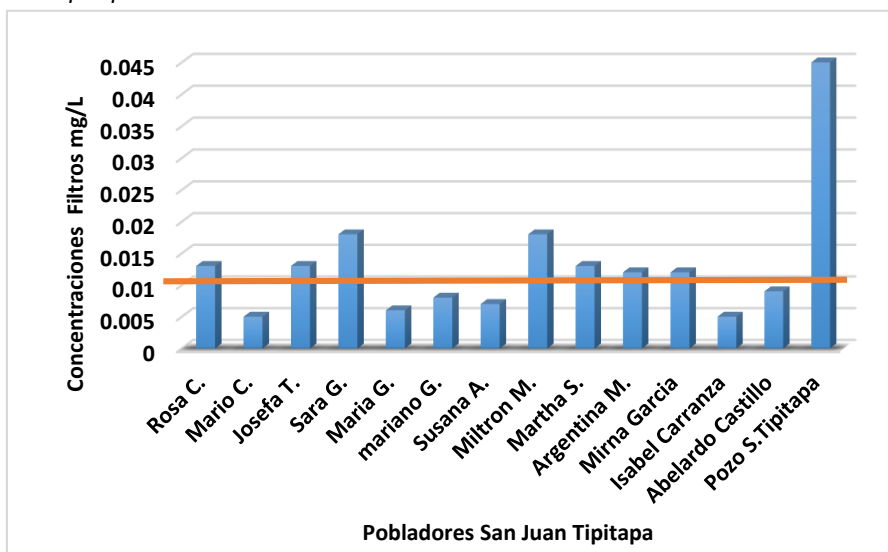
- d) Llave: incurre en gastos en los pobladores afectando sus ingresos.
- e) Capas de arenas: EL lavado de arena lleva esfuerzo, tiempo y dedicación.
- f) Colocación de la arena: Colocarse con cuidado sino se mezclan.
- g) Parrilla con clavos: tiende a quebrar la pana donde estos se colocan.

7.2 Determinación de la eficiencia en la remoción de arsénico de los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa.

Las muestras de efluente de los 13 filtros seleccionados fueron recolectadas el día 15 de agosto del 2016 por técnicos del PIENSA, el acompañamiento se realizó por representante del organismo cooperante, en cada una de las trece viviendas donde estaban instalados igualmente se tomó una muestra de agua del pozo que los abastece.

Figura 4

Concentración de arsénico en el agua Cruda y en efluente de Filtros evaluados en la Comunidad San Juan de Tipitapa



Las determinaciones de As en el laboratorio muestran un desempeño altamente heterogéneo del filtro. Aunque se reduce notablemente la concentración de arsénico del agua del pozo solamente 6 de los 13 filtros entregan agua con menos de 10 ug/L de As (ver Fig 3). El objetivo es que todos y cada uno de los filtros entreguen agua con menos de 10 ug/L de As para proteger la salud del consumidor, por tanto, solamente 6 filtros tienen eficiencias del 80% el resto tienen eficiencia del 61- 75 %.

7.3 Analisis comparativos de dimensiones, cantidades y propiedades de los componentes del filtro instalado en la comunidad con respecto a lo recomendados por MIT y ENPHO.

Tabla2:

Análisis comparativo de Filtro construido en comunidad San Juan con respecto a Filtro Kanchan modelo GEM 505 recomendado por el MIT y por ENPHO,2006.

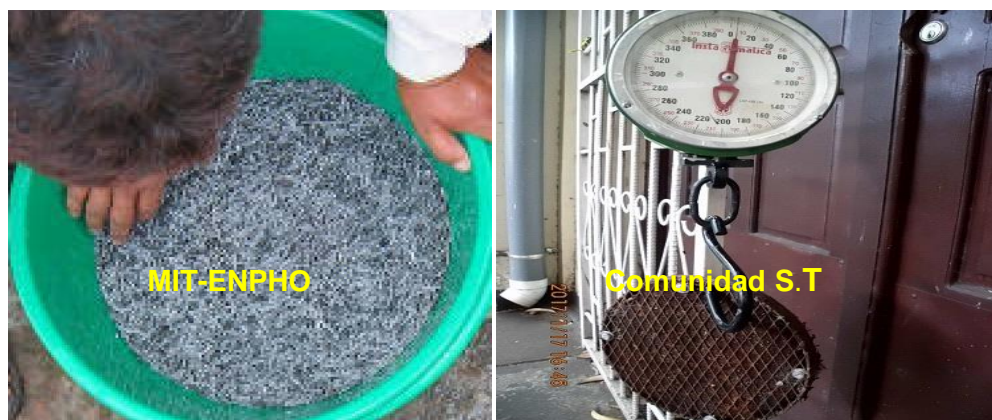
Especificaciones de Filtro MIT y ENPHO	Característica de los materiales utilizados en el Filtro Comunidad San Juan
5 kg de clavos sueltos sin galvanizar de 20-25 mm de longitud colocados en un pana plástica con agujeros en el fondo	1.8 kg de clavos confinados en una parrilla metálica colocada en una pana plástica con agujeros en el fondo
Arena Fina (<1 mm de Diámetro) de 20 a 22 L	Arena fina con diámetro menor de un 1mm, obtenido de pruebas granulométricas 15 a 16 litros
Arena Gruesa (3 a 6 mm de Diámetro) 4 L	Arena gruesa (diámetro menor a 3mm obtenida de pruebas granulométricas. 1.5 litros aprox
Grava (6 y 15 mm de Diámetro) 6 L	Grava (6-10 mm de diámetro obtenidas en pruebas granulométricas. 1.5 litros aprox
Cubrimiento de los clavos con trozos de ladrillos para evitar vertido directo del agua a filtrar sobre los clavos	Cubrimiento excesivo de la parrilla de clavos con ladrillos de barro.
Espesor de la capa de arena fina en el balde plástico 20 cm aproximadamente	Espesor de la capa de arena fina en el balde plástico 20 cm aprox
Espesor de la capa de arena gruesa en el balde plástico 5 cm aproximadamente	Espesor de la capa de arena gruesa en el filtro 1.5 cm aprox
Espesor de la capa de grava en el balde plástico 5 cm aproximadamente	Espesor de la capa de grava en el filtro 1.5 cm aprox
Espacio libre entre fondo de la pana con clavos y el nivel de agua en el balde 5 cm equivalente a unos 5 litros	Espacio libre entre fondo de pana y el nivel de agua en el balde 4 cm equivalente a 3 litros aprox
Altura de agua permanente sobre la capa de arena fina en el balde 5 cm	Altura de agua permanente sobre la capa de arena fina en el balde 5 cm

