



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas, Metalurgia y
Geográfica
Unidad de Posgrado

Determinación de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas, en la zona baja de la provincia, El Oro

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctora en Ciencias
Ambientales

AUTOR

Sara Enid CASTILLO HERRERA

ASESOR

Ernesto Osvaldo ADUVIRE PATACA

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Castillo, S. (2021). *Determinación de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas, en la zona baja de la provincia, El Oro*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minas, Metalurgia y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código ORCID del autor	https://orcid.org/0000-0001-9559-6422
DNI o pasaporte del autor	1101630380
Código ORCID del asesor	https://orcid.org/0000-0002-0214-0125
DNI o pasaporte del asesor	00505273
Grupo de investigación	Grupo de Investigación Multidisciplinario
Agencia financiadora	
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lugar: El Guabo-Ecuador Coordenadas geográficas: 03°17'16" latitud sur y 79°54'05" longitud oeste
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2015-2016
Disciplinas OCDE	Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.11



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los dieciséis días del mes de febrero del año dos mil veintiuno, siendo las once horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000033-2021-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 09 de febrero del 2021, con la finalidad de evaluar la sustentación virtual a la amparo de la Directiva de la UNMSM aprobada con Resolución Rectoral N° 01357-R-20 de la siguiente tesis:

TÍTULO

«DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA PARA USO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS, EN LA ZONA BAJA DE LA PROVINCIA, EL ORO»

Presentado por la Mg. SARA ENID CASTILLO HERRERA, para optar el GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES.

El Miembro del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 05624/FIGMMG/2013 de fecha 25 de julio del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 72 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

BUENO (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación virtual de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES a la Mg. SARA ENID CASTILLO HERRERA.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.



Firmado digitalmente por CABRERA
CARRANZA Carlos Francisco FAU
20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.02.2021 22:26:50 -05:00

DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA
Presidente



Firmado digitalmente por
ALCANTARA BOZA Francisco
Alejandro FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24.02.2021 12:12:51 -05:00

DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA
Miembro

DR. ELMER GONZALES BENITES ALFARO
Miembro

DR. ERNESTO OSVALDO ADUVIRE PATACA
Asesor

DEDICATORIA

A la memoria de mis queridos e idolatrados padres

**Carlos Noé y Rosario, a mis hermanos,
quienes siempre me guiaron por la senda del bien.**

A mis sobrinos sólida estirpe de familia,

**Infinita gratitud por su confianza y apoyo a mi hermano
Oscar Aquiles, ejemplo de perseverancia. Pues no tuve la suerte que me
acompañes hasta el final de ésta tarea, como lo planificamos porque te
adelantaste a la presencia del Señor**

AGRADECIMIENTO

Expreso mi leal agradecimiento a la Directora de la Unidad de Post Grado, Señorita Dra. Silvia Del Pilar Iglesias León y al Dr. Osvaldo Aduvire Patata, profesor de la Escuela de Post Grado de la UNMSM. Por orientar esta investigación bajo el modelo diseñado por nuestra universidad y por sus muchos aportes efectuados en el desarrollo del presente trabajo como profesor Asesor, mi gratitud al Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza, Decano de la FIGMMG, por su gesto y esmero en atención al grupo de extranjeros, que hizo de nuestra estadía una grata experiencia durante el Doctorado en Ciencias Ambientales, al Dr. Francisco Alcántara Boza Presidente del Jurado informante y Dr. Elmer Benites Alfaro, miembro del Jurado informante por su revisión. Al Ing. Irán Rodríguez y Dra. Katiuska Acosta. A la Universidad Nacional Mayor San Marcos. Mi gratitud imperecedera a la Universidad Técnica de Machala, en las personas de sus autoridades, Dr. César Quezada Abad, Rector, Dra. Amarilis Borja Herrera, Vicerrectora Académica y Dr. Johnny Pérez Rodríguez, Vicerrector Administrativo, por su constante apoyo y, a mi Facultad de Ciencias Agropecuarias con su personal de apoyo que contribuyeron en el trabajo en campo.

Sara

ÍNDICE GENERAL

TEMA	PÁGINA
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Problema General	3
1.4. Justificación de la Investigación	4
1.4.1. Justificación Teórica	4
1.4.2. Justificación Práctica	5
1.5. Objetivos de la investigación.....	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco filosófico de la investigación	8
2.1.1. Marco legal.....	9
2.2. Antecedentes de la Investigación	15
2.3. Bases Teóricas	19
2.3.1. El agua.....	19
2.3.2. Agua subterránea	22
2.3.2.1. Los contaminantes presentes en el agua subterránea.....	24
2.3.2.2. La contaminación por metales pesados.....	26
2.3.2.3. Actividades agrícolas	29
2.3.2.4. Contaminación del Agua Subterránea por Actividades Industriales y Mineras 30	30
2.3.3. Usuarios del Agua Subterránea.....	30
2.3.3.1. Consumo Humano	30
2.3.4. Calidad físico química de aguas subterráneas.....	32
2.3.4.1. Características químicas	32
2.3.4.2. Características físicas del agua	37
2.3.4.3. Características biológicas del agua subterránea.....	38
2.3.5. Extracción de las aguas subterráneas	39
2.3.6. Metales pesados en aguas subterráneas.....	39

2.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego	50
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	55
3.1. Tipo y Diseño de la Investigación.....	55
3.1.1. Hipótesis general.....	55
3.1.2. Hipótesis nula	56
3.1.3. Hipótesis alternativa.....	56
3.2. Variables	56
3.2.1. Variable Independiente	56
3.3. Operacionalización de Variables	59
3.4. Unidad de Análisis.....	60
3.5. Población de estudio.....	60
3.5.1. Descripción de la zona de estudio	61
3.6. Definición del tamaño de la muestra	62
3.6.1. Metodología de muestreo	65
3.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	67
3.8. Análisis e interpretación de la información	67
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1. Caracterización de pozos perforados utilizados para extracción de aguas empleadas en actividades productivas en la zona baja del cantón El Guabo.....	69
4.1.1. Ubicación georrefenciada de pozos.....	69
4.1.2. Usos del agua de pozo.....	70
4.1.3. Altitud de los pozos.....	72
4.1.4. Profundidad de pozos	74
4.1.5. Temperatura del agua	77
4.2. Propiedades físico-químicas de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.	80
4.2.1. Parámetros físicos.....	80
4.2.1.1. Turbiedad	80
4.2.2. Olor del agua.....	85
4.2.3. Sabor del agua.....	85
4.2.4. Color del agua.....	86
4.2.5. Parámetros químicos	86
4.2.5.1. Oxígeno disuelto	86
4.2.5.2. pH	88
4.2.2.3. Conductividad eléctrica	92

4.3. Calidad microbiológica de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en el cantón El Guabo.	93
4.4. Caracterización de metales pesados en aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en el cantón El Guabo.	100
4.3.1. Cadmio	100
4.3.2. Plomo	104
4.3.3. Mercurio	109
4.3.4. Cobre	112
4.3.5. Manganeseo	115
4.3.6. Hierro	118
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista Fotográfica del Volumen y Distribución del Recurso Hídrico en el Planeta	20
Figura 2. Distribución y consumo en el mundo del agua potable	24
Figura 3. Escala de percepciones olfativas gustos, olores y sensaciones más importantes.....	54
Figura 4. Ubicación georreferenciada de los pozos en el Cantón El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador	60
Figura 5. Mapa satelital de visualización, ubicación geográfica y clasificación agroecológica de la Provincia de El Oro	61
Figura 6. Mapa político de la distribución del Cantón de El Guabo dentro de la Provincia de El Oro	62
Figura 7. Ubicación georreferenciada de los pozos en el Cantón El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador	70
Figura 8. Distribución del uso del agua procedente de pozos perforados en la zona baja del cantón El Guabo.....	71
Figura 9. Altitud de los pozos perforados objeto de estudio en la zona baja del cantón El Guabo.....	73
Figura 10. Promedio de altitud de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.....	74
Figura 11. Profundidad de los pozos perforados estudiados en la zona baja del cantón El Guabo.....	75
Figura 12. Promedio de profundidad de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.....	76
Figura 13. Temperatura del agua pozos someros y subterráneos estudiados en la zona baja del cantón El Guabo.....	78
Figura 14. Promedio de temperatura del agua de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo	79
Figura 15. Comportamiento de los valores de turbidez en las aguas procedentes de pozos perforados del cantón El Guabo	81
Figura 16. Ubicación de los valores de TDS en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	82
Figura 17. Promedio de TDS del agua en pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo	84
Figura 18. Frecuencias absolutas de valores de oxígeno disuelto en las aguas procedentes de pozos perforados en zona baja del cantón El Guabo	87
Figura 19. Comportamiento de los valores de pH en las aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de zona baja de El Guabo	89
Figura 20. Promedio de pH del agua en pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.....	90
Figura 21. Distribución de los valores de pH en pozos de agua de la zona baja de El Guabo.....	91
Figura 22. Distribución de frecuencias absolutas de los valores de conductividad eléctrica en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	92

Figura 23. Comportamiento de coliformes totales y fecales en aguas subterráneas de la zona baja de El Guabo.....	97
Figura 24. Contenidos de cadmio en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	101
Figura 25. Distribución de los valores de Cd en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Cd	102
Figura 26. Valores medios de Cd en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo	102
Figura 27. Valores promedio de Pb en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo. *Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05	107
Figura 28. Distribución del contenido de Pb en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Pb	108
Figura 29. Valores medio del contenido de Hg en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo	110
Figura 30. Distribución de los valores de Hg en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Hg	111
Figura 31. Contenidos de Cu en aguas para riego procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	113
Figura 32. Distribución del contenido de Cu en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Cu	113
Figura 33. Valores medios de Cu en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo	114
Figura 34. Contenidos de manganeso en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	117
Figura 35. Distribución de los valores de Mn en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Mn	117
Figura 36. Valores medio del contenido de Mn en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo	118
Figura 37. Contenidos de hierro en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo	119
Figura 38. Distribución de los valores de Fe en aguas subterráneas extraídas en los pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Cu	120
Figura 39. Valores medios del contenido de Hierro en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo	120

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentajes de agua distribuidos en la hidrósfera y su correspondiente período de renovación	21
Cuadro 2. Estados y propiedades físicas del agua	37
Cuadro 3. Concentración de Metales Pesados establecida por países de la región	48
Cuadro 4. Criterios de la calidad de agua para uso agrícola	51
Cuadro 5. <i>Relación de las variables indicadoras de estudio y su operatividad</i>	59
Cuadro 6. Criterios de la calidad de agua para uso agrícola	71
Cuadro 7. Distribución de las categorías de temperatura del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.....	80
Cuadro 8. Distribución de las categorías de olor del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.....	85
Cuadro 9. Distribución de las categorías de sabor del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.....	85
Cuadro 10. Distribución de las categorías de color del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.....	86
Cuadro 11. Número de coliformes totales y coliformes Fecales en aguas subterráneas en la zona baja del Cantón El Guabo. Provincia El Oro.....	95
Cuadro 12. LMP para las aguas de consumo humano y uso doméstico, agrícola, pecuario, vida acuática; dulce y marina.....	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tubería PVC, de un acuífero somero	143
Anexo 2. Sonda multiparamétrica Hanna	144
Anexo 3. Autora de la investigación en recolección de datos	145
Anexo 4. Encuesta utilizada para conocer la percepción de los usuarios del agua en relación al recurso que utilizan en actividades productivas	146
Anexo 5. Plantaciones bananeras correspondientes al cantón El Guabo en la zona baja de la provincia de El Oro. Donde se desarrolla la principal actividad productiva.	148
Anexo 6. Imágenes sobre equipo de trabajo en recolección de muestras y datos in situ.	150
Anexo 7. Matrices para trabajo en recolección de datos y resultados de análisis: Químico, Físicos y biológicos.....	156
Anexo 8. Imágenes de Sonda Multiparamétrica HI 9828 para recolección de data y resultados para análisis de parámetros Físicos in situ	158
Anexo 9. Evidencias de la validación del instrumento de medición documental (encuesta) aplicado en la investigación.....	160
Anexo 10. Certificación del laboratorio donde se realizaron los análisis de metales pesados	162

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el contenido de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas en la zona baja de la provincia de El Oro. Para desarrollar la investigación se censaron y georreferenciaron 85 pozos perforados de los cuales se extrae agua para actividades productivas en bananeras ubicadas en las planicies del cantón El Guabo, Ecuador cubriendo cinco parroquias; El Guabo, Barbones, Tendales, Rio Bonito y La Iberia. Se recolectó información a través de encuesta, ficha de datos, así como, mediciones de parámetros físicos con la sonda medidor multiparámetro HI 9828, instrumento, resistente a impactos e impermeable según norma IP67; y se tomaron muestras del agua luego de manar cinco minutos, para análisis microbiológico y metales pesados en laboratorio, como: Cd, Pb, Hg, Cu, Mn y Fe. Se concluye que el uso del agua subterránea de los 85 pozos objeto de estudio, un 90.6 % destinada a actividad de producción bananera, el 2.4 % a consumo humano y 7.1 % de uso mixto. Los parámetros físicos fueron catalogados con temperaturas de 25.80°C, un 87% de olor agradable, el 90% con sabor dulce, un 94% de color cristalino y una turbidez media de 0.5-5,0. Los valores medios de parámetros químicos se ubicaron en TDS con 250 mg/l OD en 2,327 %, un pH de 7,01 y una CE de 538,64 S/cm. El 63% de las aguas, no son indicadas para consumo humano, los coliformes totales oscilaron entre 110–540 UFC/100 ml, ubicándola para producción agrícola/pecuaria. Los metales pesados Cd, Hg y Fe presentes en aguas analizadas alcanzan valores por debajo de los límites permisibles para uso agrícola y humano según normativa de Ecuador para agua. Las muestras poseen concentraciones significativas de Pb superando los límites máximos permisibles, aceptándose para actividades de producción. Los niveles de Cu y Mn, fueron superiores a los límites máximos permisibles para uso humano y agrícola en sitios que se encontraron. El manejo de los sistemas productivos bananeros para exportación en El Guabo, así como poscosecha constituyen elementos que influyen de forma negativa en la contaminación del suelo y agua por metales pesados, condicionados por uso excesivo de productos químicos.

Palabras clave: agua subterránea, pozos, metales pesados, actividades productivas, bananeras.

