



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE
LA TIERRA**



**APLICACIONES DE MATERIALES GEOLÓGICOS COMO
FILTROS DE ELEMENTOS TÓXICOS EN LA REGIÓN DE
SAN PEDRO JÁCUARO, MICHOACÁN**

Tesis

para obtener el grado de:

Maestra en Geociencias y Planificación del Territorio

Que presenta:

Biol. Mónica Violeta Juárez Gutiérrez

Directora:

Dra. Isabel Israde Alcántara

Co Directora:

Ma. Del Carmen Delgado

Morelia Michoacán, Agosto 2017.

RESUMEN	1
<u>1. INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>3</u>
2. ANTECEDENTES	5
2.1 EL AGUA Y SUS USOS.....	5
2.2 CALIDAD DEL AGUA.....	5
2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA	6
2.3.1 SEGÚN LA NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES:	6
Física:	6
Materiales en suspensión:	6
Temperatura o calor:.....	6
Color:	6
Olor y sabor:	6
2.3.1.2 Química	6
Orgánica:	7
Compuestos orgánicos persistentes (Coops):	7
Contaminación de tipo inorgánico:	7
Contaminación Biológica:	7
2.3.1.3 Según la localización, la contaminación puede ser:.....	7
a) Puntual:	7
b) Difusa:	7
2.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS.....	8
2.4.1 CADMIO	8
2.4.1.2 Fuentes de contaminación	8
2.4.1.3. Exposición de la población al cadmio	9
2.4.1.4 Características químicas del cadmio y daños a la salud.	9
2.4.2 PLOMO.....	10
2.4.2.1 Usos del plomo	10
2.4.2.2 Fuentes de contaminación	11
2.4.2.3 Vías de penetración el plomo en el organismo.....	11

2.4.2.4 Efectos del plomo en el organismo.	11
Intoxicación aguda.....	11
Intoxicación crónica:	12
2.4.3 ARSÉNICO	12
2.4.3.1 Usos del arsénico	12
2.4.3.2 Fuentes de exposición y rutas de exposición.....	12
2.4.3.3Efectos del arsénico en el organismo	13
2.4.4 HIERRO Y ZINC.....	13
2.5 LEGISLACIÓN AMBIENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	14
2.6 CONTAMINACIÓN Y ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA (ERC)	17
2.6.1 ¿QUÉ ES LA ERC?.....	17
2.6.2 CAUSAS	18
2.6.2.1 Diabetes mellitus	18
2.6.2.2 Hipertensión	19
2.6.2.3 Glomerulonefritis	19
2.6.2.4 La enfermedad renal poliquística	19
2.6.2.5 Fármacos.....	19
2.6.2.6 El reflujo vesicouretral	20
2.6.2.7 Factores ambientales.....	20
2.7 ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA DE ORIGEN DESCONOCIDO	20
2.7.1 NIVEL MUNDIAL.....	20
2.7.2 EN CENTRO AMÉRICA	20
2.7.3 A NIVEL NACIONAL.....	21
2.7.4 NIVEL ESTATAL	21
2.8 ERC EN CIFRAS	21
2.10 MATERIALES GEOLÓGICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE FILTROS DE AGUA.....	22
2.10.1 ZEOLITA	22
2.10.2 MONTMORILLONITA	24
2.10.3 DIATOMITA	24
2.11 ENTREVISTAS Y MUESTRA POBLACIONAL.	25

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 TRABAJO DE GABINETE	27
3.2 TRABAJO DE CAMPO.....	27
3.2.1 ENTREVISTAS.....	27
3.2.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA LA COLECTA DE AGUA	30
3.2.3 MUESTRAS DE MATERIALES GEOLÓGICOS Y CARACTERIZACIÓN.	31
3.3 TRABAJO DE LABORATORIO.....	31
3.3.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUA.....	31
3.3.1.1 Físicos	31
3.3.1.2 Químicos.....	31
3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES GEOLÓGICOS.	33
3.3.2.1 Difracción de Rayos X (DRX)	33
3.3.2.2 Fluorescencia de Rayos X	34
3.3.2.3 Espectroscopia de infrarrojo (EIR).....	34
3.3.2.4 Tamaño de partícula	35
<u>4. ÁREA DE ESTUDIO</u>	<u>37</u>
4.1 SAN PEDRO JÁCUARO UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA.....	37
4.1.2 FISIOGRAFÍA	40
4.1.3 CLIMA.....	40
4.1.4 EDAFOLOGÍA	40
4.1.5 HIDROGRAFÍA	40
4.1.7 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	41
<u>5. RESULTADOS</u>	<u>42</u>
5.1 ENTREVISTAS	42
5.1.1 DATOS DE VIVIENDA DE LOS ENTREVISTADOS.	42
5.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y PERCEPCIÓN.....	45
5.1.3 MANEJO INTERNO DEL AGUA	45

5.1.3.1 Consumo de agua de garrafón	48
5.1.4 ANTECEDENTES MÉDICOS	49
5.1.4.1 Antecedentes familiares.....	49
5.1.4.2 Antecedentes individuales de salud.....	50
5.1.4.3 Antecedentes gineco-obstétricos	51
5.1.4.4 Antecedentes de salud en niños	52
5.1.4.5 Aspectos pedagógicos de niños	52
5.1.5 SÍNTOMAS CLÍNICOS DE ENFERMEDADES HÍDRICAS.	53
5.1.5.1 Alteraciones comunes a corto plazo	53
5.1.5.2 Alteraciones urinarias y renales.....	53
5.1.5.3 Alteraciones del Sistema Nervioso Central (Relacionados a Aluminio).....	54
5.1.5. SÍNTOMAS Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EPT	55
5.1.6 ALIMENTACIÓN Y CONSUMO DE AGUA.....	55
5.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	58
5.2.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	58
5.2.1.1. Temperatura.....	58
5.2.1.2 pH	58
5.2.1.3 Solidos Disueltos Totales (SDT)	59
5.2.1.4 Conductividad eléctrica	60
5.2.1.5 Oxígeno disuelto (OD)	60
5.2.1.6 Nitritos y Nitratos	61
5.2.1.7 Sulfatos	61
5.2.1.8 Fluoruros F ⁻	62
5.2.1.9 Cloruros (Cl ⁻).....	62
5.2.2 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS	63
5.2.2.1 Arsénico (As).....	64
5.2.2.2 Cadmio	65
5.2.2.3 Plomo.....	65
5.2.2.4 Manganeso (Mn)	66
5.2.2.5 Hierro.....	67

5.2.2.6 Zinc.....	67
5.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL GEOLÓGICO.....	68
5.3.1 DRX.....	68
5.3.1.1 Zeolita.....	68
5.3.1.2 Arcilla.....	69
5.3.1.3 Diatomita.....	70
5.3.2 EIR.....	71
5.3.2.1 Zeolita.....	71
5.3.2.2 Arcilla.....	71
5.3.2.3 Diatomita.....	72
5.3.3 FRX.....	73
5.3.4 TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	73
5.3.4.1 Zeolita.....	73
5.3.4.2 Arcilla Motmorillonita.....	74
5.3.4.3 Diatomita.....	75
<u>DISCUSIÓN.....</u>	<u>76</u>
6.1 LA ENTREVISTA.....	76
6.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA.....	78
6.3 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS.....	79
6.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES GEOLÓGICOS.....	82
<u>7. CONCLUSIONES.....</u>	<u>84</u>
<u>8. ÁREA DE OPORTUNIDAD.....</u>	<u>86</u>
<u>9. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>87</u>

Resumen

En Michoacán hay aproximadamente 5092 enfermos renales . El mayor número de personas afectadas se localiza en la Tenencia de San Pedro Jácuaró, en este sitio el agua potable está contaminada con elementos potencialmente tóxicos, y algunos de sus pobladores ya presentan síntomas que probablemente se asocian al consumo de agua contaminada.

Existen diversos factores asociados a la ERC como es la diabetes, hipertensión, etc., el arsénico, cadmio y plomo se encuentran relacionados con la enfermedad renal y la formación de litos renales, dichos elementos se reportan en el presente trabajo y en algunos sitios rebasan el Límite Máximo Permisible establecido en la NOM;-127.

Los casos de enfermedad renal reportados no se encuentran relacionados con causas heredables o condiciones de salud previas como diabetes e hipertensión arterial, es por ello que puede tratarse de enfermedad renal crónica de origen desconocido, la cual se relaciona con un factor ambiental.

los análisis de granulometría, difracción de rayos X e Infrarrojo se realizaron a los materiales geológicos zeolita, arcilla y diatomita. Obteniéndose que el tamaño de partícula varía entre 12.40 μ m y 34.58 μ m. con DRX se determinó que la arcilla es tipo montmorillonita, la zeolita es clinoptilolita, la diatomita contiene cuarzo, muscovita y anortoclasas. Estos materiales por su estructura tienen una alta capacidad de adsorción y absorción, por lo que pueden emplearse como filtros de agua para la remoción de EPT

Palabras clave: San Pedro Jácuaró, ERC, EPT, zeolita y motmorillonita.

Abstract

In Michoacán there are approximately 5092 renal patients. The largest number of people affected is located in the San Pedro Jácuaro Tenancy, where drinking water is contaminated with potentially toxic elements, and some of its inhabitants already have symptoms that are probably associated with the consumption of contaminated water.

There are several factors associated with CKD such as diabetes, hypertension, etc., arsenic, cadmium and lead are related to kidney disease and renal lithosis, these elements are reported in the present work and in some places exceed The Maximum Allowable Limit established in the NOM; -127.

The reported cases of kidney disease are not related to hereditary causes or previous health conditions such as diabetes and hypertension, which is why it may be chronic kidney disease of unknown origin, which is related to an environmental factor.

The granulometry, X-ray diffraction and Infrared analyzes were performed on zeolite, clay and diatomite geological materials. Obtaining that the particle size varies between 12.40 μm and 34.58 μm . With XRD it was determined that the clay is montmorillonite type, the zeolite is clinoptilolite, the diatomite contains quartz, muscovite and anortoclases. These materials by their structure have a high capacity of adsorption and absorption, reason why they can be used as filters of water for the removal of EPT

Keywords: San Pedro Jácuaro, ERC, EPT, zeolite and motmorillonite.

1. Introducción

El agua es la sustancia más abundante en la superficie, se aprovecha en la mayoría de las actividades humanas (uso doméstico, industrial, pecuario, agrícola, público, urbano, servicios, etc.) (SEMARNAT, sin año). Pocas veces se considera su calidad, la cual está en función del uso que se le dé, dependiendo de eso se establecen parámetros y valores que debe cumplir (Jiménez, 2008).

El agua potable en México debe cumplir con los límites establecidos en la NOM 127. Esta calidad se pierde en el momento en que se alteran sus características por contaminantes, orgánicos o inorgánicos que se generan por sustancias tóxicas desechadas por industrias, minas, uso de pesticidas o fertilizantes químicos, las cuales son vertidas en los diferentes cuerpos de agua (FAO, 1996). En San Pedro Jácuaró el agua potable está contaminada con elementos potencialmente tóxicos, y algunos de sus pobladores ya presentan síntomas que probablemente se asocian al consumo de agua contaminada.

El arsénico, cadmio y plomo se encuentran relacionados con la enfermedad renal y la formación de litos renales., un filtro de agua anti-arsénico puede mejorar la calidad de vida del ser humano (UNESCO, 2005). Los filtros para que puedan ser empleados por los habitantes deben ser fáciles de elaborar y de darle mantenimiento para su funcionamiento adecuado, para ello se pueden usar materiales como: zeolita, diatomita y motmorillonita, ya que por su estructura tienen una alta capacidad de adsorción y absorción. En el estado de Michoacán hay yacimientos de dichos materiales, por lo que se espera que tengan un bajo costo de elaboración. Los habitantes del Oriente de Michoacán presentan una alta tasa de ERC, implementar un filtro de agua potable que remueva los EPT sería una estrategia mitigar un factor ambiental asociado con la ERC.

Este trabajo tiene como objetivo general

Caracterización de zeolita, diatomita y motmorillonita como potenciales atrapadores de arsénico, cadmio y plomo para construir los filtros de agua potable y prevenir un factor asociado a la ERC en San Pedro Jácuaró.

Objetivos particulares

1. Evaluar por medio de entrevistas las fuentes de agua potable que utilizan los habitantes de SPJ y conocer si tendrán una aceptación para el uso de los filtros
2. Determinar la cantidad de arsénico, cadmio, plomo, manganeso hierro y zinc en agua de manantiales, ríos y embotelladoras de San Pedro Jácuaró
3. Caracterizar los materiales geológicos que pueden emplearse en filtros para remoción de los elementos potencialmente tóxicos.

2. Antecedentes

2.1 El agua y sus usos

El agua es la sustancia más abundante en la superficie terrestre, es un compuesto simple, con características físicas y químicas excepcionales que hacen posible que se origine la vida (Carbajal y González, 2012). Aproximadamente el 97% del agua es salada (mares y océanos), el 3 % es agua dulce, de esta el 68.7% se encuentra en forma de glaciares y casquetes polares, el 30.1% es agua del subsuelo y el 0.3% agua superficial: ríos 2%, pantanos 11% y lagos 87% y la atmósfera (González, 1998)

Actualmente este recurso es aprovechado de distintas formas en las actividades realizadas por el hombre, en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se clasificaron los usos del agua en cinco grandes grupos: cuatro son de usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria y termoeléctrica) y uno de uso no constitutivo que son las termoeléctricas. El 63% de agua empleada en México para los primeros cuatro usos proviene de fuentes superficiales, y el 37% de fuentes subterráneas, en Michoacán se emplean 4618.3 millones de metros cúbicos para agricultura, acuicultura y uso pecuario (uso agrícola), 310.7 millones de metros cúbicos para abastecimiento público (público urbano y domestico), 143.7 millones de metros cúbicos es empleado por la industria autoabastecida (uso industrial, agroindustrial, servicios y comercio) y 48.2 millones de metros cúbicos en termoeléctricas (CONAGUA, 2010).

Muy pocas veces se considera su calidad la cual está en función del uso que se le dé, dependiendo de eso se establecen parámetros y valores que debe cumplir (Jiménez, 2008).

2.2 Calidad del agua

La calidad del agua está en función de parámetros físicos, químicos y biológicos; los cuales en México se encuentran regulados por la NOM-127, esta norma establece los límites máximos y mínimos que deben cumplir para el agua de uso y consumo humano, para evitar enfermedades gástricas, dermatológicas y oculares; la calidad del agua se pierde cuando se alteran sus características por sustancias contaminantes (González, 1998).

Se cree que uno de los contaminantes más peligrosos para el ser humano son los metales pesados, ya que son bioacumulables; se considera como metales tóxicos o pesados a los que tienen una densidad superior a 5g/cm^3 , entre ellos se encuentran el plomo, el mercurio, el berilio, el níquel, el cadmio, el cobre, el arsénico, entre otros (González, 1998).

2.3 Contaminación del agua

La contaminación del agua es el resultado de introducir materia o energía de forma directa o indirecta, que van a alterar sus características impidiendo que se pueda emplear por el hombre o incluso llegue a dañar los ecosistemas. La contaminación puede ser natural (escorrentía, volcanes, seres vivos) o antrópica se clasifica en física, química (orgánica o inorgánica) y biológica.

2.3.1 Según la naturaleza de los contaminantes:

Física:

Materiales en suspensión: disminuye la penetración de la luz alterando la biocenosis y las cadenas tróficas. Modifica las propiedades organolépticas.

Temperatura o calor: disminuye la solubilidad de los gases y aumenta la de las sales, interfiere en los ciclos de crecimiento y reproducción de algunos organismos, puede estar producida por el agua que es liberada por centrales de energía o por industrias.

Color: está dado por diferentes minerales y/o sustancias orgánicas; los desechos industriales pueden darle colores característicos al agua, aunque, a menos que se encuentre directamente la fuente de aporte en un drenaje, es difícil relacionar color del agua y su contaminación.

Olor y sabor: es una de las características organolépticas del agua, puede ser alterada por sustancias químicas como fenoles, hidrocarburos, materia orgánica en descomposición, minerales y sales los cuales le confieren olores y sabores fuertes al agua; estas especificaciones no están normadas en la legislación de México, y se menciona que se aceptarán las que sean tolerables para la mayoría de los consumidores.

2.3.1.2 Química

Orgánica: subproductos de procesos industriales y de la producción de petróleo, así como el tratamiento de alimentos y aguas residuales, pesticidas, escorrentías pluviales urbanas y sistemas sépticos (Reporte anual de la calidad del agua, 2013).

Compuestos orgánicos persistentes (Coops): contaminantes agresivos para el ecosistema debido a su toxicidad, difícil degradación en el ambiente, bioacumulables, y se transportan en largas distancias, entre ellos se encuentra el DDT, las dioxinas y los furanos (Gait y Pierotto, 1999).

Contaminación de tipo inorgánico: dentro de estos contaminantes se encuentran las sales y los minerales, que pueden provenir de fuentes naturales o de actividades antrópicas (escorrentía de aguas residuales, industriales o domesticas; así como la producción de petróleo, desechos agrícolas), el uso de detergentes puede producir eutrofización, en esta categoría también se encuentran los metales (arsénico, cadmio, plomo y mercurio) y los nitratos los cuales pueden producir efectos nocivos en la salud.

Contaminación Biológica: se refiere a microorganismos patógenos (protozoos, bacterias y virus) pueden provenir de plantas de tratamientos de aguas residuales, sistemas sépticos, residuos de ganadería o estar en el medio de forma natural, transmiten enfermedades como: cólera, tifoidea, disentería, hepatitis y enfermedades diarreicas (Wiit y Reiff, 1993;García, 2002; Reporte anual de la calidad del agua, 2013).

2.3.1.3 Según la localización, la contaminación puede ser:

a) **Puntual:** fuentes o puntos fijos de contaminación que se pueden identificar fácilmente, generalmente continuas, como las aguas residuales e industriales, llegan de forma directa a los cuerpos de agua (Agricultura limpia, 2007).

b) **Difusa:** cuando existen pequeñas pero diversas fuentes de descarga, el aporte suele no ser localizado ni continuo, este tipo de contaminación del agua se produce por escorrentía o por infiltración de los contaminantes en el suelo, se relaciona con actividades agrícolas y silvícolas (Agricultura limpia, 2007).

A nivel mundial, En Sir Lanka, se realizaron estudios para conocer si el agua que ingerían las personas tenía alguna relación con la ERC, encontraron metales pesados en el agua, y las fuentes de agua más contaminadas estuvieron correlacionadas con los sitios con la mayor incidencia de ERC, Posteriormente, Jayasumana y colaboradores (2013) en estudios de la misma zona de Sir Lanka, encontraron relaciones entre la presencia de arsénico en la orina de humanos y la incidencia de enfermedades renales y suponen que proviene de agroquímicos (Jayasumana, 2011). Nivel nacional se ha reportado la presencia de este EPT en Coahuila. En Michoacán también se han llevado a cabo este tipo de estudios en seis municipios en los que se encontraron números altos de casos reportados de ERC, altos niveles de dureza en agua, así como la presencia de fluoruro, metales pesados (cromo, cadmio y plomo) y arsénico, podrían ser factores contribuyentes al desarrollo de las ERC, incluso a concentraciones muy por debajo de los niveles normales (Panduro, 2015).

2.4 Contaminación del agua por elementos potencialmente tóxicos.

2.4.1 Cadmio

El cadmio es un elemento que se encuentra de forma natural, se asocia a las menas de zinc, plomo y cobre, es un elemento resistente a la corrosión, por lo que se emplea desde 1950 para la galvanoplastia, la galvanostegia y la galvanización, para crear plásticos, tintes color amarillo brillante, naranja, rojo y marrón, así como en la fabricación de baterías de Ni-cadmio (83%), existen diversas sales de cadmio, que se emplean como estabilizador térmico en la fabricación de PVC (cloruro de polivinilo), fotoceldas, llantas, radiadores para autos y calefactores (ATSDR, 1999; Pérez y Azcona, 2012; Díaz 2014)

2.4.1.2 Fuentes de contaminación.

El cadmio llega al ambiente por fenómenos naturales como erupciones volcánicas e incendios forestales, estos dos fenómenos no generan grandes cantidades de este metal hacia el ambiente. En cambio, la generación de aerosoles de sal marinos y por efecto de actividades antropogénicas como minera metalúrgica de materiales no ferrosos y ferrosos, uso y fabricación de fertilizantes fosfatados y nitrogenados, incineración de madera y plásticos, combustión de aceite y gasolina, industria textil, de alimentos fosfatados para animales y uso del tabaco, proveen niveles que pueden ser nocivos para la salud.

Este elemento es un tóxico ambiental e industrial, ya que es bioacumulable, es difícil de eliminar del ambiente y se transporta a grandes distancias por medio de agua y aire, provocando contaminación ambiental y daños en la salud de los seres vivos (Ramírez, 2002; Díaz 2014)

2.4.1.3. Exposición de la población al cadmio

El riesgo de la exposición varía según las ocupaciones de las personas, así las que laboran en industrias donde se emplee el cadmio para algún proceso tienen una exposición potencial a este elemento por la inhalación de polvo y vapores o la ingesta accidental por manos contaminadas. Para la mayoría de los seres vivos las principales fuentes de exposición son los alimentos y el agua, los suelos contaminados permiten que este elemento se acumule en los cultivos (semillas, frutos) alimentos como pescado y crustáceos. En estos últimos tienen una concentración exponencial de hasta seis veces mayor que el medio donde se cultivan. También se incorpora cadmio al organismo por medio de las vías respiratorias al respirar aire contaminado, inhalación activa o pasiva del humo del tabaco (Galvao y Corey, 1987; ATSDR, 1999; Díaz 2010; Ramírez y Cayetano, 2013; Lodoño *et al.*, 2016)

2.4.1.4 Características químicas del cadmio y daños a la salud.

La presentación de los signos, síntomas y alteraciones en los organismos está relacionada con el tiempo, cantidad y vía de entrada del metal (OMS, 2013). La ingestión de agua y alimentos que contengan el metal representa de 5 a 10% del total de cadmio absorbido en el organismo. Estas concentraciones dependen de la ingestión de proteínas y de la presencia de vitamina D; incluso, se relaciona con la concentración en el organismo de algunos elementos, como Zn, Se y Ca, con los cuales compite el cadmio. Este elemento también reduce los niveles de hierro hepático.

Una vez que el individuo se expone al cadmio, la absorción de este elemento dependerá del estado fisiológico del individuo (edad, disponibilidad de hierro, dieta, cantidad de hierro, calcio disponible) por tal motivo cuando la cantidad de hierro en el organismo es baja la absorción de cadmio será de 4 a 6% mayor que cuando los niveles de hierro son más altos. Después de ser absorbido el cadmio, se distribuirá por todo el organismo concentrándose en

pulmones, hígado y riñón (acumulándose en estos órganos de un 30 a 50%); causando neumonitis química, disfunción renal con proteinuria y micro proteinuria y enfisema. También se acumula en músculos, páncreas, glándulas salivales y sistema nervioso central, su vida media es de 10 a 30 años (Galvao y Corey, 1987; Sabath y Robles, 2012; Díaz, 2014;). Una vez en las células, este elemento se combina con una proteína llamada metalotioneína, siendo más dañina para los túbulos renales que el cadmio en sí.

En el organismo algún ion de cadmio puede sustituir al calcio en los huesos (ya que tienen casi el mismo estado de oxidación y el mismo tamaño de radio atómico), causando fragilidad en los huesos y vulnerabilidad a las fracturas, puede llegar a causar osteoporosis.

Otros daños causados por exposición crónica son: osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, diabetes, trastornos nerviosos (cefalea, vértigo, alteración del sueño, temores, sudoración, paresia, contracciones musculares involuntarias), pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón. En intoxicación aguda hay neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, y finalmente puede ocurrir aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos. Este elemento es clasificado como un carcinogénico humano (OMS, 2013; Lodoño *et al.*, 2016)

2.4.2 Plomo

El Plomo es un metal que se obtiene por lo general de la galena, en el ambiente existe plomo de manera natural pero el hombre también ha hecho una gran aportación ya que ha sido empleado desde la antigüedad, Hipócrates en el siglo V a.C. describe el cólico saturnino como síntoma de intoxicación por plomo (Ramírez, 2005).

2.4.2.1 Usos del plomo

Se emplea ampliamente en la industria minera metalúrgica, de construcción, fabricación de baterías, plásticos, municiones, pinturas, colorantes de dulces, aleaciones, cerámicas, pomadas, insecticidas, aditivos, soldaduras, joyería, juguetes, pinturas, cosméticos, también

se emplea en la fabricación de ácido sulfúrico, refinamiento de petróleo y procesos de halogenación (OMS, 2016)

2.4.2.2 Fuentes de contaminación

Explotación minera, metalúrgica, actividades de fabricación y reciclaje, empleo de gasolinas con plomo, uso de fertilizantes, consumo de tabaco. En instalaciones antiguas, la mayor fuente de plomo en el agua de bebida proviene de las tuberías de abastecimiento y de las uniones de plomo. Si el agua es ácida, puede liberar gran cantidad de plomo de las tuberías, principalmente en aquellas en las que el líquido permanece estancado por largo tiempo. Aun en el agua estancada por corto tiempo en una tubería de cobre-plomo, la concentración de este último metal puede llegar a hasta 100 µg Pb/L (Valdivia, 2005; OMS, 2016).

2.4.2.3 Vías de penetración el plomo en el organismo

Forma parte de los organismos por diferentes medios como son: vía respiratoria (inhalación de vapores, humos y partículas de polvo, el Pb se deposita en pulmones, después de aproximadamente 50 horas pasa a la sangre); vía oral (se ingieren directamente de las manos, comida, agua, cigarrillos; aproximadamente del 5 al 10% del plomo ingerido por esta vía, pasa a la sangre) y cutánea poco probable de ser absorbido por este medio, una vez que este elemento se encuentra en el organismo tiene una vida media de 20 a 30 años en huesos, 35 días en sangre y 45 días en tejidos blandos, aunque puede ser eliminado por orina, heces, sudor, saliva y leche materna, sin embargo, es menor la cantidad eliminada de la que es absorbida debido a su capacidad de bioacumulación, los niños llegan a absorber entre 4 y 5 veces más que los adultos (Acione, 2001; ATSDR, 2016; OMS, 2016).

2.4.2.4 Efectos del plomo en el organismo.

Intoxicación aguda

Se produce cuando un organismo consume una gran cantidad de plomo en un lapso corto de tiempo, ocasiona: encefalopatía, dolor abdominal, vómito, líneas del plomo en las encías, epilepsia, retardo mental, atrofia óptica y sordera, así como daño al túbulo renal provocando insuficiencia renal aguda (Acione, 2001; Matte, *et al.*, 2003)

Intoxicación crónica:

Este tipo de intoxicación es el más frecuente, afecta al sistema nervioso (alteraciones neuroconductuales como hiperactividad, alteraciones del comportamiento, bajo rendimiento escolar, debilidad muscular), sistema gastrointestinal (náuseas, anorexia, dolor abdominal), a nivel renal puede producir síndrome de Fanconi con una aminoaciduria, glucosuria, hipofosfaturia, hipofosfatemia, provocados por la lesión tubular renal, también puede ocasionar insuficiencia renal aguda (Ascione, 2001, Sabath y Robles, 2012).

2.4.3 Arsénico

El arsénico es un elemento no metálico, se encuentra formando parte de diversos minerales como la arsenopirita (FeAsS), la enargita (Cu_3AsS_4), y la tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) que son comunes en zonas de explotación minera de sulfuros. En el agua natural se presenta en tres estados de oxidación como semi metálico As^0 o en forma de iones como Arsenato As^5 Arsenito As^3 y Arsina As^{-3} , la toxicidad de este elemento incrementa cuando reduce su estado de oxidación, se relaciona con su estructura química y solubilidad en el medio biológico (ATSDR, 2011; Jiménez, 2011).