Análisis de los Componentes usados en el filtro instalado en la comunidad

a) Cobertura de Los clavos

Figura 5

Cobertura de clavos en Filtros en la Comunidad San Juan de Tipitapa

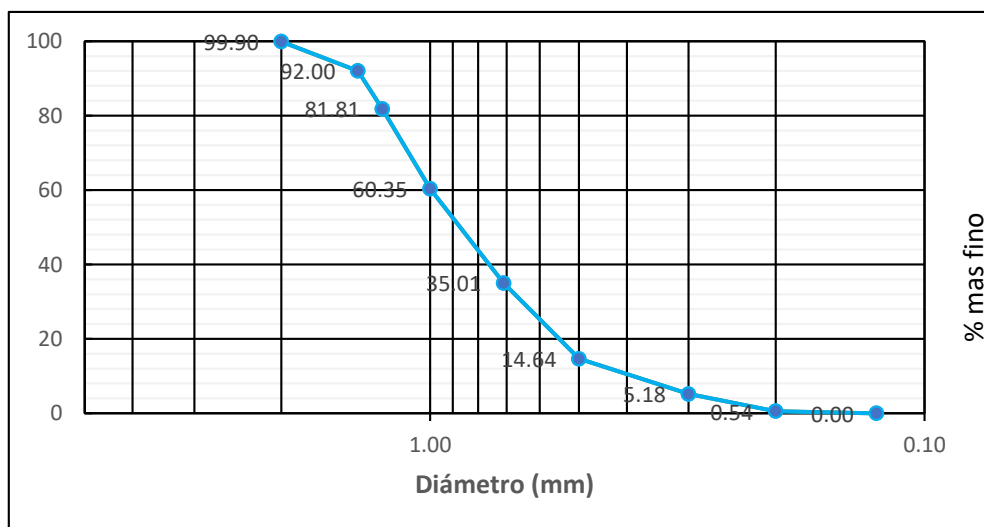


b). Capas de arena

b.1) **Arena fina** se adopta el criterio utilizado en los filtros lentos debido a la similitud de funciones retener partículas y turbiedad, esta arena fina se procura que tenga un diámetro efectivo de 0.15-0.2 mm. Del análisis granulométrico realizado en la arena llamada fina en los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan, se encontró que el mayor porcentaje de arena queda retenido en la malla de 0.71 mm, con un diámetro efectivo de 0.43 mm, $D_{60}=0.99$ mm y el $CU=2.34$; El CU menor que 2.5 indica que la arena es muy uniforme y, en este caso, le hace falta más finos para ser un medio filtrante bien graduado.

Tabla3:*Granulometría de arena Fina*

Malla/Tamiz mm	Peso Retenido gramos	Porcentaje %	Acumulado %	Porcentaje no retenido
2.00	1.1	0.10	0.10	99.90
1.40	87.0	7.90	8.00	92.00
1.25	112.2	10.19	18.19	81.81
1.00	236.4	21.47	39.65	60.35
0.71	279.0	25.33	64.99	35.01
0.50	224.4	20.38	85.36	14.64
0.30	104.1	9.45	94.82	5.18
0.20	51.1	4.64	99.46	0.54
0.125	6.0	0.54	100.00	0.00
	1101.3	100.00		

Gráfico 1*Curva Granulométrica de Arena Fina*

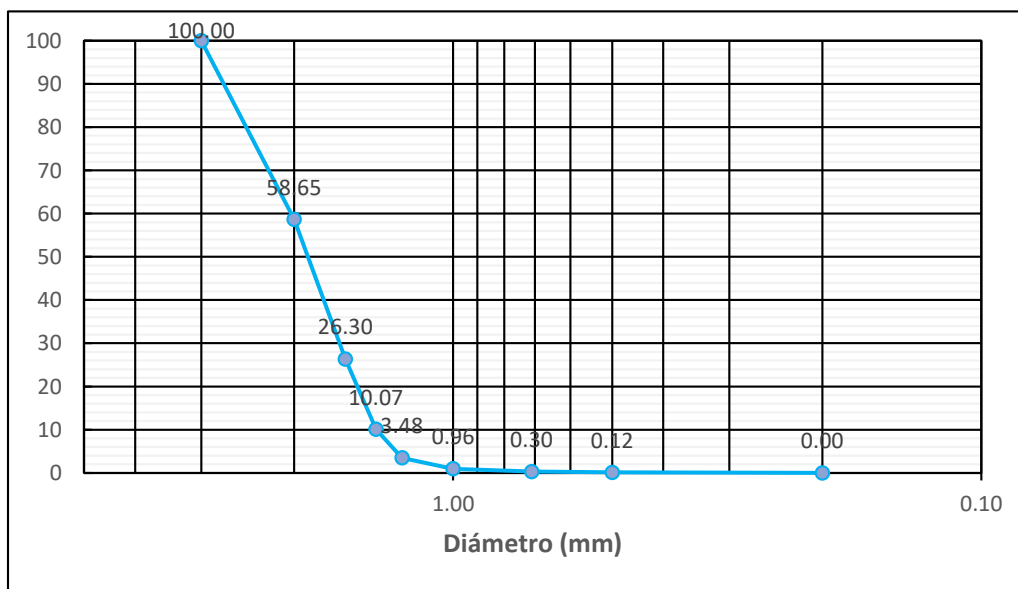
b.2) La función de la **arena gruesa** es servir de soporte a la capa de arena fina y lo recomendado es que contengan diámetros de 3-6 mm (Tommy Ngai et al, 2006). El análisis granulométrico, realizado en laboratorios PIENSA, a la arena gruesa de los filtros desensamblados mostró que el 100 % de los granos de esta arena son menores de 3.0 mm y que el mayor porcentaje de granos de arena gruesa queda retenido en la malla de 2.0 mm, con un diámetro efectivo de 1.4 mm, $D_{60}=2.1$ mm y el $CU=1.5$

Tabla 4: Granulometría de arena gruesa

Malla/Tamiz mm	Peso Retenido gramos	Porcentaje %	Acumulado %	Porcentaje no retenido
3.00	0.0	0.00	0.00	100.00
2.00	438.4	41.35	41.35	58.65
1.60	343.0	32.35	73.70	26.30
1.40	172.1	16.23	89.93	10.07
1.25	69.9	6.59	96.52	3.48
1.00	26.7	2.52	99.04	0.96
0.71	7.0	0.66	99.70	0.30
0.50	1.9	0.18	99.88	0.12
0.20	1.3	0.12	100.00	0.00
	1060.3	100.00		

Gráfico 2

Curva Granulométrica de Arena gruesa



c) trozos de ladrillos se aprecia en las las unidades Kanchan instalados en la comunidad que hay muchos ladrillos y otro material metálico en los filtros.