SUMMARY

The objective of the work was to determine the content of heavy metals in groundwater for use in productive activities in the lower zone of the province of El Oro. To carry out the research, 85 drilled wells were surveyed and georeferenced from which water is extracted for activities productive in banana plantations located in the plains of the El Guabo canton, Ecuador, covering five parishes; El Guabo, Barbones, Tendales, Rio Bonito and La Iberia. Information was collected through a survey, data sheet, as well as measurements of physical parameters with the HI 9828 multiparameter probe, an instrument, resistant to impacts and waterproof according to the IP67 standard; and water samples were taken after flowing five minutes, for microbiological analysis and heavy metals in the laboratory, such as: Cd, Pb, Hg, Cu, Mn and Fe. It is concluded that the use of groundwater from the 85 wells under study 90.6% for banana production activity, 2.4% for human consumption and 7.1% for mixed use. The physical parameters were cataloged with temperatures of 25.80 ° C, 87% pleasant odor, 90% sweet flavor, 94% crystalline color and an average turbidity of 0.5-5.0. The mean values of chemical parameters were located in TDS with 250 mg / l OD at 2.327%, a pH of 7.01 and an EC of 538.64 S / cm. 63% of the waters are not indicated for human consumption, the total coliforms ranged between 110–540 CFU / 100 ml, placing it for agricultural / livestock production. The heavy metals Cd, Hg and Fe present in the analyzed waters reach values below the permissible limits for agricultural and human use according to Ecuador regulations for water. The samples have significant concentrations of Pb exceeding the maximum permissible limits, being accepted for production activities. The levels of Cu and Mn were higher than the maximum permissible limits for human and agricultural use in the sites that were found. The management of the banana production systems for export in El Guabo, as well as postharvest, constitute elements that negatively influence the contamination of soil and water by heavy metals, conditioned by excessive use of chemical products.

Keywords: groundwater, wells, heavy metals, productive activities, banana.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

La demanda universal del agua se estima continúe creciendo a un ritmo similar hasta el 2050, lo cual significa un aumento entre el 20-30% sobre el nivel actual de uso, debido al sector industrial y doméstico. Estos niveles se irán ampliando a medida del crecimiento y demanda del líquido y se incrementen los problemas causados por el cambio climático (Gobiet et al., 2014), señalándose que más de 2.000 millones de personas viven en países con carencia del agua, y cerca de 4.000 millones sufren una grave falta de agua con 1 mes/año (UNESCO, 2019).

El Ecuador fundamenta su suministro de agua en superficial y subterránea, gran parte procedente de fuentes superficiales. En los consumos para riego agrícola destina la mayoría y para uso doméstico e industria implicando a sólo un 3 %. Únicamente el 61 % de la población cuenta acceso a agua potable en el país. Para usos domésticos, los sectores urbanos generalmente disponen con agua superficial y áreas rurales con subterránea. Las zonas urbanas disfrutan de acceso a la dotación de agua y servicios sanitarios, mucho más que los territorios rurales. Áreas con acceso inadecuado a la provisión de agua segura, los malestares por enfermedades a causa del agua generan un serio peligro para la salud humana. 78 % de población urbana y sólo 39 % rural tienen acceso a servicios de suministro de agua.

El agua subterránea ha sido utilizada desde muchos años por el hombre, para cubrir varias necesidades fisiológicas como la sed, el aseo, y luego para cocinar sus alimentos. Después, se vio en la idea de incorporarla para el riego de sus cultivos, entre más tenía conocimiento su uso se extendió hasta llegar a las grandes industrias que el hombre creó (López et al., 2009). Sin embargo, los recursos de agua subterránea están bajo presión, ya que la explotación parece ser críticamente alta en relación con la tasa de reabastecimiento (Oki, 2016).

Diferentes investigaciones han señalado que el uso intensivo de agroquímicos en las zonas productoras de banano de la zona baja de la provincia de El Oro, se correlacionan con el deterioro acelerado de acuíferos, y por ende el deterioro al

ambiente y la dinámica económica. Con el uso del líquido extraído de pozos, con productos tóxicos posiblemente filtrados al agua subterránea que también se usa para consumo humano provocando daño a la salud, siendo necesario estudiar su estado actual para hacer efectivos planes de remediación (Suarez, 2020).

En el Ecuador se disponen regiones en las mismas donde el agua subterránea es único medio asequible para proporcionar a las comunidades, y para la irrigación de plantaciones; constituyéndose en el recurso esencial para la seguridad alimentaria, siendo vital en el dinamismo para ecosistemas. Sin embargo, los bienes y productos que el acuífero procura para el progreso socio-económico no incidieron, salvo algunos casos especiales que se establecen como único recurso hídrico asequible. “Los esfuerzos por su conocimiento científico, las formas de uso y el desarrollo de instrumentos adecuados para su gestión sostenible, no se desarrollaron como se hizo en el caso de las aguas superficiales, cuyos paradigmas de gestión se aplican en muchos casos erróneamente a la gestión de las aguas subterráneas”. Las escaseces generales de instrucciones, capacidades de materiales para gestión produjeron usos ilógicos, detrimentos del recurso hídrico y la contaminación, tornándose en condiciones cuya restitución involucran procesos desmedidamente onerosos (Burbano et al., 2014).

El agua, de los pozos del Cantón El Guabo, ingresa a la red de abastecimiento, sin tratamiento previo, por esta razón es necesario realizar un estudio de la calidad de sus aguas, con el fin de dotar a la comunidad de información de tipo sistemática, que permita tomar medidas correctivas, para acceder al consumo seguro de estas aguas. Los productores y habitantes del sector rural urbano del cantón deben procurar un manejo sostenible en la extracción del agua sana, sin presencia de patógenos, generando información de fácil aplicación, que es el requerimiento de los usuarios actuales y potenciales.

En ciudades como Quito, por ejemplo, se puede extraer de 600 a 700 litros/segundo del agua subterránea, este recurso puede verse expuesto a distintos

elementos de contaminación: como, líquidos dispersados como las atomizaciones en agricultura o una explotación de agua indiscriminada. Una sobreexplotación durante los años 70 y 80, donde el acuífero se redujo el 50% y recién se halla recuperado, pero el aprovechamiento en los últimos 20 años, por incremento de la población y la contaminación de aguas subterráneas. Pero aún no se cuenta con investigaciones para información sobre su utilización. En la zona de Babahoyo, Naranjito y El Triunfo existe un acuífero potencial de un millón de metros cúbicos al día que abastece a Guayaquil, Milagro y Yaguachi” (Burbano, 2011).

Por otra parte, los recursos acuíferos subterráneos son escasamente mencionados, la información difundida es restringida y se exhorta ejecutar substanciales investigaciones que generen una data confiable. Asimismo, se sabe de qué en Ecuador en la mayoría de regiones hay agua subterránea dulce y aprovechable, revelando que los valles Interandinos tienen acuíferos pequeños, en tanto que los grandes y exuberantes se encuentran por la cuenca hidrográfica del río Guayas y además de los aluviones en el Oriente (CEPAL, 2012).

Haciendo que la problemática de la contaminación del recurso hídrico es un reto global acentuado en países desarrollados y en desarrollo, minando el desarrollo económico, la salud física y atmosférica en miles de millones de individuos (Sagasta et al., 2017), siendo una inquietud sustancial especialmente en zonas rurales, donde se proveen de fuentes subterráneas, como es el caso de las bananeras ubicadas en la provincia de El Oro.

1.2. Formulación del Problema

1.3. Problema General

La activa explotación en las áreas bananeras de las parroquias del Cantón El Guabo, han implicado una sobreexplotación de los acuíferos naturales, para abastecer el suministros de agua, las cuales se ha venido utilizando si tener una

base de la calidad de la misma, y específicamente en la región de la Provincia de El Oro, se han señalado riesgos microbiológicos y presencia de metales pesados (Velásquez et al., 2020, Solano et al., 2019), lo que hace necesario un diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas potencialmente a ser utilizadas en actividades productivas y humanas.

Problemas específicos

- ¿Cómo obtener información georreferenciada de los pozos de agua subterránea, utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras del cantón El Guabo?
- ¿Cuál es la propiedad del agua subterránea utilizada en actividades productivas en la zona baja del cantón El Guabo?
- ¿Se encuentran los niveles de cadmio, plomo, mercurio, manganeso, cobre y hierro, entre los límites permisibles establecidos por la norma ecuatoriana de la calidad del agua?
- ¿Existe presencia de coliformes que altera la calidad microbiológica del agua subterránea utilizada en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo?

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación Teórica

La calidad del agua subterránea, se ha visto gravemente afectada por las aguas residuales urbanas y el uso excesivo de pesticidas, fertilizantes en las zonas agrícolas (Golekar et al., 2013).

El sector ganadero está creciendo e intensificándose más rápido que la producción de cultivos en casi todos los países. Los residuos asociados, a la explotación ganadera, tienen serias implicaciones para calidad del agua. En los últimos 20 años, aparece otra clase de contaminantes agrícolas ha surgido como remedios veterinarios (antibióticos, vacunas y crecimiento) promotores [hormonas]), las que se mueven desde las fincas a través del agua a los ecosistemas, lo cual ha tenido impactos negativos directos en la salud humana. (Sagasta et al., 2017).

A nivel nacional, encontramos lugares donde el agua subterránea constituye único recurso asequible para suministrar localidades o destinados a riego de sembradíos, especialmente en cuencas con carencias del recurso superficial, lo que compone el recurso líquido esencial para la seguridad alimentaria y de carácter esencial para el desarrollo de los ecosistemas. De tal forma, que desde 1983 hasta la actualidad, no se ha reformado el mapa hidrogeológico nacional a escala de 1:1000000, tampoco se ha realizado estudios que logren identificar zonas susceptibles de contaminación y sobreexplotación, para incorporar estrategias de protección del líquido vital, conceptualizar y priorizar soluciones y conservar un sistema apropiado de monitoreo y vigilancia (CEPAL, 2012).

1.4.2. Justificación Práctica

Actualmente se ha venido observando que el crecimiento global de producción de cultivos, representando un 70 % de las extracciones de agua en todo el mundo, así como conllevado a uso intensivo de agroquímicos, lo cual juega papel sustancial contaminando el agua. Ya que las unidades de producción arrojan importantes volúmenes de agroquímicos, residuos orgánicos y medicinas, sedimentos y soluciones salinas en los cuerpos de agua, significando en riesgos para los ecosistemas acuáticos, la salud de las poblaciones. Situación ésta que hace necesario desarrollo e protocolos de monitoreo que garanticen mejoras en la productividad y los medios de vida rurales las actividades al tiempo que

prevenga la contaminación del recurso hídricos disponibles (Sagasta et al., 2017).

El Guabo, cantón en la provincia de El Oro es una de las zonas con grandes extensiones de tierra dedicada a la producción agrícola, principalmente de banano y cacao, además la posición geográfica de los pozos cuyas aguas son utilizadas para el consumo humano, se encuentran ubicados en el corazón de estas tierras, por lo cual se ha planteado la presunción, que sus aguas, están contaminadas con residuos de agroquímicos aplicados y arrastrados por escorrentía y filtrados a través de la tierra a los acuíferos que abastecen estos pozos, ya que las zonas aledañas a estos pozos, son utilizadas para la producción bananera y cacaotera.

Lo que hace necesario generar información sistemática de su estado real y la calidad del agua extraída de los pozos que abastecen la red del suministro de este recurso para la población del cantón el Guabo.

Sin embargo, a pesar del conocimiento de que la protección de las aguas subterráneas es necesaria, se sabe poco sobre el papel del cambio de uso de la tierra en los riesgos para la salud humana.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Determinar el contenido de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas en la zona baja de la provincia de El Oro.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la georreferenciación de los pozos perforados de donde se extrae las aguas subterráneas para actividades productivas en la zona baja del cantón El Guabo.

- Evaluar las propiedades físico químicas de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.
- Determinar el contenido de metales pesados de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.
- Evaluar la calidad microbiológica de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco filosófico de la investigación

Las condiciones del agua en la época precolonial, ha sido calificada “desde el derecho romano pasando por las Siete Partidas,” por “un bien de uso común del cual podían disfrutar todos los hombres, así como del aire o el mar”. Éstas manejaban la expresión “uso común o uso público para señalar las aguas”.

“Tercera partida. Ley III, título XXVIII”. “Quales son las cosas que comunalmente pertenescen a todas las criaturas”. “Las cosas que comunalmente pertenecen a todas las criaturas que biuen en este mundo, son estas: el ayre, e las aguas de la lluvia, e el mar, e su ribera. Caqualquiera criatura que biua, puede vsar de caa vna de estas cosas, según quel fuere menester”. (...).

“La referencia hace mención a las aguas superficiales, ya que no se sabía de la existencia de las aguas subterráneas, eran accesorias a los suelos, y el dueño del suelo también era del subsuelo y lo construido sobre él”. El agua subterránea era de uso familiar y no había la potestad contaminadora por gestión antropogénica como para alterar de forma radical la naturaleza como en la actualidad (Dominguez & Carrillo, 2007).

Generalmente el agua subterránea se produce por excesiva lluvia la cual se filtra de forma directa o indirecta en el suelo. Como resultado, la actividad cotidiana en el área constituye una amenaza a la calidad del agua del subsuelo. Cuando se presenta contaminación de acuíferos es porque la carga de contaminantes en el subsuelo ocasionado por las descargas o lixiviado de diligencias urbanas, fabriles, agropecuarias o de minería no es vigilada apropiadamente, comúnmente excede el aforo natural de mitigación del subsuelo y capas suprayacentes de ciertos componente (Foster et al., 2002).

“Concepciones referentes a la naturaleza de aguas subterráneas, se pueden localizar en “distintas formaciones geológicas como los acuíferos, los acuicludos

y los acuitardos. Los acuíferos son formaciones geológicas que contienen agua y permiten su circulación con facilidad. Pueden estar formados por arenas, gravas o también granito o roca fracturada”. Por ello acopian, infiltran y proveen agua, transfiriendo el líquido para que sea aprovechado. En este acuífero el agua superficial se infiltra en el suelo hasta topar la capa impermeable; en ese momento se acopia llenando poros y grietas en las rocas, formándose la zona de saturación, cuyas propiedades son la baja velocidad en el movimiento del agua, significativas reservas y tiempo de renovación del agua. En el caso del acuicludo, que son formaciones geológicas que poseen agua, y no permiten su circulación y no puede extraerse por bombeo de pozos.

Como tercer tipo acuitardos, que son formaciones geológicas de particularidades intermedias del acuicludo y acuífero. Donde el agua anega las formaciones geológicas a una altura conocido como nivel freático. Para un acuífero libre, como ejemplo, al excavar un pozo, el agua infiltrada anega el pozo llegando a la capa freática que concuerda con la superficie freática. (Momiy et al., 2017).