2.4.3.1 Usos del arsénico

Se emplea en el procesamiento de vidrio, pigmentos, textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de madera, curtido de pieles, fabricación de plaguicida y productos farmacéuticos (OMS, 2016).

2.4.3.2 Fuentes de exposición y rutas de exposición

Este elemento se acumula en el organismo de manera crónica mediante la ingesta y la inhalación, diversas son las fuentes de exposición por ejemplo: preparación de alimentos, riego de cultivo, implementación en procesos industriales, consumo de tabaco y alimentos contaminados (pescados, mariscos, carne, lácteos y cereales), en el agua potable el As se encuentra por lo general en forma de arsenato y puede ser absorbido en el tracto intestinal de un 40 a 100%, el arsénico inorgánico pasa al torrente sanguíneo y en 24 horas, puede encontrarse en hígado, riñones, pulmones, bazo y piel; los órganos de mayor acumulación

son la piel, huesos y músculos. Se elimina progresivamente a través de la orina (Jiménez, 2011; OMS, 2016).

2.4.3.3 Efectos del arsénico en el organismo

El efecto tóxico es variable y depende de cada organismo como genética, dieta, metabolismo, estado de salud y sexo, siendo los más afectados los niños y las personas con deficiencia nutricional (Jiménez, 2011; OMS, 2016). Ocasiona daños epidérmicos, cardiovasculares, renales (la exposición a este elemento puede ocasionar oliguria, proteinuria, hematuria y presencia de cilindros en la orina) hematológicos (Ortega, 2009). Los síntomas de una exposición aguda son: vómito, diarrea, cólicos, salivación excesiva, fiebre, entumecimiento de extremidades, calambres; cuando se produce una intoxicación crónica los síntomas son: hiperqueratosis, formación de verrugas en plantas de las manos y los pies, neuropatía y encefalopatía, alteraciones en las funciones neurológicas como concentración, aprendizaje, memoria reciente y diabetes (Nava, 2003; Suárez *et al* 2004; Jiménez 2011; Nava, Méndez, 2011; OMS, 2016, Sabath y Robles, 2012)

2.4.4 Hierro y zinc

Del total del hierro que se ingiere solamente es absorbido por el organismo el 10%, del cual el hierro no hémico presenta una absorción muy baja y el hierro hémico presenta una absorción de 20-35% (Toxqui, *et al.*, 2010)

La deficiencia de este elemento favorece la absorción de metales pesados como lo es el plomo y el cadmio este último también se ve favorecido por la deficiencia de zinc, el Pb tiene una vida media de aproximadamente 20 años, además de ser bioacumulable, se encuentran directamente relacionado con la enfermedad renal crónica, al generar un daño irreversible en los túbulos renales. El zinc es un elemento que tiene un función biológica vital influye desde la formación de proteínas hasta la respiración celular, es por ello que debe implementarse en la dieta, además un bajo consumo favorece la absorción del cadmio que es bioacumulable y es nefrotóxico aun en concentraciones bajas o consideradas como normales (López T., 2016; Boccio *et al.*, 2004; Ferre, 2003; Sabath y Robles, 2012)

2.5 Legislación ambiental de la calidad del agua

Con base en lo establecido en México, en la NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano, los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1 Límites Permisibles de la Calidad del Agua (NOM-127-SSA1-1994).

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA	LÍMITE
BACTERIOLÓGICAS	Org. Coliformes Totales.	2 NMP/100 ml
		2UFC/100 ml
	Org. Coliformes Fecales.	no detectable NMP/100ml
		cero UFC/100 ml
FÍSICAS	Color	20 unidades de color verdadero escala Platino Cobalto.
	Olor y Sabor	agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
	Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelometría (UTN) o su equivalente en otro método.
QUÍMICAS	Nitratos	10.00 mg/L
	Nitritos	0.05 mg/L
	Nitrógeno amoniacal	0.50 mg/L
	pH	6.5-8.5 en unidades de pH
	Sólidos disueltos totales	1000.00 mg/L

	Sulfatos	400.00 mg/L
--	----------	-------------

En el agua se puede encontrar cualquier elemento químico, sin embargo, algunos tienen efectos dañinos en la salud de quien la consume, es por eso que el agua potable debe cumplir ciertos criterios.

En lo que respecta al arsénico la EPA y la legislación de Canadá establecen una concentración máxima de 0.05 mg/L, mientras que OMS es más exigente, 0.01 mg/L. los límites permisibles de cadmio para la EPA y Canadá es de 0.005 mg/L y la OMS recomienda 0.003mg/L. En lo referente al plomo las la EPA recomienda una concentración de 0.015 mg/L, mientras que la legislación de Canadá es más flexible para este parámetro ya que permite una concentración de 0.05 mg/L, el valor guía de la OMS es de 0.01 mg/L. La EPA recomienda como margen de seguridad un límite máximo permisible de 0,005 mg/L para aguas de consumo humano. Los valores guía dados por la OMS y Canadá son 0,003 mg/L y 0,005 mg/L, respectivamente. Sin embargo, dado el poder bioacumulativo del cadmio, se recomienda que la concentración en el agua tratada sea la menor posible (Cuadro 2)

Cuadro 2. Comparación de los límites permisibles de diversos parámetros de calidad del agua, entre la Norma Oficial Mexicana, Guías de Calidad del agua de Canadá y OMS

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Unidades		Nivel máximo del contaminante	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Físicos				
Color	TCU	—	15	15
Sabor y olor		Aceptable	—	Aceptable
Turbiedad	UNT	5 ^a	5	5 ^b
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	—	—	0,2
Amonio	mg/L	—	—	1,5
Antimonio	mg/L	0,006	—	0,005 ^b
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,01 ^c
Bario	mg/L	2,0	1,0	0,7
Boro	mg/L	—	5,0	0,3
Cadmio	mg/L	0,005	0,005	0,003
Cianuro	mg/L	0,2	0,2	0,07
Cinc	mg/L	—	5,0	3
Cloro	mg/L	—	—	5 ^d
Cloruro	mg/L	—	250	250
Cobre	mg/L	1,3 ^m	1,0	2 ^d
Cromo (total)	mg/L	0,1	0,05	0,05 ^b
Fluoruro	mg/L	4	1,5	1,5
Hierro	mg/L	—	0,3	0,3
Manganeso	mg/L	—	0,05	0,5 ^b
Mercurio	mg/L	0,002	0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10	10 ^l	50 ⁱ
Nitrito (como N)	mg/L	1	1,0 ^j	3
pH	—	—	6,5 – 8,5	—
Plata	mg/L	—	0,05	ⁿ
Plomo	mg/L	0,015 ^m	0,05	0,01
Selenio	mg/L	0,05	0,01	0,01
Sulfato	mg/L	—	500	250
Sulfuros (H ₂ S)	mg/L	—	0,05	0,05 ^o
Sólidos disueltos	mg/L	—	500	1.000

2.6 Contaminación y Enfermedad Renal Crónica (ERC)

2.6.1 ¿Qué es la ERC?

Es el daño renal de una duración igual o mayor a tres meses, que generan anomalías estructurales o funcionales causando disminución en la tasa de filtración, dependiendo de

ello esta enfermedad tiene cinco etapas, es un proceso multifactorial, progresivo e irreversible que pueden llevar al paciente a un estado terminal, es un problema de salud pública y se estima que por cada paciente en tratamiento de diálisis o trasplante existen 100 casos más en la población general en un estado menos grave (Cabrera, 2004, Martin, 2009; López, 2010).

2.6.2 Causas

Diversas son las causas de la ERC como enfermedades vasculares, enfermedades glomerulares primarias y secundarias, enfermedades túbulo intersticiales, diabetes mellitus (DM), enfermedades autoinmunes e hipertensión; se encuentra relacionada con factores hereditarios, factores ambientales reducción de la masa renal, bajo peso al nacer, estilo de vida y bajo nivel educativo o social (Cabrera, 2004; Orozco, 2010; Estrada, *et al.*, 2012). La diabetes mellitus y la hipertensión son las principales causas de la ERC en países desarrollados y en los que están en vía de desarrollo (Jha, *et al.*, 2013).

2.6.2.1 Diabetes mellitus

Hay 154 millones de diabéticos en todo el mundo, una cifra que se duplicará en los próximos veinte años, y en especial en los países pobres donde se espera llegar a 286 millones de personas con diabetes en 2025. la nefropatía diabética (es el aumento de albúmina en la excreción de orina (National Kidney Fundation, 2007; Harris, 2013;). Es la principal causa de insuficiencia renal que requieren sesiones de riñón artificial. La diálisis cuesta: en Europa, el 0,1% de los pacientes de diálisis pasan al 2% del presupuesto total de salud. En los Estados Unidos, el costo anual llegará a 29 mil millones en 2010. En países como Brasil, Japón, Italia, Alemania y Estados Unidos, el 12% de la población mundial procesar más de la mitad de la insuficiencia renal. Es urgente, según el profesor Meguid El Nahas (Instituto del Riñón Sheffield) para poner en marcha programas de detección simples. En los Países Bajos, tal programa piloto diseñado para detectar la presencia de albúmina en la orina (uno de los signos cardinales de la enfermedad renal) fue positivo en 6 a 7% de los habitantes de la ciudad de Groningen, en la que probado.

México tiene una de las prevalencias más elevadas de DM a nivel mundial, en el 2005 se reportó una prevalencia del 25% en la población general entre 25 y 40 años de edad (López, 2010). Se ha estimado que aproximadamente el 40% de pacientes con diabetes desarrollará la ERC (Evans y Taal, 2011).

2.6.2.2 Hipertensión

Se reportó en el año 2000 una prevalencia global de 972 millones de casos (66% en países desarrollados). En México afecta al 31.5% de adultos, siendo una de las tasas más altas a nivel mundial, y puede ser consecuencia de la ERC y también es uno de los factores de riesgo para padecer ERC además de contribuir a su progresión (Campos et al., 2013; Evans y Taal, 2011)

2.6.2.3 Glomerulonefritis

Se refiere a las condiciones primarias y secundarias que causan inflamación y daño a los glomérulos (Evans y Taal, 2011). Es causada cuando un antígeno o anticuerpo (los cuales son producidos por el cuerpo como mecanismo de defensa a algún tipo de infección como: hepatitis B y C, tubérculos, malaria, etc.) queda atrapado en los glomérulos provocando que se inflamen. La glomerulonefritis tiene un papel significativo en la patogénesis de la ERC alrededor del mundo, con una mayor incidencia en países en vías de desarrollo (Harris, 2013).

2.6.2.4 La enfermedad renal poliquística

Corresponde al trastorno genético más común que causa la ERC, se presenta por lo regular a partir de los 30 años. Es fundamental revisar la historia familiar en la evaluación del paciente (Evans y Taal, 2011).

2.6.2.5 Fármacos

El uso en exceso de varios fármacos (penicilina, antiinflamatorios, diuréticos, etc.): pueden provocar nefritis intersticial, y el uso combinado de algunas drogas (cocaína, heroína y anfetaminas) incrementan el daño renal (Daugirdas, 2011; Evans y Taal, 2011).

2.6.2.6 *El reflujo vesicouretral*

Este puede causar nefropatía en infantes, así como la obstrucción de vías urinarias que es originada por cálculos renales, hipertrofia prostática, etc. (Evans y Taal, 2011).

2.6.2.7 *Factores ambientales*

Estos factores afectan a los seres humanos que se encuentran expuestos a diversas condiciones ambientales o tóxicos como: el arsénico, cadmio, plomo, cromo y uranio; sílice; solventes orgánicos; contaminantes atmosféricos (hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, óxidos de nitrógeno, etc.); plaguicidas, los cuales pueden entrar al organismo por vía oral, inhalatoria o epidérmica, ocasionando un efecto negativo en los sistemas orgánicos incluyendo el renal, y pueden ocasionar ERC (Soderland *et al.*, 2010; Evans y Taal, 2011; Johnson *et al.*, 2012).

2.7 Enfermedad Renal Crónica de Origen Desconocido

2.7.1 Nivel mundial

Desde hace aproximadamente dos décadas se ha reportado en Sri Lanka, la ERC de origen desconocido, la cual no es atribuida a ninguna de las principales causas que la producen (diabetes, hipertensión, glomerulonefritis). Tiene una mayor prevalencia en hombres que en mujeres y se ha llegado a presentar después de los 20 años de vida. Los síntomas se presentan hasta que ha avanzado, el origen ha sido objeto de varios estudios, principalmente los de tipo geoambiental, los resultados revelaron altos niveles de metales pesados y EPT en agua de consumo humano, en orina se encontraron plaguicidas, cadmio y arsénico (Chandrajith *et al.*, 2011; Jayatilake, *et al.*, 2013; Noble *et al.*, 2014)

2.7.2 En centro América

En las últimas dos décadas la ERC ha tenido un crecimiento, se lograron identificar dos grupos de pacientes, uno asociado a enfermedades como diabetes e hipertensión, y otro en los que no se pudo detectar ningún factor asociado, la mayoría de los pacientes eran hombres y tenían en común que habitaban en zonas costeras, se dedicaban a la agricultura y estaban expuestos a insecticidas y plaguicidas sin protección (Calderón, *et al.*, 2015), se le ha

llamado Nefropatía Mesoamericana, los síntomas clínicos son presión arterial normal o ligeramente elevada, reducción en la tasa de filtración glomerular, se cree que puede ser originada por químicos tóxicos empleados en la agricultura, metales pesados, medicamentos, deshidratación e infecciones(Wesseling *et al.*, 2013; Correa, *et al.*, 2014).

2.7.3 A nivel nacional

En México existes algunas zonas como Tierra Blanca, Veracruz; Aguascalientes y el sur del país, donde se ha presentado Nefropatía Mesoamericana, con una alta prevalencia en menores de 20 años (Góngora, *et al.*, 2008; Wesseling, *et al.*, 2013; García *et al.*, 2017)

2.7.4 Nivel estatal

En el Oriente de Michoacán han surgidos casos de Nefropatía mesoamericana, debido a que la ERC se presenta mayormente en personas jóvenes que no padecen ninguna enfermedad crónico- degenerativa como diabetes mellitus o hipertensión arterial (Rincón, *et al.*, 2013).

2.8 ERC EN CIFRAS

Es considerada como una enfermedad emergente por el número creciente de casos, el rezago en atención, los elevados costos y la alta mortalidad (Treviño, 2004)

En el año 2007 se reportó que aproximadamente en España 1000 persona por millón de habitantes en tratamiento renal sustitutivo, en Estados Unidos, Japón se estima que son aproximadamente 1500 a1900 individuos por/millón de habitantes (Martin, 2009).

En México aproximadamente existen entre 8 y 9 millones de personas con IRC en etapas tempranas, 109,000 personas con IRC en estadio cinco y 60,000 personas con tratamiento sustitutivo de la función renal, se estima que es la quinta causa de muerte en nuestro país (www.renalis.com)

En Michoacán se estimaron 5,092 casos en el año 2010 con una tasa de prevalencia de 1,289 casos por millón de habitantes y una tasa de incidencia superior a la media nacional de 463 casos por millón de habitantes (López-Cervantes, 2010). En dicho estado se registró un

aumento de 17% anual en los casos de la ERC ya que del 2012 al 2013 se incrementaron los casos de 4,500 a 5,270 (Olvera, 2013)

De acuerdo a datos proporcionados por la Secretaría de Salud de Michoacán, se sabe que la ERC afecta con mayor frecuencia a los habitantes de la región oriente de dicha entidad, teniendo una incidencia de 3 a 1 contra el resto del estado. Los municipios con frecuencia mayor de casos de ERC corresponden a cadmio. Hidalgo, Zinapécuaro, Irimbo, Maravatío, Tuxpan y Zitácuaro. En este sentido cadmio . Hidalgo, según la Asociación de Enfermos del Riñón A.C., tiene entre 800 y 1000 enfermos del riñón, situación que ha logrado identificar al municipio como un foco rojo a nivel nacional. Particularmente en el municipio de cadmio . Hidalgo, durante las últimas tres generaciones el nivel de casos de la ERC ha aumentado de manera desmesurada, al grado que hoy en día afecta a niños desde los 3 o 4 años edad, y en algunos casos se presentan en dos o tres integrantes de una misma familia (Olvera, 2013).

2.10 Materiales geológicos para la construcción de filtros de agua

En 2005, la UNESCO desarrolló un filtro empleando como materia principal arena recubierta por óxido de hierro, el cual resultó ser un excelente método de absorción de arsénico; la arena la consiguieron de forma gratuita en las plantas tratadoras de agua.

2.10.1 Zeolita

Son aluminosilicatos hidratados con metales alcalinos o alcalino-térreos predominantemente de sodio y calcio (Clarke, 1980). Con una estructura de redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo $(Na_2 K_2, Ca) [(Al, Si)O_2]_n \times H_2O$ unidos en los vértices por un átomo de oxígeno.

Se forman a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las ocurrencias hidrotermales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas. Existen cerca de 40 especies naturales conocidas, de las cuales: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita son ampliamente utilizadas.

Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares (3 a 13 nm) que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas. Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa, lo cual les confiere una capacidad de adsorción alta, a menor tamaño de poro más alta será su capacidad de adsorción.

Capacidad de Intercambio Iónico (I.I.) se ha observado en minerales silicatos cristalinos como arcillas, feldespatos y zeolitas. Se considera una propiedad intrínseca de estos minerales pues es el producto de la sustitución isomórfica de los átomos de silicio de su estructura cristalina por otros átomos. En el caso de las zeolitas esta sustitución ocurre por átomos tetravalentes de aluminio lo que produce una carga neta negativa en la estructura que se compensa por cationes fuera de ella. Estos cationes son intercambiables, de ahí la propiedad intrínseca de I.I. que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa, pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso. Esta capacidad depende de diversos factores como: naturaleza de los cationes en solución, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, solvente – agua, solvente orgánico, estructura de la zeolita. Está directamente relacionada con el Al presente en la red zeolítica y depende directamente de su composición química (Breck, 1974). Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Clarke, 1980).

Se han reportado zeolitas a nivel mundial en Japón, Italia, Rusia, Alemania, Bulgaria, Hungría, Francia, Estados Unidos, Sudáfrica. El primer hallazgo de zeolita en México fue en 1960 en el estado de Oaxaca, posteriormente se registró en Sonora, San Luis Potosí, Guanajuato, Puebla, Veracruz, Guerrero y Michoacán (Ostrooumov, sin año) en este último estado data de la Edad Mioceno-Plioceno, su origen es sedimentario de tobas. Y los tipos que se han reportado son Clinoptilolita y mordenita (90-95%) resto motmorillonita, feldespatos y ópalos (Ostrooumov, et al., 2005)

Dentro de los usos que se le da están: reducción de contaminación ambiental (aguas residuales y urbanas), proceso de reducción de la dureza del agua, mejoramiento de la productividad agrícola (fertilizantes) y filtro de gases.

2.10.2 Montmorillonita

La montmorillonita es un conjunto de sedimentos detríticos muy finos que provienen de procesos de intemperismo y erosión de las rocas que contienen feldespatos de cualquier origen. Cuando las arcillas se forman en ambientes lacustres o marinos que han tenido un proceso de sedimentación muy lenta, lo que les permite consolidarse en forma de láminas finas con cationes intercambiables y capas que se pilarean o bien sirven para aplicaciones en catálisis.

En la región de Charo-Queréndaro las arcillas fueron formadas hace 8 millones de años y son de interés ya que constituyen en su mayoría esmectitas con ausencia de sodio y un alto contenido de Hierro en algunos niveles. En otros niveles se observan beidelitas que presentan interés económico (Israde, *et al.*, 2008)

Debido a sus propiedades químicas y estructura cristalina tienen una aplicación en la descontaminación de compuestos orgánicos, presentes en aguas residuales e industriales, también se emplea para la remoción de EPT como plomo, cobre y zinc (Osorio, *et al.*, 2004)

2.10.3 Diatomita

Las diatomitas han sido utilizadas desde tiempos históricos como materiales filtrantes, sin embargo en épocas más recientes se le han encontrado un sin número de aplicaciones que incluyen varias categorías: desde materiales para 1) Filtros, 2) Carga mineral, 3) Material aislante, 4) Finos abrasivos, 5) Absorbentes, 6) Catalizadores, 7) Fuentes de sílica reactiva, 8) Materiales estructurales

En la región de Charo Queréndaro las diatomitas se encuentran interestratificadas con las arcillas lo que les confiere un gran valor para explotación comercial dada su cercanía a fuentes directas de aplicación a nivel industrial (Israde y Garduño, 1999)

En las diatomitas la adsorción ocurre de tres formas, por medio de los enlaces insaturados en los bordes y superficies externas de la diatomita, por disociación de los grupos hidroxilos accesibles y la remoción en los microporos presentes en las mismas, esta última es la forma principal de adsorción para los metales en este material (Secretaría de Economía, 2002; Alfaro, 2007).

2.11 Entrevistas y muestra poblacional.

La entrevista es un instrumento de contacto interpersonal que acopia testimonios orales (Ario, 1988); es principalmente utilizada para obtener información acerca de percepciones, actitudes y valores (Ceja, 2000), es una herramienta empleada para adquirir conocimiento de la vida de los individuos y la dinámica social desde el punto de vista de los participantes (Margarit, 2008).

El tipo de entrevista que se utilizó fue individual, única y contó con preguntas abiertas y cerradas. Esta combinación permite acopiar información confidencial y de manera personalizada, además el hecho de que sea abierta permite al entrevistado expresar cuanto piensa sin verse limitado por una serie de respuestas. Las preguntas que se manejan como cerradas son aquellas que recapitulan información ya establecida; es de carácter único ya que se aplicó una sola vez (Ario, 1988).

La muestra poblacional es una parte de la población que se considera materia de estudio, la representatividad y la adecuación de la muestra permite generalizar para la población, los resultados obtenidos en la interrogación de la primera (Ario, 1988).

El tamaño de la muestra a estudiar dependerá de la homogeneidad o la heterogeneidad de los caracteres de dicha población, una población es homogénea cuando la mayoría de los individuos tienen la misma ocupación, mismas características culturales, mismo credo y las variables que tienen son pequeñas. La población es heterogénea cuando las actividades económicas que realizan son diferentes.

El tamaño de muestra se determinó con base en Fernández (1996) aplicando la siguiente fórmula:

$$n = N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q / d^2 \times (N-1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q$$

Donde

N= Total de la población (en este caso 1896)

$Z^2_{\alpha} = 2.24^2$ (seguridad 97.5%)

p= proporción esperada (en este caso 2.5%=0.025)

q= 1-p (en este caso 1-0.025=0.975)

d= precisión (en este caso se desea un 3%=0.03)

$$n = \frac{1896 \times 2.24^2 \times 0.025 \times 0.975}{0.03^2 (1896-1) + 2.24^2 \times 0.025 \times 0.975} = 130$$

por lo tanto en la comunidad de San Pedro Jácuaró se realizaron 130 entrevistas. -

3. Materiales y Métodos

3.1 Trabajo de gabinete

Se recopiló información para la integración del marco teórico, se analizó el atlas de geográfico de la cuenca de Cuitzeo para la caracterización del área de estudio y se obtuvo la información geológica de la región de los Azufres- Tuxpan. En lo que respecta a las entrevistas se modificó una entrevista diseñada por Israde (2015), para determinar posibles factores ambientales asociados a la ERC, así como las fuentes de agua de consumo humano, se realizó la sistematización de los resultados de las entrevistas y de análisis de agua.

3.2 Trabajo de campo

Para el análisis de campo se empleó un GPS (Garmin), para recabar datos de georreferenciación como latitud, longitud y altitud, de cada uno de los sitios de muestreo (Cuadro 3).

3.2.1 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a 130 habitantes de la tenencia de San Pedro Jácuaró (Anexo 1), capital socioeconómico, fuentes de agua potable, percepción del agua de consumo, manejo del agua, antecedentes médicos, estilo de vida, dieta y consumo de agua por persona al día; una vez conocidas las fuentes de agua potable se seleccionaron las fuentes de agua para ser muestreadas (Figura 1 y 2)

Cuadro 3. Localización de los sitios de muestreo.