Figura 6

Cobertura de trozos de ladrillos en Filtros Kanchan en la Comunidad San Juan de Tipitapa



Figura.7 Características o dimensiones del Filtro construido en Comunidad San Juan de Tipitapa



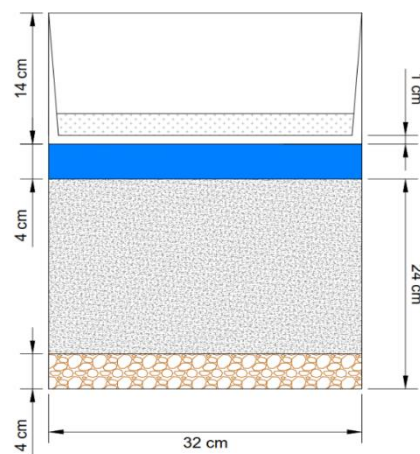
a. Altura del balde 43 cm

b. diametro del balde 32 cm

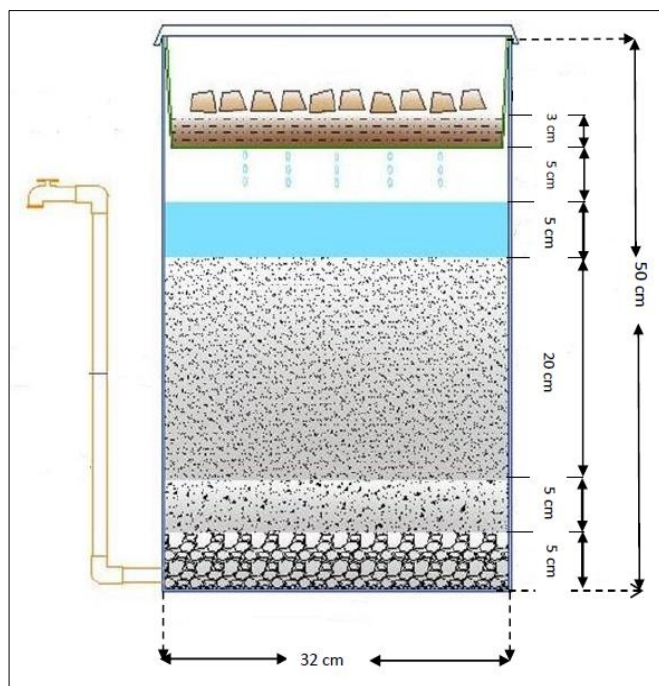
c. Altura de la pana 14 cm



d. Altura del balde hacia arena 19 cm



e. Dimensiones del Filtro San Juan



f. Dimensiones de Filtro Kanchan ENPHO

Fuente: Elaboración Propia adaptado de Guías ENPHO y MIT



F). Filtro Kanchan Comunidad San Juan de Tipitapa

Las dimensiones, cantidades y propiedades de los componentes del filtro instalado en la comunidad en su mayoría no cumplen con las especificaciones para ser considerados como filtro kanchan, por tanto, el siguiente paso es ensamblar un nuevo filtro ajustándolo a los criterios de filtro Kanchan (volúmenes, pesos y granulometría).

7.6 Fase de reensamblaje rehabilitación de una unidad de filtración con lo establecido por guías MIT y ENPHO.

Realizado el diagnóstico y elaborado las conclusiones, identificando las posibles causas por las que las unidades instaladas no mostraron el desempeño esperado de garantizar una remoción de arsénico mayor del 80% en el 100% de los casos para proporcionar agua con una concentración de arsénico menor a los 10 microgramos/L se procedió a ensamblar, utilizando en lo posible los mismos materiales de las unidades evaluadas, un filtro que cumpliera con lo establecido en la (Guía o Manual) del MIT ENPHO.

Para cumplir con estos criterios se reemplazó parte de la arena fina original con arena fina que pasara el tamiz de 0.6 mm y el de 0.4 mm para disminuir el valor del diámetro efectivo de la capa de arena fina requerido; se aumentó la cantidad de clavos de 20 – 25 mm y en lugar de colocarlos en la parrilla se colocaron en una pana plástica con agujeros en el fondo para aumentar el tiempo de contacto entre el agua y el óxido de hierro.

Con los resultados del diagnóstico se construyó un Filtro Kanchan cumpliendo con las guías del MIT completando volumen de materiales, corrigiendo granulometría, tiempo de retención del agua en la pana, cantidad y volumen de clavos.

La fase constructiva del filtro Kanchan culminó en agosto del año 2019 y luego se procedió a transportar agua desde la fuente contaminada con arsénico, en San Juan de Tipitapa, hasta el laboratorio del PIENSA. En total se transportó agua dos veces, en diciembre 2019 y en marzo 2020, y en cada vez unos 300 litros los cuales fueron filtrados en el Kanchan ensamblado en el PIENSA.

Figura 8*Recolección de muestras en Comunidad San Juan de Tipitapa***Figura 9** *Reconstrucción de Filtro Kanchan a nivel de Laboratorio*

a) Tamizado arena fina



b) Tamizado arena Gruesa



c) Pesaje de Clavos oxidados



d) perforación del balde



e) armado del Filtro



f) Partículas de hidrox.de hierro retenidas en la arena fina

7.6.1 Evaluación de Filtro Kanchan construido en Laboratorios PIENSA-UNI

Se realizó determinaciones de calcio, fosfato y de pH tanto en el agua cruda como la tratada o efluente del filtro con el fin de determinar si existe interferencia de estos elementos o sustancias naturales en la remoción del arsénico.

Figura 10

Agua Cruda (Comunidad San Juan de Tipitapa)



A pesar que se agregó arena fina con diámetro menor de 0.4 mm el efluente del filtro todavía presentó turbiedad y color y cuando se determinó arsénico en el efluente este salió con una concentración de 12 microgramos/Litro.

La concentración medida luego del contacto con los clavos por medio del sistema de filtración por la bomba aspiradora del kitasato, fue de 5 ug/L.

Figura 11
Filtración de agua cruda haciendo uso de Kitasato



Para mejorar la capacidad de retención de la arena fina se agregó entonces arena con con diámetro menor de 0,2 mm y así disminuir más el diámetro efectivo de la arena fina y por lo tanto su eficiencia para retener las partículas de hidróxido de hierro con arsénico adsorbido.

Fig.12:
Frascos con muestras del agua filtrada en el Kanchan del laboratorio PIENSA



7.6.2 Análisis Físicos químicos para evaluación del desempeño del Filtro rehabilitado

Finalmente es notorio que utilizar arena con menor diámetro efectivo aumenta la eficiencia del filtro para remover arsénico. Se puede apreciar que las concentraciones de arsénico fueron disminuyendo hasta obtener concentraciones menores a 0.001 mg/L, dicho valor está por debajo del límite máximo permitido de la norma CAPRE que nos indica que para consumo humano la concentración de arsénico debe estar por debajo de 0.01 mg/L en el agua potable.

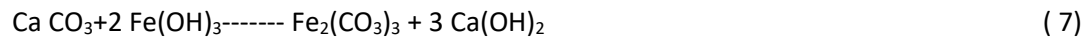
Tabla 5.