El incremento de la población a nivel mundial, el cambio climático están afectando la reserva del recurso hídrico, reduciendo cada vez más la disponibilidad, ya que el calentamiento desde fines del siglo XIX se ha presentado aumentado (Gobiet et al., 2014), teniendo efectos adversos tanto en la reposición como en la explotación de los recursos de agua subterránea, agravando así el estrés hídrico (Hohmann et al., 2018), presentándose temporalmente estresados en algunas regiones del mundo, afectando la calidad y cantidad, para el consumo humano y actividades productivas, entre ellas la agricultura, que transfiere en sus productos ciertos elementos nocivos para la salud (Tao y Barros 2019).

2.1.1. Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador con sus principios, derechos para el *sumak kausay*, derechos de la naturaleza y de la Pachamama, en su título primero capítulo primero de los principios señala “*Los recursos naturales no*

renovables del territorio del estado pertenece a su patrimonio inalienable, irrenunciable e imprescriptible” Asimismo en su Art.3. son deberes primordiales primero “Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social, y; el agua para sus habitantes”

En el capítulo segundo, derechos del buen vivir, en la sección primera: agua y alimentación, la constitución en el Art.12. *“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”*. En su capítulo séptimo, derechos de la naturaleza el Art. 71 dice *“La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida tiene derecho a que se respete íntegramente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”*. *“Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza para aplicar e interpretar estos derechos. Se observa los principios establecidos la constitución en lo que proceda, el estado incentivar a las personas naturales y jurídicas y a los colectivos para que protejan la naturaleza y promover el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema”*.

“La Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó en septiembre de 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron una resolución en la que reconocen que el mayor desafío del mundo actual es la erradicación de la pobreza y afirman que sin lograrla no puede haber desarrollo sostenible.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.” Que en su objetivo 6. **Garantizar la**

disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Al acoger la agenda, se obligaron los estados a asignar recursos y cualquier otro medio que se requiera para su ejecución contando con pactos, comprometidos con los más necesitados y vulnerables.

“Los 17 ODS de la Agenda 2030 se elaboraron durante más de dos años de consultas públicas, interacción con la sociedad civil y negociaciones entre los países. La Agenda implica un compromiso común y universal, no obstante, puesto que cada país enfrenta retos específicos en su búsqueda del desarrollo sostenible, los estados tienen soberanía plena sobre su riqueza, recursos y actividad económica, y cada uno fijará sus propias metas nacionales en consonancia con la Agenda”. (Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, 2016).

“La escasez de agua constituye una gran preocupación, alertó el Secretario General de la ONU durante el lanzamiento de la Década de Acción del Agua en la Asamblea General”. “Para el año 2050, al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país donde la falta de agua dulce será crónica o recurrente”, aseveró Antonio Guterres, el día del Agua que se celebra mundialmente, además reiteró que si no hay una gestión seria del recurso hídrico hay peligro de extender disputas entre colectividades, inclusive ampliar tensiones entre estados. “Hasta ahora, históricamente, el agua ha demostrado ser un catalizador para la cooperación, no para el conflicto. Pero no podemos dar por sentados ni la paz ni nuestros preciosos y frágiles recursos hídricos”. En la actualidad la población se encuentra afectada por carencia del agua en un 40%, así mismo un 80 % de aguas servidas se echan al ambiente sin tratarse y catástrofes conexas al agua ocurren en más de un 90 %.

Muchas “de las enfermedades más graves en el mundo en desarrollo están directamente relacionadas con el agua potable insegura, el saneamiento deficiente y las prácticas de higiene insuficientes”.

“Recordó que existen nuevas tecnologías para mejorar la forma en la que se administra el agua, pero a menudo estas son inaccesibles para quienes más lo necesitan”. Países Miembros le solicitaron un Plan de Acción para el Decenio del Agua el mismo que contará con tres objetivos:

- 1.- “Transformar el enfoque actualmente basado en silos para el suministro de agua, el saneamiento, la gestión y la reducción del riesgo de desastres para combatir mejor el estrés hídrico, el cambio climático y aumentar la resiliencia.
- 2.- Alinear todos los programas y proyectos de agua y saneamiento existentes con la Agenda 2030 de desarrollo sostenible.
- 3.- Generar una voluntad política para fortalecer la cooperación y las alianzas.

El decenio busca acelerar las iniciativas encaminadas a hacer frente a los desafíos relativos a los recursos hídricos y fue proclamado por la Asamblea General comenzando el 22 de marzo de 2018 y terminando en la misma fecha de 2028” (ONU, 2018).

Metas del objetivo 6:

- “Para 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.
- Para 2030, lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables
- Para 2030, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la

mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial

- Para 2030, aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua
- Para 2030, poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda
- Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos
- Para 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización
- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento” (CINU, 2013).

“Amina Mohammed, vicesecretaria de la ONU, advierte de que el ritmo del progreso hacia el alcance de los ODS es insuficiente y que los gobiernos deben actuar con velocidad y a mayor escala si se quiere cumplir con el plazo de la Agenda 2030” (ONU).

“Impulsar la transformación hacia mercados sustentables con pares del sector. Si se cambian sectores enteros a bases sustentables de conformidad con los

Objetivos Globales, se obtendrán oportunidades empresariales mucho mejores. Considere los alimentos y la agricultura. Un sistema global de alimentos y agricultura acorde a los Objetivos Globales ofrecería alimentos nutritivos y asequibles para la población mundial en constante crecimiento, generaría ingresos más altos, en especial, para los 1,5 miles de millones de minifundistas del mundo, y ayudaría a restaurar bosques, recursos de agua dulce y ecosistemas vitales. Crearía un nuevo valor económico de más de USD 2 billones hasta 2030. y sería mucho más resistente a los riesgos climáticos” (Comisión de Comercio y Desarrollo Sustentable, 2017).

“Trabajar con los encargados de formular políticas para pagar el verdadero costo de los recursos naturales y humanos. La idea de contaminación de los precios a su verdadero costo ambiental y social ha estado presente desde hace mucho tiempo. Pero la necesidad de precios sólidos del carbono es cada vez más urgente para abordar el riesgo de perder el control del cambio climático”.

“Establecer precios para el carbono, así como para otros recursos ambientales (en especial, el agua en muchas áreas) y mantenerlos marca el punto de partida de una "carrera hacia la cima". Las empresas que optan por pagar salarios mínimos y el costo total de sus recursos deben asegurarse de que sus competidores hagan lo mismo en el futuro no tan distante si desean evitar estar en desventaja de costos. Por lo tanto, los líderes empresariales deben trabajar abiertamente con los organismos reguladores, las empresas y la sociedad civil, para dar forma a las políticas fiscales y normativas que crean un campo de juego igualitario de conformidad con los Objetivos Globales.

Además, esto podría implicar que los sistemas fiscales se vuelvan más progresivos mediante el gravamen de menos impuestos a los ingresos de la mano de obra y más a la contaminación y los recursos con precios subvalorados” (Comisión de Comercio y Desarrollo Sustentable, 2017).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) frecuentemente ha informado sobre los “Estándares Internacionales de Agua Potable” desde el año 1958, hoy “Guías para la Calidad del Agua Potable”, que analizan optimizar las propiedades del agua potable, así como la salud de las personas al consumirla. Están divulgadas tres ediciones de las Guías, las primeras fueron directrices que establecieron reglas internas para normar el agua potable en cada país. La tercera hace una evaluación de riesgo, es decir, describe un “Marco para la Seguridad de Agua potable ” y de los compromisos de poseedores, como reguladores nacionales, provisosores, colectividades y sucursales "de vigilancia" autónomos. Así como indagación de sustancias químicas analizadas por la OMS para la inclusión de aquellas no consideradas (Truque, 2003).

Estas “Guías de Calidad de agua Potable de la OMS están siendo revisadas con el fin de publicar unos nuevos apéndices en el 2005 y el 2007, y finalmente esperan poder tener lista una cuarta edición de las Guías en el 2008”. Los estándares son normas creadas por la legislación interna en cada nación para fiscalizar el nivel de elementos contaminantes que afectan el agua que consume la población de cada país.

La “OMS se encarga estrictamente de concentrar y establecer pautas, las cuales son adoptadas e impuestas por algunos países voluntariamente, por ser libres de establecer sus propias normas, las cuales pueden ser menores, iguales y/o más estrictas que las recomendadas por la OMS, que debe realizar investigación y un análisis posterior que le permitan verificar si esos estándares cumplen su misión principal de proteger la salud pública”. (Truque, 2003).

2.2. Antecedentes de la Investigación

Según Chaware et al. (2020) la mayoría de investigaciones del potencial de aguas subterráneas existentes en la literatura carecen de una validación adecuada. En los países en desarrollo, se atribuye a muchas razones, que incluyen datos deficientes/limitados sobre el rendimiento del agua, datos espaciales y temporales escasos sobre pozos, falta de protocolo / intercambio de

datos, una estructura de gobernanza del agua subterránea débil como agencias dispares, falta de registro / georreferenciación de pozos de riego (Tanvir et al., 2017)

De igual forma otras investigaciones delineadas sobre el monitoreo de las aguas subterráneas, señalan que el comprender y administrar estos recursos de agua requiere la integración de una gran cantidad de datos de alta calidad de una variedad de fuentes. Debido a las limitaciones para acceder a la información relacionada con las aguas subterráneas y las condiciones del subsuelo, la recopilación de la información existente disponible es de crucial importancia al realizar un estudio hidrogeológico exitoso (Dar et al., 2020; Jesiya & Gopinath, 2020).

Chesnaux et al. (2011) señalan que el desarrollo de una base de datos de aguas subterráneas exhaustiva y completa a través de la recopilación de fuentes de información relevantes relacionadas con las aguas subterráneas y la aplicación de un proceso de control de calidad con el fin de analizar la precisión de los datos. y calidad. Este sistema de información constituye una herramienta poderosa de ubicación de los ecosistemas dependiente del agua subterránea, permitiendo tener acceso a datos relevantes necesarios para un estudio hidrogeológico estratigráficos específico base para la construcción de modelos hidroestructurales subterráneos (Kuwayama & Brozović, 2013).

De igual forma la necesidad de generar una base de datos del registro de pozos de agua perforados coloca a disposición el conocimiento de las propiedades litológicas, materiales y, información hidrogeológica, para su implementación en geotecnia, hidrogeológicos estudios geológicos, sin embargo, el uso de estas bases, se ha visto restringido, debido en parte a inexactitudes planimétricas y de elevación asociadas con estos registros (Gou, 2010; Petri et al., 2020).

En sus investigaciones sobre los recursos subterráneos Thapa & Gupta (2017) señalan que la teledetección y el SIG juegan un papel vital en la exploración y evaluación de las aguas subterráneas y tiene una amplia aplicación en la

detección, seguimiento, evaluación, conservación y varios otros campos de estudios relacionados con las aguas subterráneas.

Por lo que, la georreferenciación permite a los desarrolladores de modelos incorporar diferentes tipos de datos, a menudo de diferentes fuentes, siguiendo un único sistema de coordenadas de la base de datos de pozos de agua, incorporando cada pozo fácilmente como elementos analíticos; combinando con la información de tasa de bombeo, categoría de uso, ubicación espacial del pozo, estructura geológica y los parámetros hidrogeológicos (Sun et al., 2009).

Apaza, (2020) evaluó las concentraciones de arsénico, dureza total, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* en aguas subterráneas de las urbanizaciones Santa Adriana y Niño San Salvador de la ciudad de Juliaca. Éstos análisis fueron mediante metodologías regulados para análisis de agua APHA, AWWA, así mismo, se elaboró mapas de dispersión de contaminantes en el software ArcGIS. Entre los resultados más relevantes, se muestra que, las aguas subterráneas, poseen concentraciones significativas de arsénico, puesto que, el 100 % de las muestras analizadas superan el límite permisible de 0.010 mg/L; un 82 % de las muestras de agua analizadas tienen presencia de bacterias *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes, y un 50 % de las muestras analizadas de agua subterránea presentan dureza. Dado que los parámetros de arsénico, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*; no cumplen con lo dispuesto por la norma de Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud y la Organización Mundial de la Salud, en este sentido (Vásquez, 2016), señala que la calidad del agua subterránea de zonas específicas se exhiben en un 80% con presencia de coliformes totales, presumiéndose inicialmente, como provenientes de las aguas servidas (alcantarillado) de la zona periurbana y urbana.

Chirino & Camperos (2018) realizaron una caracterizaron fisicoquímica y microbiológica en las aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa, estudio con la finalidad de establecer un esquema de tratamiento en tres zonas de dicho municipio, para lo cual, se efectuaron muestreos por el método de bombeo en los

32 pozos seleccionados, y posteriormente realizar una comparación de los valores con las normas vigentes para el caso del agua potable. Los resultados evidencian que algunos pozos presentan contenidos de dureza, manganeso y hierro superiores a los valores admitidos por la norma y que el agua es salobre. Sin embargo, para coliformes, *Salmonella*, *Escherichia coli* y esporas de bacterias formadoras de viscosidad alcanzaron valores negativos. El esquema de tratamiento sugerido por los investigadores se encuentra conformado por procesos de filtración, ablandamiento, ósmosis inversa, aireación y cloración.

Calsìn (2016) determinó los parámetros bacteriológicos entre los que se encuentran los coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas de aguas subterráneas obtenidas de 70 pozos, de los cuales 32 fueron artesanos y 38 tubulares, mediante la utilización de los métodos establecidos por la Norma Técnica Peruana (2012), así como, el manual de análisis de agua HACH (2000). En relación con los coliformes totales fueron 378.16 ± 96.03 UFC/100 mL en pozos artesanales y 226.21 ± 62.60 UFC/100 mL en los pozos tubulares (ANDEVA $p > 0.05$); en coliformes fecales se obtuvo 107.22 ± 43.16 UFC/100 mL en pozos artesanales y 27.79 ± 6.67 UFC/100 mL en pozos tubulares (ANDEVA $p \leq 0.05$) y los valores de bacterias heterotróficas fueron 303.47 ± 74.58 UFC/100 mL en pozos artesanales y 217.79 ± 56.98 UFC/100 mL en pozos tubulares (ANDEVA $p > 0.05$), concluyéndose que estos parámetros microbiológicos excedieron los LMP, por ello no son aptas para el consumo de los seres humanos.