Sitio de Muestreo	Coordenadas	Altitud (msnm)	Colecta en lluvias (octubre 2015)	Colecta en estiaje (marzo 2016)
U 31	19°46'55''N- 100°38'47''W	2912	*	*
U 11	19°46'54''N- 100°39'04''W	2920	*	*

Rio Eréndira	19°45'23.3''N- 100°41'14.1''W	2489	*	*
Manguera purificadora	19°45'22''N- 100°41'4''W	2529	*	*
Agua Ceniza Manantial	19°45'11''N- 100°40'45''W	2333	*	*
Agua cruda La Rosita	19°70'48.11''N- 100°69'71.38''W	2160	*	*
Descarga spring SPJ	19°48'50.1''N- 100°41'15.2''W	2320	*	*
Trucha	19°13'24''N- 100°39'05''W	2250	*	*
Agua Ceniza Llave	19°13'24''N- 100°39'05''W	2250	*	*
Ladera engracia	19°43'24''N- 100°39'20''W	2242	*	*

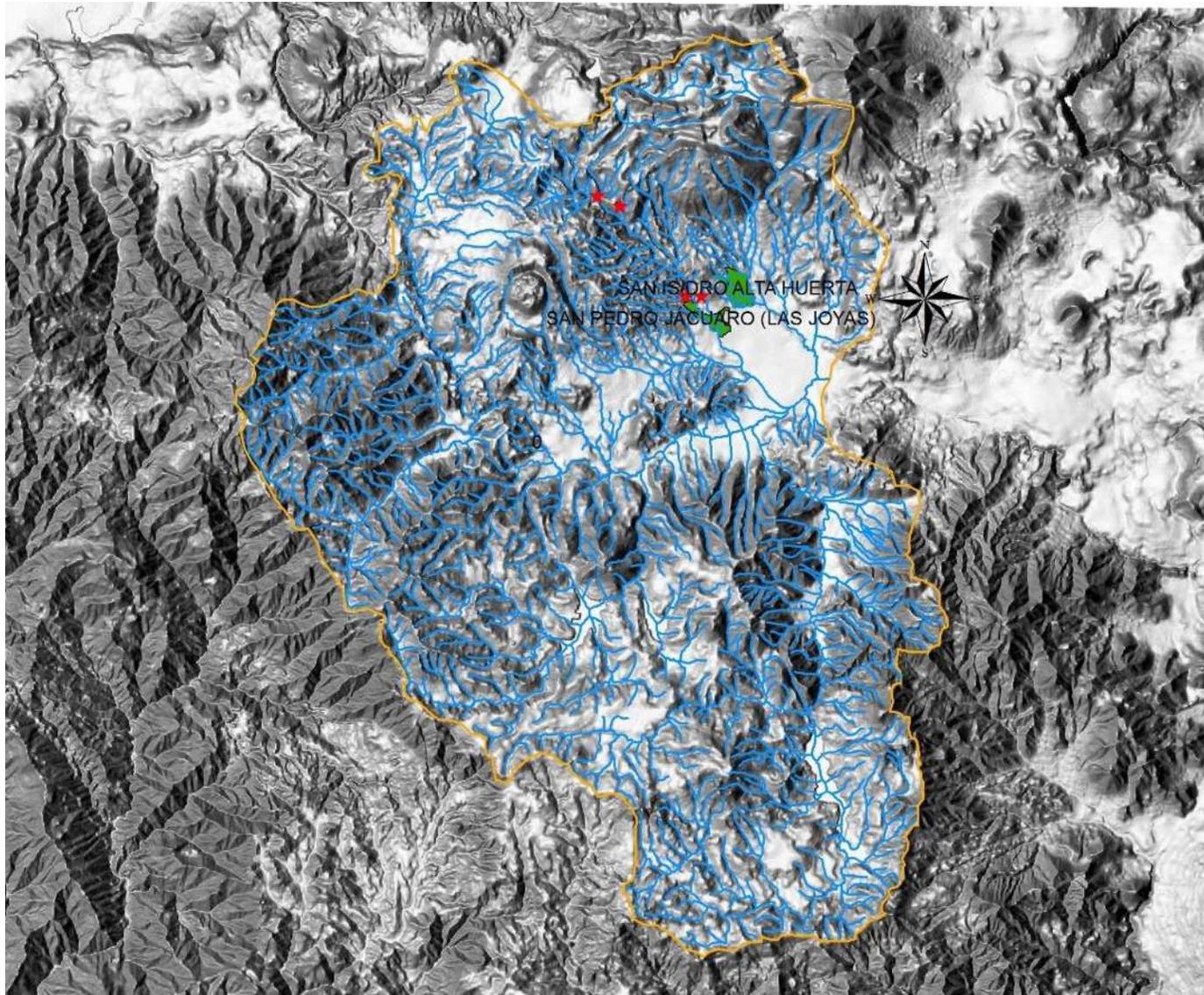


Figura 1. Sitios de muestreo

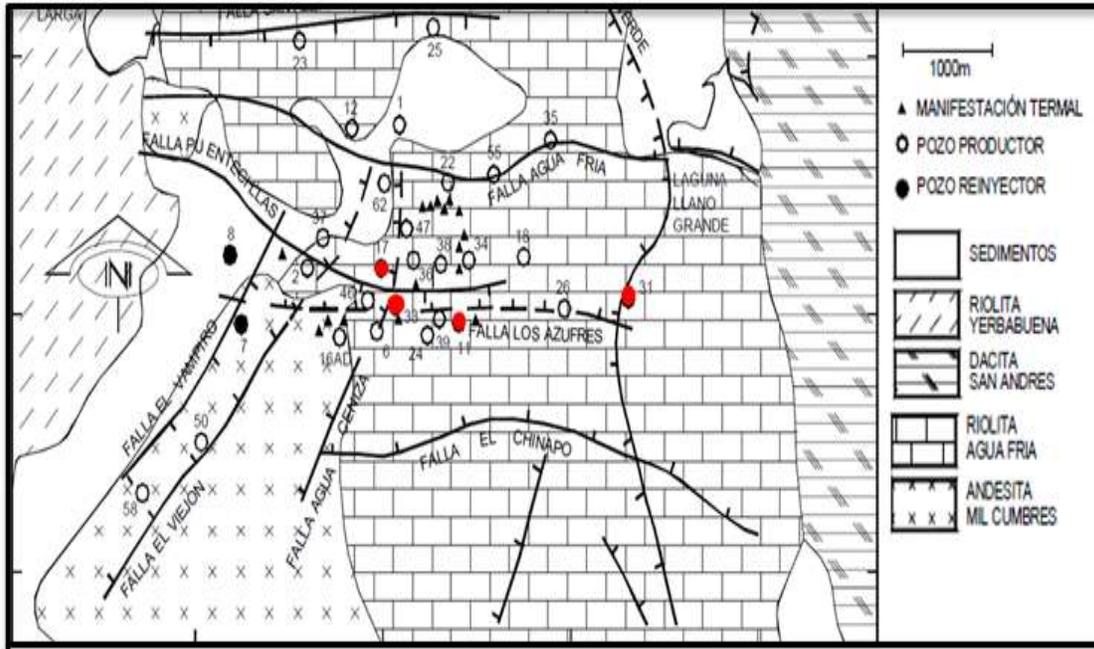


Figura 2. Localización de los pozos muestreados () y geología de la zona (tomado y modificado de Arellano, *et al.*, 2005)

3.2.2 Preparación del material para la colecta de agua

Las muestras de agua se colectaron en envases de polietileno o polipropileno, los cuales previamente se lavaron y dejaron 24 horas en una dilución con ácido nítrico al 1% grado analítico para eliminar impurezas, posteriormente se les dio dos enjuagues con agua destilada, para retirar residuos de ácido, fueron marcadas con el número de muestra y fecha de colecta.

Se realizaron dos salidas a campo para colectar agua, una en temporada de lluvias y otra en temporada de estiaje, los parámetros fisicoquímicos se registraron en campo, para ello se colecto 500 ml, de agua en cada sitio de muestreo, dos en pozos de agua de plantas geotérmicas, dos en fuentes de agua para uso doméstico, y seis en fuentes de agua de uso y consumo humano. Para la medición de EPT, se colectaron 11 muestras, de agua de los mismos sitios, se les agregó ácido nítrico grado analítico al 1%, hasta obtener un pH menor a 2, todas las muestras se colocaron en una hielera para ser transportadas a refrigeración, cuidando que conservaran una temperatura no mayor a 4 °C, según la NOM-127-SSA1-1994, una vez en refrigeración se mantuvieron bajo las mismas condiciones para ser analizadas.

3.2.3 Muestras de materiales geológicos y caracterización.

Se realizaron dos salidas al campo para coleccionar arcilla, diatomita y zeolita, la colecta se realizó en octubre de 2015 y enero del 2016, la zeolita se colectó en el San Agustín del Maíz, y la motmorillonita y diatomita en el Municipio de Charo, Michoacán (Fig. 3). Estas muestras fueron caracterizadas por medio de DRX, EIR, FRX y tamaño de partícula.

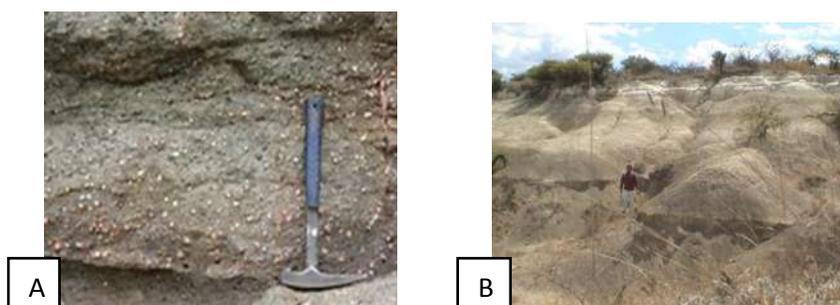


Figura 3. Sitios de donde se obtuvo el material geológico. A) Zeolita. B) diatomita y arcilla. Fotografías de Israde

3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.1 Parámetros Físicoquímicos en agua

3.3.1.1 Físicos

Temperatura: Se midió con un termómetro de inmersión, in situ, inmediatamente después de la colecta de agua, según la Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013 Medición de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales tratadas.

3.3.1.2 Químicos

Conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto (OD) y pH. Estos parámetros se midieron en campo con el multiparamétrico HANNA HI9828, zonda HI769828 (Fig. 4)



Figura 4. Multiparametrico HANNA

Para la determinación de aniones se empleó un Cromatógrafo de Líquidos Iónicos modelo 1100 de la marca Dionex Thermo (Fig. 5).



Figura 5. Cromatógrafo de líquidos iónico

Para la determinación y cuantificación de cationes y elementos potencialmente tóxicos cadmio, plomo, arsénico, cromo, zinc, aluminio, manganeso, se empleó Espectroscopia de Plasma ICP OES modelo 6500 de la marca Thermo (Fig. 6).



Figura 6. ICP-OES

3.3.2 Caracterización de materiales geológicos.

3.3.2.1 Difracción de Rayos X (DRX)

Esta técnica de análisis no destructivos es muy importante para conocer la cristaloquímica de los minerales y la composición de las fases minerales de diferentes sustancias (Ostrooumov, 2009), este análisis se realizó en el laboratorio de Rayos X del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales (IIMM) de la UMSNH. Las muestras fueron secadas y trituradas en un mortero de ágata hasta generar un polvo homogéneo; posteriormente se pesaron 2gr de cada una y se colocaron en el difractómetro calibrado según las indicaciones del técnico a cargo del equipo de la marca BRUKER modelo D8 ADVANCED DAVINCI (Figura 7).



Figura 7. Difractómetro de rayos X D8 ADVNCED

3.3.2.2 Fluorescencia de Rayos X

Para poder implementar esta técnica se molieron 10 gramos de cada muestra en un mortero de ágata, los cuales fueron prensados para constituir una pastilla, esta pastilla se colocó en el porta muestras del equipo de FRX de la marca XENOMETRIX modelo X-CALIBUR (Figura 8), dicho análisis se realizó en el Laboratorio de Geofísica Ambiental (LUGA) de la UNAM, Campus Morelia.

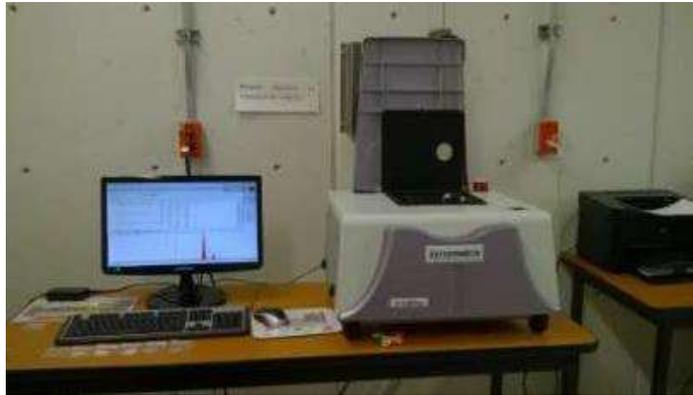


Figura 8. Equipo de FRX, para el análisis de elementos mayores

3.3.2.3 Espectroscopia de infrarrojo (EIR)

Se realizó en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales (IIMM) de la UMSNH. Para la realización de esta técnica las muestras fueron secadas y trituradas en un mortero de ágata, posteriormente se pesaron 0.003gr en una balanza analítica y se combinaron con 0.3gr de Bromuro de Potasio (KBr); después se colocaron en un dado metálico o prensa (Figura 9) y se le aplicó una presión aproximada de 10 toneladas durante 4 segundos para formar una pastilla casi transparente. Se colocaron las pastillas en un espectrómetro de infrarrojo de la marca BRUKER modelo TENSOR 27 (Figura 9) el cual está vinculado a una computadora con el software Opus, que grafica los espectros presentes en las lecturas de las muestras analizadas, este software elimina del espectrograma la lectura de H₂O y CO₂ atmosféricos; esta técnica se basa en las vibraciones y las rotaciones de una molécula las cuales son las responsables de las bandas de absorción de la misma en la región del infrarrojo, se emplea para identificar sustancias mineralógicas y grupos estructurales.

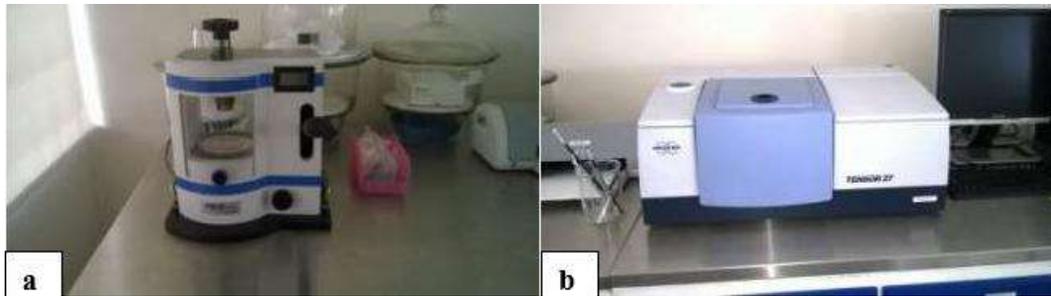


Figura 9. A) Prensa para generar pastillas. B) Espectrómetro de infrarrojo BRUKER.

3.3.2.4 *Tamaño de partícula*

Para conocer los agregados finos se utilizó un analizador de partículas finas (0.4 a 90 μ m) de difracción láser de la marca Beckman Coulter modelo LS100Q (Fig. 10) el cual incidió un haz de laser en el interior de las muestras previamente preparadas, de esta manera se obtuvo la información del tamaño de los agregados más pequeños registrando los datos en un software.

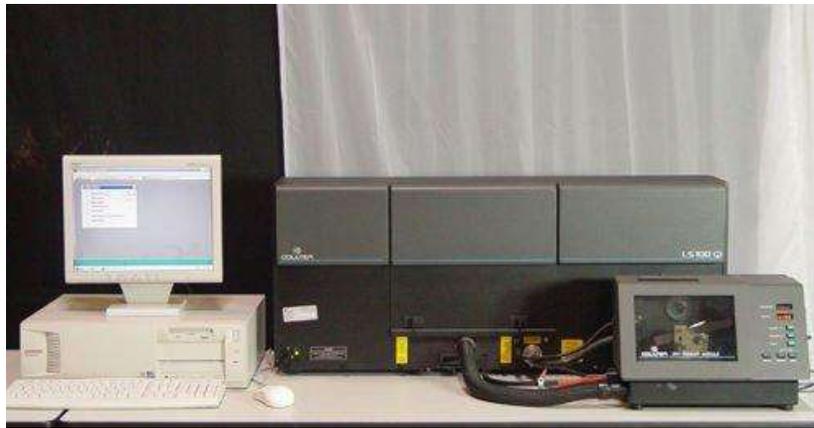


Figura 10. Analizador de partículas finas, Beckman Coulter modelo LS100Q

Clasificación de la textura de los materiales según el sistema internacional, los materiales geológicos con un tamaño <0.001 - <0.002 mm corresponden a arcillas, de 0.005mm a 0.02 mm son limos, los materiales con un tamaño entre 0.05 mm a 0.25 mm corresponden a arenas finas, arenas gruesas se considera a los materiales que tienen un tamaño entre 0.5 mm y 2.0 mm, y grava fina entre 3.0 y 5.0 mm, 10 mm a <20 mm son grava y de 20 >20 mm es grava gruesa y piedras. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación del tamaño de poro (Attemberg)

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Attemberg – (Sistema Internacional)
<0,001	Arcilla
<0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y piedras
>20,0	

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 San Pedro Jácuaro ubicación geográfica y Geología

El área de estudio (Figura 11) se localiza en la tenencia de San Pedro Jácuaro la cual se sitúa al noroeste del estado de Michoacán en el municipio de Ciudad Hidalgo, 19°23' y 19°52' de latitud norte; los meridianos 100°29' y 100°52' de longitud oeste; altitud entre 1 100 y 3 500 m. Colinda al norte con los municipios de Zinapécuaro y Maravatío; al este con los municipios de Maravatío, Irimbo, Tuxpan y Jungapeo; al sur con los municipios de Jungapeo, Tuzantla y Tzitzio; al oeste con los municipios de Tzitzio, Queréndaro y Zinapécuaro (INEGI, 2010). En esta región se localizan diversos depósitos de minerales no metálicos, dentro de los que destacan las tierras fuller de Huajumbaro, caolín del cerro del gallo y sus alrededores, arena sílica de Los Azufres, y evidencias de azufre dentro del campo geotérmico de esa región (Monografía geológico-minera del estado de Michoacán)

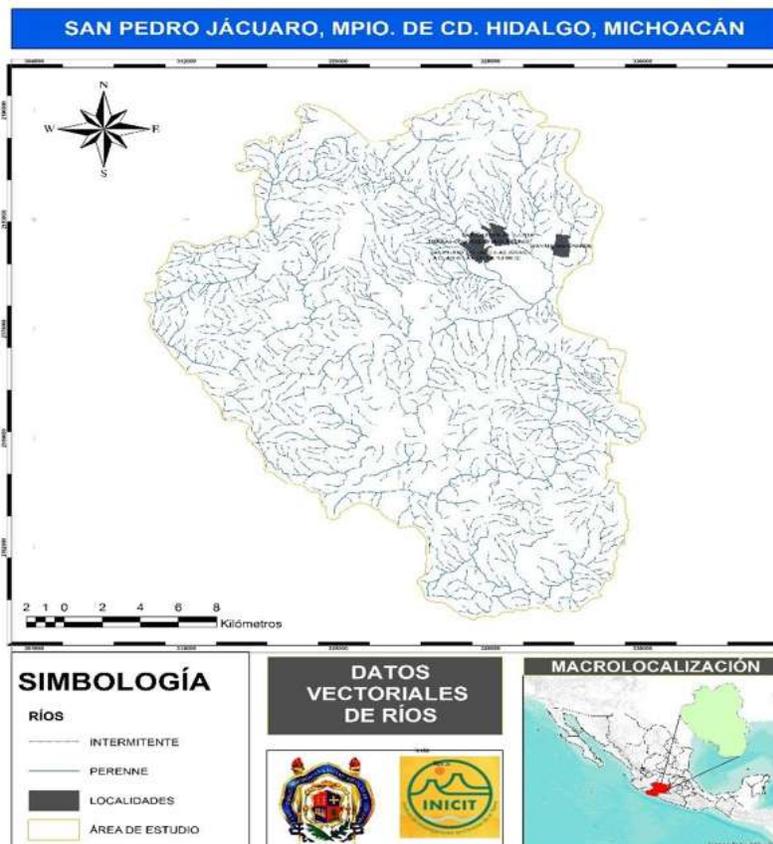


Figura 11. Microlocalización del área de estudio

La geología de la zona está integrada por un basamento prevolcánico compuesto por rocas metamórficas con facies de esquistos verdes, estas se asocian a la formación de un arco volcánico con edades del

Cretácico Temprano; aflorando muy cerca del campo geotérmico. A estas rocas les sobreyace en contacto discordante una secuencia de conglomerados y areniscas que pertenecen al Grupo Balsas, sus edades van desde el Paleoceno al Oligoceno. La anterior secuencia viene cubierta discordantemente por un paquete de rocas volcánicas que van desde el Oligoceno al Cuaternario. Posteriormente durante el Mioceno Inferior y Medio, se observan depósitos volcánicos que se encuentran fuertemente tectonizados. Las unidades volcánicas incluyen andesitas, dacitas e ignimbritas intercaladas con depósitos sedimentarios continentales. Por último, los conos cineríticos que rodean al campo geotérmico de Los Azufres son resultado del episodio volcánico más reciente en esa región y se relaciona con la evolución que ha seguido el Arco Volcánico Trans-Mexicano. Este campo se ubica en la intersección de dos elementos morfoestructurales: la Depresión Central Chapala-Cuitzeo y la prolongación meridional del sistema de Cuencas y Sierras (Garduño, 1987) (Figura 12)

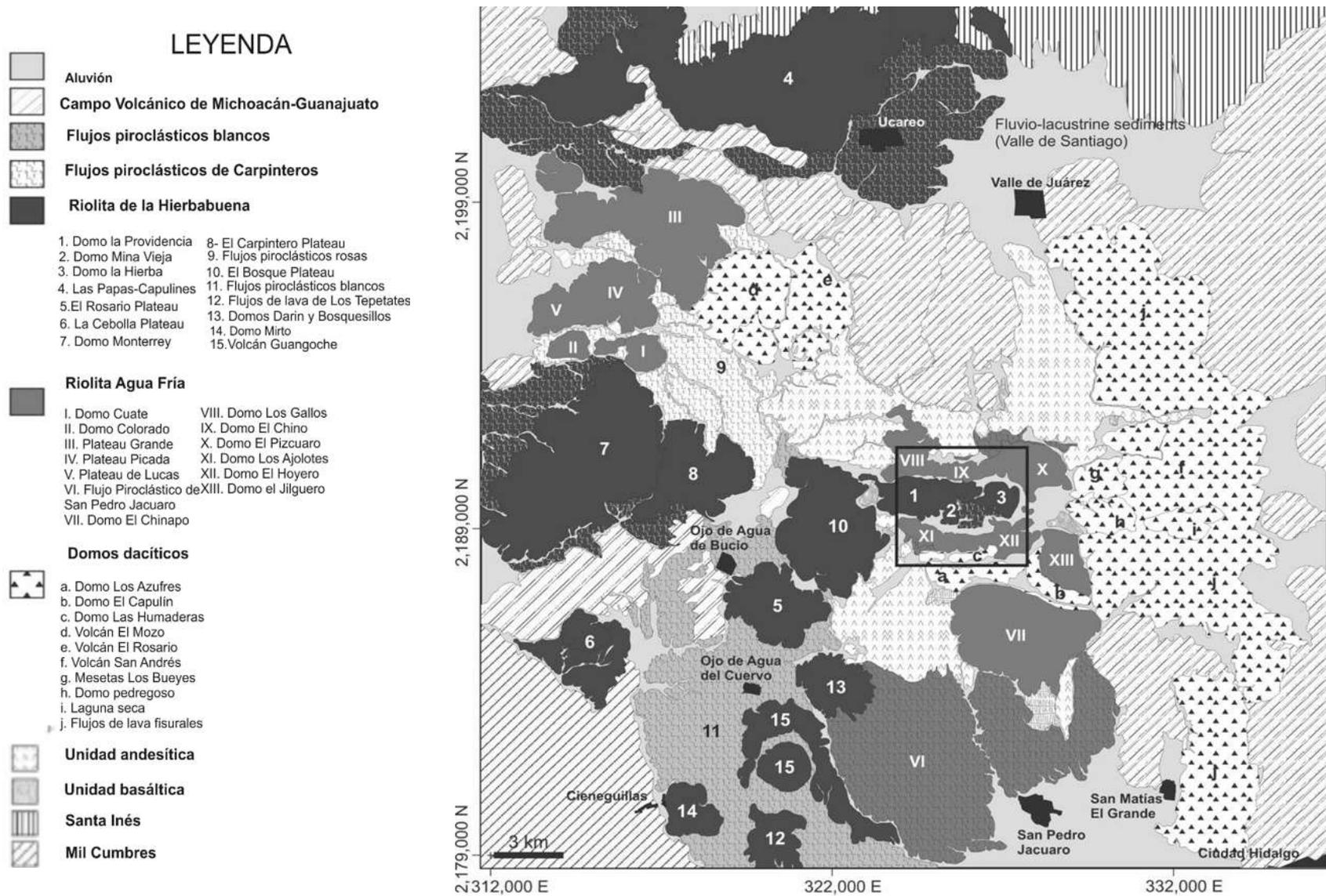


Figura 12. Mapa generalizado de la región de los Azufres y leyenda de la estratigrafía de la zona según Arce, *et al.*, 2012.

Se observan depósitos volcánicos que se encuentran fuertemente tectonizados. Las unidades volcánicas incluyen andesitas, dacitas e ignimbritas intercaladas con depósitos sedimentarios continentales. Por último, los conos cineríticos que rodean al campo geotérmico de Los Azufres son resultado del episodio volcánico más reciente en esa región inicio hace 1.5 millones de años teniendo un máximo explosivo entre 31 y 26 mil años con erupción de tipo pliniano y subpliniano con depósitos de caída tipo pómez y flujos piroclásticos. Y se relaciona con la evolución que ha seguido el Arco Volcánico Trans-Mexicano. Este campo se ubica en la intersección de dos elementos morfoestructurales: la Depresión Central Chapala-Cuitzeo y la prolongación meridional del sistema de Cuencas y Sierras (Garduño, 1987; Arce, *et al.*, 2012).

4.1.2 Fisiografía

Se ubica en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y el Eje Neo volcánico, sub provincia: Depresión del Balsas y Mil Cumbres. El sistema de topofomas lo integra la Sierra alta compleja, Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados con mesetas, Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados y Valle ramificado con lomeríos (INEGI, 2009).

4.1.3 Clima

Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, el rango de temperatura oscila entre los 8 y 24°C; y el rango de precipitación anual es de 800 a 2000 mm (INEGI, 2009).

4.1.4 Edafología

Los suelos dominantes son: Andosol, Luvisol, Regosol, Leptosol, Vertisol y Phaeozem (INEGI, 2009).

4.1.5 Hidrografía

Región hidrográfica del Balsas y Lerma-Santiago. Forma parte la cuenca R. Cutzamala, R. Lerma-Tolca y L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria, y la subcuenca R. Tuxpan, R. Purungueo, A. Tarandacuao, L. de Pátzcuaro y A. Cavichi. Tiene corrientes de agua Perennes (Zinapécuaro, Turundeo, Presa Pucuat, Presa La Sabaneta, Presa Mata de Pinos, Chico, Tetengueo, Chapuato y Hondo) e Intermitentes (San Andrés, Colorado, Las Lajas, Piedra Labrada, Presa Pucuat y Chapuato). (INEGI, 2009).

4.1.7 Uso de suelo y vegetación

Los usos del suelo son para Agricultura y Zona urbana. Tipos de vegetación predominantes: Bosque, Pastizal y Selva (INEGI, 2009).

5. RESULTADOS

5.1 Entrevistas

5.1.1 Datos de vivienda de los entrevistados.

En la Tenencia de San Pedro Jácuaró (SPJ), viven 1896 habitantes, de las cuales se entrevistaron a 130 personas aleatoriamente, el 76% de los entrevistados son jefes de familia (Fig.13); de ellas el 83 % son originarias de SPJ, y el 11 % de Ciudad Hidalgo, el 6% restante son originarios de diversos lugares como Tuxpan, Morelia, la Piedad (Fig. 14)

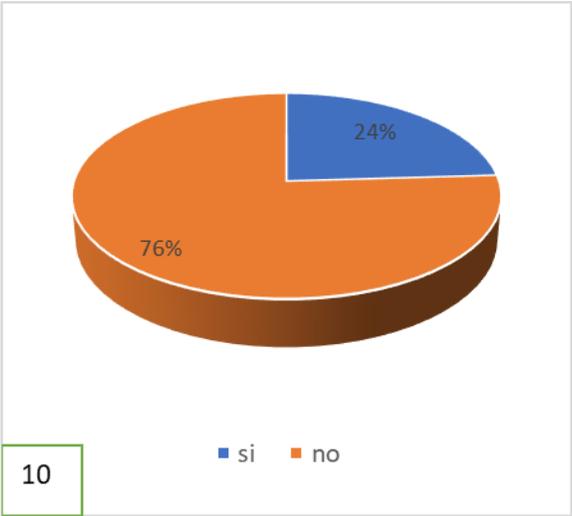


Figura 13. Responsables de familia.

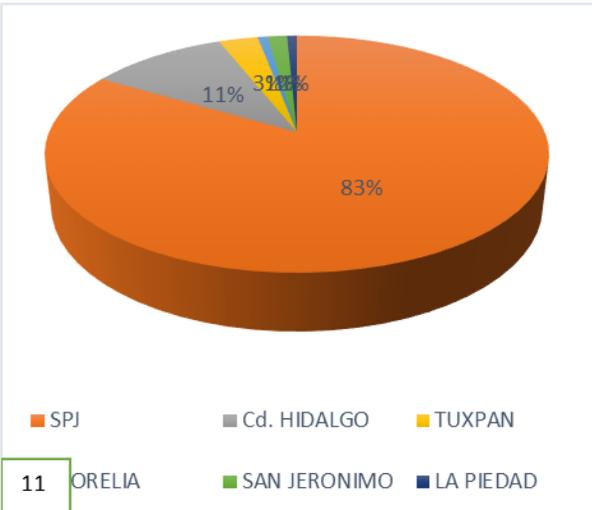


Figura 14. Lugar de origen de los habitantes de SPJ

En lo que respecta a ocupación, 92 personas de la muestra poblacional son amas de casa, 26 personas se dedican a diversas actividades como jornalero, comerciante, o empleados, obteniendo una remuneración económica (Fig. 15)

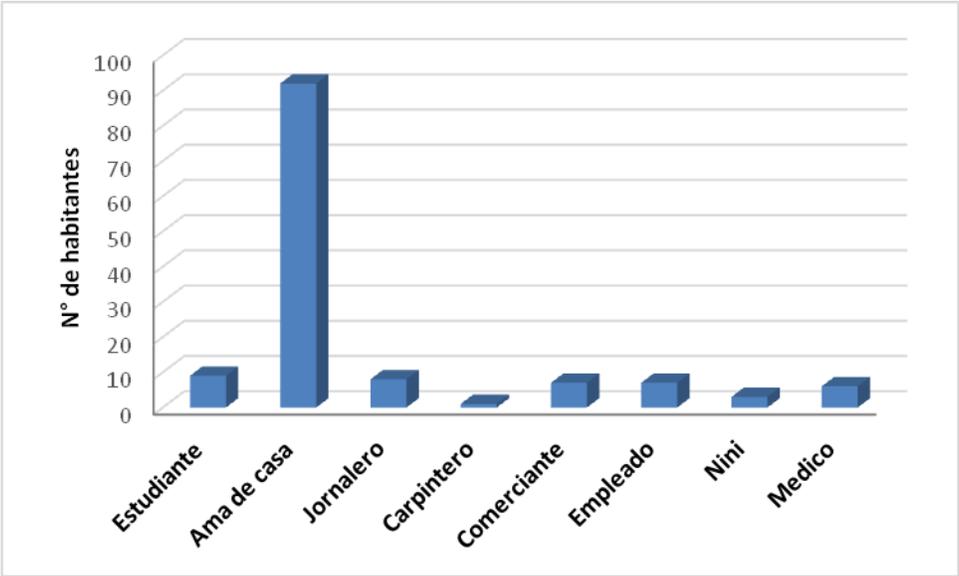


Figura 15. Ocupación de los habitantes de SPJ.