Resultados del análisis Físicoquímicos del Efluente del Filtro instalado a nivel de Laboratorio

N°	Fechas	diámetro	Muestras ID	pH	Calcio mg/L	Fosfatos mg/L	Arsénico mg/L
1	10/12/2019	*	Entrada(Agua Cruda) M1	8.89	0.96	0.1	0.45
2	10/12/2019	0.40	Salida del filtro M2	8.22	9.94	0.1	0.014
3	04/02/20	0.40	Salida del Filtro M3	-	-	-	0.014
4	06/02/20	0.40	Salida del Filtro M4	-	-	-	0.014
4	07/02/20	0.40	Salida del Filtro M5	-	-	-	0.012
6	26/03/20	0.40	Salida del Filtro m1.1	8.41	13.71	0.1	0.005
7	27/03/20	0.20	Salida del Filtro M1.2	8.36	8.34	0.3	<0.001
8	31/03/20	0.20	Salida del Filtro M1.3	8.36	8.62	0.2	<0.001
9	20/04/20	0.20	Salida del Filtro M1.4	8.41	13.71	0.1	<0.001
10	21/0/20	0.20	Salida del Filtro M1.5	8.39	14.35	0.3	<0.001
11	22/04/20	0.20	Salida del Filtro M1.6	8.37	13.71	0.3	<0.001
12	23/04/20	0.20	Salida del Filtro M1.7	8.35	14.27	0.1	<0.001

Los valores de pH del agua subterránea disminuyen ligeramente al pasar por el sistema de filtración, obteniéndose valores que están dentro del rango que indica la norma CAPRE de 6-9.

El agua del pozo contiene concentraciones de calcio de 0.96 ppm, el aumento de calcio a la salida del filtro se puede atribuir debido a coprecipitación con el óxido de hierro que reacciona con la alcalinidad total del agua y esta ocasiona algún desprendimiento de calcio, incorporándose al agua que sale del filtro. La concentración promedio de calcio en la salida del filtro fue de 12.38 mg/L, este valor obtenido se encuentra por debajo de lo estipulado en normas CAPRE.



Las concentraciones de fosfato contenidas en el agua subterránea de la comunidad, tanto en la entrada como en la salida del filtro no presentan mucha variación en la entrada con respecto al agua que entrega el filtro, las concentraciones obtenidas se consideran bajas, según la norma Colombiana Resolución 2115 de 2007, en el artículo 7, establece que el valor aceptable para la concentración de fosfatos en el agua para consumo humano debe ser menor o igual a 0.5 mg/L (Christine B. Wenk, A,B Ralf KaegiA and Stephan J. HugA,C. 2014).

Capítulo VIII. CONCLUSIONES

1. La eficacia de los filtros caseros Kanchan es afectada negativamente por una serie de factores como son: inadecuada operación y mantenimiento de los mismos lo que resulta un desempeño del filtro menor que el esperado, Falta de capacitación y concientización del uso del filtro, Falta de un Instructivo de Operación y mantenimiento del filtro y no hay un seguimiento continuo o refrescamiento en capacitación para la operación y mantenimiento complementado.

2. El poco uso del filtro en la comunidad se puede atribuir a que no conocen el nivel de riesgo que tienen las personas al consumir altas concentraciones de Arsénico ya que el tema de arsénico y sus efectos no es abordado en las escuelas ni centros de salud.

3. El poco uso del filtro en la comunidad está relacionado (después de la filtración) con bajo caudal, mal sabor, agua amarillenta, presencia de sarro, sabor después de filtrar y balde muy frágil.

4. La remoción promedio de arsénico en los filtros Kanchan instalados en la comunidad San Juan de Tipitapa fue de 70%, esto se atribuye a que los materiales utilizados no cumplen con el diseño original, por tanto, esta eficacia puede aumentar cumpliendo con los volúmenes, cantidad y tipo de arena recomendado por las Guías MIT y ENPHO.

5. Las concentraciones naturales de pH, calcio y fosfato (factores naturales) presentes en el agua cruda proveniente del pozo de la Comunidad San Juan de Tipitapa no influyen en la remoción de arsénico.

Capítulo IX. RECOMENDACIONES

1. Durante el diseño de los Filtros Kanchan, tomar siempre como referencia la guía elaborada por El instituto tecnológico de Massachusetts (ITM) en colaboración con ENPHO y RWSSSP.
2. Dar conocer a las instituciones como El Ministerio de Salud (MINSa), Alcaldías del país, Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y las asociaciones de Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) el buen uso y funcionamiento de los filtros Kanchan.
3. Realizar en las comunidades continuas capacitaciones para garantizar que las unidades ensambladas y los materiales utilizados cumplan con los requisitos o criterios establecidos por MIT y ENPHO durante la operación y mantenimiento por parte de los comunitarios para que estos logren la sostenibilidad en el uso de la tecnología.
4. Adherir al filtro las instrucciones de operación y mantenimiento del mismo y entregar a cada familia beneficiada un afiche emplastado que contenga información relevante sobre el arsénico y el funcionamiento del filtro Kanchan
5. Evaluar en otros estudios la coprecipitación, que se puede formar después que se da la adsorción de arsénico con el hidróxido de hierro, debido a la composición natural del agua Subterránea ya que esto puede ocasionar la baja eficiencia del filtro Kanchan.

Capítulo X. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar E., Parra M., Cantillo L., Gómez A. (2000). *Intoxicación crónica por arsénico*. El Zapote Nicaragua 1996. Med Cut ILA, 28:168-173
- Altamirano M., Bundschuh J. (2009). *Natural arsenic groundwater contamination of the sedimentary aquifers of southwestern Sébaco valley, Nicaragua*.
- ASTOLFI E., Besuschio S., García, G. (1982). *Hidroarsenicismo crónico Regional Endémico*.
- Anderson, G., J. Williams, and R. Hille. 1992. *The purification and characterization of arsenite oxidase from *Alcaligenes faecalis*, a molybdenum-containing hydroxylase*. J. Biol. Chem. 267: 23674-23682.
- Bhattacharya P., Jacks, G., Frisbie, S.H., Smith, E., Naidu, R., Sarkar, B. (2002) *Arsenic in the environment: a global perspective*. En B. Sarkar (ed.): Heavy Metals in the Environment.
Cap. 6. Marcel Dekker, Nueva York, págs. 147-215.
- Bundschuh J, Armienta MA, Birkle P, Bhattacharya P, Matschullat J y Mukherjee AB.(2011). *Natural arsenic in groundwater of Latin America*.
- Campos, V., C. Valenzuela, M. Alcorta, G. Escalante, and M. Mondaca. (2007). *Isolation of Arsenic resistance bacteria from volcanic rocks of Quebrada Camarones, Parina Region, Chile*. Gayana 71: 150-155.
- Castro de Esparza, M.L. (2006). *Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos*. Proceedings, International Congress, Mexico City, 20-24.
- Deschamps E., Ciminelli, V., Höll, W.H. (2005). *Removal of As (III) and As (V) from water by means of a natural enriched iron and manganese samples*. Water Res. 39, págs. 52125220.
- D. Mohan, C. Pittman. (2007) *arsenic removal from water/wastewater using adsorbents*. Recuperado de doi:10.1016/JHAZMANT.2007.01.006
- Emsley, J. 2001. *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. New York, NY, USA.