Ramírez et al. (2009) determinaron la presencia de bacterias coliformes y de amibas en el agua subterránea del acuífero de Zacatepec, Morelos mediante la técnica de filtro de membrana y un medio selectivo Agar no Nutritivo con *Enterobacter aerogenes* (NNE), para lo cual se tomaron en cuenta las características morfológicas para efectuar la clasificación. El resultado evidencia que todos los pozos estudiados presentaron algún tipo de contaminación por coliformes totales (un pozo con 247 ufc en 100 ml^{-1} , tres pozos con 12, 14 y 16 ufc en 100 ml^{-1} y el resto de los pozos oscilaron entre 1 y 5, sin embargo, los fecales presentan un comportamiento diferente (cuatro con ausencias, en uno

contaminación alta con 247 ufc en 100 ml⁻¹, en dos con 10 y 16 y el resto oscilo entre 1 y 3. La mayor contaminación por parte de coliformes totales y fecales se presentó en los meses de abril y julio”.

Brousett et al. (2018) evaluaron la calidad físico-química y microbiológica del agua utilizada para el consumo humano, provenientes de cuatro fuentes de abastecimiento de la población Chullunquiani, Juliaca—Puno, en el periodo 2014-2016 mediante la evaluación del pH, conductividad, turbidez, dureza, sólidos disueltos, sulfatos, cloruros y coliformes totales; además de 23 metales (recomendados por la OMS), concluyéndose que los valores se encuentra dentro del rango aceptable, excepto el Aluminio para agua superficial, valor que sobrepasa en 0,065 mg/l y aguas subterráneas fue excedido el Boro con 0,025 mg/l, además se encontraron valores de coliformes totales elevados para la época de lluvia, alcanzando 11 866,6 UFC/100 ml ($\pm 813,5$) como valor máximo, por lo que, el agua no cumple con las normativas microbiológicas, debiéndose implementar un programa de monitoreo que permita una vigilancia sistemática de las fuentes de abastecimiento de agua y distribución

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. El agua

A nivel mundial el agua ocupa grandes extensiones, y se encuentra en todos los continentes, aunque en la actualidad se encuentra presenta afectaciones debido a las afectaciones provocadas por el manejo inadecuado del hombre en sistemas productivos (Figura 1).

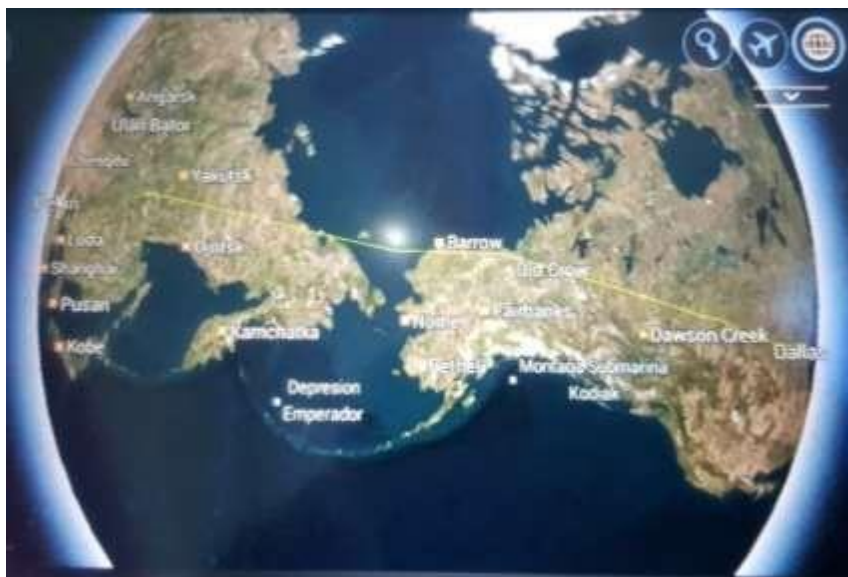


Figura 1. Vista Fotográfica del Volumen y Distribución del Recurso Hídrico en el Planeta.

Fuente: Obtención propia imagen de monitor, de programa de vuelo, Dallas– Pekín (Castillo, 2019).

Como uno de los componentes de la naturaleza de vital importancia (1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua (Shiklomanov, 1998), el 97,5 % es agua salada y el 2,5% corresponde a agua dulce, y de este el 68,7% es hielo y nieve de forma permanente, no encontrándose disponible de forma directa; por otro lado, el 29,9% son aguas subterráneas, y el 0,26% del agua dulce se distribuye en los lagos, en ríos y en arroyos. Con ésta disponibilidad solo un muy pequeño porcentaje se puede aprovechar directamente, siendo necesario la gestión de éstos caudales hídricos, a sabiendas que las aguas subterráneas son de gran importancia en la gobernanza de un país (Cuadro 1) (Caraballo & Montaña, 2012).

Cuadro 1. Porcentajes de agua distribuidos en la hidrósfera y su correspondiente período de renovación.

Hidrósfera	Del planeta	Renovación
Océanos	97.5	2500 años
Agua subterránea	0.76	1400 años
Casquetes polares	1.74	9700 años
Lagos	0.007	17 años
Ríos	0.0002	16 días
Humedad atmosférica	0.001	8 días
Biomasa	0.0001	Algunas horas

Fuente: Caraballo & Montaña (2012).

El agua dulce constituye recurso de vital importancia, que los seres vivos en conjunto requieren. Lamentablemente, el déficit de los recursos hídricos representa una baja significativa y creciente tanto para el medio ambiente como para la salud humana, la seguridad energética o el abastecimiento de alimentos a nivel mundial.

Sin embargo, por ejemplo, en el 2010 se logró complementar los objetivos de desarrollo (ODM) relativa a la reducción llevándola a la mitad del número de individuos sin acceso al recurso agua, y se estima que, de diez personas, una carecerá del líquido vital en el 2015, en la zona rural el acceso al agua aún sigue siendo menor, en relación con el acceso adecuado a servicios de saneamiento.

Sin embargo, los recursos hídricos se encuentran dispersos naturalmente de forma irregular en el mundo, los datos expuestos no se deben específicamente a una escasez de los mismos, sino también a la pobreza, la desigualdad y políticas deficientes en su gestión.

Este déficit del recurso agua coincide además en el tiempo con un incremento de su demanda, de tal forma se estima que su extracción se ha triplicado durante años anteriores para cubrir las necesidades de una población mundial cada vez creciente (Pateiro, 2019).

SENAGUA, en su base de datos en cuanto a concesiones divulgada el 2011, para las peticiones sectoriales, la distribución del uso consuntivo preponderante del estado es la agricultura, ya que constituye un 80% del volumen ocupado, continuado el uso doméstico con (13%) y la fabril (7%) (CEPAL, 2012).

2.3.2. Agua subterránea

Comprende el líquido acumulado y que circula en las capas profundas del suelo, dando lugar a los acuíferos. Que tienen su origen principal en el agua de lluvia, que se infiltra por las grietas y poros. Además, con la provisión de afluentes como ríos, arroyuelos, lagos, estanques y acequias. Esta agua se ubica debajo del nivel freático el mismo que se encuentra saturando totalmente poros y/o fracturas en el terreno resultando grandes volúmenes de almacenamiento, aspectos característicos del agua subterránea (Caraballo & Montaña, 2012).

El sistema de agua subterránea de un área obedece a varios factores, entre los cuales están la geología general, el grado de toxicidad química, erosión de varios tipos de rocas, calidad del agua de recarga e insumos de fuentes distintas a la interacción agua-roca resultando en una calidad de agua subterránea compleja. Además de las fuentes naturales, su interacción con la atmósfera, las rocas y actividades humanas como; industrial, eliminación de residuos, aguas residuales, fertilizantes, pesticidas, que aportan con los componentes químicos al agua (Saba et al., 2015).

Agua subterránea, comprende aquella que moja los separados del suelo subterráneo, el suelo funciona como una “esponja” en presencia del agua subterránea inundando las zonas entre el suelo y las rocas. Con un movimiento lento por ciclo o año. El acuífero se constituye por; manto de arena, pedazos de piedra o roca porosa con bastante líquido que suministre lo necesario.

El agua subterránea se considera como un tesoro ya que el 90 % de los 1.8 millones de habitantes de Nuevo México se abastecen de agua subterránea,

como única fuente asequible de agua potable en numerosas áreas del estado. Las propiedades del agua tienen relación con las sustancias que tiene, aparte del H₂O en sí, aunque como contaminante del agua se considera a cualquier elemento que produzca una alteración en los caracteres físicos, químicos, biológicos o radiológicos del líquido vital (Mcquillan et al., 2002)

Un porcentaje significativo de aguas superficiales se originan en aquellas aguas denominadas subterráneas, las cuales proceden de las recargas que efectúan las aguas originadas por las precipitaciones, después que efectuar su recorrido por los acuíferos, se depositan en los ríos o en superficies de terrenos (López et al., 2009).

Los acuíferos en movimiento al agua subterránea, generan desde las zonas de recarga a las zonas de descarga, a una velocidad desde m/año a cientos de m/día, con intervalos largos de tiempo, alcanzándose volúmenes de almacenamiento de agua importantes, los cuales se manifiestan en forma natural a través de manantiales, fuentes termales, entre otras, las cuales se extraen de forma artificial mediante la construcción de pozos, según el tipo de roca donde se produce la circulación de las aguas subterráneas, así como el tiempo de retención en el subsuelo (Momiy et al., 2017).

La valoración global del recurso hídrico o agua subterránea puede comprenderse al prestar atención a las estadísticas, que muestran que el 75% del planeta es agua, del que el 97.5% está en los océanos. El resto o 2.5% de agua fresca, no es disponible para el consumo humano más del 70% ya que está como: nieve, glaciares, o hielo, el 0.3% se encuentra localizado en los lagos, ríos, humedad del suelo y un 29.7% concierne a agua llamada subterránea, la cual se considera como la mayor reserva de agua dulce aprovechable en el planeta (Figura 2), constituyen un 95% del total de aguas dulces en los diferentes continentes e islas, siendo fundamentales en conservar el caudal base de los ríos y humedad de suelo (Santos, 2014).



Figura 2. Distribución y consumo en el mundo del agua potable.
Fuente: Santos (2014).

2.3.2.1. Los contaminantes presentes en el agua subterránea

El agua subterránea tiende a ser dulce (es decir, de muy baja salinidad) y potable (puede ser bebida sin riesgo). Sin embargo, en ocasiones las capas freáticas son demasiado ricas en sales disueltas como para ser consumida, y eso mismo puede resultar inconveniente también para otros usos determinados. La

circulación subterránea del agua favorece su depuración en relación con las partículas y microorganismos.

La contaminación del agua subterránea en zonas costeras se produce por intrusiones del agua de mar, cuando la extracción es alta, generándose una contaminación en los acuíferos de aguas dulces, afectación que puede solventarse mediante el diseño apropiado de ubicación de pozos, así como realizando excavación de otros pozos que contribuyan al mantenimiento del agua salada alejadas del acuífero de agua dulce (Agua Subterránea, 2013).

El Agua subterránea, está considerada toda agua del subsuelo, de manera específica aquella que se localiza en la zona de saturación. La contaminación de ésta comprende cualquier variación de sus propiedades físicas, químicas o biológicas, en concentraciones que no le permiten ser apta en el uso esperado, o pueda ocasionar un resultado adverso al ambiente acuático, seres humanos, sectores; agropecuario, industrial, comercial, recreativo, y/o al medio ambiente en general (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Las aguas residuales procedentes de centros urbanos se integran a los depósitos sépticos o lagunas de oxidación. Tal forma, después de una suave depuración, se esparce a la superficie, con la finalidad de lograr un aprovechamiento de la capacidad de filtración del suelo, llamado filtro verde, aunque el lodo remanente representa un segundo problema (Sanchez, 2017).

Yucatán es un estado de naturaleza kárstica y el agua subterránea es la única forma de surtirse, siendo vulnerable a contaminarse. El uso de la periferia es; habitacional y agropecuario, el uso no vigilado de agroquímicos junto a la mala gestión de los desechos provoca la contaminación del agua subterránea, el trabajo corresponde a un diagnóstico sobre la calidad de agua de pozos donde se extrae para obtener agua potable se evaluó calidad química y bacteriológica, en los muestreos hechos se colectaron de 106 municipios. Los resultados demuestran que el agua presenta calidad bacteriológica que se clasificada como muy contaminada y peligrosa, en las categorizaciones del agua subterránea

están según parámetros químicos, los cuales excedieron los límites permisibles por la norma del país, para el caso de cloruros, nitratos, dureza total, sodio y cadmio, se presentó una calidad buena. De los 106 sistemas con 22 parámetros analizados, cinco excedieron el límite máximo permisible, para no excederse dieron la calidad del agua de la calidad química del agua subterránea es aceptable para los 106 municipios de los LMP por la Norma del país; aunque, la calidad bacteriológica del agua es no aceptable (Pacheco et al., 2004).

2.3.2.2. La contaminación por metales pesados.

La contaminación por metales pesados es un problema ambiental muy extendido porque los metales pesados no son biodegradables y pueden presentar una acumulación en el cuerpo de las personas y los animales. La mayoría de los metales pesados son extremadamente tóxicos, incluso a bajas concentraciones, dependiendo de la solubilidad de los compuestos de metales pesados en el agua. Por lo tanto, se requiere el desarrollo de tecnologías de remediación rentables y amigables con el medio ambiente para el agua, los sedimentos y los suelos contaminados con metales pesados (Park & Chon, 2016).

La corteza terrestre está compuesta de varios elementos químicos, metales que, desde tiempos remotos, son de gran importancia en el desarrollo y avance para las civilizaciones. Considerando la contaminación ambiental, los metales se pueden clasificar en metales esenciales para la vida, muy tóxicos y relativamente accesibles y tóxicos no disponibles. La exposición excesiva a estos últimos, donde se encuentran Hg, Cd y Pb, que pueden provocar efectos negativos al organismo humano.

Además, diversos elementos metálicos constituyen micronutrientes necesarios en el desarrollo de organismos vivos, y su deficiencia provoca diversas enfermedades, entre las que se encuentran, la anemia, generada por la ingestión de una cantidad insuficiente de hierro. Por otro lado, algunos metales que se presentan en pequeñas cantidades son indispensables para el buen estado de

salud, sin embargo, pueden ser tóxicos si se ingieren en grandes cantidades (Lazo, 2014).

En relación con el Fe y Mn existe información que indica que se producen procesos de bioremediación que contribuyen a remover sales de As. Según Fernández (2002) en Camboya ($90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) existe una planta cuya agua cruda tiene 10 mg L^{-1} de Fe, 1 mg L^{-1} de Mn, 0.30 mg L^{-1} de As y 6.5 de pH y luego de una filtración y aeración rápida, el agua filtrada alcanzó tiene 0.1 mg L^{-1} de Fe, 0.3 mg L^{-1} de Mn y 5 g.L^{-1} de As (Vidoni et al, 2010).