El 63% de los entrevistados tienen residiendo en SPJ más de 11 años continuos, y el 35% entre 4 y 10 años, y menos del 2% tienen habitando entre 1 y tres años en el área de estudio (Fig. 16)

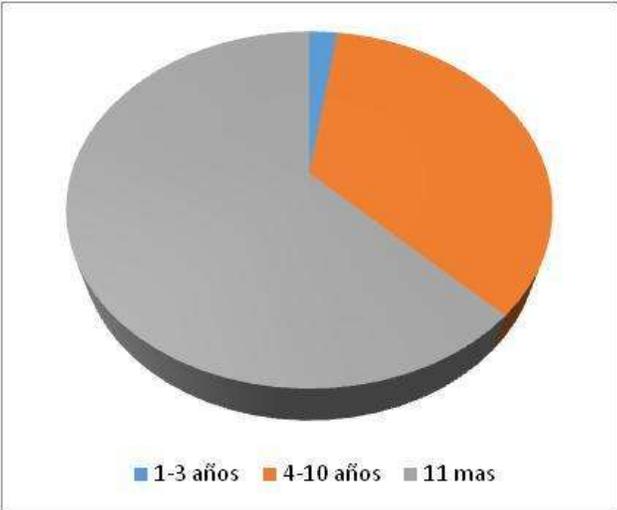


Figura 16. Tiempo continuo de residencia

En lo que respecta al número de habitantes en casa, el 24.4 % de las familias están conformadas por 4 personas. Seguido de familias formadas por 3 habitantes representando a un 22.9%, familias de 5 integrantes representa un 16.7%, el 14.5% consta de 6 integrantes (Fig. 17)

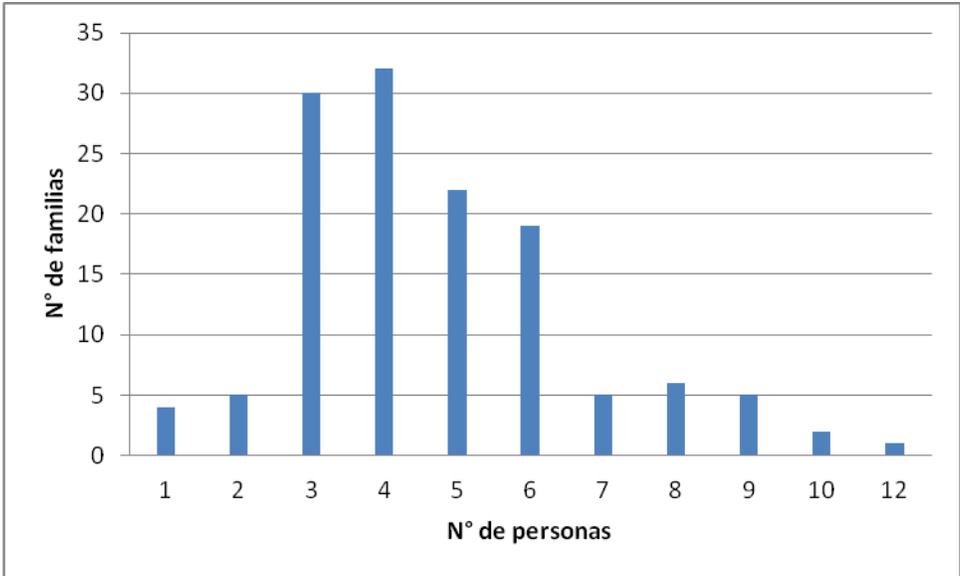


Figura 17. Número de habitantes por familia, en la abscisa se muestra Número de personas, y en la ordenada se muestra número de familias.

En lo que respecta al sexo y número de integrantes, en la población de estudio en la mayoría de familias hay 2 hombres y/o mujeres, seguido de 3 y 1 (Fig. 18)

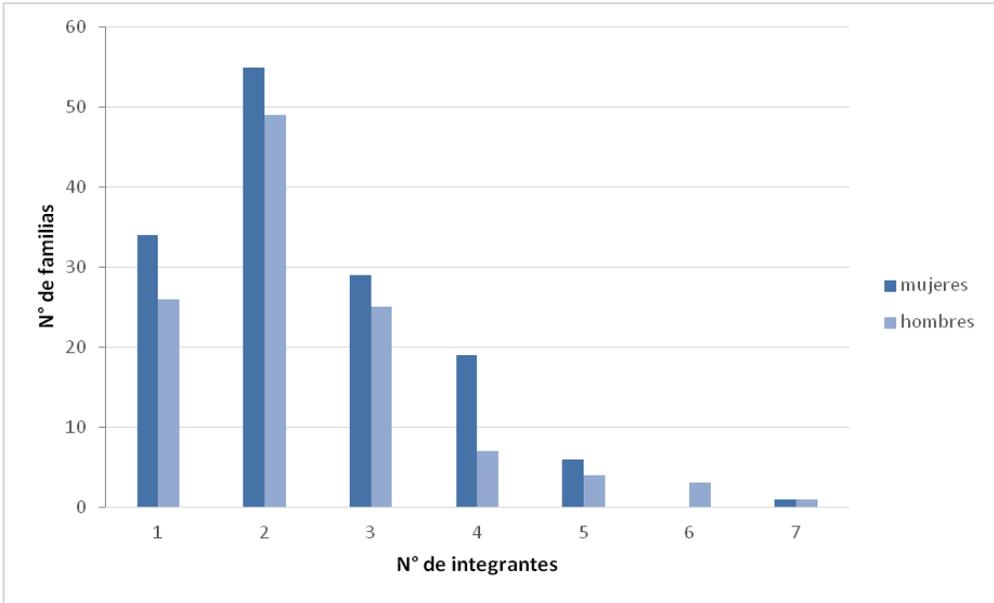


Figura 18. Número de integrantes por familia según su sexo.

Aproximadamente el 26% de los integrantes de una familia tienen entre 25 y 40 años de edad, 23.4% representa a personas que tienen entre 16 y 25 años, alrededor del 19 % de la población tiene entre 40 y 60 años de edad, este porcentaje también representa a los infantes de entre 0 y 10 años de vida (Cuadro 5).

Cuadro5. Número de habitantes en casa por rangos de edad.

Rangos de edad	N° de habitantes en casa					
	1	2	3	4	5	total
0-10 años	38	19	15			121
11-15 años	31	11	2			59
16-25 años	36	29	12	4		146
25-40 años	33	49	6	2	1	162
40-60 años	15	48	3			120
> 60 años	6	1				8
Total, de habitantes						616

5.1.2 Características del agua y percepción.

El 100% de las viviendas de los entrevistados, no están conectadas a red de agua potable, todos reciben agua de manantial por medio de mangueras, el 100% no percibió sabor en el agua, el 3% percibe color y el 4% olor a azufre; el 45% reporta presencia de materiales suspendidos y sedimentarios en el agua, con una frecuencia ocasional, coincidiendo en los tiempos de lluvia.

5.1.3 Manejo interno del agua

Una vez que el agua llega a sus casas, la almacenan en diversos recipientes, 106 de ellos lo hacen en pilas que están construidas de cemento, 17 personas emplean tinacos de los cuales 13 son de plástico y 4 de asbesto; 13 en cisternas de cemento y 7 en botes de plástico (Fig. 19). La suma de estos resultados es mayor al número de la muestra poblacional, se debe a que hay personas que almacenan agua en uno o más recipientes.

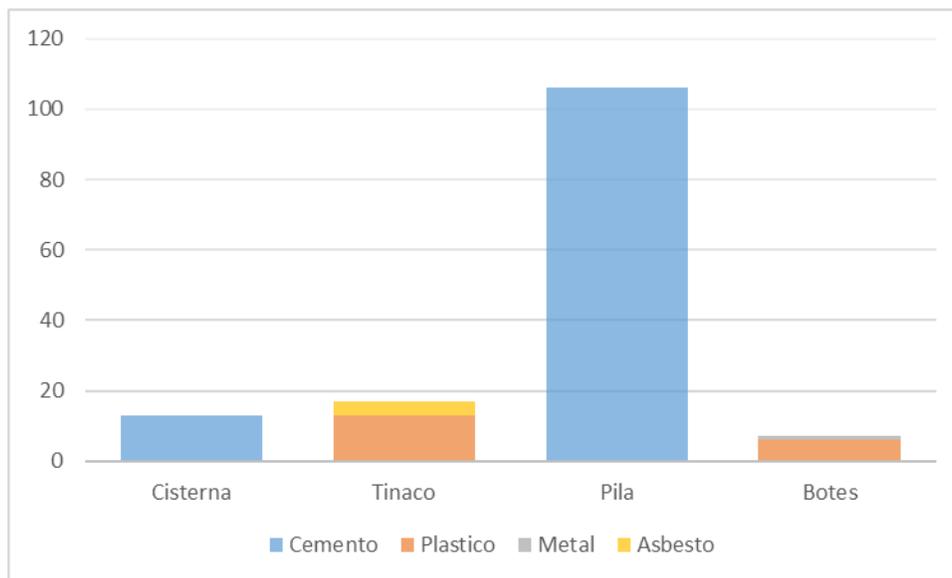


Figura 19. Almacenamiento del agua.

Once de las cisternas que almacenan el agua se localizan en el patio, en su mayoría son herméticas, y su uso es constante, el agua está limpia y más de la mitad le dan mantenimiento.

(Cuadro 6)

Cuadro 6. Mantenimiento de las cisternas

	Patio	Cochera	
Ubicación	11	2	
	Desconocido	Conocido	
Volumen	12	1	
	si	no	
Hermeticidad	11	2	
	Constante	Ocasional	
Uso	12	1	
	Limpia	Poco sucia	Muy

			sucia
Condiciones	9	2	2
	si	no	
Mantenimiento	8	5	

Trece de los tinacos que se emplean para almacenar agua son de plástico, aun en una menor parte se siguen empleando tinacos de asbesto, la mayoría de los tinacos se localizan en las azoteas de las casas, son herméticos y se usan constantemente, el agua se encuentra limpia y poco menos de la mitad les da mantenimiento (cuadro 7).

Cuadro 7. Mantenimiento de tinacos.

	Rotoplas	Asbesto	
Tipo	13	4	
	Patio	Cochera	Techo
Ubicación	6		11
	Desconocido	conocido	
Volumen	11	6	
	si	no	
Hermeticidad	16	1	
	Constante	Ocasional	
Uso	17		
	Limpia	Poco sucia	Muy sucia
Condiciones	11	4	2
	Si	No	
Mantenimiento	8	9	

Como se mencionó anteriormente en su mayoría la muestra poblacional almacena el agua en pilas, de las cuales el 100% se localizan en el patio, se usa constantemente, más de la mitad no les da mantenimiento y considera que el agua se encuentra ligeramente sucia (Cuadro 8).

Cuadro 8. Mantenimiento de las pilas.

	Patio	Cochera	Techo
Ubicación	106		
	Desconocido		
Volumen	106		
	Si	no	
Hermeticidad	48	58	
	Constante	Ocasional	
Uso	106		
	Limpia	Poco sucia	Muy sucia
Condiciones	25	61	20
	Si	No	
Mantenimiento	43	63	

5.1.3.1 Consumo de agua de garrafón

El 93% de los entrevistados compran agua de garrafón, 54 familias consumen 2 garrafones a la semana, y 46 familias consumen 3, 7 familias consumen 1 a la semana y solamente 1 familia consume 7 garrafones semanalmente (Fig. 20).

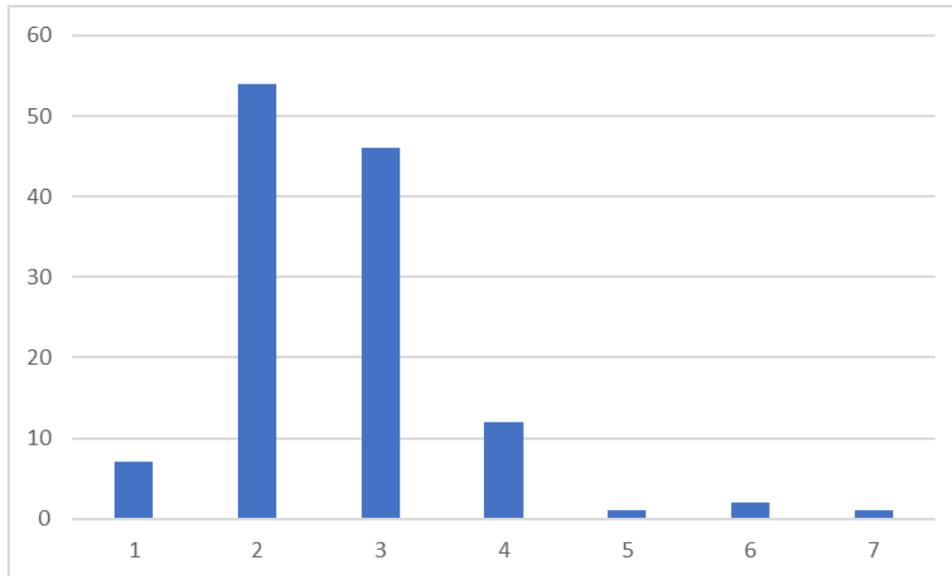


Figura 20. Numero de garrafones que consumen a la semana las familias

123 familias emplean agua de garrafón para preparación de bebidas y 113 para preparación de alimentos, 20 familias utilizan agua directa de red para la cocción de sus alimentos y 10 para beber (Figura 21)

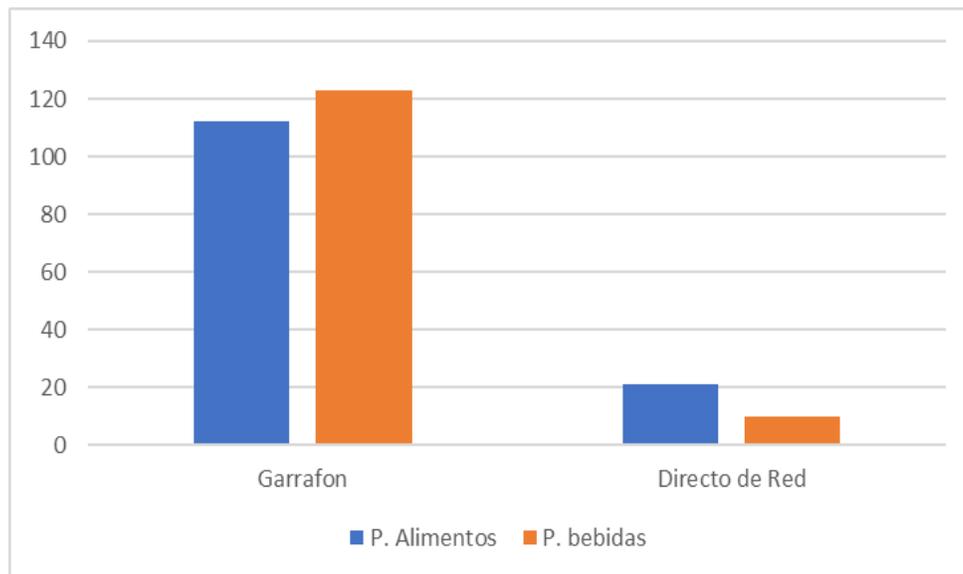


Figura 22. Implementación de agua de garrafón para Preparación de bebidas y alimentos

5.1.4 Antecedentes médicos

5.1.4.1 Antecedentes familiares

Respecto a enfermedades crónicas 86 de los entrevistados respondieron que sus familiares no padecen ningún tipo de estas enfermedades, y 47 presentan diabetes y 45 de ellos hipertensión (Cuadro 9); 10

personas reportaron casos cáncer, entre los tipos que se reportaron incluyen: colón, pulmón, matriz, próstata e hígado, esta enfermedad se reportó principalmente en sus progenitores y sus tíos.

Cuadro 9. Presencia de enfermedades crónicas y casos de cáncer

	Si	No
Enfermedades crónicas	47	86
	si	no
Casos de cáncer	10	123

En lo referente a la enfermedad renal el 7% de la muestra poblacional presenta algún tipo de daño (Fig. 23), dos de ellos dos ya están en etapa de diálisis, las personas que presenta ER, ninguno está relacionado con diabetes o hipertensión y son personas menores a 35 años.

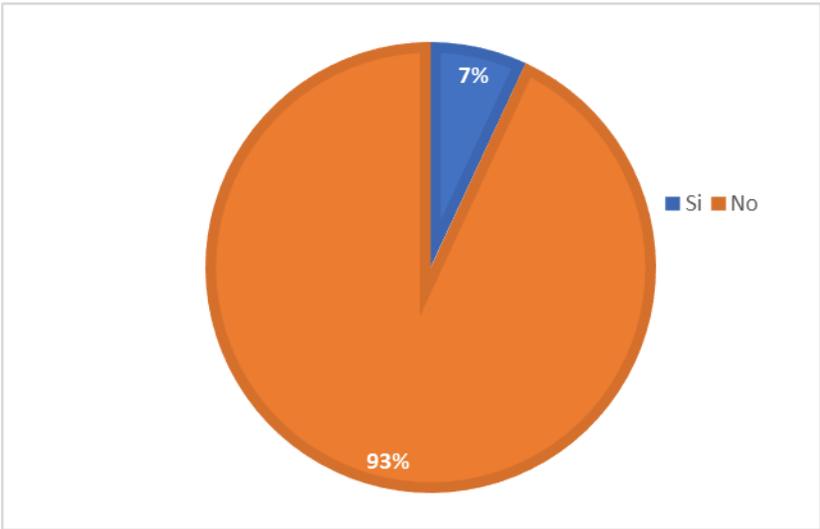


Figura 23. Presencia de enfermedad renal

5.1.4.2 Antecedentes individuales de salud

El 14% de la población consume cigarrillos y/o bebidas alcohólicas, en su mayoría fuman 5 cigarrillos diarios, seguidos de 3 y 2 (Fig. 24)

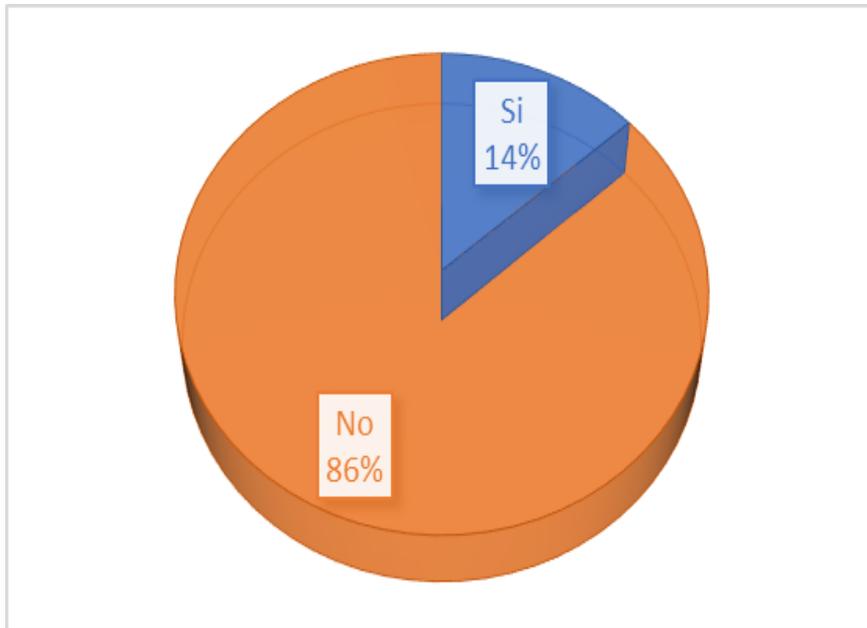


Figura 24. Porcentaje de personas que fuman y/o Ingieren bebidas alcohólicas

5.1.4.3 Antecedentes gineco-obstétricos

Del porcentaje de mujeres entrevistadas se les preguntó por sus antecedentes gineco-obstétricos, en su mayoría han tenido entre 1 y 2 embarazos, seguido de 4 y 3 respectivamente; partos normales han tenido 1, 2 y 3 respectivamente, cesáreas entre 1 y 2, 9 mujeres llegaron a abortar una vez (Fig. 25)

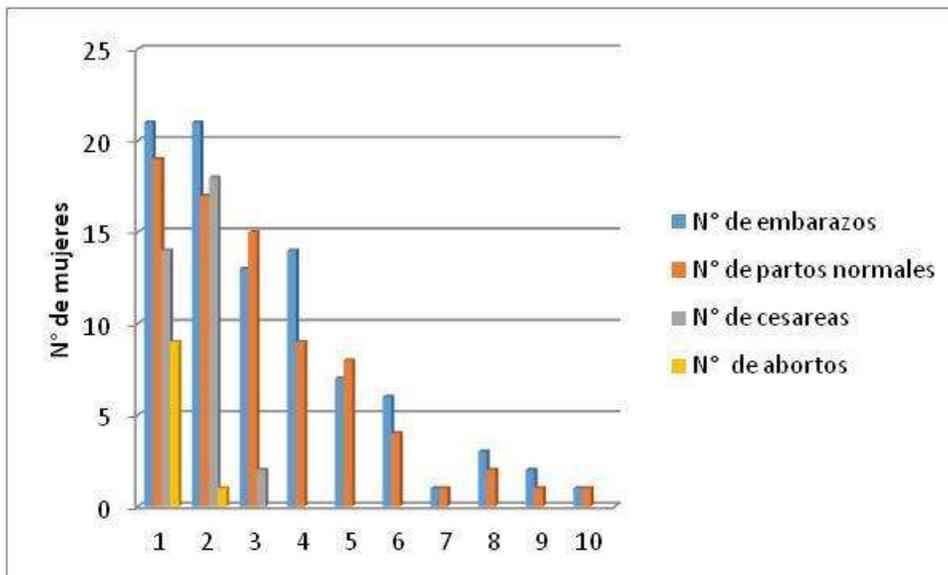


Figura 25. Relación de número de embarazos, partos, cesáreas y abortos.

5.1.4.4 Antecedentes de salud en niños

De los niños que habitan en los hogares donde se realizó la entrevista ninguno padece alguna enfermedad relacionada con los oídos, mientras que 2 presentan enfermedades de nariz y/o garganta (Fig. 26), estas enfermedades están relacionadas con el estado del tiempo.

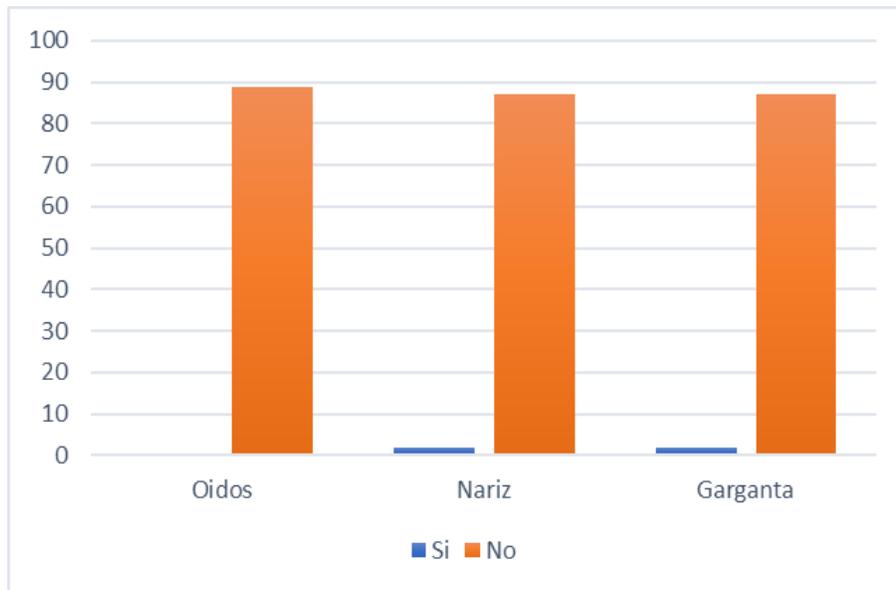


Figura 26. Presencia de enfermedades de oídos, nariz y garganta.

5.1.4.5 Aspectos pedagógicos de niños

Por medio de las entrevistas se obtuvo información relacionada con niños y su aprendizaje, el 84.2 % tienen conducta normal y solamente el 12.35% son inquietos; aproximadamente el 63% y el 37% tienen buen y regular aprendizaje respectivamente; el 89.8% duermen tranquilamente y el 10.2% son inquietos cuando descansan; el 82% duerme más de 8 horas y el 18% duerme entre 6 y 8 horas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Aspectos pedagógicos de los niños

conducta	Normal	Tranquilo	Inquieto
	75	3	11
aprendizaje	bueno	regular	
	56	33	
Sueño	tranquilo	inquieto	
	80	9	
horas que duerme	Más de 8	Entre 6 y 8	

	73	16	
--	----	----	--

5.1.5 Síntomas clínicos de enfermedades hídricas.

5.1.5.1 Alteraciones comunes a corto plazo

El 8% de la muestra poblacional presenta algún síntoma relacionado con alteraciones comunes a corto plazo, como alteraciones cutáneas, pérdida drástica de cabello, alteraciones bucales, falta de apetito constante, diarreas y manchas amarillas o blanquecinas en los dientes (Fig. 27)

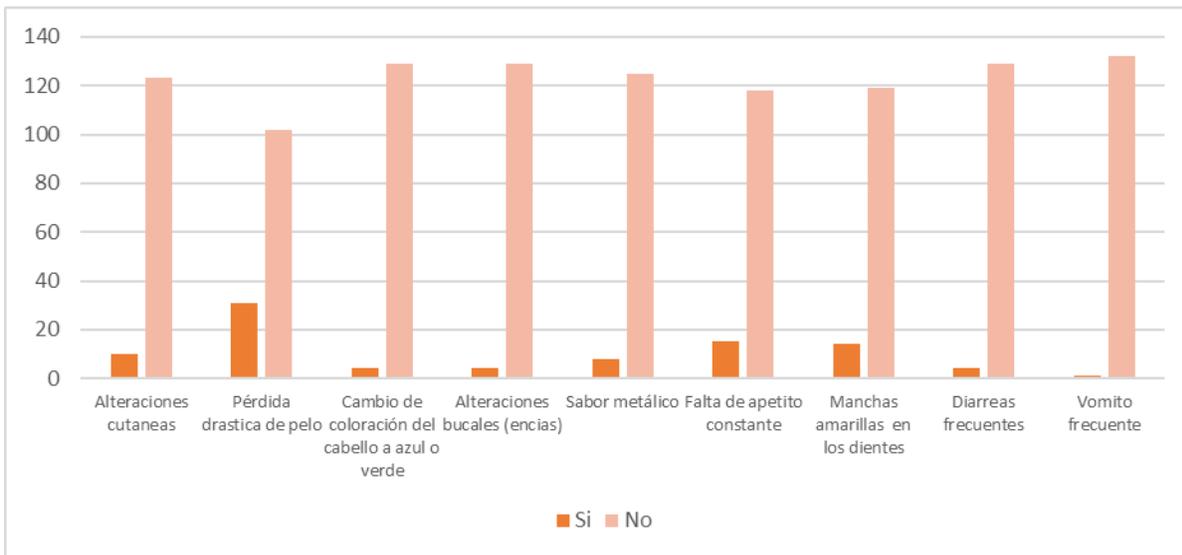


Figura 27. Alteraciones comunes a corto plazo.