- Environmental Protection Agency. 2006. *Edition of the drinking water standards and health advisories*. Washington, DC, USA.
- Holm, T.(2002). *Effects of CO₃-2/bicarbonate, Si and PO₄-3 on arsenic sorption to HFO*. J. AWWA, 94, págs. 174-181.
- Goot, W., Sarkhel, S., Hobbes, M.(2007). *Delivery of subterranean arsenic removal in West Bengal*, CML Institute of Environmental Sciences, university of Leiden, Holanda, julio.
- Gómez, A. (2009). *Chronic arsenicosis and respiratory effects in El Zapote, Nicaragua*. In: J. Bundschuh, M.A. Armienta, P. Birkle, P. Bhattacharya, J. Matschullat and A.B. Mukherjee: *Geogenic arsenic in groundwater of Latin America*. In: J. Bundschuh and P. Bhattacharya (series eds): *Arsenic in the environment*, Vol 1. CRC Press/Balkema Publisher, Leiden, The Netherlands, pp.409-418
- González M, Provedor E, Reyes M, López A y Lara K.(1998).*Exposición del Arsénico en comunidades rurales de San Isidro, Matagalpa, 1997*.Centro de Estudios de Investigaciones y Estudios de la Salud.
- Gihring, T. M., G. K. Druschel, R. McCleskey, R. Hamers, and J. Banfield. (2001). *Rapid arsenite oxidation by Thermus aquaticus and Thermus thermophilus: Field and laboratory investigations*. Environ. Sci. Technol. 35: 3857-3862
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (1996). *Informe de los resultados de As en comunidades rurales del municipio de San Isidro*. Managua, Nicaragua.
- Gillispie, E. C., T. D. Sowers, O. W. Duckworth, and M. L. Polizzotto. 2015. *Soil pollution due to irrigation with arsenic contaminated groundwater: Current state of science*. Curr. Pollut. Rep. 1: 1-12.
- J.C. Ng,J.P. Wang ,A.Shraim, A global health problema caused by arsenic from natural sources.Chemosphere 2003,52.Recuperado de :doi10.1016/S0045-6535(03)00470-3
- Lieutaud, A.,Van Lis R., Duval S.,Capowiezl L., Muller D.,Lebrun R.(2010). *Arsenite oxidase from Ralstonia sp22.Characterizacion of the enzyme and its interaction with soluble cytochromes*. Recuperado de doi: 10-1016/j.femsee.2004.02.008
- Luzi, S., Berg, M., Pham, t.K.t., Schertenleib, r.(2004). *Household Sand Filters for Arsenic Removal - Technical Report*. Swiss Federal Institute for Environmental Science and technology (EAWAG). duebendorf, Suiza,. disponible en: www.arsenic.eawag.ch/publications.

Mohan, d., Pittman, C.u. (2007). *Arsenic removal from water/wastewater - a critical review*, J. Hazard. Mat. 142 pps. 1-53.

Naciones Unidas.(2018). Objetivos de desarrollo sostenible; 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Nueva York.Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.

Ngai, T. and Walewijk, S. 2007. *The Arsenic Biosand Filter (ABF) project: design of an appropriate household drinking water filter for rural Nepal*, Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology. <http://web.mit.edu/watsan>.

Programa de Investigación y Docencia de Medio Ambiente, Universidad de Ingeniería y UNICEF. (2002). *Evaluación rápida de la contaminación por arsénico y metales pesados de las aguas subterráneas de Nicaragua*.

Prasad, K., Subramanian,V. & Paul J.(2009). *Purification and characterization of arsenite oxidase from arthrobacter sp*. Biometals 22: 711-21.

Mandal, B. K. and K. T. Suzuki. 2002. *Arsenic round the world: A review*. Talanta 58: 201-235.

Mukhopadhyay, R., B. Rosen, L. Phung, and S. Silver 2002. *Microbial arsenic: from geocycles to genes and enzymes*. FEMS Microbiol. Rev. 26: 311-325

Muller, D., D. Simeonova, P. Riegel, S. Mangenot, S. Koechler, D. Lièvremon, P. N. Bertin, and M. C. Lett. 2006. *Herminiimonas arsenicoxydans sp. nov., a metalloresistant bacterium*. Int. J. Syst. Evolut. Microbiol. 56: 1765-1769

Murray R. Spiegel y Larry J. Stephens. (2009). *Estadística*. 4ta edición. Mc Graw-Hill. México, D.F.

Oremland, R. S. and J. M. Stolz. 2003. *The ecology of arsenic*. Science 300: 939-944

Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Recuperado de:
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Arsénico*. Recuperado de :
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>

- Organización panamericana de la Salud. (2005). *Evaluación rápida de la calidad del agua de bebida en Nicaragua*. Recuperado de: <http://www.bvsde.org.ni>
- Rakib, M. A. and M. Bhuiyan. 2014. *Arsenic contamination: Food toxicity and local perception*. Int. J. Sci. Res. Environ. Sci. 2: 1-7.
- S.Murcott.(2012). *Arsenic contamination in the world*. London.
- Santini, J. M., L. I. Sly, R. D. Schnagl, and J. M. Macy. (2000). *A new chemolithoautotrophic arsenite-oxidizing bacterium isolated from a gold mine: Phylogenetic, physiological, and preliminary biochemical studies*. Appl. Environ. Microbiol. 66: 92-97.
- Ravenscroft, P., H. Brammer & K.S. Richards. (2009) *Arsenic Pollution: A Global Synthesis*. Chichester: Wiley-Blackwell
- Tsai, S. L., S. Singh, and W. Chen. (2009). *Arsenic metabolism by microbes in nature and the impact on arsenic remediation*. Curr. Opin. Biotechnol.20: 659-667.
- World Health Organization. (2003). *Arsenic in drinking-water*. Guidelines for drinking-water quality. Ginebra (Suiza).

Capítulo XI. ANEXOS

Anexo1. Instrumento de recolección de datos



Encuesta a los pobladores de la comunidad San Juan de Tipitapa, usuarios de filtros Kanchan

Fecha: _____

Número: _____

Estimado usuario:

El filtro Kanchan, que Ud. y su familia recibieron, es capaz de limpiar el agua de un compuesto dañino para su salud, llamado arsénico.

Por esta razón, es muy importante para la organización World Vision (WV), la misma que instaló el filtro, evaluar el funcionamiento de este equipo, conocer si el filtro funciona bien y tomar medidas, en caso que sea necesario, para que funcione eficientemente y poder seguir protegiendo la salud de Usted y su familia.

WV y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) a través del Programa de Investigación, Estudios Ambientales y Servicios del Ambiente, (PIENSA); desean hacerle algunas preguntas que serán un valioso aporte para un estudio que está siendo realizado sobre este tema. Le pedimos que nos regale unos minutos de su tiempo para responder.

Datos Generales

Señala con una X la opción que corresponda:

- 1 Sexo: 1.1) Masculino () 1.2) Femenino ()
- 2 Edad (años): 2.1) Menos de 25 () 2.2) Entre 25 y 35 () 2.3) Entre 36 y 45 ()
 2.4) 46 o más ()
- 3 Escolaridad: 3.1) Analfabeto () 3.2) Lee () 3.3) Primaria ()
 3.4) Año básico () 3.5) Bachillerato () 3.6) Universidad ()

Conteste las siguientes preguntas

4 CATEGORÍA 1: De la presencia de arsénico y efectos en la salud

4.1) ¿Hace cuánto tiempo vive en esta comunidad? _____ años _____ meses

4.2) ¿En todo este tiempo se han abastecido de agua de la misma fuente?