En estudios realizados por (Marcovecchio & Freije, 2004; Bracho et al., 2016). En relación con metales pesados presentes en aguas del lago de Maracaibo, se alcanzaron valores de Cr, Fe, Ba, B, Cd, Pb y Zn en todas las muestras en superficie y fondo, menores que los niveles permisibles por el Decreto 883.

Al estudiar la contaminación por metales pesados en aguas subterráneas alrededor de un polígono industrial frente a zonas residenciales en Coimbatore, India; muestra los niveles de mercurio, arsénico y cadmio de cuatro pozos tubulares de cuatro casas ubicadas cerca del grupo industrial de Kurichi. Todas las muestras contenían metales pesados menor al límite de detección ($<0.0010 \text{ mg/litro}$).

Así mismo, se muestra los niveles de estos metales en áreas no industriales como Singanallur, Saibaba Colony, Gandhipuram y Selvapuram de Coimbatore. Encontramos una presencia alarmante de arsénico en Singanallur, Gandhipuram y Selvapuram y contaminación por cadmio en Singanallur (Mohankumar et al., 2016).

“Para purificar el agua contaminada se necesita agregar ciertos compuestos químicos sintéticos, en los humedales artificiales subterráneos son útiles en el tratamiento secundario de aguas residuales en zonas con aguas pluviales, la mayor parte del flujo está en condiciones anaeróbicas con lo que la nitrificación está limitada, en zonas rurales utilizan fosas sépticas para descontaminar las aguas fecales ya que no hay instalaciones de alcantarillado, los hacen de

cemento para cada casa tiene su fosa, donde los sólidos se sedimentan en el tanque la grasa y el aceite van hacia la parte superior de donde siempre se eliminan, las bacterias del agua residual se alimentan de lodo del fondo lo que hace que se licúe el residuo, está agua purificada de alguna manera fluye fuera del tanque hacia el desagüe subterráneo donde tiene lugar una descontaminación adicional el agua subterránea que se encuentra por debajo de una fosa séptica puede contaminarse fácilmente por nitratos” (Baird & Cann, 2014).

Cuando el cadmio aparece en el agua puede ser a causa de descargas de la industria y desechos de la actividad minera. Químicamente es similar al zinc y a menudo están asociados en procesos geoquímicos y un estado de oxidación de +2. Los valores hallados en agua subterránea se clasifican: primero, concentraciones menores a 0.02 mg/l, correspondiendo al límite de detección que puede cumplir o no con la Norma NOM (1994) que es de 0.005 mg/l; y segundo, los valores de 0.021 y 0.062 mg/l, los mismos que exceden el límite permisible en 72% de muestras analizadas (Baird & Cann, 2014).

La exposición al manganeso causa neurotoxicidad bajos niveles de hemoglobina y acumulación gastrointestinal. Sin embargo, las actividades humanas también son responsables de gran parte de la contaminación de manganeso en el agua en algunas áreas (Fadel et al., 2019).

El proceso de remoción biológica de Fe y Mn es muy divulgado a escala mundial, radica en dos etapas de filtración en arena, ajuste de pH y aeración intermedia (Czekalla et al., 1985; Gislette & Mouchet, 1997; Mouchet, 1992), o una filtración muy lenta en arena con un pre-tratamiento de aeración y/o filtro de contacto (Hatva, 1988). Según Hedbreg y Wahlberg (1998) se estableció un método ventajoso frente a los métodos físico-químicos convencionales: no usan productos químicos, pueden operar a gran velocidad de filtración, utiliza agua cruda para el lavado, por ello, tiene bajos costos de instalación, operación y mantenimiento.

El BioCIS-UNR® desarrollado por el CIS (con patente y registro de marca), para la remoción de Fe y Mn en las aguas subterráneas, dicho método fue probado en un pilotaje y aplicado a escala real, ya que se basa en la aeración, prefiltración ascendente y filtración rápida, mediante el uso de bacterias del Fe que aceleran la oxidación y precipitación del Fe y Mn. Se obtuvo una eficiencia mayor al 90% en el agua con condiciones naturales, y sin la aplicación de químicos (Ingallinella & Sanguinetti, 2001; Pacini et al., 2004; Vidoni et al., 2001; Pacini, 2006).

2.3.2.3. Actividades agrícolas

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010) la demanda del agua en Colombia es instaurada especialmente en relacionados a actividades: agrícola, doméstica, industrial, pecuario y servicios; la más alta proporción recae al agrícola con 54%, sigue con un 29% el doméstico y un 13% el industrial, en pequeña cantidad el pecuario y en servicios con un 3% (Santos Calderón, 2014).

Según Solano et al. (2019), en la zona de Caña Quemada adyacente al cantón El Guabo, determinó el caudal para poscosecha de banano, siendo el tiempo que transcurre el proceso desde la captación de agua corrida para llenado de tinas y lavado de los racimos en minutos. Cuya fórmula utilizada fue: Área de la base x altura = Volumen, multiplicándose los litros de las tinas llenas, obteniendo el caudal de la bomba utilizada.

Además, que la poscosecha de banano de exportación consumió en fincas pequeñas (11,34 l kg⁻¹) y medianas (11,97 l kg⁻¹) muestra diferencias altamente significativas (sig.=0,000) con el gasto verificado en predios grandes (5,78 l kg⁻¹), y zonas adyacentes el 51% de predios muestran el consumo de agua entre 8 y 12,22 l kg⁻¹ de banano procesado (Solano Pineda et al., 2019).

Para el caso de caudales se computa con la fórmula: $Q=V/t$, donde Q/caudal, V/volumen y t/tiempo, regularmente el volumen es en litros y el tiempo en segundos. En la zona de El Guabo, no hay datos relevantes para metales pesados en suelos, tampoco en aguas subterráneas, siendo necesario realizar investigaciones para determinar los caudales y las fuentes de contaminación.

2.3.2.4. Contaminación del Agua Subterránea por Actividades Industriales y Mineras

La diversidad de productos contaminantes en las minas se produce por labores de tratamiento de los minerales o por infiltración realizada por la lluvia. Vale atención especial los derivados de petróleo y las actividades nucleares, aunque presentan unas características diferentes. Al mismo tiempo que de los movimientos mineros propios, se producen grandes cantidades de roca, de la cual ya se extrajo el mineral recuperable, los cuales forman residuos de baja actividad (Montolío et al., 1979).

Para la investigación de las aguas subterráneas del aluvial del río Moa, se emplearon muestras del líquido superficiales y subterráneas, así como “agua del vertido de residuos, agua de poros de los residuos y de los residuos generados por el proceso metalúrgico. En las aguas subterráneas del acuífero aluvial, se han detectado concentraciones elevadas de níquel, cromo, manganeso, hierro y sulfatos. La causa de la contaminación de las aguas subterráneas se debe a la recarga inducida por las aguas que lixivian los residuos mineros almacenados en presas de colas” (Rodríguez et al , 2016).

2.3.3. Usuarios del Agua Subterránea

2.3.3.1. Consumo Humano

“El derecho humano al agua, declara el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, otorga el derecho a todos al agua

suficiente, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para uso personal y doméstico. Estos cinco atributos constituyen las bases para la seguridad del agua. Para unos 1.100 millones de personas, el agua suficiente, segura, aceptable, accesible y asequible para la vida es una esperanza de futuro, no una realidad del presente”.

Además, la obligación de los gobiernos es la de trabajar por la completa realización del derecho al acceso a agua limpia y asequible “que impliquen una amplia serie de desafíos técnicos, institucionales y financieros. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio proporcionan una serie de metas para ampliar la cobertura. Sin embargo, los planes nacionales de agua deberían incluir además objetivos explícitos de igualdad. Un punto de partida podría ser el de alcanzar la meta del Objetivo de Desarrollo del Milenio de reducir a la mitad el promedio de personas sin acceso a agua limpia con una meta de igualdad de reducir a la mitad para el 2010 la brecha en el suministro de agua entre la población con mayores recursos y el 20% más pobre o entre zonas urbanas y rurales. La meta de igualdad puede adoptarse aún en países que están en camino para los objetivos del 2015”.

“Las políticas específicas para lograr el derecho humano al agua variarán entre países., del análisis de este capítulo surgen algunas soluciones generales:

- *Legislar para que el agua sea un derecho humano.* El poseer un derecho constitucional para acceder al agua, así como, la fijación de los precios y el control de los acuerdos para ampliar progresivamente el derecho a un mínimo básico de 20 litros de agua para cada ciudadano constituyen un punto de partida.
- *Ubicar el agua en el centro de las estrategias de reducción de la pobreza y planificación presupuestaria.* Poseer un plan coherente de agua constituye el segundo paso, requerimiento para un progreso sostenible. Muy a menudo, los planes de agua audaces sufren del síndrome metas sin finanzas.

- *Ampliar la inversión de apoyo la población pobre.* Las brechas de financiación más grandes están en zonas rurales y los asentamientos urbanos informales, a través del suministro de pozos y pozos de sondeo y de las zonas de barrios pobres urbanos a través del suministro de fuentes de agua.
- *Ampliar las tarifas mínimas.* Las necesidades básicas mínimas de agua para todos los hogares, sin cargo para los más pobres, debería construirse sobre estrategias para lograr acceso al agua para todos.
- *Reconsiderar y rediseñar subsidios transversales.* Los subsidios transversales para la población pobre. Muy a menudo, proporcionan beneficios financieros a los que no son pobres” (Kofi A. Annan, 2006).

2.3.4. Calidad físico química de aguas subterráneas

2.3.4.1. Características químicas

El análisis de calidad de aguas es un tema importante en los estudios desarrollados para el tipo de aguas subterráneas. La calidad de aguas subterráneas es igualmente importante para su calidad debido a la idoneidad del agua para varios propósitos. Por lo tanto, para salvaguardar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos de agua subterránea, la calidad del agua debe ser monitoreada continuamente

Anim et al. (2019) evaluaron el nivel exacto de parámetros físico. La calidad de aguas subterráneas en el área de estudio está influenciada por minerales degradados por silicatos. Excepto PI, todos los parámetros químicos individuales y pH, CE, TDS, RSBC, MAR, Mg: Ca y Na: Ca del agua subterránea se satisfacen como agua de riego.

Jalili et al. (2018) establecen que la geología del área y las propiedades del acuífero determinan el agua subterránea calidad, y está muy influenciada por muchos factores, incluidos los naturales y actividades antropogénicas, así mismo, la calidad de aguas subterráneas en una región es una función de factores físicos y químicos, parámetros que están fuertemente influenciados por procesos naturales como la química del agua en el área recargada, mezcla de agua, agua subterránea recarga, descarga y recarga del acuífero, trayectoria del flujo de agua, interacción entre minerales de roca acuífera y agua, proceso de oxidación-reducción, tiempo de residencia del agua, intercambio iónico, condiciones climáticas y geológicas (Soleimani et al., 2018).

Badeenezhad et al. (2020) establecen que la extracción extensiva de agua para satisfacer las necesidades domésticas, industriales y agrícolas podría afectar en gran medida las características del acuífero y composición de la calidad del agua Masocha et al. (2019) plantean que verificar la calidad del agua subterránea es de alta prioridad para asegurar la salud. Establecer el índice de calidad del agua (WQI), su correlación con los parámetros de calidad, señalaron fluctuación de los niveles con parámetros fisicoquímicos del agua subterránea según a pozos, todos los pozos muestran buenos índices de calidad del agua de riego.

Narsimha & Jianhua (2019) evaluaron la calidad del agua subterránea utilizando una técnica de sistema de información geográfica (SIG), determinado el contenido de cationes calcio, magnesio, sodio, potasio; y se analizaron aniones tales como bicarbonato, carbonato, cloruro, nitrato, sulfato y fluoruro usando procedimientos estándar. Las concentraciones de nitrato variaron de 4 a 440 mg/L, con un promedio de 73 mg/L. Se obtuvo un 48% de las muestras de agua subterránea mostraron concentraciones de nitrato superiores al límite máximo permitido recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las altas concentraciones de fluoruro en aproximadamente 57% de muestras excedieron de 1.5 mg/L como límite máximo permisible; correlacionándose con fuente geogénica, es decir, interacciones entre rocas y agua con minerales que

contienen flúor, presentes en los granitos de la región de estudio. La interpretación de la química usando el diagrama de Piper indicó que Ca^{2+} , Mg^{2+} Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ HCO_3^- y Ca^{2+} , HCO_3^- fueron los tipos de aguas más predominantes en la región de estudio, revelando que la mayoría de las muestras pertenecían a la categoría de C2S2 y C2S3, adecuada para fines de riego.

Narsimha & Jianhua (2019) realizaron estudios de la hidrogeoquímicas, para estimar la calidad del agua subterránea para su idoneidad para fines domésticos y agrícolas y se analizaron en busca de varios iones, a saber, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- y F^- para evaluar la química del agua con relación de absorción de sodio, % de Na, carbonato de sodio residual, peligro de magnesio. Las concentraciones de nitrato y fluoruro estaban por encima del límite máximo permitido, mientras que el calcio, sodio, potasio y cloruro se encontraron por debajo de los límites deseables en la mayoría de las muestras de agua subterránea.

Embaby & Redwan (2019) investigaron las principales características hidrogeoquímicas de la composición de oligoelementos, sus fuentes y su vulnerabilidad en las aguas subterráneas a la población humana. Se recolectaron muestras de agua subterránea de perforaciones y pozos excavados a mano y se analizaron para detectar Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Al, As, B, Fe, Mn, Cd, Pb, Rb, Sb, Th, U, V, Sr y Zn usando espectrometría de masas de plasma. Las concentraciones medias de oligoelementos superan los valores de referencia de todas las organizaciones, excepto en algunos pozos para Zn, Cu y Co. Los oligoelementos catiónicos disminuyeron en el orden de $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Al} > \text{V} > \text{Ni} > \text{Rb} > \text{Sr} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{U} > \text{Cu} > \text{Th} > \text{Sb} > \text{Hg}$. Los oxianiones As (promedio de 15,48 mg/L) y B (promedio de 1,24 mg/L) mostraron concentraciones muy altas y más altas que las concentraciones promedio de la OMS en el agua, lo que sugiere una posible toxicidad adversa para todos los organismos acuáticos.

Tanvir et al. (2017) analizaron las características hidrogeoquímicas de las aguas subterráneas de diferentes tipos de agua para determinar el agua de riego

adecuada. Los parámetros estudiados incluyen pH, CE, TDS, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cl^- , Br^- , NO_3^- y SO_4^{2-} junto con la relación de adsorción de sodio (SAR), porcentaje de sodio soluble (SSP), bicarbonato de sodio residual (RSBC), índice de permeabilidad (PI), índice de adsorción de magnesio (MAR), índice de Kelley (KR), $Mg: Ca$ y $Na: Ca$. Las tendencias medias de cationes y aniones del área de estudio son $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Fe^{2+}$ y $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ donde los minerales erosionados por silicatos influyen en la calidad de aguas subterráneas en el área de estudio.