5.1.5.2 Alteraciones urinarias y renales

Nueve de los entrevistados presentan dificultades al orinar, y falla renal, dos de ellos ya se encuentran en etapa de diálisis renal (Fig. 28), hasta el momento no se reportó el nacimiento de niños sin un riñón. Sin embargo se han reportado niños que nacen con riñones no desarrollados.

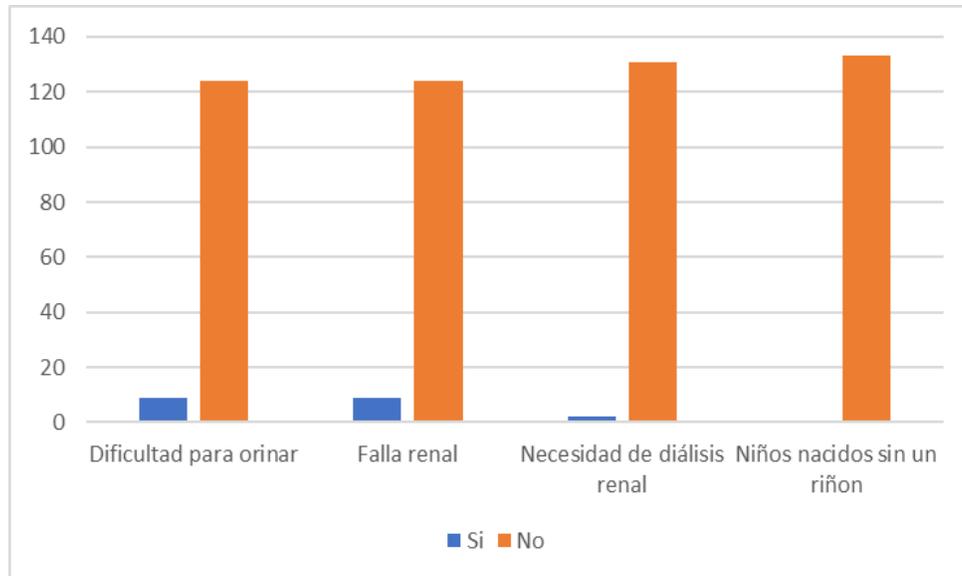


Figura 28. Alteraciones urinarias y renales.

5.1.5.3 Alteraciones del Sistema Nervioso Central (Relacionados a Aluminio)

Existen síntomas que se encuentran relacionados con la ingesta del Aluminio, como son: temblores de pies y/o manos se presentan en 20 personas de la muestra poblacional, estos son espontáneos y no se encuentran relacionados con enfermedades como Parkinson, 32 entrevistados reportan insomnio continuo, y 9 manifestaron sentirse más ansiosos o agresivos, en lo referente a la enfermedad de Parkinson la presentan dos personas (Fig. 29)

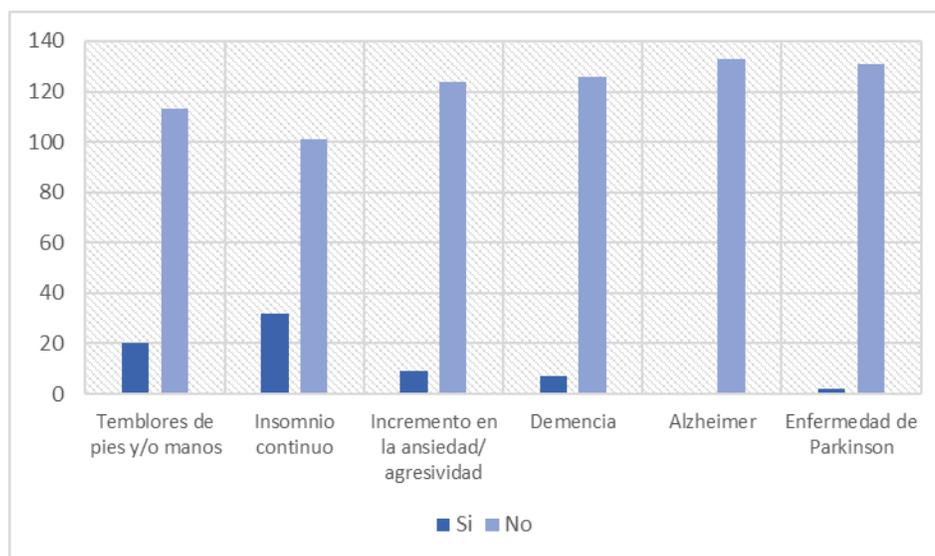


Figura 29. Alteraciones del Sistema Nervioso Central, relacionadas con el Aluminio

5.1.5. Síntomas y enfermedades relacionadas con EPT

Existen diversos síntomas y enfermedades que se relacionan con la ingesta de EPT, entre ellos se encuentra la osteoporosis que la presentan 2 de los entrevistados, 14 jóvenes manifestaron presentar dolor de huesos. En lo que respecta a dolor de articulaciones y 19 reportan dolor (Fig. 30)

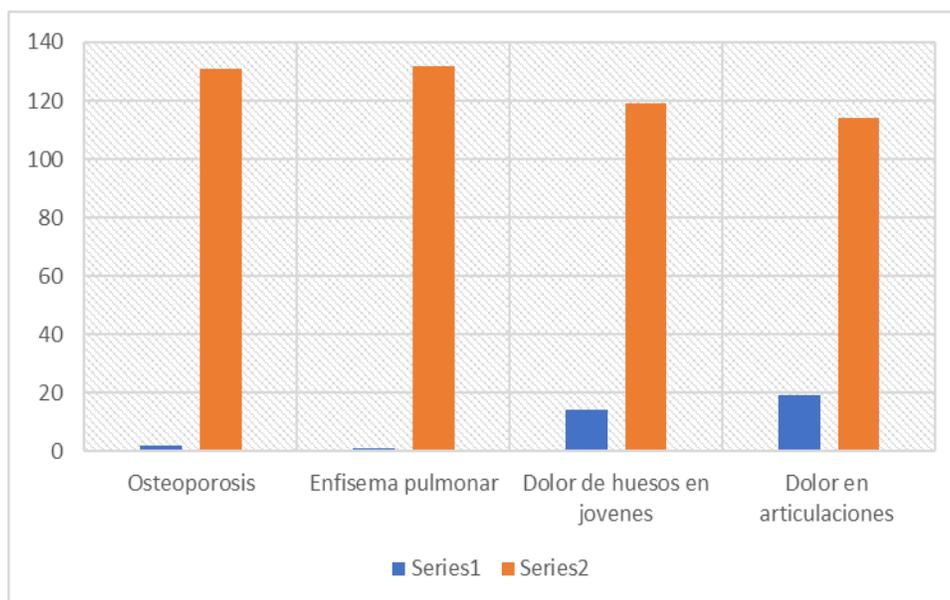


Figura 30. Enfermedades y síntomas relacionados a EPT.

5.1.6 Alimentación y consumo de agua.

Cerca del 3% de los habitantes realiza una comida fuerte, el 50% hace dos comidas y el 47% come tres veces al día, entre los alimentos que consumen son pan, tortilla y leguminosa, 31 personas consumen carne tres veces por semana y 41 dos veces, el resto (61 habitantes) lo hacen una vez cada quince días o menos; huevo es consumido por 33 pobladores diario, 56 y 46 habitantes consumen tres veces y una vez por semana respectivamente. Respecto a la fruta se reporta que 36, 40 y 57 personas la consumen diario, tres veces por semana y una vez por semana respectivamente. La mayoría de las personas (94) consumen verdura de una a tres veces por semana, 39 lo hacen diario, en lo referente a acelgas, espinacas, romeros,

hongos, solamente 26 personas consumen de una a tres veces por semana, y la mayoría consume una vez cada 15 días o una vez al mes, o menos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Consumo de alimentos de los pobladores de SPJ.

Alimentos	frecuencia a la semana		
	diario	tres veces	una vez
pan	133	0	0
leguminosas	88	38	7
tortilla	133	0	0
Carne	0	31	41
huevo	33	54	46
frutas	36	40	57
verduras	39	40	54
acelgas, espinacas, romeros, hongos.	0	12	14

Consumo de agua

En lo referente al consumo de agua 42 personas entrevistadas consumen 1litro, 37 de ellas consumen 1 ½ l., mientras que 26 ingieren medio litro diario, 20 personan consumen 2 litros y finalmente 8 consumen solo un vaso de agua al día (Fig. 31)., la mayor parte de la población consume agua que proviene de la purificadora local de San Pedro Jácuaró.

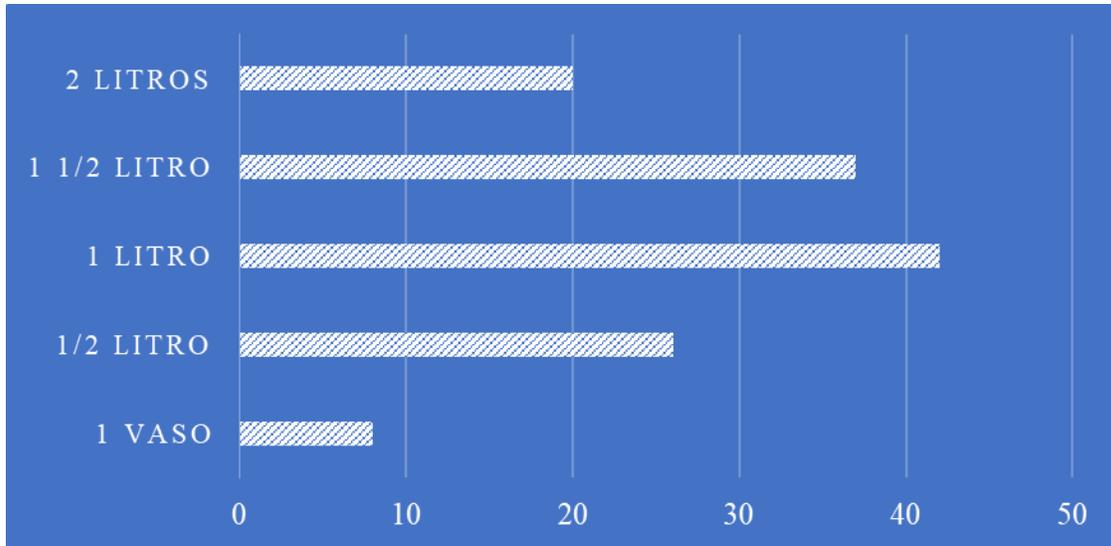


Figura 31. Consumo de agua al día.

Consumo de refresco

al menos el 25 % de la población consumen un refresco al día, el 13% ingiere de 5 a 6 refrescos por semana, el 9% consume de 2 a 4 refrescos por semana, el 16% consume uno por semana y el 37% consumen de 1 a 3 refrescos al mes (Fig. 32).

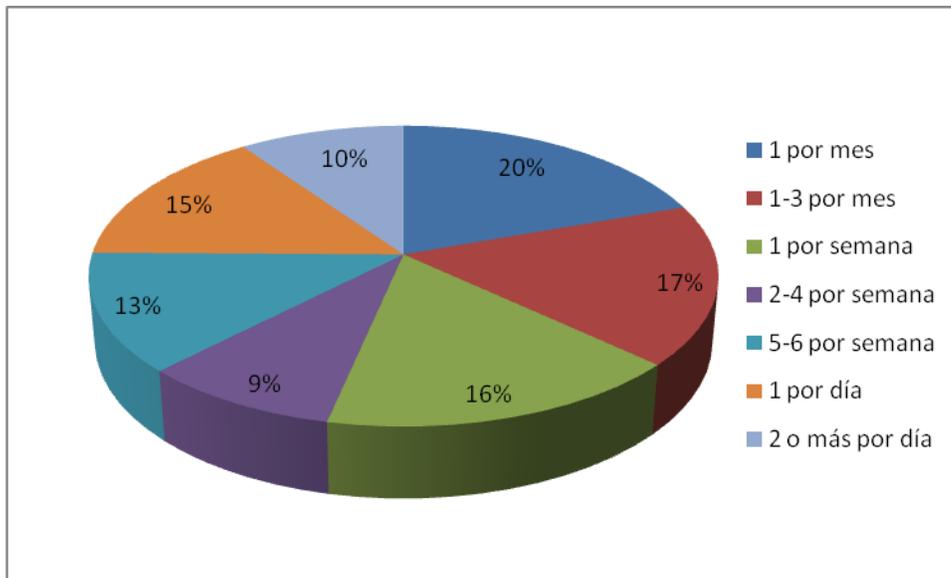


Figura 32. Consumo de refresco (Nota: se empleó como media un refresco de 600 ml.)

5.2 Caracterización del agua

5.2.1 Parámetros fisicoquímicos

5.2.1.1. Temperatura

La temperatura que se reportó tanto en temporada de estiaje como de lluvias no presentó ninguna variación (Fig. 33).

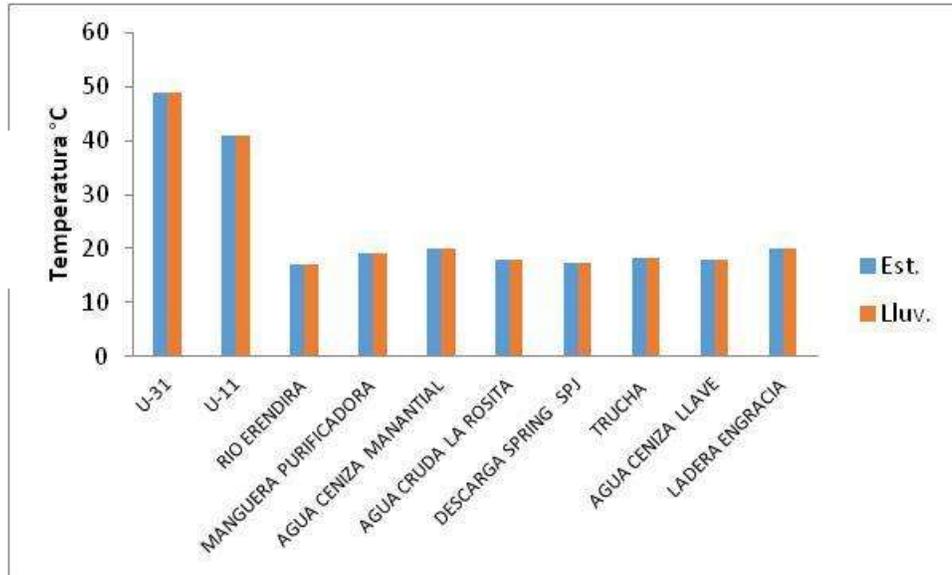


Figura 33. Temperatura. (Est. = Estiaje; Lluv.= Lluvias)

5.2.1.2 pH

En lo que respecta al pH, los valores obtenidos en temporada de estiaje coinciden con los de la temporada de lluvia, en ambos muestreos los sitios de Agua Ceniza llave y Ladera Engracia se encuentran por debajo del límite mínimo permisible (LmP), ningún se encuentra por arriba del límite máximo permisible (LMP) según lo que establece la NOM-127 (Fig. 34).

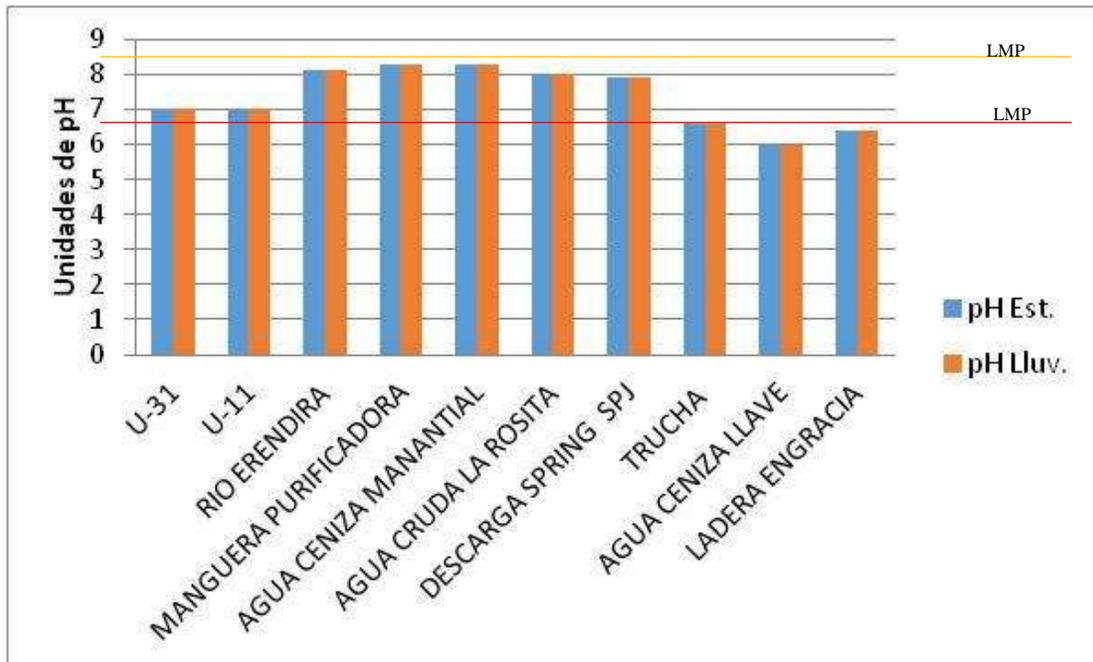


Figura 34. pH

5.2.1.3 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Según la NOM-127 el límite de los SDT es de 1000 mg/L., como se puede observar en la figura 29, Río Eréndira y Descarga Spring SPJ rebasan el límite en ambas temporadas (Fig. 35)

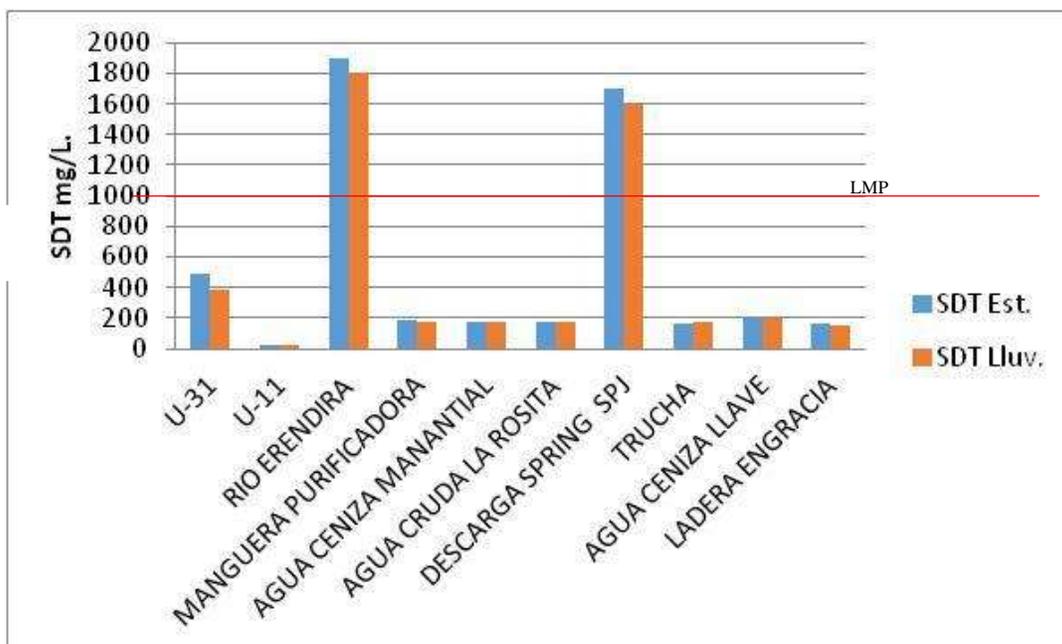


Figura 35. Sólidos disueltos totales (SDT).

5.2.1.4 Conductividad eléctrica

En el intervalo de 200-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se encuentran las medidas reportadas de conductividad eléctrica (CE), los valores más altos se encuentran en el sitio U-31 (Fig. 36),

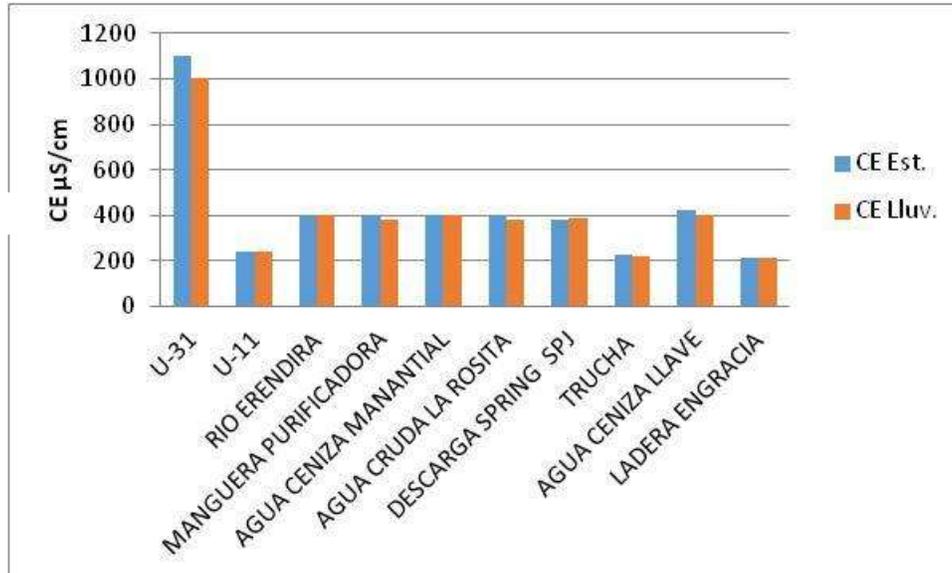


Figura 36. Conductividad eléctrica (CE)

5.2.1.5 Oxígeno disuelto (OD)

En el sitio U-31 y U-11 el valor es inferior a 2 mg/L y en Río Eréndira y Descarga Spring SPJ este parámetro alcanza un valor de 5 mg/L (Fig. 37)

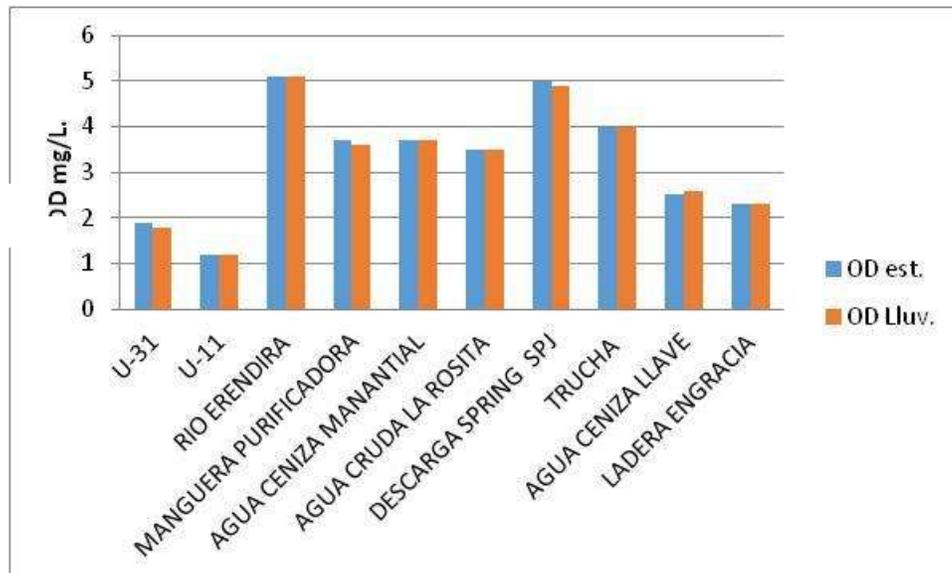


Figura 37. Oxígeno disuelto

Los parámetros de nitratos, nitritos, sulfatos, fluoruros y cloruros únicamente se registraron durante el periodo de estiaje en 9 de los 10 sitios reportados.

5.2.1.6 Nitritos y Nitratos

El límite máximo permisible de nitritos es de 0.05 mg/L., y el límite máximo de nitratos es de 10 mg/L, según lo establecido en la NOM-127, ningún sitio de muestreo rebasa dichos límites (Fig. 38)

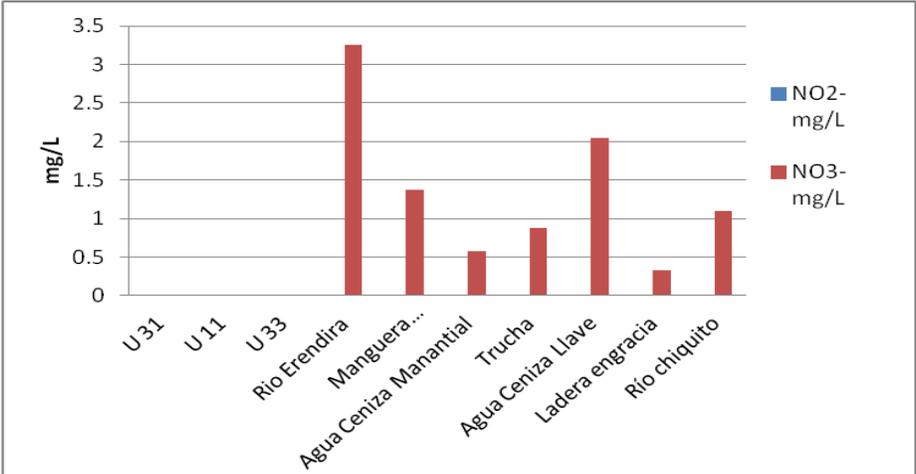


Figura 38. Nitratos y nitritos

5.2.1.7 Sulfatos

La cantidad máxima que puede contener un litro de agua es de 400 mg de sulfatos, en los sitios de estudio ninguno rebasa este límite establecido (Fig. 39)

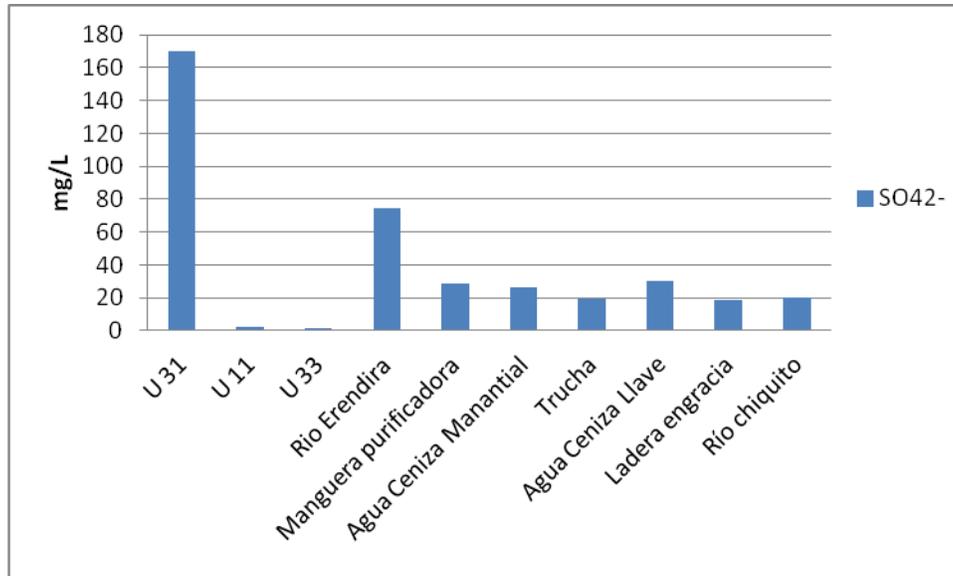


Figura 39. Cuantificación de los sulfatos.