Sí _____ No _____



4.3) ¿Quién les informó que el agua que llega a su casa tiene arsénico?

4.4) ¿Hace cuánto tiempo se dieron cuenta?

4.5) ¿Les han explicado los efectos del arsénico en las personas?

Sí _____ No _____

4.6) ¿Considera usted, que conoce los efectos del arsénico en la salud?

Sí _____ No _____

4.7) ¿Sabe qué concentración tiene el arsénico en el agua que Usted está consumiendo?

_____ No sé _____

4.8) ¿Cuál otra sustancia en el agua, cree Usted, puede ser perjudicial para la salud?

_____ No sé _____

5 CATEGORÍA 2: De la vigilancia de la salud y la calidad del agua

¿Qué institución los visita para tomar muestras de agua para análisis?

5.1) MINSA () 5.2) ENACAL () 5.3) WV () 5.4) Otra () _____
5.5) Desconozco () 5.6) Ninguna ()

5.7) ¿Los visitantes les brindan información sobre los resultados de la calidad de agua?

Sí _____ No _____ No sé _____

5.8) ¿Las visitas las han hecho desde antes de enterarse de la presencia de arsénico o después?

Antes _____ Después _____ No sé _____

5.9) ¿Existe algún comité u organización en la comunidad que aborde el tema de arsénico en el agua entre sus actividades?

Sí _____ No _____ No sé _____

Si la respuesta anterior fue No o no la sabe, deje en blanco las siguientes dos preguntas:

5.10) ¿Cómo se llama ese comité u organización?

5.11) ¿Por la iniciativa de quién fue organizado?



5.12) ¿En la escuela abordan el tema de arsénico en los temas educativos?

Si _____ No _____ No sé _____

5.13) ¿En el Centro o Puesto de Salud hay información sobre arsénico en el agua?

Si _____ No _____ No sé _____

5.14) ¿Conoce de la existencia, en su Alcaldía, de alguna oficina que atienda el tema del agua y saneamiento de la comunidad?

Si _____ No _____ No sé _____

6 CATEGORÍA 3: De conocimiento general sobre el dispositivo

6.1) ¿Cuál es el nombre del dispositivo para remover arsénico que Usted utiliza?

_____ No sé _____
(Escribir nombre)

6.2) ¿Sabe Usted para qué sirve este filtro?

¿Realmente utiliza el filtro?

6.3) Si, siempre () 6.4) Si, a veces () 6.5) No, nunca ()

6.4) ¿Lo capacitaron para usar el filtro?

Si _____ No _____

7 CATEGORÍA 4: Del ensamblado, operación y mantenimiento del dispositivo removedor de arsénico

7.1) ¿Participó Usted en el ensamblado del dispositivo que utiliza?

Si _____ No _____

7.2) ¿Cuál es la parte más difícil del ensamblado del dispositivo?

Nombre de la parte _____ No sé _____

7.3) Mencione los dos componentes del dispositivo, que Usted cree son los más importantes

_____ y _____ No sé _____



7.4) ¿Usted, personalmente, da mantenimiento (limpieza) a este filtro, para purificar el agua que consume?

Si _____ No _____

Si la respuesta anterior es Sí, responda:

¿Le da mantenimiento continuamente 7.5) () esporádicamente 7.6) ()?

7.7) ¿Qué tan frecuente se hace el mantenimiento? _____

7.8) ¿Cuánto tiempo le toma limpiarlo? _____

7.9) ¿Se dificulta hacer el mantenimiento? Si _____ No _____

7.10) ¿Le ha delegado en otro miembro de la familia la tarea de limpieza del filtro en caso necesario?

Si _____ No _____

7.11) Mencione dos problemas que haya tenido con el uso del filtro.

1. _____

2. _____

7.12) ¿Quién ha reparado o solucionado las dificultades que Usted ha tenido con el dispositivo?

7.13) ¿Cree Usted que es muy difícil utilizar este dispositivo?

Si _____ No _____ Explique _____

7.14) Si la respuesta anterior es Sí, mencione algunas de las dificultades

1. _____

2. _____

3. _____

7.17) ¿Qué sugiere Usted para que su uso fuera más sencillo o con menos dificultad?



7.4) ¿Usted, personalmente, da mantenimiento (limpieza) a este filtro, para purificar el agua que consume?

Si _____ No _____

Si la respuesta anterior es Sí, responda:

¿Le da mantenimiento continuamente **7.5)** () esporádicamente **7.6)** ()?

7.7) ¿Qué tan frecuente se hace el mantenimiento? _____

7.8) ¿Cuánto tiempo le toma limpiarlo? _____

7.9) ¿Se dificulta hacer el mantenimiento? Sí _____ No _____

7.10) ¿Le ha delegado en otro miembro de la familia la tarea de limpieza del filtro en caso necesario?

Si _____ No _____

7.11) Mencione dos problemas que haya tenido con el uso del filtro.

1. _____

2. _____

7.12) ¿Quién ha reparado o solucionado las dificultades que Usted ha tenido con el dispositivo?

7.13) ¿Cree Usted que es muy difícil utilizar este dispositivo?

Si _____ No _____ Explique _____

7.14) Si la respuesta anterior es Sí, mencione algunas de las dificultades

1. _____

2. _____

3. _____

7.17) ¿Qué sugiere Usted para que su uso fuera más sencillo o con menos dificultad?

Anexo 2. Ficha de registro de datos para resultados de muestra de agua

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

MP00-00-0

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS		
Fecha y Hora de Muestreo				Rango o valor máximo permisible
Muestreado por				
Supervisor de Muestreo en Campo				
Fuente				
Tipo de muestra				
Observaciones de Ubicación				
Coordenadas				
Codificación PIENSA				Norma CAPRE*
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. **NE**= No especificada en la Norma, **NR**= No Reporta.

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: **SM** = Standard Methods, 21th.2005 **EPA** = Environmental Protection Agency

*Norma Regional de Calidad del Agua para Consumo Humano: Norma Regional CAPRE.