La corriente del acuífero subterráneo sería medio de transporte de contaminantes desde los vertidos, que pueden afectar la calidad de aguas de pozos y manantiales, e inclusive pueden contaminar fuentes de aguas superficiales en casos graves logran hacer inutilizables el recurso hídrico para uso urbano, a más de deterioros ambientales y ecológicos.

Un ejemplo de la demanda de agua subterránea sucede en Plana de Castellón (España), donde la zona urbana e industrial representa 100 % y la agrícola el 70; aunque las concentraciones de Cu, Pb, Cd, Cr y Zn en estas aguas subterráneas son consideradas como sustancias no deseables para el agua de consumo público (Escrig & Morell, 1996).

Por otra parte, en varias regiones de Colombia son habituales los reportes de presencia de metales pesados agrupados a la industria, agricultura y minería así: Mercurio en agua de; quebradas, lagunas de Meta, Boyacá y Antioquia. Arsénico en cultivos hortícolas y las legumbres de Nariño, varios de los vegetales y el agua contaminada con Pb y As en Chocó, utilizaron cientos de toneladas de mercurio y cianuro utilizadas en la minería, para extracción de oro en la cuenca del Cauca y unas 500 minas en el país.

“Otras naciones reportan metales pesados en peces y camarones en Indonesia, México, Chile y Japón, cerdo con plomo procedente de Australia, salmón cuyos niveles peligrosos de plomo y cadmio en Noruega y Rusia advierte de materias primas para fabricar alimentos con presencia de zinc, provenientes de China. Además, estudios informan que poseemos de 400 a 1.000 veces más plomo en

huesos que hace 400 años. El plomo tiene graves efectos en diferentes órganos y en el cerebro afecta el desarrollo y capacidad mental de los niños” (Londoño et al., 2016).

Los acuíferos contaminados con arsénico, pueden ser provocados no solo por actividades humanas, además por interacción agua-roca. Las siguientes especies químicas constituyen las más importantes en aguas naturales son: H_3AsO_3 , HAsO_4^{2-} y H_2AsO_4^- altamente estables y solubles. Los arsenitos constituyen especies tóxicas presentes en los ambientes reductores y los arseniatos en ambientes oxidantes.

Además, “el arsénico conocido como rey de los venenos, utilizado; para matar lentamente, en insecticidas (Arseniato de plomo y calcio), fungicidas, herbicidas, defoliantes, fabricación de vidrio, gases venenosos militares (lewisita y adamsita), pigmento para pintura. (disulfuro de arsénico). Hasta introducir la penicilina el arsénico orgánico trivalente: Neosalvarsán, era el tratamiento de sífilis, y el licor de Fowler (arseniato de hierro y potasio), para psoriasis”. El mismo autor indica que conocer los valores de arsénico en aguas utilizadas para el consumo humano es de importancia vital para las comunidades sociales. Actualmente éste tema es considerado una problemática a nivel mundial por los efectos toxicológicos sobre la salud (Bocanegra et al., 2002).

Los ambientes acuáticos y terrestres, y la atmósfera, son los receptores de descargas contaminantes como solutos o partículas, llegando alcanzar concentraciones elevadas, especialmente cerca del sitio donde son descargados, (Wen et al., 2019; Singaraja et al., 2015; Varghese & Jaya (2014), “Sus efectos varían en los ecosistemas siendo de transcendencia económica así como de salud pública, los mecanismos moleculares que establecen la toxicidad de los metales pesados están: desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales, modificación de la conformación activa de biomoléculas, especial enzimas y polinucleótidos, ruptura de la integridad de biomoléculas y modificación de otros agentes biológicamente activos” (Selvam et al., 2017).

2.3.4.2. Características físicas del agua

Según Caraballo & Montaña (2012) algunas de las propiedades físicas del agua y la conversión de un estado a otro, así como el ciclo hidrológico con sus correspondientes propiedades (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estados y propiedades físicas del agua.

ESTADOS FÍSICOS DEL AGUA EN EL CICLO HIDROLÓGICO		
Agua líquida	Agua sólida	Agua gaseosa
Precipitación	Precipitación (nieve)	Evaporación
Escorrentamiento superficial	Almacenamiento	Evapotranspiración
Escorrentamiento subterráneo.	Hielo	
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA, TRANSICIÓN DE UN ESTADO A OTROS		
Sólido, líquido →	Gaseoso	= evaporación
Gaseoso →	líquido, sólido	= condensación
Líquido →	sólido	= congelación
Sólido →	líquido	= fusión
Punto de ebullición	100	°C
Punto de congelación	0	°C en presión atmosférica
Punto de densidad más alta	4	°C
Evaporación y condensación	Hay en todas Temperaturas del agua	Depende de la humedad relativa del aire
Evaporación y fusión	consumen	energía
Condensación y congelación	liberan	energía

Fuente: Caraballo & Montaña (2012).

Algunas variables que especifican la organización química y físico-química en aguas se trastornan velozmente cuando se extraen de su medio subterráneo. La acelerada evolución se debe a diferentes causas como: Variación de temperatura. Habitualmente una muestra incrementa su temperatura durante el

traslado y almacenamiento lo que apresuran las reacciones químicas, el metabolismo bacteriano y la desgasificación. Aireación o desgasificación al entrar en contacto con la atmósfera, inclusive alguna pequeña cámara con aire que puede existir en la superficie del recipiente de traslado (Moreno et al., 2016).

Con la acción de luz solar beneficia el crecimiento de algas y degradación de sustancias orgánicas fotolábiles. Contacto con la vasija de transporte, la cual puede ceder solutos a la muestra de agua como adsorberlos. Alteración de la acción microbiológica. Ciertos parámetros sensibles se toman in situ con bastante precisión, conviene recurrir a esta medida de preferencia a los resultados del laboratorio. De manera genérica se recomienda: Determinar necesariamente en todo muestreo: Temperatura, pH y C.E. (Moreno et al., 2016).

Otras determinaciones recomendadas realizar de modo sistemático son: – Alcalinidad. – Color. – Turbidez. – Potencial redox. El valor de potencial redox solo es válido si se ha tomado en campo con instrumental de precisión correctamente calibrado. s Determinaciones que pueden ser realizadas in situ de forma opcional dependiendo del objetivo del muestreo: – Compuestos lábiles de nitrógeno–Oxígeno disuelto. El principal problema que tiene la realización de determinaciones en campo es la dificultad de mantener una correcta calibración y limpieza de los instrumentos. Evidentemente de nada sirve el dato de un parámetro medido en el preciso momento que se toma la muestra si no se siguen escrupulosamente los protocolos de mantenimiento y calibración del instrumental (Moreno et al., 2016).

2.3.4.3. Características biológicas del agua subterránea

Dentro del laboratorio de análisis bacteriológicos las muestras se deberán tomar con más control y eficiencia al momento de aplicar el “protocolo de muestreo de laboratorio de tal manera disminuir posibles contaminaciones externas. Para esto se deberá utilizar envases esterilizados, refrigerar la muestra, y llevarla en el menor tiempo posible al laboratorio seleccionado. Ciertos laboratorios

proporcionan los envases ya estériles, de lo contrario se deberá adquirir en farmacias o droguerías y evitar sacarlo de la funda de nylon que lo contiene hasta el momento de la toma de la muestra” (Caraballo Collazo & Montaña Xavier, 2012).

2.3.5. Extracción de las aguas subterráneas

“Los sistemas más antiguos de utilización del agua subterránea han sido el aprovechamiento directo de los manantiales o fuentes, y las obras de captación efectuadas a pico y pala (principalmente las excavaciones de pozos y la construcción de galerías horizontales). En el primer caso, y por lo general, se trata de obras de planta circular y pocos metros de profundidad, con un diámetro de uno a dos metros. El equipado consistía en una polea o sistema de impulsión por tracción animal (ejemplo de ello son las norias que salpicaban el paisaje de las llanuras de la Mancha), o eólico (molinos del entorno de Palma de Mallorca). En la actualidad, esta forma manual de abrir pozos ha sido sustituida por modernas máquinas perforadoras” (López et al., 2009).

2.3.6. Metales pesados en aguas subterráneas

Han et al. (2020) indican que la identificación precisa de las fuentes de contaminación del agua subterránea es la clave para la remediación y la gestión del sitio, que se relaciona directamente con el costo y el efecto de la remediación durante períodos posteriores, de igual forma el estudio de contaminación en áreas pequeñas mediante el monitoreo de aguas subterráneas es difícil y actualmente es un tema candente en el campo de la gestión de aguas subterráneas los cuales deben involucrar la ubicación de la fuente de contaminación, el momento de la liberación de la contaminación y la intensidad de la liberación de contaminación.

Anim-Gyampo et al. (2019) evaluaron la idoneidad de las aguas subterráneas para el consumo y el riego, y su posible peligro para las personas. Se tomaron muestras en 26 pozos y se determinaron sus componentes fisicoquímicos y de metales pesados para evaluar la potabilidad del agua subterránea a partir de cálculos del índice de calidad del agua, estimó el cociente de peligrosidad, el índice de peligrosidad y el riesgo de cáncer de los metales pesados analizados para evaluar su posible riesgo carcinogénico para la salud humana. Los resultados mostraron que cuatro y nueve muestras tenían concentraciones de As, Zn y Pb que excedían los límites recomendados por la OMS de 0,001 mg/L, 0,006 mg/L y 0,01 mg/L. Los niveles de fluoruro en cuatro muestras excedieron el límite máximo de la OMS de 1,5 mg/L mientras que dos muestras estuvieron por debajo del límite mínimo de 0,5 mg/L. Los índices de calidad del agua revelaron que alrededor del 80% de las aguas subterráneas eran potables.

En la investigación desarrollada por Bidhuri & Khan (2020) se evaluó la calidad del agua subterránea de los distritos central y sureste de NCT de Delhi, aplicando el método del índice aritmético ponderado de la calidad de aguas para analizar la calidad del agua subterránea. Se aplicó un modelo de interpolación espacial para representar el mapa de potencialidad de la calidad del agua subterránea del área. Los resultados así obtenidos revelaron que el agua subterránea del área de estudio no es potable ni para beber ni para otros usos domésticos sin el tratamiento adecuado porque la mayor parte del área de estudio exhibe un valor de WQI muy alto.

Jianmin et al. (2015) evaluaron el riesgo para la salud del arsénico y el flúor en las aguas subterráneas indicando que existía un gran riesgo carcinogénico de arsénico en el agua freática cuaternaria, el agua confinada cuaternaria y el agua confinada terciaria, y los valores de riesgo más probables fueron $20,94 \times 10^{-5}$, $55,22 \times 10^{-5}$ y $24,02 \times 10^{-5}$ a 10^{-1} , respectivamente; todos estos valores son superiores a $5,0 \times 10^{-5}$ a 10^{-1} , el valor máximo aceptable recomendado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). Los valores de

riesgo más probables de flúor en agua freática cuaternaria, agua confinada cuaternaria y agua confinada terciaria fueron 3.64×10^{-8} , 2.48×10^{-8} y 2.17×10^{-8} , respectivamente, todos los cuales son menores que el valor máximo aceptable recomendado por IARC. Los resultados de la evaluación mostraron las aguas subterráneas en el área de estudio presentaba grandes riesgos para la salud, y los modelos difusos revelan el estado de riesgo para la salud de las sustancias peligrosas en el agua subterránea de manera más científica que los modelos tradicionales

Según Yuan et al. (2020) el cambio de uso de la tierra causado por actividades antropogénicas esta correlacionado con el aumentó por contaminación de metales pesados, específicamente en la variación temporal y espacial del fluoruro y el arsénico del agua subterránea, incrementando el riesgo para la salud en los seres humanos.

Zhu et al. (2019) con la utilización del método de geodetector del sistema de información geográfica en el monitoreo de aguas subterráneas, confirmaron que la vulnerabilidad a la contaminación de este grupo de aguas era mayor en las zonas kársticas formadas por enteramente de roca calcárea o caliza que en las no kársticas. Así también la profundidad del nivel freático es el parámetro más sensible que mostró un impacto significativo en las concentraciones de pesticidas en aguas subterráneas. La evaluación de la vulnerabilidad de los diferentes usos de la tierra ayuda a los responsables de la toma de decisiones a mejorar la calidad del agua (Srimanti et al., 2020). La distribución de metales pesados en las muestras es del orden $Fe > Pb > Zn > Ni > Cr$. Las concentraciones de Zn y Cr se encontraron por debajo de sus respectivos límites estándar. Sin embargo, el 75% de las muestras totales están contaminadas con Fe, el 40% están contaminadas con Ni, mientras que el 50% están contaminadas con Pb.

Para Huan et al. (2020) la alerta temprana de contaminación de las aguas subterráneas se ha considerado una herramienta eficaz para la prevención regional de la contaminación de las aguas subterráneas, señalando tecnologías

mediante la aplicación de algunos modelos de receptores múltiples PMF y PCA-APCS-MLR para lograr una identificación y distribución de fuentes confiables, en particular, al proporcionar una mejor evaluación de las fuentes de contaminación de aguas subterráneas, en la identificación de fuentes, distribución de las fuentes, propiedades fisicoquímicas de aguas de receptores y las fuentes de emisión.

La evaluación de la contaminación por metales pesados en las aguas subterráneas es esencial para prevenir los impactos ecológicos peligrosos que la acompañan. En este aspecto, se debe examinar la efectividad de varios enfoques de evaluación de la contaminación de aguas subterráneas HM para determinar su nivel de confiabilidad, señalando que los metales pesados que mayor relevancia a su concentración resultaron ser Cd, Fe y Pb debido a la contaminación antropogénica y natural.

Sudhakar et al. (2020) en investigaciones realizadas sobre la contaminación de agua subterráneas con metales pesados, señalaron que no existe un índice de contaminación por metales pesados estándar para evaluar la contaminación por metales en las fuentes de agua subterránea. Los inconvenientes en el cálculo de estos índices son que toman tiempo, son prolongadas, tediosas, las posibilidades de implicación de errores humanos y tienen discrepancias, lo que conllevado a utilizar modelos de predicción del índice de calidad del aguas basados en el monitoreo primario de parámetros fisicoquímicos, como la red neuronal artificial (ANN), la red neuronal de regresión general (GRNN), la regresión lineal múltiple (MLR), el sistema de inferencia neural difusa adaptativa de múltiples salidas (MANFIS), vector de soporte machine (SVM), reportados por varios investigadores (Ahmed et al., 2018).