5.2.1.8 Fluoruros F

Los valores reportados para este parámetro en la mayoría de los sitios es inferior a 1 mg/L, solamente en el sitio U-31 es mayor a 3.5 mg/L (Fig. 40), sin embargo este valor no rebasa lo establecido por la NOM-127 donde el LMP es de 1.5 para agua potable.

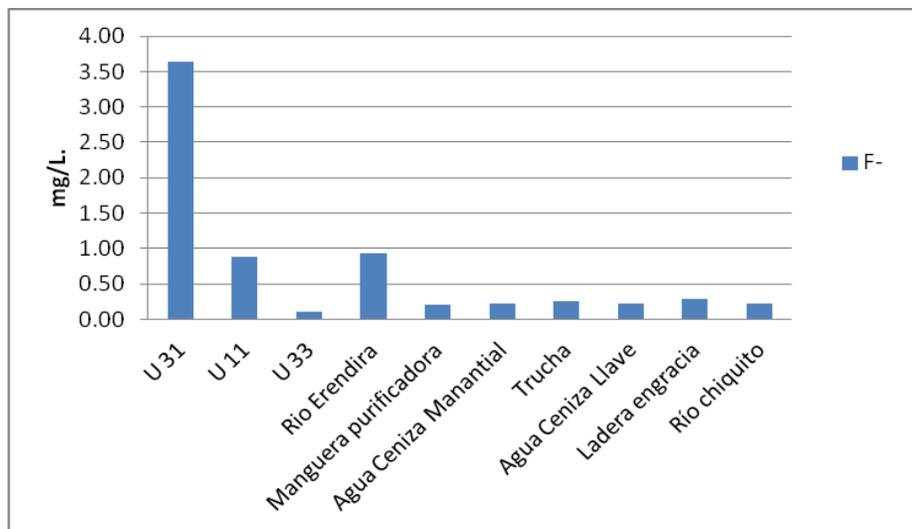


Figura 40. fluoruros

5.2.1.9 Cloruros (Cl)

Para agua potable, el LMP para este parámetro es de 250 mg/L, ningún sitio de muestreo es mayor a este valor (Fig. 41).

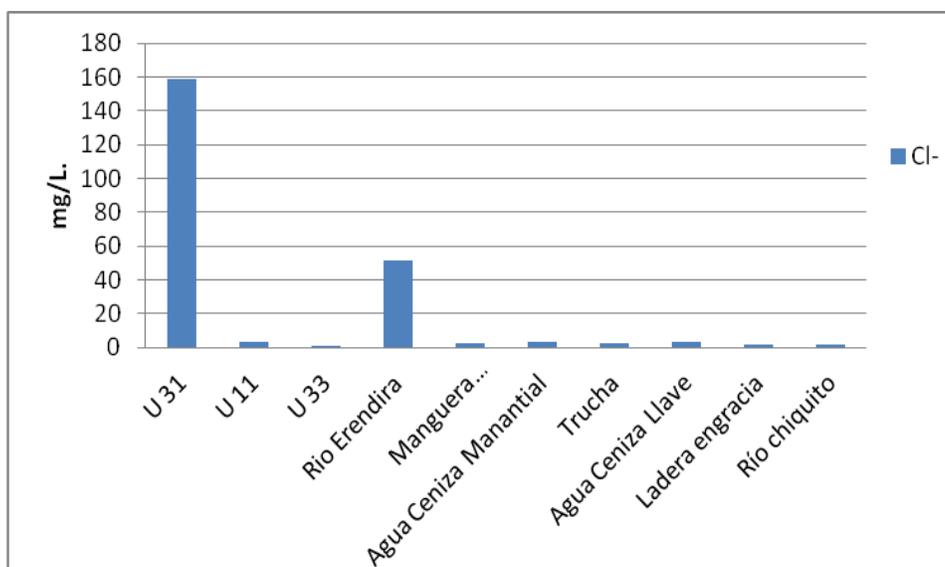


Figura 41. cloruros.

5.2.2 Elementos potencialmente tóxicos

Los sitios que abastecen a la población de SPJ son agua cruda la rosita, agua ceniza manantial, agua ceniza llave, trucha y ladera engracia, los cuales contienen una concentración de arsénico, plomo y manganeso que rebasa el límite máximo permisible (LMP) según lo establecido por la NOM-127. En lo que respecta a los pozos productor que no son fuentes de abastecimiento de agua potable, se puede observar que tienen una alta concentración de arsénico, también contienen plomo y manganeso que se encuentran rebasando la noma oficial. De igual manera se analizó el agua de la embotelladora de SPJ (Manguera purificadora) y se observa que disminuye la concentración de EPT, después del proceso de potabilización, sin embargo siguen estando presentes y rebasan el LMP, el Hierro y zinc presentes en el agua no superan los LMP (Cuadro 12).

Cuadro 12. Concentración de EPT en mg/L. los que están señalados con un * rebasan lo establecido en la NOM-127

Sitio de muestreo	As (LLUV.)	As (EST.)	Cadmio (LLUV.)	Cadmio (EST.)	Pb (LLUV.)	Pb (EST.)	Mn (LLUV.)	Mn (EST.)	Zn (EST.)	Fe (EST.)
U-31	40.57	39.86	-	-	0.00	0.04	6.14	0.30	0.04	2.59
U-11	0.35	0.71	-	-	0.27	0.00	0.19	0.01	0.00	0.01
RIO ERENDIRA	0.19	0.02	-	-	0.18*	0.04*	0.79	0.00	0.00	0.11
MANGUERA PURIFICADORA	0.14*	-	-	-	0.19*	0.04*	35.09*	0.00	0.00	0.00
AGUA CENIZA MANANTIAL	0.15*	-	-	-	0.00	0.04*	0.68*	0.00	0.01	0.01

AGUA CRUDA LA ROSITA	0.16*	-	-	-	0.02*	0.03*	4.05*	0.43	0.02	0.16
DESCARGA SPRING SPJ	0.33	-	-	-	0.26	0.08	0.02	0.00	0.02	0.01
TRUCHA	0.05*	-	0.01*	-	0.01	0.04*	0.05*	0.00	0.00	0.08
AGUA CENIZA LLAVE	0.12*	-	-	-	0.00	0.04*	0.11*	0.00	2.64	0.02
LADERA ENGRACIA	0.23*	-	-	-	0.32*	0.03*	0.03	0.00	0.00	0.01

5.2.2.1 Arsénico (As)

El límite máximo permisible para agua de consumo humano es de 0.05 mg/L, en temporada de lluvias este elemento rebasó lo establecido por la NOM-127 en los sitios de abastecimiento de agua potable: manguera purificadora, agua ceniza manantial, agua cruda la rosita, trucha, agua ceniza llave, ladera engracia; en estos lugares los valores encontrados en la temporada de estiaje es de cero. En lo referente a Río Eréndira y Descarga Spring SPJ no son sitios que estén reportados como fuentes de abastecimiento de agua potable, sin embargo estos también rebasan la norma en la temporada de lluvias. U-31 y U-11 son pozos productor de la planta geotérmica de los Azufres, el pozo U-31 alcanza valores de 40.57 mg/L en temporada de lluvia y de 39.9 mg/L en temporada de estiaje, por dicho motivo no se incluye en la grafica (Fig. 42)

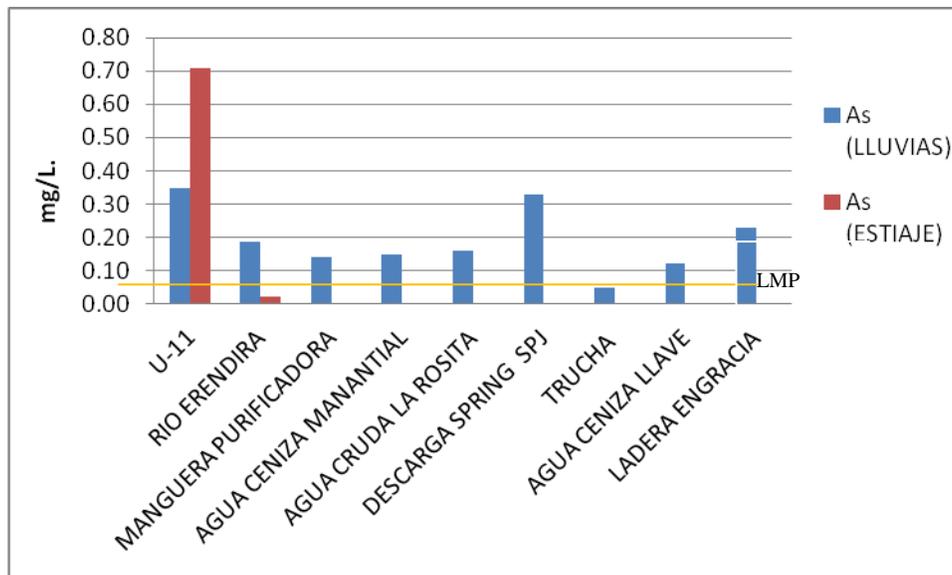


Figura 42. Cuantificación de arsénico

5.2.2.2 Cadmio

Este elemento rebasa lo establecido en la NOM-127 la zona de muestreo llamado “Trucha”, en los demás sitios se encuentra presente a pesar de no rebasar el LMP, es un elemento bioacumulable (Fig. 43).

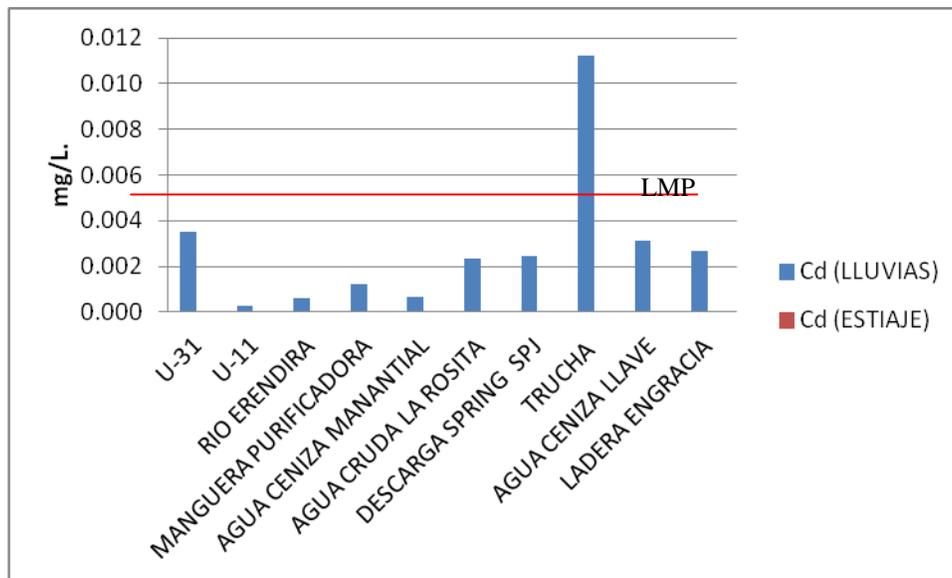


Figura 43. Determinación de cadmio

5.2.2.3 Plomo

Este elemento rebasa lo establecido por la respectiva norma, en temporada de estiaje en el pozo U-31, y en temporada de lluvias en el pozo U-11, y en ambas temporadas en los sitios Rio Eréndira, manguera purificadora, agua ceniza manantial, agua cruda la rosita, descarga spring SPJ, trucha, ladera engracia, y en temporada de estiaje en los zona de muestreo agua ceniza llave y agua ceniza manantial (Fig. 44)

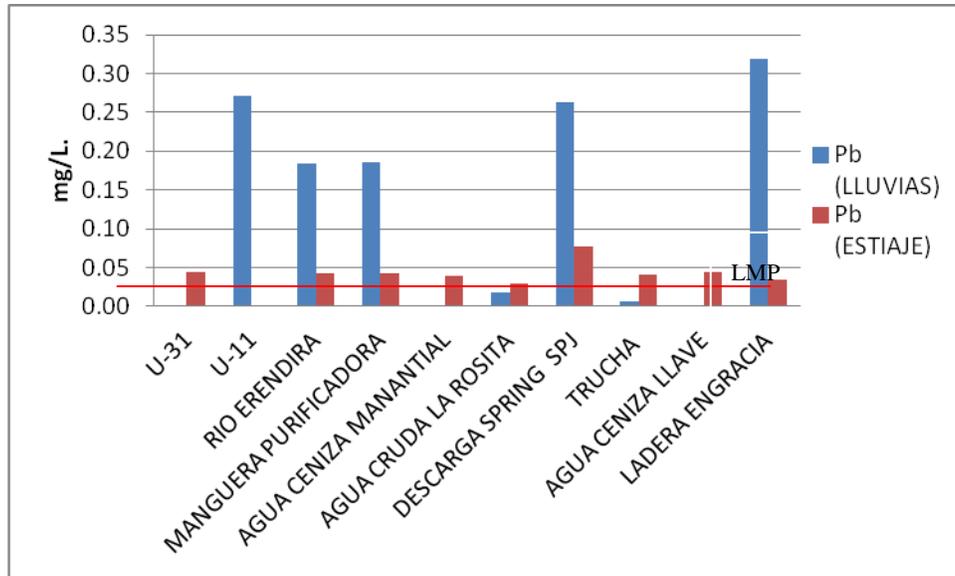


Figura 44. Determinación del plomo

Otros elementos potencialmente tóxicos para los seres humanos fueron encontrados en los sitios de muestreo, aunque estos no se correlacionan con la ERC, ocasionan efectos secundarios sobre la salud.

5.2.2.4 Manganeseo (Mn)

Este elemento rebasa lo establecido por la norma en: Río Eréndira, manguera purificadora donde alcanza un valor de 35.09 mg/L, Agua Ceniza manantial y agua cruda la rosita en temporada de lluvia (Fig. 45)

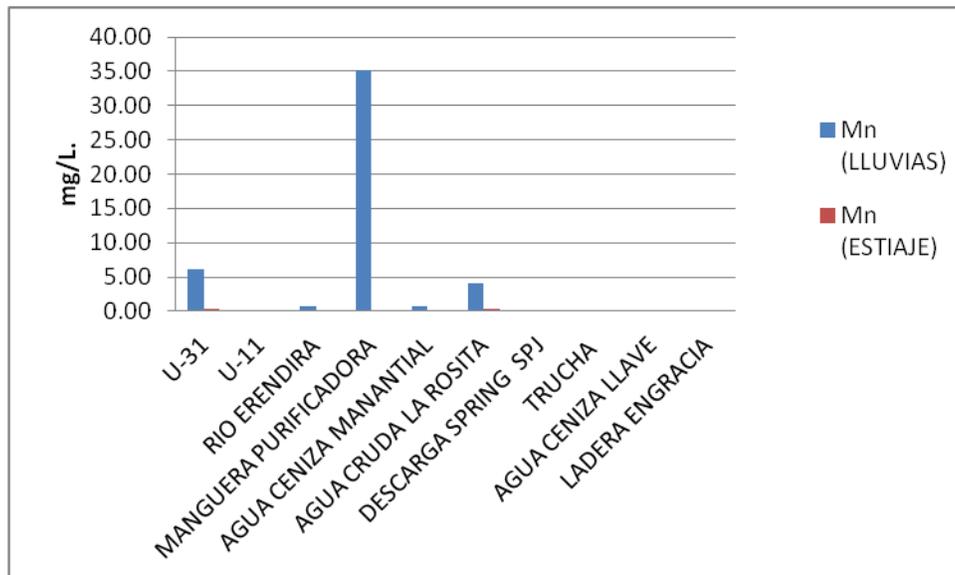


Figura 45. Determinación de manganeso

Existen algunos elementos que se midieron solamente durante la temporada de estiaje, que tienen una gran importancia en la dieta diaria, es por ello se reportan en el presente trabajo.

5.2.2.5 Hierro

El LMP de este elemento es de 0.3 mg/L, ninguna fuente de agua potable rebasa este límite, la deficiencia en la ingesta diaria genera problemas a la salud humana (Fig. 46).

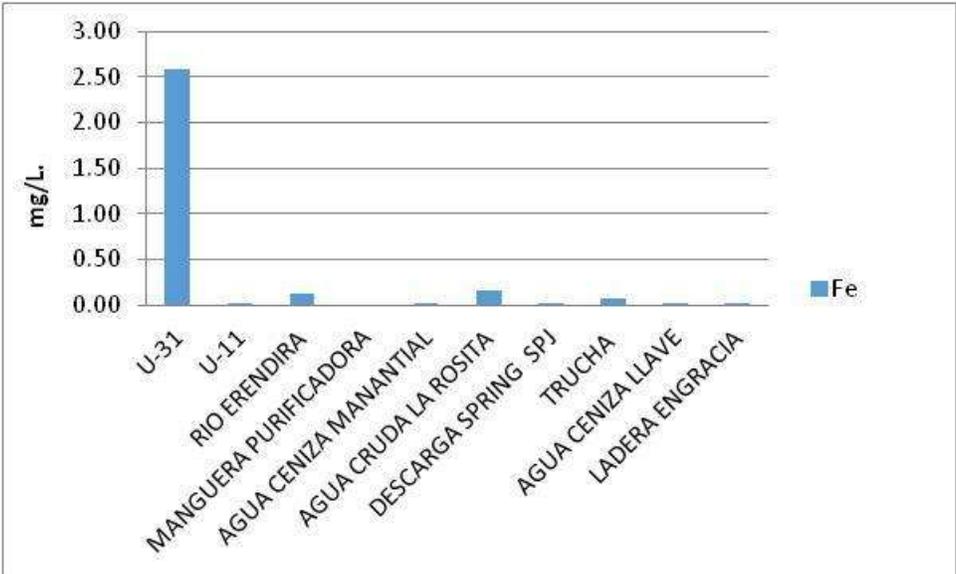


Figura 46. Medición de hierro (mg/L)

5.2.2.6 Zinc

5 mg/L es el LMP por la NOM-127, ninguno de los sitios reportados rebasa dicho límite, agua ceniza llave contiene 2.6 mg/L (Fig. 47)

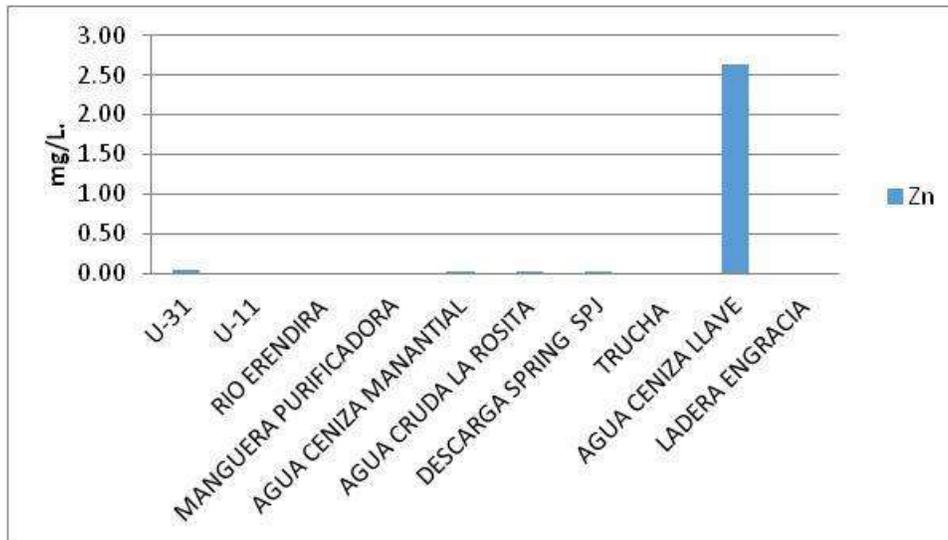


Figura 47. Cuantificación de zinc

5.3 Caracterización del material geológico

5.3.1 DRX

5.3.1.1 Zeolita

Los análisis de DRX indicaron que está constituida por diferentes minerales siendo el más abundante de los conteos en el difractograma la motmorillonita, clinoptinolita, halloysita y andesina respectivamente, a continuación, se presenta el difractograma (Fig. 48)

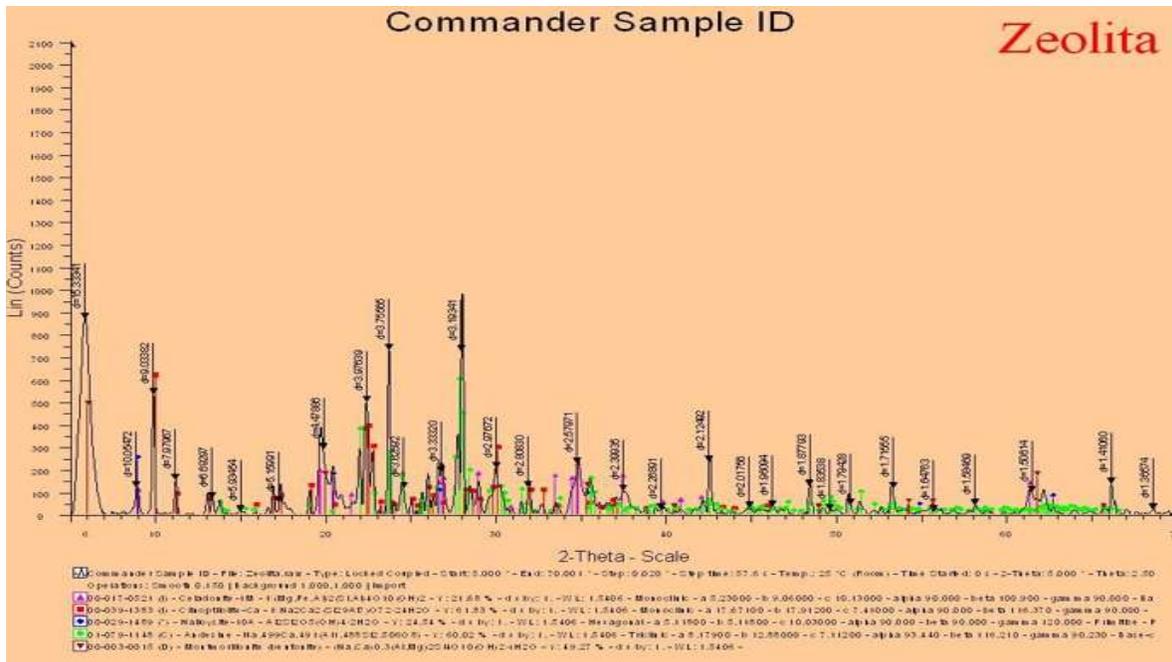


Figura 48. Difractograma de Zeolita.

5.3.1.2 Arcilla

Respecto a la arcilla mediante los análisis de DRX se identificó que la motmorillonita es el mineral más abundante, seguido de tridimita, cristobalita y cuarzo (Fig. 49)

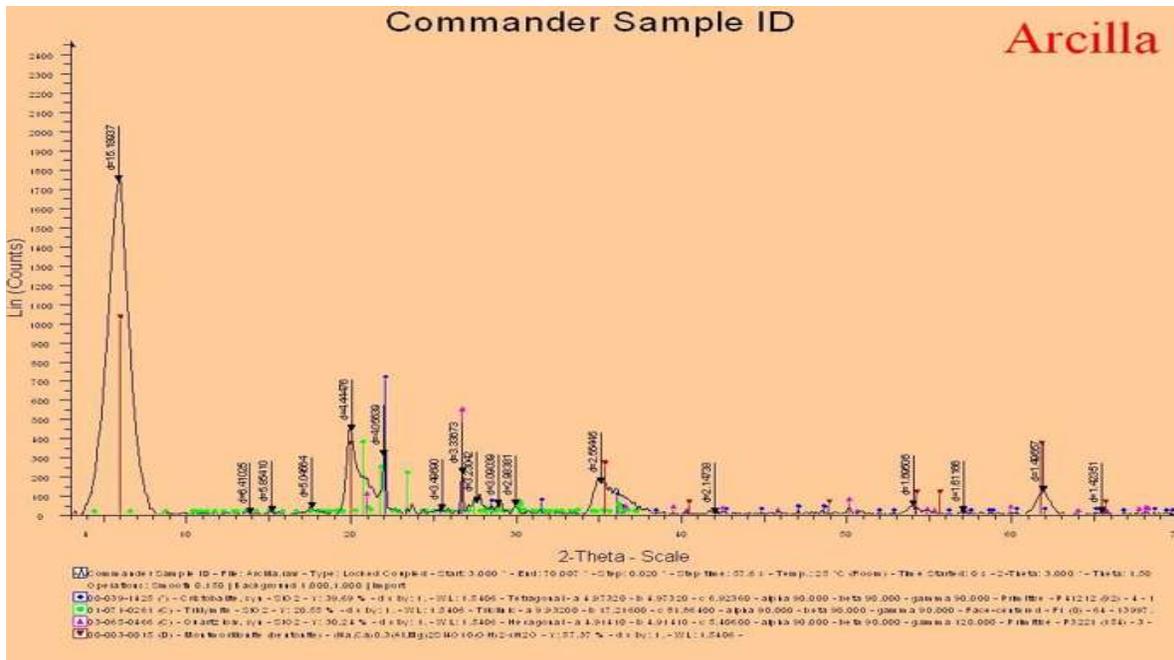


Figura 49. Difractograma de la arcilla.

5.3.1.3 Diatomita

Como se muestra en la Fig. 50, la diatomita está formada principalmente por cristobalita, tridimita, cuarzo, halloysita y andesina.

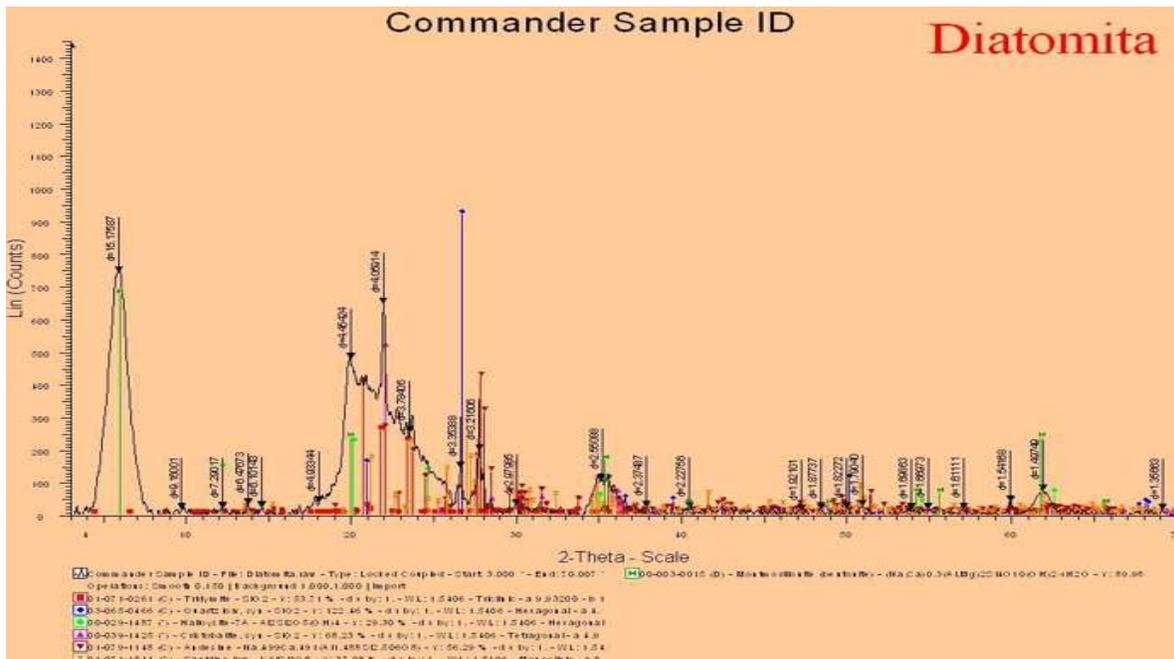


Figura 50. Difractograma de la diatomita.