G.H: Generador de Hidruros, Utilizando ARSENATOR

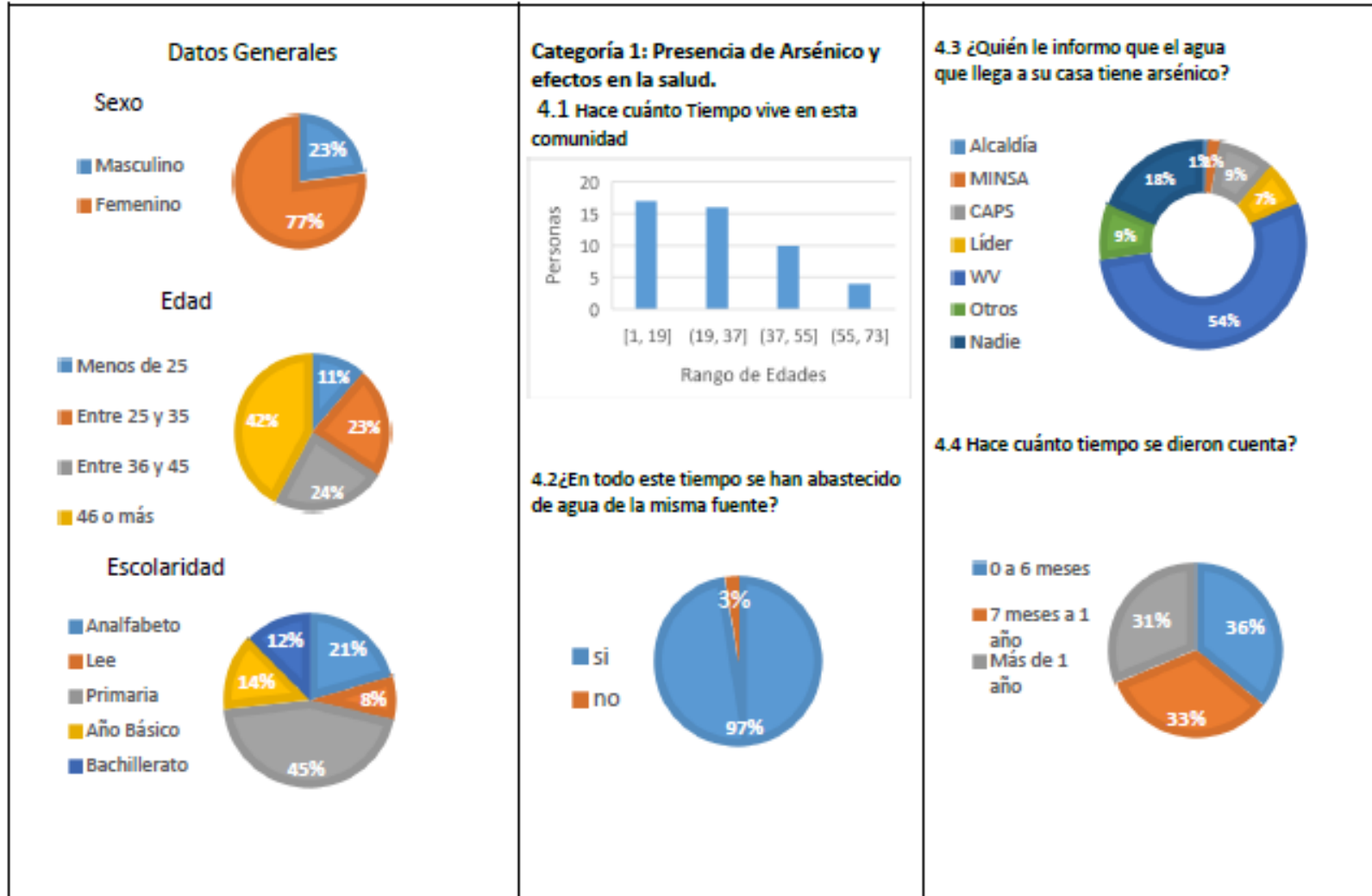
Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. Xochilt Barahona Silva
Responsable Laboratorio Micropoluentes

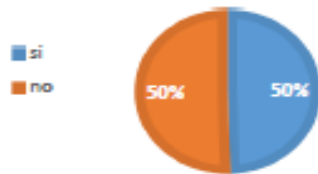
PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

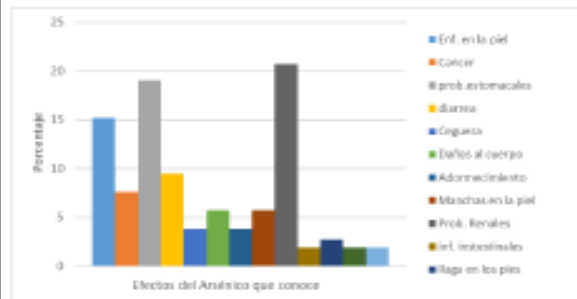
Anexo 3 : Resultados de la encuesta



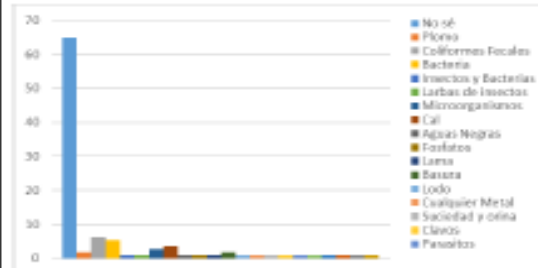
4.6 ¿Considera usted que conoce los efectos del arsénico en las personas?



mencione que efectos conoce



4.8 Otras sustancias perjudiciales para la salud



Categoría 2: Vigilancia de la salud y la calidad del agua

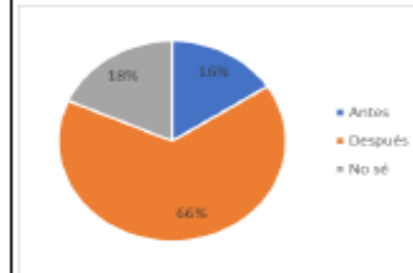
5.1 Que Institución los visita para tomar muestras de agua.

Institución	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
MINSA	16.1	16.1
ENACAL	1.8	17.9
Otra	34.8	52.7
Desconozco	21.4	74.1
Ninguna	25.9	100
Total	100	

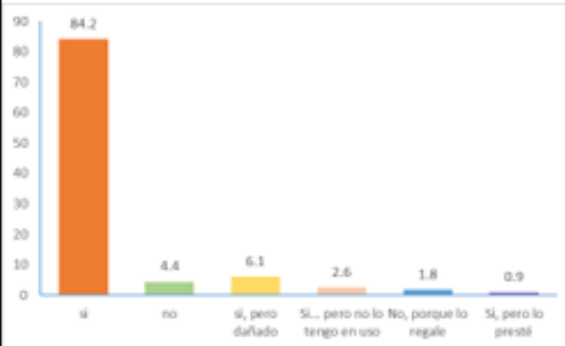
5.7 Les brindan información sobre los resultados de la calidad de agua.



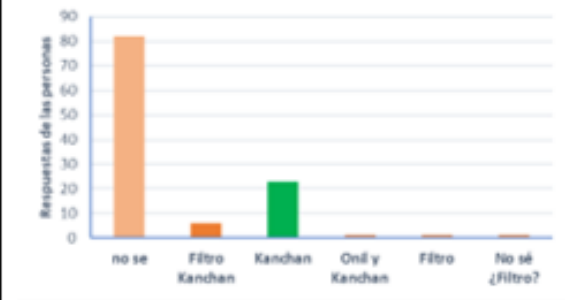
5.8 Las visitas la han hecho antes o después de enterarse



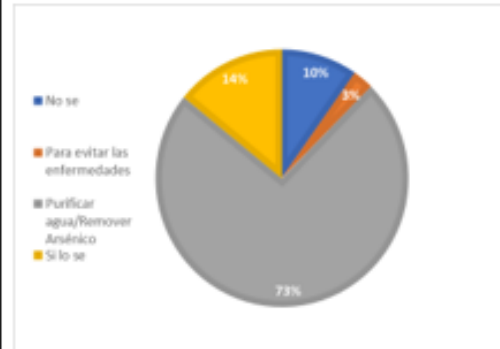
6.1 ¿Usted tiene filtro para remover arsénico?