Zouheira et al. (2020) establecieron que la predicción precisa y confiable de la calidad del agua subterránea es un componente crítico en la gestión y utilización sostenible de los recursos hídricos, evaluando la idoneidad de agua subterráneas para fines de riego y consumo, según la Organización Mundial de la Salud, mostró un deterioro considerable en la calidad de aguas subterráneas,

donde el 68% de las muestras analizadas fueron consideradas no apta para beber según las directrices de la OMS, indicando que no son directamente útiles para consumo y necesitan un tratamiento previo a su uso.

Ahmed et al. (2018) al evaluar las concentraciones de metales pesados (Cr, Cu, Zn, As, Cd y Pb) en el agua subterráneas con fines de riego, apreciándose niveles altos, excedieron los límites permisibles, excepto las concentraciones de Cd y Pb. Los análisis de correlación y conglomerados de los datos de los cultivos mostraron que el uso de agua de riego, infiere contaminación de los vegetales por metales pesados.

Hossain et al. (2020) en su investigación definieron que el análisis de sensibilidad e incertidumbre indicó que Cd^{2+} , TDS, Cl^- y HCO_3^- eran los parámetros más influyentes, que controlaban la química del agua con una probabilidad del 83,99% de certeza de la calidad del agua en el rango de 0,4 a 0,6. Registrando valores medios de los metales traza se registraron en el orden de $\text{Fe total} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. Señalando la importancia del monitoreo continuo de las fuentes de agua subterráneas, con la finalidad de proporcionar perspectiva para la gestión eficaz de las aguas subterráneas con fines de riego.

Barik & Pattanayak (2019) han evaluado la calidad de aguas subterráneas con fines de riego, indicando que la disponibilidad de agua subterránea adecuada para actividades de riego actualmente no están disponibles en muchos países (Y se amerita evaluación de la idoneidad del riego, que involucre los índices la conductividad eléctrica, Índice de permeabilidad, Relación de adsorción de sodio, % Na o porcentaje de sodio soluble que proporcionan valores cualitativos, que son muy efectivos en el contexto de las aguas subterráneas (Reyes et al., 2016).

Hossain et al. (2020) encontraron en el agua subterránea destinadas a la producción agrícola, concentraciones promedio de metales, por encima de los valores de referencia nacionales e internacionales de la FAO, el contenido de Pb, Co, Ni y Cd se asociaron con riesgos cancerígenos y contaminantes antrópicos

significativamente más altos. El nivel de cadmio se ubicó en un rango de 1.29 a 22.03 con un promedio de 7.88 $\mu\text{g} / \text{L}$, plomo (14,39 -432 $\mu\text{g} / \text{L}$, significaron riesgos considerables para los humanos; recomendando implementación de medidas correctivas inmediatas para garantizar el agua potable, solo el níquel varió de 3,39 a 168,99 $\mu\text{g}/\text{L}$, presentándose muy por debajo del valor de referencia (200 $\mu\text{g} / \text{L}$).

Rezaei et al. (2019) caracterizaron la hidroquímica y la idoneidad de la calidad del agua subterránea con base en concentraciones de metales pesados y parámetros fisicoquímicos, basados en de parámetros hidroquímicos de aguas subterráneas como pH, sólidos totales disueltos (TDS), conductividad eléctrica (CE), temperatura (T), oxidación-reducción (Eh) y oxígeno disuelto (DO), cationes mayores K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , aniones mayores Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y NO_3^- . Se concluyó que la evaporación es el mecanismo que controla la química de las aguas subterráneas debido principalmente al clima árido de la región y también en parte debido a las actividades antropogénicas.

En los estudios de aguas subterráneas de los últimos años se ha prestado una gran atención a la evaluación de contaminación por utilizando el índice de contaminación por metales pesados (HPI), el metal pesado índice de evaluación (HEI), grado de contaminación (Cd) y contaminación por metales pesados modificados (Rajkumar et al., 2012; Chaturvedi et al., 2018) monitoreándose para evaluar la calidad del agua comparando la concentración registrada con los niveles del metal pesado permitido y recomendadas por los estándares de agua.

Owusu et al. (2020) evaluaron los parámetros biológicos y fisicoquímicos, relación de acceso al agua potable, la percepción de la calidad y el conocimiento de las técnicas de tratamiento doméstico. El Cd y el Pb, en general, ligeramente superiores a los límites máximos de la OMS y el SON. Se encontraron bacterias coliformes totales (TC) y *Escherichia coli* en bajo riesgo (FC,> 11-100 ufc/100 ml),

y niveles bajo de Pb y Cd correlacionados con las actividades de exploración y procesamiento de petróleo crudo.

Mohamed et al. (2019) establecieron que las actividades agrícolas presentan un riesgo significativo de contaminación de las aguas subterráneas. De hecho, los fertilizantes y las aguas residuales tratadas que se utilizan para el riego son, en parte, responsables del detrimento de calidad en las aguas subterráneas y superficiales. En algunos casos, el suelo puede proporcionar una barrera protectora contra esta contaminación, pero esto depende de la naturaleza del suelo y del contaminante. Estos resultados significan que los contaminantes que presentan el mayor riesgo de contaminación del agua subterránea cuando son transportados por el agua a través del suelo arenoso se clasifican de la siguiente manera: plomo <níquel <fosfato <nitrato, mientras que, para un suelo arcilloso, la clasificación se vuelve como sigue: fosfatos <plomo <níquel < nitrato.

Los metales pesados se refieren a cualquier elemento metálico el cual tenga relatividad, alta densidad o sean estos tóxicos o venenosos incluso en bajas concentraciones. Generalmente se encuentran como componentes elementales de la corteza terrestre, ya sean estos minerales, sales u otros componentes. Por su alto grado de densidad no pueden ser erradicados fácilmente, por lo que, no cuentan con funciones metabólicas para los organismos vivos (Prieto et al., 2009).

“Los metales pesados están relacionados con el ambiente y el suelo por su carácter tóxico esto se debe a la acumulación o interacción con algunas propiedades específicas, estos se movilizan a través del perfil a la cadena trófica mediante los cuerpos de agua o los cultivos, llegando hasta afectar a la salud humana. En países desarrollados el establecimiento de valores de referencia de estos metales ha permitido el mejoramiento de la planeación y la gestión ambiental del recurso suelo, y se ha convertido en un instrumento de control para las entidades ambientales que ha permitido evaluar el impacto en diferentes actividades agrícolas” (Rueda et al., 2011).

Los metales pesados o trazas se encuentran presentes de manera natural en los suelos, aunque, en los últimos años se ha generado una acumulación antropogénica debido a las actividades industriales, agrícolas y la disposición de los residuos de todo tipo. Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalinotérreos), “aunque en esta definición, encajan también elementos esenciales para las plantas como Fe, Cu, Mn, Zn u otros esenciales para los animales como Co, Cr o Ni” (Mendoza, 2006).

“Los elementos As y Se, se consideran como metaloides, pero por su efecto contaminante se incluyen dentro de los metales pesados” (Miranda et al., 2008).

“La calidad del agua en la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armeria, los altos niveles de concentración de metales pesados en el agua utilizada para el riego representan un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad, por lo que, para el estudio sobre la calidad del agua en la cuenca, se tomaron 40 muestras de agua. Donde se analizaron pH, conductividad eléctrica (CE), aniones, cationes y metales totales y pesados Cd, Hg y Pb”. El anión bicarbonato y el catión de magnesio predominaron en la distribución de la concentración iónica. Los metales pesados fueron determinados mediante la utilización de la metodología recomendada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Asociación Americana de Salud Pública (APHA). Criterios de calidad del agua NOM-001-ECOL-1996, se compararon EPA (1986) y SEDESOL (1989).

Por otra parte, algunos autores señalan el peligro de la contaminación por metales pesados de aguas, es por la acumulación de éstos elementos en los suelos agrícolas (Mancilla Villa et al., 2017; Rezaverdinejad & Rahimi, 2017; Zhong et al., 2015).

Por su toxicidad y particularidad de acumularse en sistemas biológicos, los metales pesados constituyen un riesgo para la salud del ser humano y ecosistemas, se originan en diferentes fuentes a resultado de las actividades antropogénicas: combustibles, pulverizaciones, desechos líquidos y sólidos de procedencia animal y humano, industrias, agroquímicos y fertilizantes, fosfatados en particular, los abonos orgánicos y cohetes manipulados antigranizo.

Además, dichos productos unidos a las aguas residuales consumidas en el riego y la degradación atmosférica, aportan mercurio (Hg), cinc (Zn), cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb) a suelos cultivados, los mismos que serían absorbidos por las plantas. La biodisponibilidad no solo obedece a la textura del suelo, sino además a ciertas particularidades físico-químicas de los suelo como: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y contextos ambientales: temperatura, humedad relativa, y precipitaciones (Martí et al., 2011).

“Los resultados mostraron valores bajos en la concentración de metales pesados en el agua para riego agrícola y uso urbano, no para aguas naturales, ya que el 100% de las muestras tenía niveles por encima de los límites permisibles para Hg y 92,5% para Pb. Cuanto mayor es la concentración presentada con valores de 0,0039 Hg mg L⁻¹ a 0,0203 mg L⁻¹, mientras que los valores más bajos de 0,0007 mg L⁻¹ a 0,0086 mg L⁻¹ fueron para Pb” (Mancilla et al., 2017) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración de Metales Pesados establecida por países de la región.

País	Normativa	Límite máximo permitido mg L ⁻¹							Uso agua	Cultivos
		As	Pb	Cd	Hg	Fe	Mn	Cu		
Chile	Norma de Calidad para Protección de Aguas Continentales Superficiales	0.1	0.001	0.001	0.1	0.3	0.05	1	Riego	Absoluto
Ecuador	Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes	0.1	0.05	0.01	0.001	0.3	0.2	1	Riego	uso agrícola
Honduras	La Norma Técnica Nacional para Agua	0.1	0.1	0.005	0.001	0	0.5	2	Riego	uso agrícola
México	Ley General de Aguas	0.2	0.1	0.05	0.01	0.3	0.05	2	Consumo y Riego	Absoluto
Paraguay	Prevenir la Contaminación Ambiental	0.05	0.03	0.01	0.0002	0	0.0002	0	Riego	Hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano.
Perú	Reglamento de la Calidad de agua para Consumo Humano	0.010	0.010	0.003	0.001	0.3	0.4	1	Consumo Humano	Uso Agrícola
Venezuela	Calidad/ Ambiental de cuerpos de agua	0.05	0.01	0.003	0.001	0.3	0.2	2	Riego	Hortaliza, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos.

Fuente: Adaptado DIGESA (1991). Ministerio de Salud (2011). Reglamento de la Calidad de agua para Consumo Humano, Dirección General de Salud Ambiental. Perú.

Según Barrezueta (2019), el suelo determina en las plantas su capacidad productiva, según sus características físicas y químicas. En el municipio de El Guabo y otros, se investigó los suelos cacaoteros, cuyos resultados no mostraron diferencias significativas ($p\text{-valor} > 0.05$) entre las propiedades físicas. Los niveles de carbono obtenidos en El Guabo fueron de 1.58 %. En general, el nitrógeno fue bajo (0.16 a 0.18 %). Los valores de CE (rango; 0.13 dS/m a 0.21 dS/m), pH (rango de 6.46 a 7.72), CIC (23.40 cmol/kg a 43.86 cmol/kg), potasio (0.31 cmol/kg a 1.86 cmol/kg) y calcio (19.99 cmol/kg a 37.73 cmol/kg). En Santa Rosa, los suelos presentaron concentraciones más altas de cobre (16.6 mg/k) ($p\text{-valor} < 0.05$), significativamente diferente al resto de los municipios.

Para el caso del Cu el mismo autor señala que los promedios obtenidos en El Guabo y Santa Rosa, aunque fueron altos no mostraron diferencias estadísticas.

Investigaciones efectuadas por Villaseñor et al. (2015), evidencian niveles de Cu altos en la zona. Por otro lado, se detectó correlación entre pH ligeramente ácido (pH 6 a 7) y disponibilidad de Zn, para suelos de Santa Rosa y Pasaje, lo que no ocurrió en El Guabo, con suelos ligeramente ácidos, con baja disponibilidad de Zn, existiendo factores adicionales a considerar en esa relación (Barrezueta, 2019).

En estudio de cadmio en suelos el sur de Ecuador que se produce cacao hay mayor acumulación en los primeros 0-15 cm de profundidad del suelo, posiblemente por riego de agua rica en Cd, (Cd total recuperable y Cd extraíble), de acuerdo al método M3 o HCl, y se reduce a mayor profundidad del suelo (Chavez et al., 2015).

Al ser el suelo parte del sistema biofísico, el uso inadecuado del recurso causa

la contaminación, erosión y pérdida de fertilidad. El banano, cultivo típico de la Planicie costera cuya superficie más alta fue los años 50 y 60. Según el censo habían 160.920 ha en producción (INEC 2013), Este cultivo demanda suelos homogéneos, profundos, limosos, ricos en potasio y nitrógeno, con elevada disponibilidad de agua. Siendo de alta producción zonas con 120 y los 150 mm/mes, áreas bajo riego.(Prefectura de los Rios, 2013).

En las áreas bananeras de El Guabo, la influencia que se presenta en la contaminación de los suelos y los acuíferos se debe al uso excesivo de productos químicos (Insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas, fertilizantes, combustibles y plásticos) en el manejo de los sistemas productivos, así como, la utilización de productos químicos en la poscosecha, lo que genera acumulación en el suelo y en el agua.

2.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

El agua de uso agrícola, es aquella que es empleada para el riego de los diferentes cultivos y otras actividades complementarias en organismos competentes. Las aguas servidas tienen prohibido el uso agrícola, a excepción de las aguas que son tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos, como se detalla en el cuadro 4 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Cuadro 4. Criterios de la calidad de agua para uso agrícola.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de Calidad
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásito			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015).

“Otras determinaciones recomendadas de modo sistemático son: Alcalinidad–Color–Turbidez–Potencial redox. El valor de potencial redox solo es válido si se ha tomado en campo con instrumental de precisión correctamente calibrado. Determinaciones que pueden ser realizadas in situ de forma opcional dependiendo del objetivo del muestreo: – Compuestos lábiles de nitrógeno–Oxígeno disuelto. El principal problema que tiene la realización de determinaciones en campo es la dificultad de mantener una correcta calibración y limpieza de los instrumentos. Evidentemente de nada sirve el dato de un parámetro medido en el preciso momento que se toma la muestra si no se siguen escrupulosamente los protocolos de mantenimiento y calibración del instrumental” (Moreno et al., 2016).