5.3.2 EIR

5.3.2.1 Zeolita

La espectroscopia infrarroja se realizó como análisis complementario a la DRX, el espectrograma de zeolita indica que el mineral más abundante es la motmorillonita (Fig. 51)

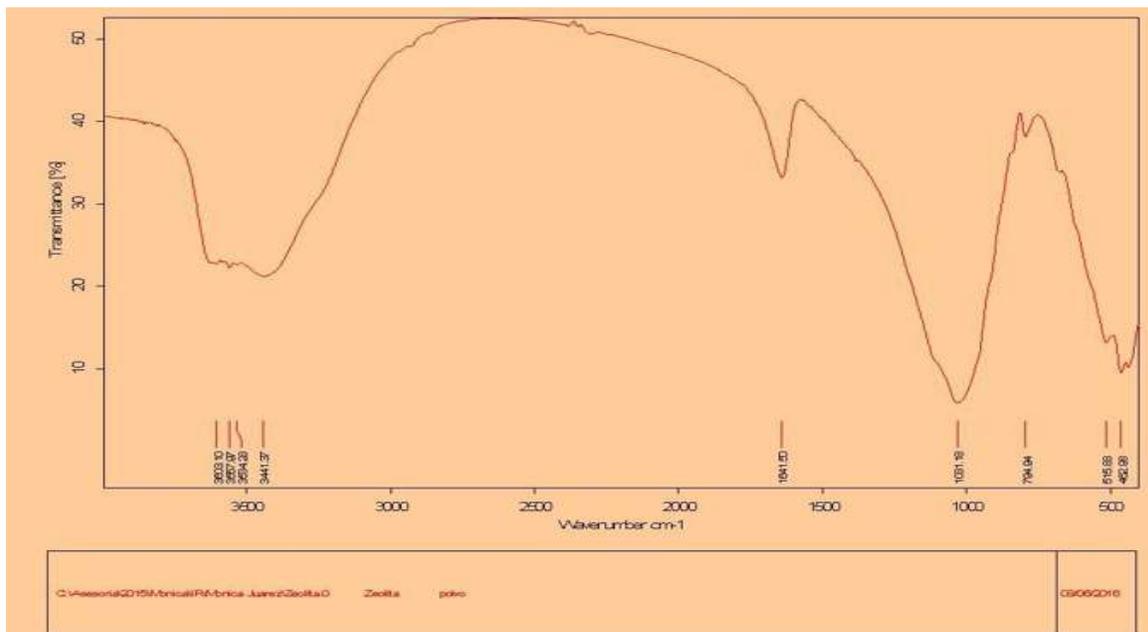


Figura 51. Espectrograma de infrarrojo de la zeolita.

5.3.2.2 Arcilla

El espectrograma de infrarrojo de la arcilla indica que está compuesta por motmorillonita en su mayoría (Fig. 52)

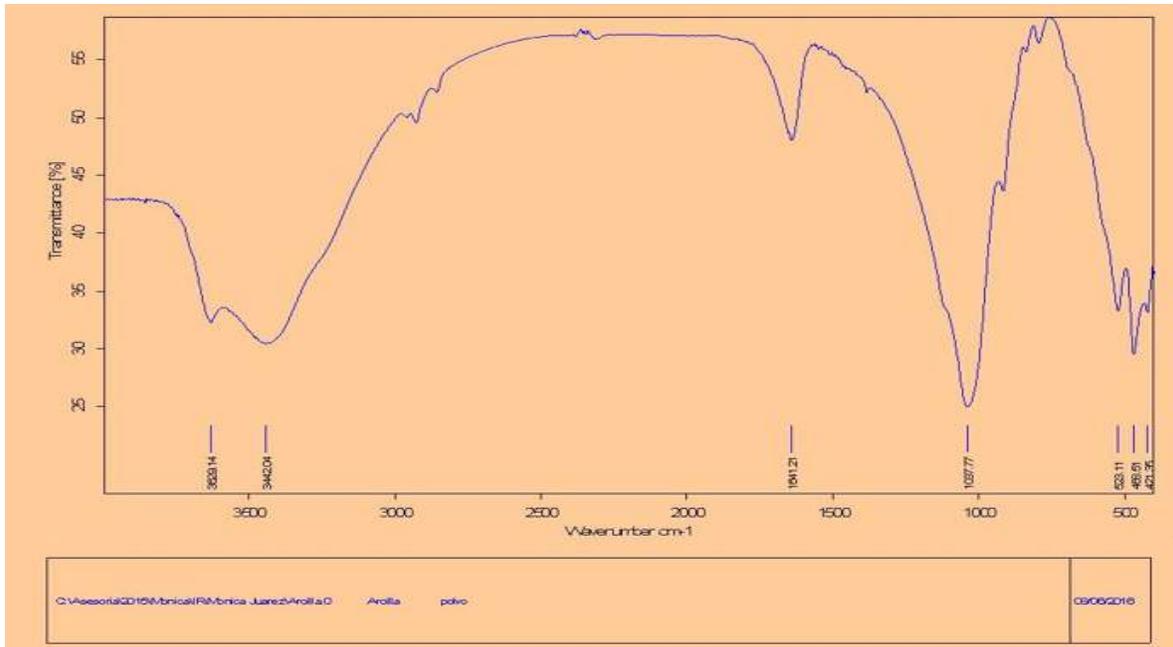


Figura 52. Espectrograma de infrarrojo de la arcilla.

5.3.2.3 Diatomita

Tridimita, cristobalita, cuarzo y sílice son los minerales más abundantes de la diatomita (Fig. 53)

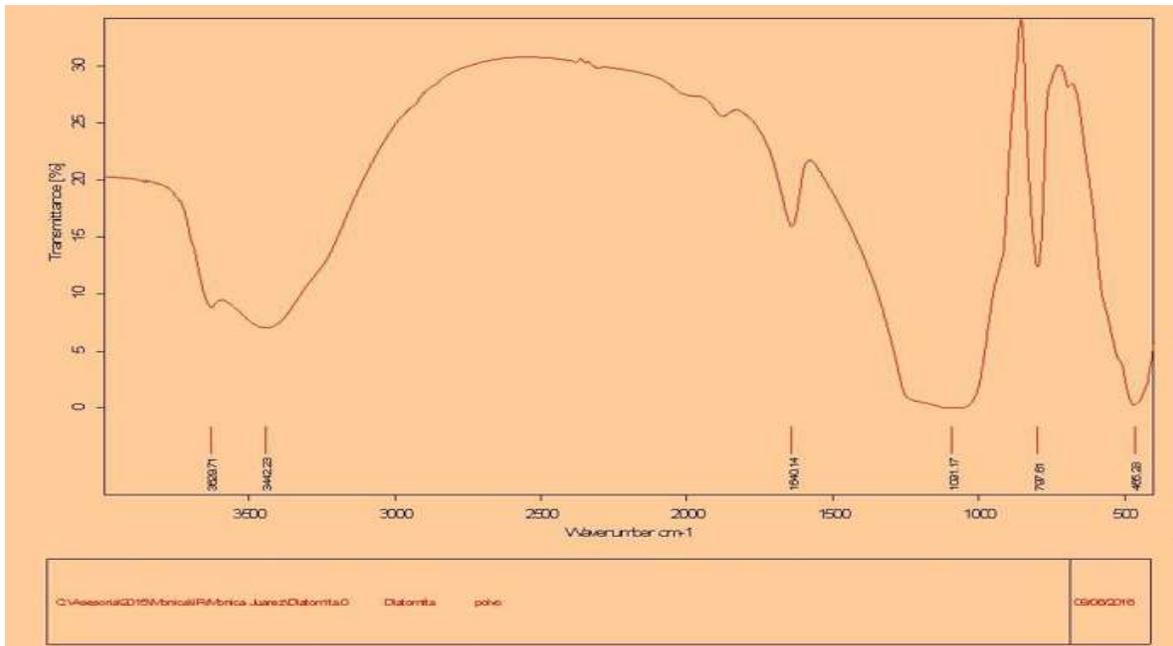


Figura 53. Espectrograma de infrarrojo de la diatomita.

5.3.3 FRX

Los resultados de FRX de la zeolita y arcilla muestran características muy similares, los elementos mayores en forma de óxidos, en ambas muestras el contenido más abundante fueron sílice, aluminio, hierro, magnesio, como se presentan en la fig. 54.

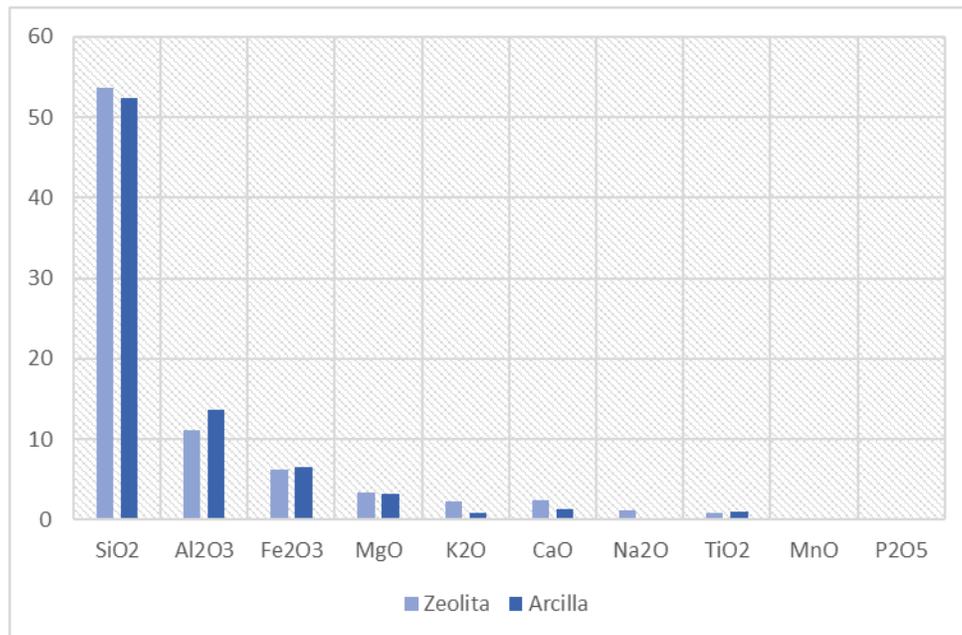


Figura 54. Grafica de Fluorescencia de Rayos X.

La diatomita no pudo ser analizada con esta técnica, debido a que, en el Laboratorio Universitario de Geografía Ambiental, no cuentan con un estándar afín.

5.3.4 Tamaño de partícula.

5.3.4.1 Zeolita

Este material presentó una textura de arcilla compuesta principalmente por partículas que están en el rango de 0.4 hasta 50 μm , alcanzando un máximo porcentaje de concentración en el tamaño de 31.5 μm (Fig. 55).

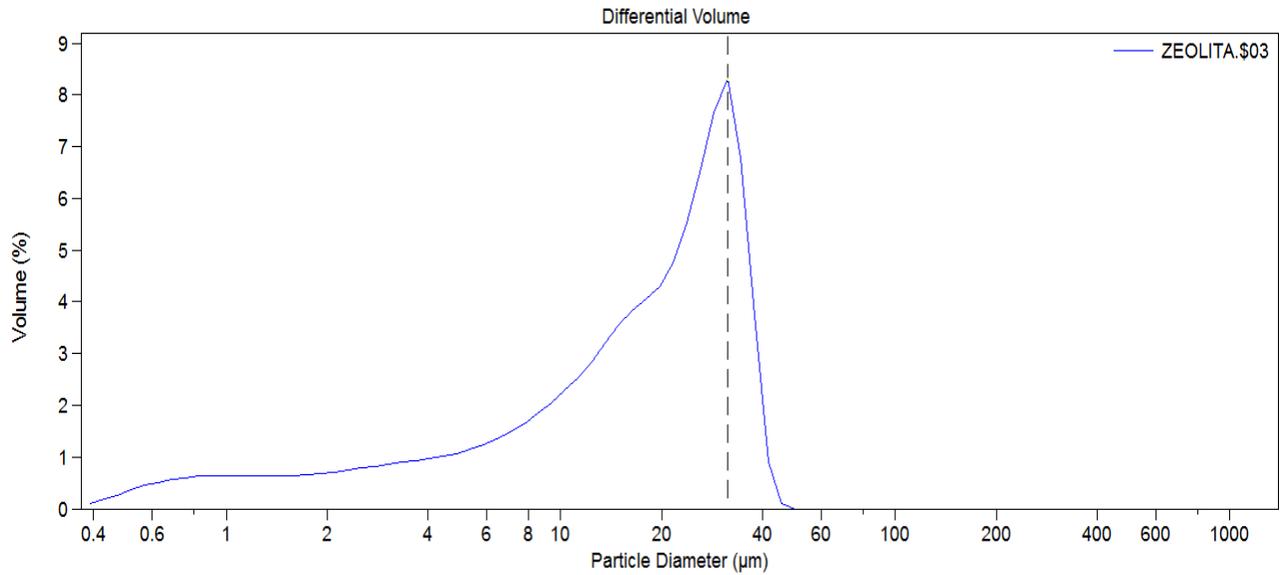


Figura 55. Tamaño de partícula de la Zeolita

5.3.4.2 Arcilla Motmorillonita

Este material presenta una textura desde los 0.4 hasta los 60 μm, la textura que domina está en el rango de los 34.58 μm (Fig. 56)

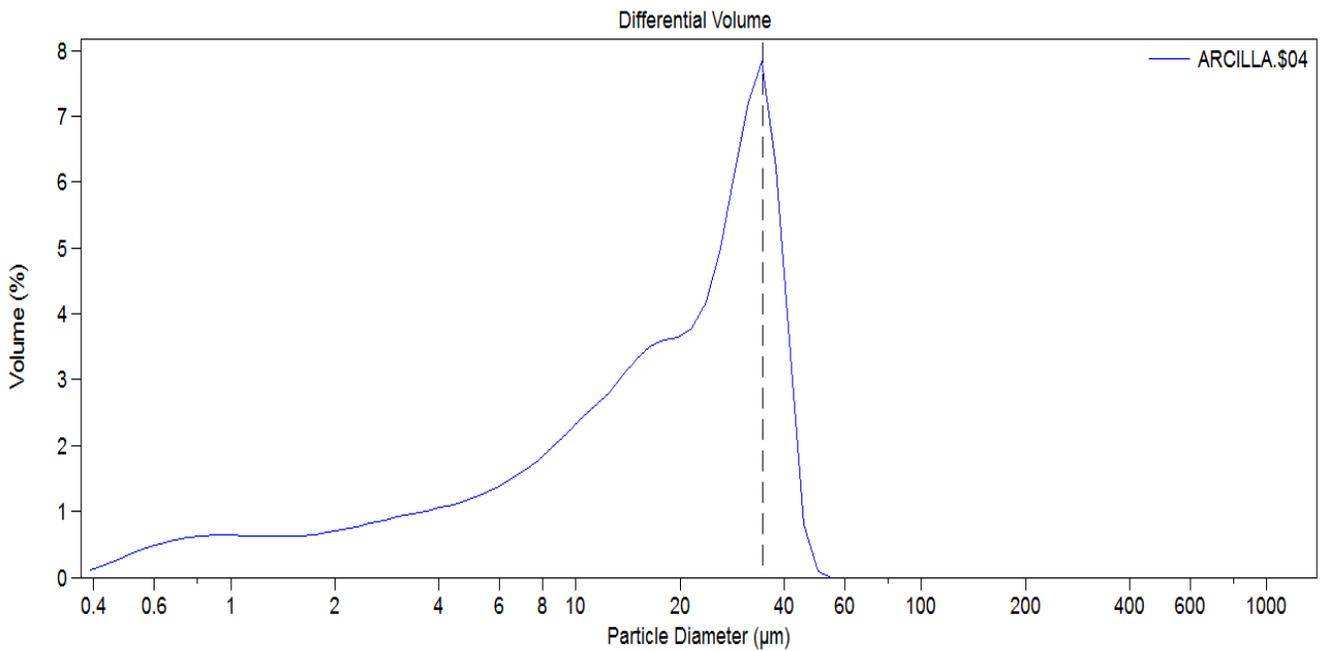


Figura 56. Tamaño de partícula de la arcilla de motmorillonita.

5.3.4.3 Diatomita

Su textura va desde los 0.4 hasta los 60 μm , alcanzando un porcentaje de concentración mayor en el rango de 34.58 μm (Fig. 57)

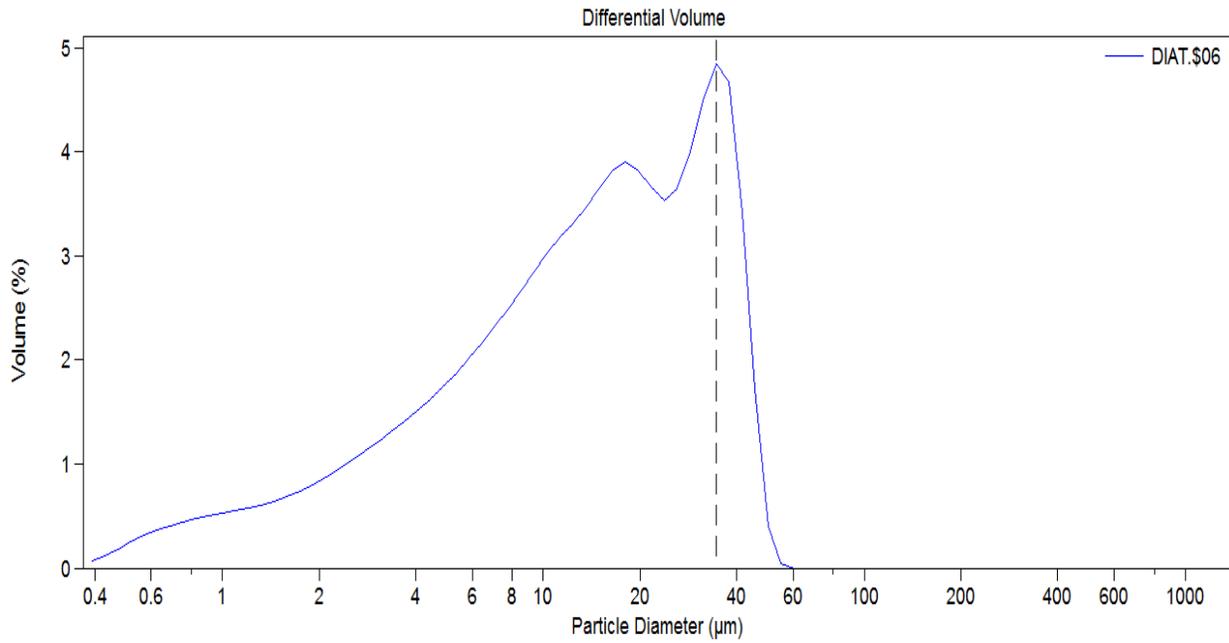


Figura 57. Tamaño de partícula de la diatomita

DISCUSIÓN

6.1 La entrevista

En el presente trabajo se realizaron 130 entrevistas de manera aleatoria con las que se obtuvo información de 616 habitantes de la tenencia de SPJ, de los cuales el 29.2% son menores de 15 años y el 70.8% son mayores de esta edad.

El 100% de los hogares de los entrevistados no se encuentran conectado a red de agua potable, todos reciben agua de manantial por medio de mangueras, lo que difiere con lo reportado por López *et al.*, (2015); el reporta que el 73% de las viviendas del oriente de Michoacán cuentan con agua entubada. Según INEGI (2010) el 88.1% de las viviendas habitadas de Michoacán tienen disponibilidad de agua (No especifica que sea agua potable).

Más del 90% de los entrevistados emplean agua purificada (garrafón o embotellada) para beber y para la preparación de los alimentos; la cual adquieren en su mayoría de la planta potabilizadora local, la cual mediante los procesos de potabilización disminuyen los valores de los EPT tóxicos respecto al manantial que la abastece sin embargo aun rebasan los límites establecidos por la NOM-127 en de la López *et al.* (2015), menciona que el 53% emplea agua embotellada para beber (no hace mención del tipo de agua que se emplea para cocinar).

López (*et al.*, 2015) menciona que el 50% de los entrevistados realiza por lo menos tres comidas al día, su dieta es muy monótona y el grupo faltante de consumir es el de frutas y verduras. Lo que coincide con lo reportado en el presente trabajo, el 47% de los entrevistados realiza tres comidas fuertes al día, su dieta es poco variada, los alimentos que consumen diario son pan, tortilla y leguminosas; en lo que respecta a la fuente de proteínas y hierro (hémico) la carne, la mayoría la consume una vez por semana, en cuanto al consumo de frutas y verduras la mayor parte de los entrevistados lo consume una vez por semana, la mayoría de los habitantes de la población de SPJ no tienen el hábito de consumir acelgas, espinacas, romeros, verdolagas, hongos, los que son una fuente potencial de hierro (no hémico) y Zinc.

Del total del hierro que se ingiere solamente es absorbido por el organismo el 10%, del cual el hierro no hémico presenta una absorción muy baja (ya que su absorción se encuentra influenciada por otros componentes de la dieta) y el hierro hémico presenta una absorción de 20-35% (Toxqui, *et al.*, 2010)

La deficiencia de este elemento favorece la absorción de metales pesados como lo es el plomo y el cadmio este último también se ve favorecido por la deficiencia de zinc, el plomo tiene una vida media de aproximadamente 20 años, además de ser bioacumulable, se encuentran directamente relacionado con la enfermedad renal crónica, al generar un daño irreversible en los túbulos renales, El zinc es un elemento que tiene un función biológica vital influye desde la formación de proteínas hasta la respiración celular, es por ello que debe implementarse en la dieta, además un bajo consumo favorece la absorción del cadmio que es bioacumulable y es nefrotóxico aun en concentraciones bajas o consideradas como normales (López T., 2016; Boccio *et al.*, 2004; Ferre, 2003; Sabath y Robles, 2012)

El consumo de agua por los habitantes de SPJ el 31.5% consumen un litro, 27.8% ingieren un litro y medio, el 19.7% ingieren medio litro, el 15% consumen 2 litros de agua al día y finalmente el 6% consumen solamente un vaso de agua al día. De las 20 personas que consumen 2 litros de agua diarios 9 padecen ERC, y lo hacen por recomendación médica. Lo anterior coincide con lo reportado por López *et al.* (2015) ellos reportan que el 50% de los habitantes (SPJ y sus encargaturas) beben de medio litro a 1.25L.

Sin embargo Lorenzo (2014), recomienda que la cantidad de agua que debe ingerir una persona que no presenta ERC es de 2L diarios, mientras que una persona con ERC debe beber es de 2.5-3.5 L; la cantidad de líquido ingerido puede ser un factor de riesgo precursor de la ER.

Respecto a diabetes e hipertensión arterial, López (2015), reporta una incidencia de del 7.07%, la cual se presenta en personas mayores de 50 años. Similar a lo reportado en el presente trabajo, el 35.3% padecen diabetes y el 33.38% de ellos hipertensión, las personas que padecen estas enfermedades son mayores de 40 años, Estas enfermedades son uno de los principales factores asociados a la ERC,

sin embargo de los casos reportados de ERC en el presente trabajo ninguno de ellos padece diabetes o hipertensión. La exposición crónica al cadmio puede ocasionar hipertensión arterial (Lodoño, *et al.*, 2016).

Respecto a casos de cáncer se reportó un porcentaje del 7.5, entre los tipos de cáncer presentes fueron: colon, pulmón, matriz, próstata e hígado; el arsénico es una sustancia carcinogénica (Lodoño, *et al.*, 2016)

El 7% de la muestra poblacional presenta algún daño renal, dos de ellos se encuentran en etapa de diálisis; de los pacientes de ERC todos son menores de edad, no padecen ni diabetes ni hipertensión, consumen alrededor de 2 litros de agua al día, y no se encuentran relacionados consanguíneamente.

El 8% de la muestra poblacional presenta algún síntoma relacionado con alteraciones comunes a corto plazo, como alteraciones cutáneas, pérdida drástica de cabello, alteraciones bucales, falta de apetito constante, diarreas y manchas amarillas o blanquecinas en los dientes, osteoporosis, dolor de huesos, y dolor de articulaciones presentes en jóvenes estos síntomas se encuentran relacionados con el consumo de EPT como arsénico, cadmio, plomo y flúor (Alcalde, 2001; Rivas J., Huerta L., 2002; Nava, 2011; Lodoño, *et al.*, 2016)

Existen síntomas que se encuentran relacionados con la ingesta del aluminio como Parkinson, insomnio, ansiedad etc. (Alcalde, 2001; ATSDR, 2008); en el presente trabajo se reportan casos de insomnio continuo, aumento de ansiedad y agresividad y dos casos de enfermos de Parkinson.

6.2 caracterización fisicoquímica del agua

La temperatura no mostro variación en temporada de lluvia ni en estiaje, la temperatura más alta registrada es de 49 °C y la inferior es de 17°C. Según Leonarte (2005) y Pérez (2008) la CE incrementa a mayor temperatura, lo cual se cumple en la mayoría de los sitios. No obstante en el pozo U-11 que tienen una temperatura muy alta se reporta una CE baja, lo anterior coincide con lo reportado por Casillas (2016), quien hace referencia que esto puede estar relacionado con otros factores como la carga eléctrica y la movilidad de sales. La CE se correlaciona directamente con los SDT, ya que la CE es una medida de la actividad iónica de una sustancia (Groel, 2006)

Existe una relación directa entre la temperatura alta y el OD bajo, lo cual coincide con lo reportado por Panduro (2015), y en los sitios con más baja temperatura como es el caso de Rio Eréndira y Descarga Spring SPJ, se registra una concentración mayor de OD.

El pH se encuentra dentro del rango de los límites establecidos por la NOM-127 en la mayoría de los sitios, excepto en Agua Ceniza llave y Ladera Engracia se encuentran por debajo del límite mínimo permisible (LmP), siendo un factor que contribuye en la disponibilidad de metales pesados ya que aumenta su solubilidad (Casillas, 2016). Panduro (2015) reporta para SPJ un pH ácido en temporada de lluvia y sugiere

que lo anterior puede estar relacionado con el incremento de As, en temporada de lluvias, sugiere también que el As proviene de una disolución de la roca natural de la zona.

Los nitratos derivan principalmente del uso de fertilizantes nitrogenados, excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales; los nitratos se absorben a nivel intestinal y son eliminados en la orina, sin embargo estos pueden transformarse en nitritos, transformando la hemoglobina en metahemoglobina, la cual reduce la cantidad de oxígeno que transporta la sangre, llegando a ocasionar en niños la metahemoglobinemia (Perdomo, 2001; M. Herranz, N. Clerigué, 2003; DSSC, 2006). La concentración de nitratos presente en cada sitio de muestreo no rebasa lo establecido por la NOM-127, lo anterior coincide con lo reportado por Panduro (2015) para el sitio de SPJ.

Los sulfatos están presentes de forma natural en muchos minerales, se liberan al agua procedente de residuos industriales y mediante precipitación desde la atmósfera, una alta concentración de sulfatos (<500 mg/L), está relacionada con enfermedades gástricas y puede ocasionar corrosión en las tuberías (OMS, 2003), en el presente trabajo no se reporta sitio que rebase la norma.

Los Fluoruros (F) es un elemento esencial, sin embargo a una alta concentración puede causar fluorosis dental o esquelética (OMS, 2002). Los valores reportados para este parámetro no rebasan los límites establecidos por la NOM-127.