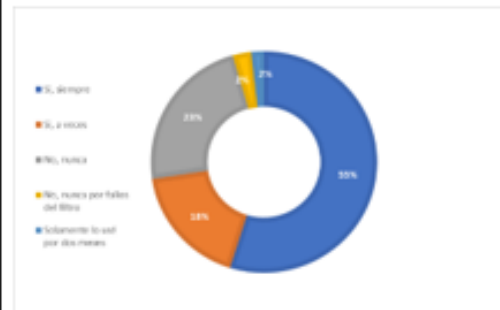
6.2 ¿Cuál es el nombre del filtro para remover arsénico que Usted utiliza?



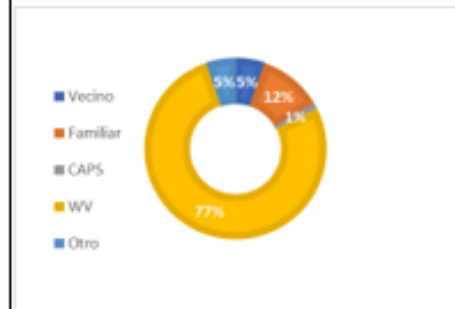
6.3 Explique para que sirve este filtro, si sabe.



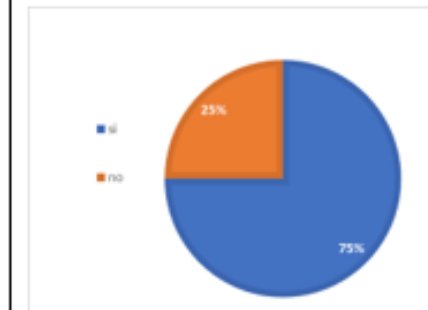
6.4 Realmente utiliza el filtro



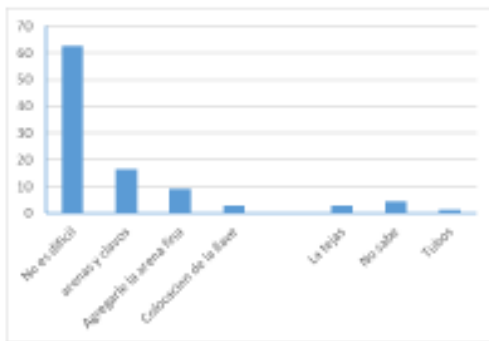
6.5 ¿Quién lo capacitó?



7.1 ¿Usted ha armado alguna vez el filtro Kanchan que utiliza?



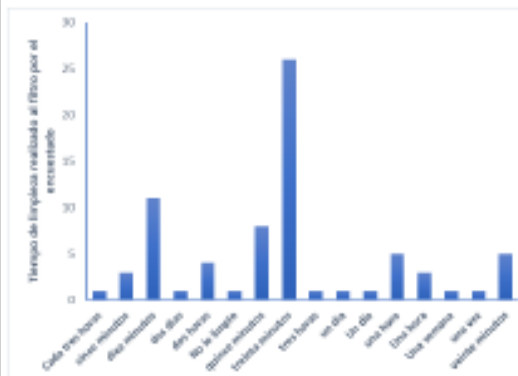
7.2 ¿Qué es lo más difícil de armar el filtro?



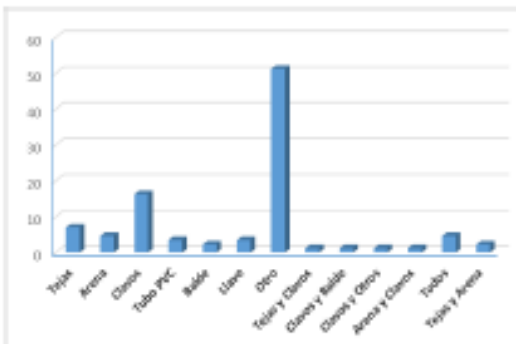
7.4 ¿Usted, personalmente, da mantenimiento (limpieza) a este filtro, para purificar el agua que consume?



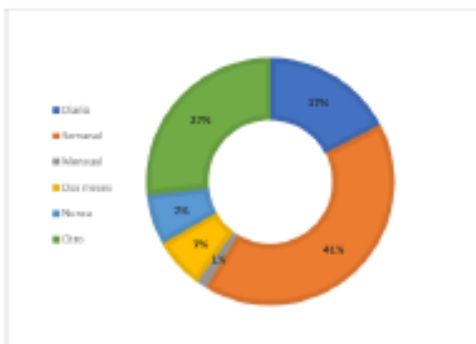
7.6 Cuanto tiempo tarda en Limpiarlo



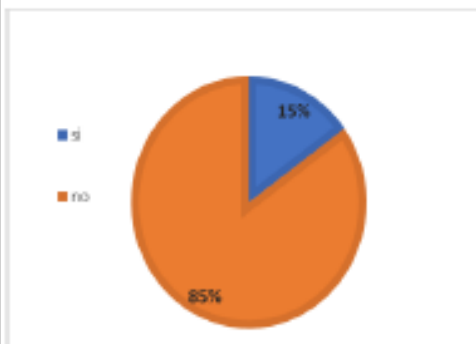
7.3 ¿Cuál es la parte más importante del filtro?



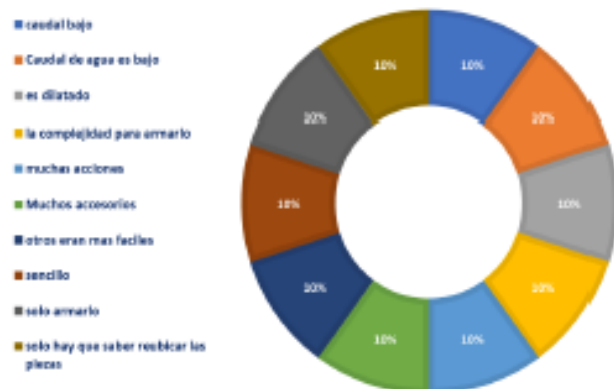
7.5 Si la respuesta anterior fue "si" ¿Qué tan frecuente hace el mantenimiento al filtro?



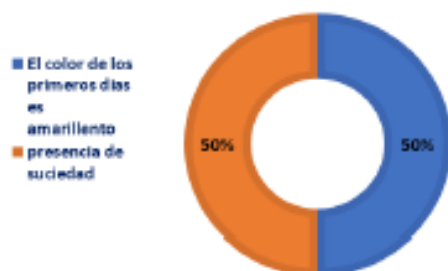
7.7 ¿Se dificulta hacer el mantenimiento?



7.12A Si la respuesta anterior es "sí", a la pregunta 7.11, mencione algunas de las dificultades



7.12B Si la respuesta anterior es "sí", a la pregunta 7.11, mencione algunas de las dificultades



7.13 ¿Qué sugiere Usted para que su uso fuera más sencillo o con menos dificultad?