La presencia de cloruros en aguas naturales se puede deber a la disolución de depósitos minerales, proveniente de actividades como industriales o agropecuarias, contaminación doméstica procedente de la orina de animales. En relación a este parámetro ningún sitio de muestreo rebasa lo establecido por la NOM-127

6.3 Elementos Potencialmente Tóxicos

Se muestrearon los pozos U-33, U-31, U-17 y U-11, se cuantificó el contenido de arsénico para estos sitios y reporta una concentración de <0.017 mg/L, 38.86 mg/L, 0.75 mg/L y 0.75 mg/L, respectivamente en temporada de estiaje, en temporada de lluvia únicamente se determinó la cantidad de este elemento en U-31 alcanzando un valor de 40.57 mg/L y de U-11 un valor de 0.34 mg/L. El límite máximo permisible para agua e consumo humano es de 0.05 mg/L, en temporada de lluvias este elemento rebasa lo establecido por la NOM-127 en los sitios de abastecimiento de agua potable: manguera purificadora, agua ceniza manantial,

agua cruda la rosita, trucha, agua ceniza llave, ladera engracia; en estos lugares los valores encontrados en la temporada de estiaje es de cero. En los demás sitios se reporta la presencia de este elemento, aunque no rebasa los límites permisibles establecidos por la NOM-127, es un elemento bioacumulable. Es probable que este elemento tenga mayor concentración en temporada de lluvias debido al pH ácido, lo cual lo hace más soluble.

Se ha reportado que este EPT es nefrotóxico, y bioacumulable; las personas que tienen una alimentación deficiente en hierro y Zinc son más vulnerables a presentar los síntomas por ingesta de arsénico y desarrollar las enfermedades con las que se encuentra asociado como son anorexia, debilidad muscular, parestesia en las extremidades, lesiones hepáticas, daño cardiovascular, síntomas gastrointestinales, daños en los túbulos renales, diversos tipos de cáncer (Ferrer, 2003; Suarez, *et al.*, 2004; ATSDR, 2010; Nava, 2011; Sabath y Robles, 2012)

El cadmio rebasa lo establecido en la NOM-127 la zona de muestreo llamado “Trucha”, en los demás sitios se encuentra presente a pesar de no rebasar el LMP, sin embargo es un elemento bioacumulable que se encuentra relacionado con enfermedades gastrointestinales, daños hepáticos, daños a los túbulos renales, insuficiencia renal, debilidad ósea, osteoporosis, cáncer de pulmón (Pérez, *et al.*, 2012; Sabath y Robles, 2012). Lo anterior coincide con lo reportado por Panduro (2015), reporta la presencia de cadmio en SPJ y las concentraciones a las que se encuentran no rebasan los límites máximos permisibles.

En lo referente a el plomo este elemento rebasa lo establecido por la respectiva norma, en temporada de estiaje en el pozo U-31, y en temporada de lluvias en el pozo U-11, y en ambas temporadas en los sitios Río Eréndira, manguera purificadora, agua ceniza manantial, agua cruda la rosita, descarga spring SPJ, trucha, ladera engracia, y en temporada de estiaje en los zona de muestreo agua ceniza llave y agua ceniza manantial. Es un elemento bioacumulable que puede llegar a ocasionar déficit de atención, anemia, hipertensión arterial, disfunción renal, daño hepático y alteración al sistema nervioso central (OMS, 2016).

El Manganeseo rebasa lo establecido por la NOM-127 en: Río Eréndira, manguera purificadora donde alcanza un valor de 35.09 mg/L, Agua Ceniza manantial y agua cruda la rosita en temporada de lluvia. Este elemento puede ser incorporado al organismo por la ingesta de alimentos y agua contaminados, inhalado o absorbido por la piel; se relaciona con alteraciones al sistema nervioso central y puede modificar la

conducta, daños a la fertilidad, y en altas concentraciones ocasiona alteraciones en las vías urinarias, daños renales y propicia la formación de cálculos renales (ATSDR, 2016)

En los sitios de muestreo U-31, U-17 y U-11 se encontraron altos valores de As, Al, Mn, Fe, Ca, Na, K, L, Sb. Se puede observar en la Fig. 2, los pozos 31 y 33 se localizan a lo largo de la Falla los Azufres y se corta con la Falla Agua Ceniza en el pozo 17, la falla puentecillas también corta a la Falla Agua Ceniza entre el pozo 17 y 33; en esta dirección es donde baja el Río Eréndira en el cual también se reportan altas concentraciones de arsénico, plomo y manganeso, el Río Eréndira se cruza aguas abajo con el manantial agua ceniza, en el también se encontraron altos niveles de arsénico y manganeso. Es posible que haya una conexión entre la cámara magmática que es la fuente de los altos niveles de arsénico que se encontraron en el Río Eréndira. No sabemos si la actividad geotérmica haya producido un incremento de los valores naturales (Fig. 58)



Figura 2. Localización de los pozos muestreados (●) y geología de la zona (tomado y modificado de Arellano, et al., 2005)

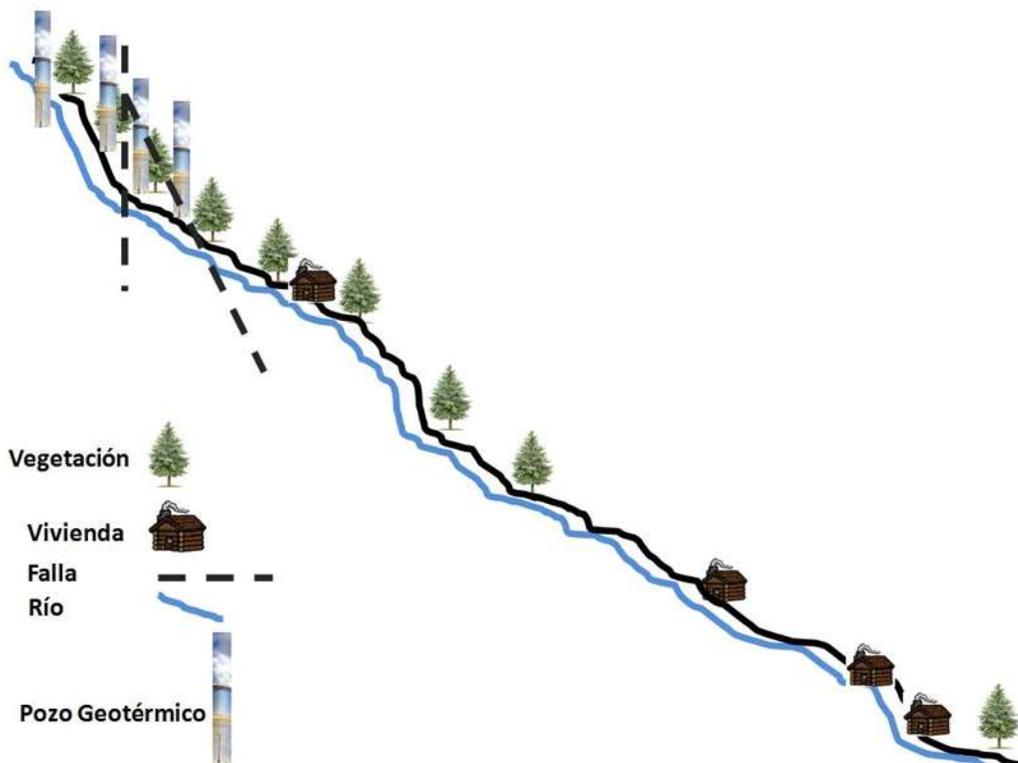


Figura 58. Esquema representativo de la intercepción entre las fallas geológicas, los pozos productores y el Río Eréndira

6.4 caracterización de los materiales geológicos

Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas como: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, erionita y chabazita (Curri, et al., 2006). Los componentes que se encuentran asociados a los minerales zolíticos tipo clinoptilolita-heulandita son: motmorillonita, estilbidita, erionita, cuarzo, celadonita mordenita, calcita y albita (Tsitsishvilli, et al., 1992 en Cortez, 2007).

Mediante los estudios de DRX, EIR y FRX se determinó que la muestra de zeolita está constituida por motmorillonita, clinoptilolita y celadonita. Coincidiendo con los registros de zeolita encontrados por Ostrooumov *et al.*, en el estado de Michoacán. Este tipo de zeolita es ampliamente utilizado para la reducción de metales pesados en aguas residuales gracias a sus capacidad de intercambio catiónico y a su estructura micro porosa (Montes, *et al.*, 2015).

En lo que respecta a la motmorillonita Ostrooumov (2009) para el estudio de EIR reporta que la región más característica para la motmorillonita es la de baja frecuencia, donde se observan dos bandas estrechas de absorción en 460 y 520 cm^{-1} . Si se compara este espectro con los de la arcilla analizada en el presente trabajo se pueden notar dos bandas estrechas de absorción en 468 y 523 cm^{-1} . Los estudios de DRX, y FRX permiten corroborar que el tipo de arcilla analizado es motmorillonita, siendo empleado para la retención de arsénico mediante procesos de coagulación-floculación (Franco, F., Carro, M., 2014).

Estas mismas técnicas permitieron la caracterización de la diatomita la cual está constituida de tridimita, halloysita y cristobalita. Se ha empleado para la remoción de metales pesados como Pb, Cr, Ni, Ag. En las diatomitas la adsorción ocurre de tres formas, por medio de los enlaces insaturados en los bordes y superficies externas de la diatomita, por disociación de los grupos hidroxilos accesibles y la remoción en los microporos presentes en las mismas, esta última es la forma principal de adsorción para los metales en este material (Secretaría de Economía, 2002; Alfaro, 2007).

En lo referente al tamaño de partícula

7. Conclusiones

Mediante la información obtenida en este estudio se concluye que:

La fuente principal de agua potable proviene de la embotelladora local de SPJ, según los resultados obtenidos en el presente trabajo el agua después de tener el proceso de potabilización sigue presentando niveles que rebasan el LMP según la NOM-127 de arsénico, plomo y manganeso.

El 8% de la muestra poblacional presenta algún síntoma relacionado con alteraciones hídricas y con la ingesta de Al.

El 7% de la muestra poblacional padece algún tipo de daño renal, son personas menores a 35 años y no presentan ninguna otra enfermedad precursora de ERC, como diabetes o hipertensión.

El 47% de los entrevistados realiza tres comidas al día.

Su alimentación es muy poco variada y tienen una deficiencia en el consumo de alimentos que les aporten hierro y zinc.

La deficiencia de hierro y zinc favorece la absorción de metales pesados como el plomo y el cadmio. Ambos son bioacumulables y entre los efectos secundarios que ocasionan a la salud de quien los ingiere son hipertensión y daños a los túbulos renales.

La ingesta de agua diaria es deficiente según lo recomendado por Lorenzo (2014), para evitar la formación de cálculos renales u otro tipo de daños renales.

Por todo lo anterior se concluye que los casos de ERC presentes en la población de San Pedro Jácuaru pueden estar relacionados con la enfermedad renal crónica de origen desconocido, la cual no se encuentra relacionada con factores heredables o condiciones de salud previas como diabetes, hipertensión arterial o ningún otro factor asociado.

Mediante diferentes técnicas de análisis geoquímicos y mineralógicos determinaron que son materiales con un alto grado de pureza; siendo la clinoptinolita, la motmorillonita y la diatomita empleadas para la

absorción y adsorción de EPT, por lo que emplearlas puede ser una alternativa para la potabilización y remoción EPT del agua de esa zona.

8. Área de oportunidad

- En este lugar aún queda pendiente la realización del filtro d agua potable, para lo cual se pueden emplear los materiales caracterizados en el presente trabajo, otra de las ventajas es que todos provienen del estado de Michoacán, con lo que se busca que el filtro tenga un bajo costo de elaboración.
- Promover que la embotelladora local emplee técnicas de potabilización que remuevan los EPT.
- Capacitación a los habitantes sobre la importancia de la ingesta de agua diaria.
- Capacitación sobre la ingesta de alimentos ricos en hierro y zinc, para anterior se pueden emplear dos estrategias: un diseño de huertos familiares libres de fertilizantes y regados con agua libre de EPT. O ingesta de suplementos alimenticios (hierro, Zinc y calcio) bajo supervisión médica.

9. Bibliografía

- Alcalde, M. (2001). Alteraciones neurológicas y psiquiátricas secundarias a la exposición del aluminio. En <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn24/original2.pdf>.
- Amato D, Álvarez AC, Castañeda LR, Rodríguez E, Ávila DM, Arreola F et al. (2005). Prevalence of chronic kidney disease in an urban Mexican population. *Kidney Int*; 68(Suppl 97): S11-S17.
- Ario, M. (1988). Manual de técnicas para estudiantes de ciencias sociales. El Colegio de México. Harla Editorial. 4ª Ed. México.
- Arce, J. L, Macías J.L.,Rangel H.,Layer P., Garduño-Monroy V.H.,Saucedo R.,García F.- Castro R.,and Perez-Esquivias H., 2012., late Pleistocene rhyolitic explosive Vulcanism at Los Azufres Volcanic Field, central México, en Aranda-GómezJ.J., Tolson G., and Molina-Garza R.S eds. The Southern Cordillera and Beyond.: Geological Society of América. Field Guide. 25. P. 45-82
- Ascione, I. (2001). Intoxicación por Plomo en pediatría, 72(2), 133–138
- ATSDR, Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades. (1999). Cadmio. Disponible en: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/37\)Cadmio.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/37)Cadmio.pdf)
- ATSDR, (2008). Resúmenes de Salud Pública. Aluminio. Disponible en: http://www.atsdr.Cadmio.c.gov/es/phs/es_phs22.html. Consultado 11/11/2012.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- ATSDR, Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades. (2016). Resúmenes de Salud Pública – Plomo. Disponible en https://www.atsdr.Cadmio_c.gov/es/phs/es_phs13.html
- Cabrera. (2004). Definición y clasificación de los estadios de la enfermedad renal crónica. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de riesgo de enfermedad renal crónica. NEFROLOGÍA. Volumen 24. Suplemento N° 6. CAPÍTULO 2. Madrid, España.

Calderón, M., Serrano, J., Muñoz, A., Illescas, R., Laynez, J. (2015). Enfermedad Renal Crónica en Centro América en <http://revista.asomigua.org/2015/02/14/enfermedad-renal-cronica-vistazo-regional/>

Campos-Nonato, Ismael, Hernández-Barrera, Lucía, Rojas-Martínez, Rosalba, Pedroza, Adolfo, Medina-García, Catalina, & Barquera-Cervera, Simón. (2013). Hipertensión arterial: prevalencia, diagnóstico oportuno, control y tendencias en adultos mexicanos. *Salud Pública de México*, 55(Supl. 2), S144-S150. En http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013000800011&lng=es&tlng=es.

Ceja, A.M. 2000. Percepción y actitudes ambientales de las niñas y niños de una comunidad rural y una comunidad urbana. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Chandrajith, R., Nanayakkara, S., Kozuyoshi, I., Aturaliya, T. N. C., Dissanayake, C. B., Abeysekera, T., Koizumi, A. (2011). Chronic kidney disease of uncertain etiology (CKDue) in Sri Lanka: geographical distribution and environmental implications. *Environ Geochem Health*, 33 (3), 267-278. doi: 10.1007/s10653-010-9339-1

Collado M. J. (2008). Entorno de la provisión de los servicios de agua potable en México. En Olivares y Sandoval (Coord.) El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento en México A. C. México D.F. 365 pp.

Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. Capítulo 3 Usos del Agua.

Correa-Rotter, R., Wesseling, C., & Johnson, R. J. (2014). CKD of unknown origin in Central America: The case for a mesoamerican nephropathy. *American Journal of Kidney Disease*, 63 (3), 506-520. doi: 10.1053/j.ajkd.2013.10.062

Cortés, R. (2007) Efecto de la Modificación de una Zeolita Natural Mexicana en la Sorción de Cadmio y 4-Clorofenol. Tesis de doctorado. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Daugirdas, J. T. (2011). Handbook of chronic kidney disease management. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Díaz M. (2014). Concentración de Cadmio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores asociados. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Estrada Rodríguez J, Amargós Ramírez J, Despaigne Yant M, Chaos Correa T, Perera Salcedo E. Prevención de la enfermedad renal crónica en la comunidad. AMC [revista en la Internet]. (2012) Dic [Citado 2013 Mar 1]; 16(6): 1704-1717. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1025-02552012000600007lng=es

Evans, P., Taal, M. (2011) Epidemiology and causes of chronic kidney disease. *Medicine*, 39 (7) 402-406.

FAO. (1996). Ecología y enseñanza rural, Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Roma, Italia.

Fernández, S. (1996). Determinación del tamaño muestral. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña. *Cad Aten Primaria* 1996, 3: 138-14 (Actualizado 06/03/2001).

Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(Supl. 1), 141-153.

Ferrer, E. (2013). Agroquímicos prohibidos en Europa y Estados Unidos se siguen utilizando en Michoacán. La Jornada Michoacán. Recuperado el 29 de junio 2013 de <http://www.lajornadamichoacan.com.mx/2013/02/04/agroquimicos-prohibidos-en-europa-y-euse-siguen-utilizando-en-michoacan/>.

Franco, M., Tirado, L., Venado, A., Moreno, A., Pacheco, L., Durán, L., López, M., (2011). Una estimación indirecta de las desigualdades actuales y futuras en la frecuencia de la enfermedad renal crónica terminal en México. *Salud Publica Mex*, 53 supl 4.

Gait, N. y Pierotto, M. (2009). Contaminación y contaminantes del agua en Manual de Salud Ambiental Infantil. Para enseñanza de grado en escuelas de medicina. Ministerio de Salud Chile, Ministerio de Salud Argentina y Organización Panamericana de la Salud. Ç Galvão, L. A. C. y Corey, O. G. 1987. Cadmio , serie vigilancia 4. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México 69 p

García, R., Cerdas, M., Madero, M., Jakobsson, K., Barnoya, J., Crowe, J., Jarquín, E., Guzmán C., Correa, R. (2017). Nefropatía mesoamericana: revisión breve basada en el segundo taller del Consorcio para el estudio de la Epidemia de Nefropatía en Centroamérica y México (CENCAM). *Nefrología Latinoamericana*. Vol. 14. 39-45 pp.

Garduño, Corona, Israde Minella, Arreygue, Bigioger y Chiesa. (1999). Carta geológica de Michoacán escala 1:250000. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Góngora-Ortega, J., Sena-Vela, F. J., Gutiérrez-Mendoza, I., Pérez-Guzmán, C., Hernández Garduño, E., & Ron-Torres, O. (2008). Prevalencia de enfermedad renal crónica en niños de Aguascalientes, México. *Salud Pública de México* 50 (6), 436-437.

Harris, R. H. (2013). *Epidemiology of chronic disease global perspectives*. Columbus, Ohio: Jones & Bartlett Learning, pp 471-484.

Herranz, M., & Clerigué, N. (2003). Intoxicación en niños: Metahemoglobinemia. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(Supl. 1), 209-223.

Israde Alcantara I, Garduño Victor H., (1999) Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: The evolution of the Late Neogene Cuitzeo Basin System (Central Western Mexico, Michoacán). (1999). Special Issue. Ancient and Recent lacustrine systems in convergent margins. Edit. By L. Cabrera and A. Saez. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol.151, No. 1-3. pp. 209-227.

INEGI. (2010) Anuario Estadístico de Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. México: INEGI, c2013.

Israde-Alcantara Isabel, Robles-Camacho Jasinto. Domínguez Jose Manuel. (2008). Beidellite-nontronite clays in neogene sediments from Michoacán, Mexico. Geological setting and paleoenvironmental implications. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 60; 2: 159-171. ISSN 1405-3322

Jayasumana, M., Paranagama, P., Amarasinghe, M., Wijewardane, K., Dahanayake, K., Fonseka, S., Rajakaruna, K., Mahamithawa, A., Samarasinghe, U., Senanayake, V. (2013). Possible link of Chronic

arsenic toxicity with Chronic Kidney Disease of unknown etiology in Sri Lanka. *Journal of Natural Sciences*, Vol.3, No.1.

Jayatilake, N., Mendis, S., Maheepala, P., Mehta, F. R., & CKDu National Research Project Team. (2013). Chronic kidney disease of uncertain aetiology: prevalence and causative factors in a developing country. *BMC Nephrology*, 14 (180), 1-13. doi: 10.1186/1471-2369-14-180

Jha, V., Garcia-Garcia, G., Iseki, K., Li, Z., Naicker, S., Plattner, B., Yang, C.W. (2013). Chronic kidney disease: global dimensión and perspectives. *Lancet*, 38, 260-72. doi: 10.1016/S0140- 6736(13)60687-X

Jiménez C., B. E. (2011). *La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa.

Johnson, S., Misra, S., Sahu, S., y Saxen, P. (2012). Environmental contamination and its association with Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in North Central Region of Sri Lanka. Centre for science and environment.

Leonarte P. (2005). *Calidad de aguas subterráneas de Gerona y la Fe*. Maestría en Análisis y Tecnología Ambiental ISCTA.

Lodoño, F.; Lodoño, P.; Muñoz F. (2016). los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 14 No. 2 (145-153) Julio - Diciembre.

López-Cervantes, M. (2010). *Enfermedad Renal Crónica y su Atención Mediante Tratamiento Sustitutivo en México*. México D.F.: Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

Lorenzo, V. (2014). Hidratación en la enfermedad renal crónica. *Nefrología*. 34: 693-7. En: <http://www.revistanefrologia.com/es-monografias-nefrologia-dia-articulo-hidratacion-enfermedad-renal-cronica-93>

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Hig. Sanid. Ambient*, 4: 72-82.

Margarit, A.M. (2008). La Entrevista como herramienta de recolección de datos. Facultad de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales. Universidad Nacional de Rosario. www.fcpolit.unr.edu.ar/programa/2008/03/29/la-entrevista-como-herramienta-de-recoleccion-de-datos/

Martín, A., Aguilera L., Fuster V. (2009). Enfermedad cardiovascular, enfermedad renal y otras enfermedades crónicas. Es necesaria una intervención más temprana en la enfermedad renal crónica. ELSEVIER. Vol. 41, Issue 9, September, Pages 511-514

Matte, Thomas D. (2003). Efectos del plomo en la salud de la niñez. *Salud Pública de México*, 45(Supl. 2), 220-224. Recuperado en 11 de agosto de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342003000800008&lng=es&tlng=es.

Montes-Luna A. de J., Fuentes-López N. C., Perera-Mercado Y. A, Pérez-Camacho O., Castruita-de León G., García-Rodríguez S. P., García-Zamora M. (2015). Caracterización de clinoptilolita natural y modificada con Ca²⁺ por distintos métodos físico-químicos para su posible aplicación en procesos de separación de gases. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. *Superficies y Vacío* 28(1) 5-11.

Nava, C., Mendez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (Cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién (Mex)* Vol. 16, No. 3: 140-147; 2011

Noble, A., Amerasinghe, P., Manthrilake, H., & Arasalingam, S. (2014). Review of Literature on Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology (CKDu) in Sri Lanka. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 41 p. (IWMI Working Paper 158).

Norma Oficial Mexicana -127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano.

Norma Mexicana. NMX-AA-131/1-SCFI-2008. Water analysis determination of metals by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) in natural, potable and wastewaters.

Olvera-Correa, L. (2013). Gaceta Parlamentaria Número 3731-VIII, Cámara de Diputados, LXII Legislatura, martes 19 de marzo de 2013. Recuperado el 7 de octubre de 2013 de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2013/mar/20130319-VIII/ProposicionUOR-1.html>

OMS. Organización Mundial de la Salud. (2002). Fluor en el agua de consumo en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193%3A2013-fluor-agua-consumo&catid=4716%3Ageneral&Itemid=39798&lang=es

Organización Mundial de la Salud. (2011). Guidelinesfordrinkingwaáter quality. Geneva. SWI: WorldHeathOrganization, 541p.

OMS. Organización Mundial de la Salud. (2013). Programa Internacional de Seguridad de Sustancias Químicas. Cadmio . Disponible en: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/es/

OMS. Organización Mundial de la Salud. (2016). Plomo. Disponible en. http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/lead/es/

Orozco, B. R. (2010). Prevención y tratamiento de la enfermedad renal crónica (ERC). *Revista Médica Clínica Las Condes*, 21(5), 779-789.

Ortega. (2009). Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 26. 143-161 p.

Ostrooumov, M., Ortiz Hernández, L., Corona, P., (2002). Zeolitas de México: diversidad mineralógica y aplicaciones. Soc. Mexicana de Mineralogía <http://www.mineralog.net/zeolitas.htm>.

Ostrooumov, M., Garduño, M., Israde, I., (2005). Primer hallazgo de zeolitas industriales en el Estado de Michoacán. *Ciencia Nicolaita* 42, 161–170

Ostrooumov, M. Zeolitas de México: Diversidad Mineralógica y Aplicaciones. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ostrooumov, M. (2009). Mineralogía analítica avanzada. primera edición. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo.

Panduro, M., Hernández, L., López, A., Murillo, A., Díaz, J., y Real, J. (2014). Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México. *Tlamati*, 5(3). 22-32.

Pérez V. (2008). Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea del Valle de Querétaro para el estudio de sistemas de flujo. Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Querétaro.

Perdomo C., Casanova O., Ciganda V. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el sudoeste del Uruguay. *Agrociencias*. Vol. (1). 10-22 pp.

Ramírez A. Toxicología del Cadmio. (2002). Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Fac de Med Univ Nac Mayor de Sn Marcos*; 63:51-64.

Ramirez. (2005). Cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Págs. 57-70.

Rincón-Pedrero, R., Pacheco-Domínguez, R., López-Cervantes, M., & Correa-Rotter, R. (2013). Prevalence and risk factors associated to chronic kidney disease in a rural and suburban population of Jacuaro, Michoacan, Mexico: an epidemiologic survey in 2278 adult subjects. Moderated poster session: Epidemiology, Outcomes and Health Service Research in CKD, Hong Kong, China.

Rivas, J., Huerta, L., (2011). Fluorosis dental: Metabolismo, distribución y absorción del fluoruro. *Revista de Asociación dental mexicana*. Vol. LXII, No. 6 Noviembre-Diciembre. 225-229 pp.

Sabat, E., Robles, M. (2012). Medio ambiente y riñon: nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología*, 32(3):279-86

Soderland, P., Lovekar, S., Weiner, D.E., Brooks, D.R., & Kaufman, J.S. (2010). Chronic kidney disease associated with environmental toxins and exposures. *Elsevier*, 17(3), 254-64. Recuperado de Base de Datos PubMed.

SEMARTAT. Sin año. Agua, Capitulo 6. Consultado en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf,

Siebe y Cayetano. (2013). Normatividad en México para regular concentraciones de metales pesados en biosólidos, agua para riego y suelo. Instituto de Geología Laboratorio de Edafología Ambiental. UNAM, México.

Suárez Solá ML, González-Delgado, FJ, González Weller D, Rubio Armendáriz C, Hardisson de la Torre A (2004) Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. Cuad. Med. Forense. 35: 5-14.

Treviño-Becerra, A. (2004). Insuficiencia renal crónica: enfermedad emergente, catastrófica y por ello prioritaria. Cirugía y cirujano, 72 (1), 3-4. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2004/cc041a.pdf>

Toxqui, L., Piero, A. De, Courtois, V., Bastida, S., Sánchez-Muniz, F. J., & Vaquero, M.^a P.. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro: implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 25(3), 350-365.

UNESCO. (2005). Un filtro de agua anti arsénico puede salvar decenas de millones de vidas en: http://portal.unesco.org/es/ev.php-RL_ID=30103&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

Valdivia. (2005). Intoxicación por Plomo. Rev. Soc. Per. Med. Inter. 18(1). Disponible en: http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf

Wiit, V., Reiff, F. (1993). Desinfección del agua a nivel casero en zonas urbano-marginales y rurales. Washington, D. C., OPS. Serie ambiental.

Wesseling, C., Crowe, J., Hogstedt, C., Jakobsson, K., Lucas, R., & Wegman, D. (2013). Mesoamerican nephropathy: report. Heredia, C. R: SALTRA/ IRET-UNA