El agua es uno de los recursos vitales, esta puede ser destinada para el consumo humano, la agricultura y la ganadería, la calidad del agua de pozo puede variar ampliamente dependiendo de la calidad del agua subterránea que es su fuente (Mohankumar et al., 2016).

Las actividades del ser humano, principalmente industriales, la agricultura y la eliminación de residuos, favorecen las fuentes principales de contaminación del medio ambiente con metales tóxicos y radionúcleos (Kumar, 2018; Haas & Birk, 2017).

La detección y la medición de olores de base orgánica son bastante subjetivas y pueden ser muy caros si se utiliza instrumentación analítica para identificar y cuantificar con precisión la sustancia que produce olor. Esta situación hace que las investigaciones de este indicador utilicen paneles sensoriales para detectar y determinar un "umbral número de olor "(TON) o establecer una categoría para la descripción del contaminante de acuerdo con procedimientos en métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales.

Se ha señalado que las aguas tienden a contener olores de fondo que se describen típicamente como terrosos, mohosos, herbáceos, verdes. vegetación, vegetación pantanosa, en descomposición y a pescado. Los contaminantes que

producen olor con mayor frecuencia que se encuentran en las fuentes de agua superficial, geosmina y 2-metilisoborneol (MIB), generalmente son causadas por floraciones excesivas de cianobacterias y su posterior descomposición, generalmente cuando la temperatura del agua alcanza niveles muy cálidos.

Así mismo se ha indicado que, aunque el agua subterránea generalmente no contiene olores causados por compuestos orgánicos, en muchos casos puede tener el muy desagradable olor a "huevo podrido" causado por el sulfuro de hidrógeno, H_2 , derivados de sulfuros metálicos que reaccionan con agua de pH bajo generando H_2S ; bacterias reductoras de sulfato que asimilan el ion sulfato (SO_4^-) y reducirlo químicamente a H_2S . Las cuales pueden estar presentes en cualquier fuente de agua, produciendo H_2S y otros sulfuros orgánicos incluso en agua potable tratada con cloro. De igual manera se ha señalado que el uso de disolventes industriales y productos químicos y agroquímicos, por lo general, pueden ser introducidos en el agua subterránea o superficial desde el almacenamiento con fugas (WHO, 2011).

En este sentido investigaciones en el área de calidad de agua, ha señalado categorías de olores de las aguas utilizando escala de percepciones olfativas, clasificándolas "en diez categorías mínimas: 5 Fragante o floral 6 Leñoso o resinoso 7 Frutal (no cítrico) 8 Químico 9 Mentolado o refrescante 10 Dulce 11 Quemado o ahumado (como las palomitas de maíz) 12 Cítrico 13 Podrido 14 Acre o rancio, basados en los estándares de la rueda empleada por la American Water Works Association que representa los gustos, olores y sensaciones más importantes" (Figura 3.)

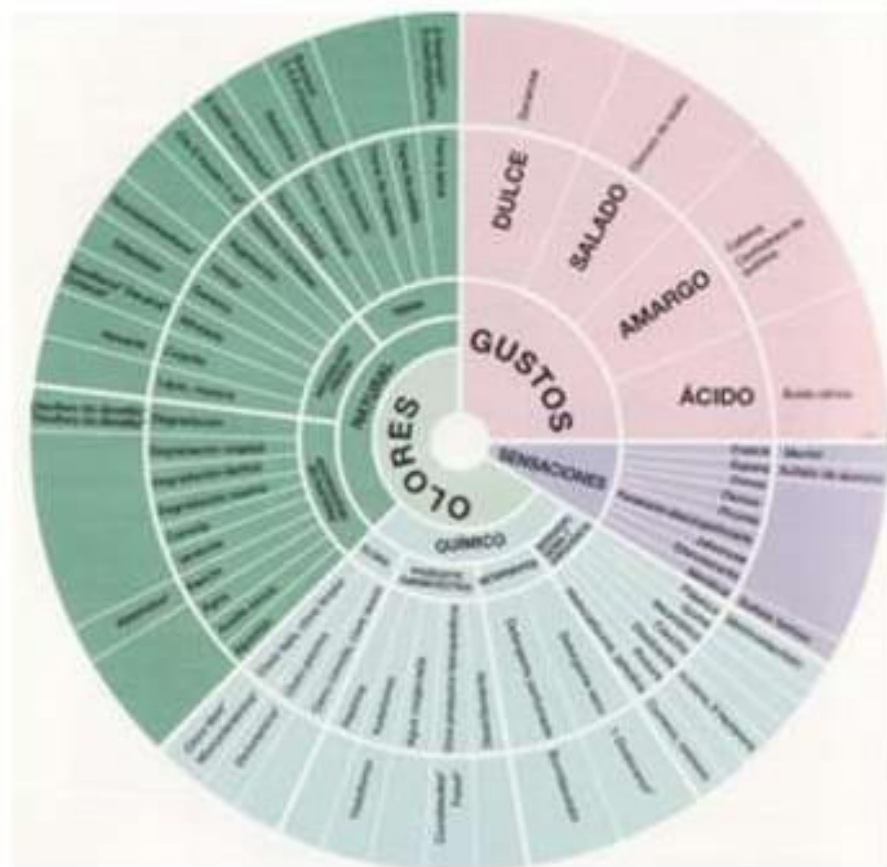


Figura 3. Escala de percepciones olfativas gustos, olores y sensaciones más importantes.

Fuente: American Water Works Association.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación de tipo no experimental fue diseñada mediante su articulación con el método científico, en el cual se realizaron observaciones in situ de parámetros físico, químico y biológico, así como mediciones de valores de los metales pesados en aguas subterráneas en pozos perforados en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo en su condición natural.

Según Hernández Sampieri et al., (2014) “es una investigación cuantitativa, con alcances que resultan de la revisión de la literatura y de la perspectiva del estudio, corresponde a la investigación descriptiva, ya que busca especificar, propiedades, características y rangos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describe tendencias de un grupo o población. Consideran al fenómeno estudiado y sus componentes, evalúan conceptos y definen variables. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. La descripción puede ser más o menos profunda, aunque en cualquier caso se basa en la medición de uno o más atributos del fenómeno de interés”.

Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La presencia de metales pesados en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados, ubicados en la zona baja del cantón El Guabo, provincia de El Oro puede influir en el desarrollo de las actividades productivas.

3.1.2. Hipótesis nula

H_0 : Los niveles de metales pesados en las aguas subterráneas procedente de pozos de la zona baja del cantón El Guabo, no se encuentran dentro los parámetros permisibles en la normativa de calidad de aguas con fines de uso para actividades productivas establecidas en Ecuador.

3.1.3. Hipótesis alternativa

H_1 : Los niveles de metales pesados en las aguas subterráneas procedente de pozos de la zona baja del cantón El Guabo, si se encuentran dentro de los parámetros permisibles en la normativa de calidad de aguas con fines de uso para actividades productivas establecidas en Ecuador.

3.2. Variables

3.2.1. Variable de caracterización

Las variables de caracterización definidas para el desarrollo de la presente investigación son las diferentes parroquias que se encuentran en las diferentes áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo, la misma funciona como criterio de agrupación, a partir de la cual se realizarán comparaciones en función de las variables de estudio o interés.

Cuadro 5. Definición de Variables georreferenciadas y físico-Químicas de las aguas subterráneas.

Mapeo de pozos:	
Ubicación	Situación o lugar en el que se encuentra el pozo en la parroquia seleccionada
Parroquias	división político-territorial de menor rango, que se encuentra circunscrita dentro de la metrópoli o ciudad.
Profundidad	Distancia entre el fondo del pozo y el punto tomado como referencia
Altitud	altitud es la distancia vertical de un punto de la Tierra con respecto al nivel del mar
Usos	Utilización del recurso por el autorizado para ello, así como cualquier otra actividad que tenga repercusiones significativas en el estado de las aguas (1: consumo humano, 2: actividad productiva, 3: empacadora).
Propiedades físico químicas de las aguas subterráneas	
Olor	Emanación volátil de ciertos cuerpos que se percibe a través del sentido del olfato.
Color	Impresión que producen en la retina los rayos de luz reflejados y absorbidos por un cuerpo, según la longitud de onda de estos rayos.
Sabor	Cualidad de una sustancia percibida por las sensaciones químicas detectadas por el gusto.

pH:	El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua
Temperatura	Temperatura magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro.
Oxígeno disuelto	(OD) es la cantidad de mg/L. gaseoso que esta disuelto en el agua
Conductividad eléctrica	capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica expresada en siemens/cm (S/cm) μ S/cm o ppm
Salinidad	contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua

Contenido de metales pesados mg/ml

Los elementos analizados, se realizaron en el Laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala- Ecuador, utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, y las correspondientes lámparas para cada elemento, según la metodología de Cadmio, Plomo, Manganeso, Mercurio, Hierro y Cobre de; "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

Calidad microbiológica UFC/ml

Los análisis Microbiológicos, fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) perteneciente a la Universidad Técnica de Machala, donde se determinaron coliformes totales y coliformes fecales en UFC.

Variables de estudio

Las variables de interés en la presente investigación son las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, así como los metales pesados, las cuales

caracterizan la calidad del recurso acuífero procedente de pozos perforados ubicados en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.

3.3. Operacionalización de Variables

En el Cuadro 5 se muestra la operacionalización de variables desarrollada en la presente investigación.

Cuadro 5. *Relación de las variables indicadoras de estudio y su operatividad.*

Variables	Indicadores	Unidades	Operatividad
Geo categorización Mapeo de los pozos	Ubicación de los pozos Profundidad Altitud Uso del agua	Utm	Sondeos Eléctricos Verticales HANNA ((Facundo Agustín Paganini Gismond, 2019) Castillo, 2019)
		m	
		msnm	
		Escala referencial	
Calidad físico-químicas del agua	Color Olor Sabor	Escala s/u	Escala sensorial Sondeos Eléctricos Verticales HANNA <i>López Hernández et al., 2020</i> <i>Castillo, 2019</i>
		Escala s/u	
		Escala s/u	
	Conductividad eléctrica Turbidez pH	S/cm	
		%	
		Unidad	
Calidad Microbiológica	Coliformes totales Coliformes fecales	UFC	Número más probable-Placa (Malek, Kahoul, & Bouguerra, 2019) <i>Mulamattathil et al., 2016;</i> (Dougna, Gnazou, Kodom, Djaneye-Boundjou, & Bawa, 2014)
		UFC	
Contenido de Metales pesados	Índice de Cadmio (Cd) Índice de Plomo (Pb) Índice de Mercurio (Hg) Índice de Manganeseo (Mn) Índice de	mg /l	Espectrofotometría (Ravindra et al., 2019) (Meng et al., 2020)
		mg /l	
		mg /l	
		mg /l	
		mg /l	
		mg /l	

	Hierro (Fe).		
	Índice de	mg /l	
	Cobre (Cu).		

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Unidad de Análisis

Para realizar la valoración y registro de los pozos perforados y en producción de agua subterránea, se procedió a tomar una muestra, para llevar al laboratorio y determinar la presencia de los metales pesados en agua de pozos identificados en las áreas bananeras, del cantón El Guabo en su zona baja en la provincia de El Oro. Luego para establecer los otros parámetros, se encuestó a todos los 85 usuarios, donde se caracterizaron los acuíferos.

3.5. Población de estudio

Para ello se estableció una red de monitoreo que involucra puntos de muestreo de fuentes de agua subterránea, correspondientes pozos perforados, en la zona rural de la parte baja de El Oro, en el cantón El Guabo. Realizándose un censo de aquellos pozos perforados presentes en fincas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo, seleccionándose 85 pozos cuyas aguas son destinadas al consumo y actividades productivas (Figura 4).

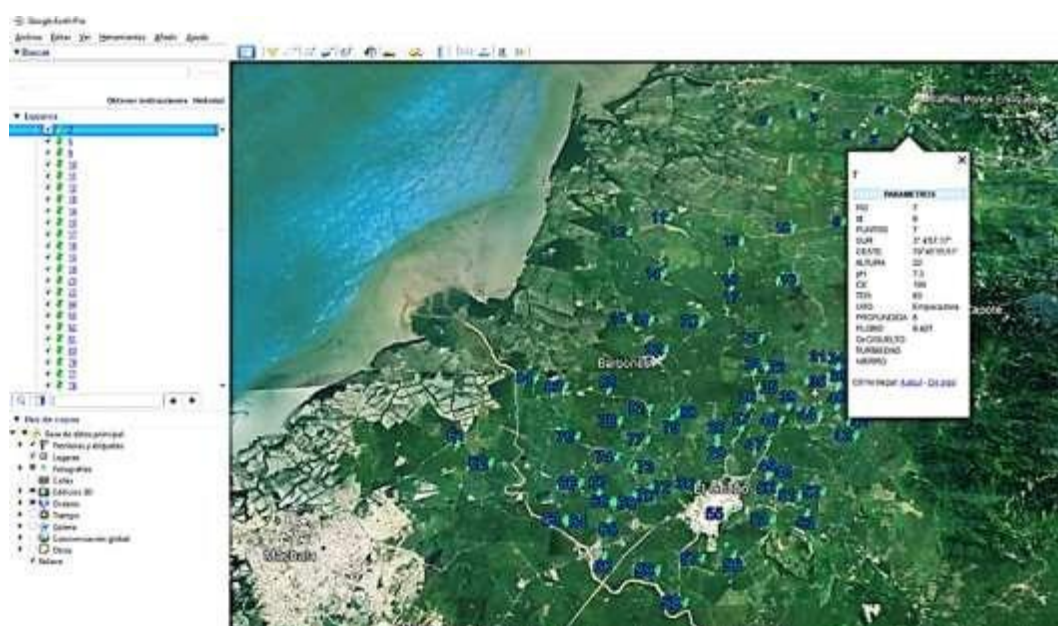


Figura 4. Ubicación georreferenciada de los pozos en el Cantón El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador.

Fuente: Autoría propia mediante Google earth. (2019).

3.5.1. Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en cantón El Guabo, el cual se encuentra ubicado en la parte baja de la provincia de El Oro, en las coordenadas geográficas 03°17'16" de latitud sur y 79°54'05" de longitud oeste, a una altitud de 6 msnm, caracterizado en cuanto al clima y ecología de acuerdo a la clasificación ecológica de zonas de vida natural de Holdridge (Holdridge, 1947) correspondiente a la formación de un bosque muy seco tropical (bms-T) con una temperatura anual media de 25° C y una precipitación anual de 699 mm (Figura 5 y 6). Tiene una extensión de 604,1 km².

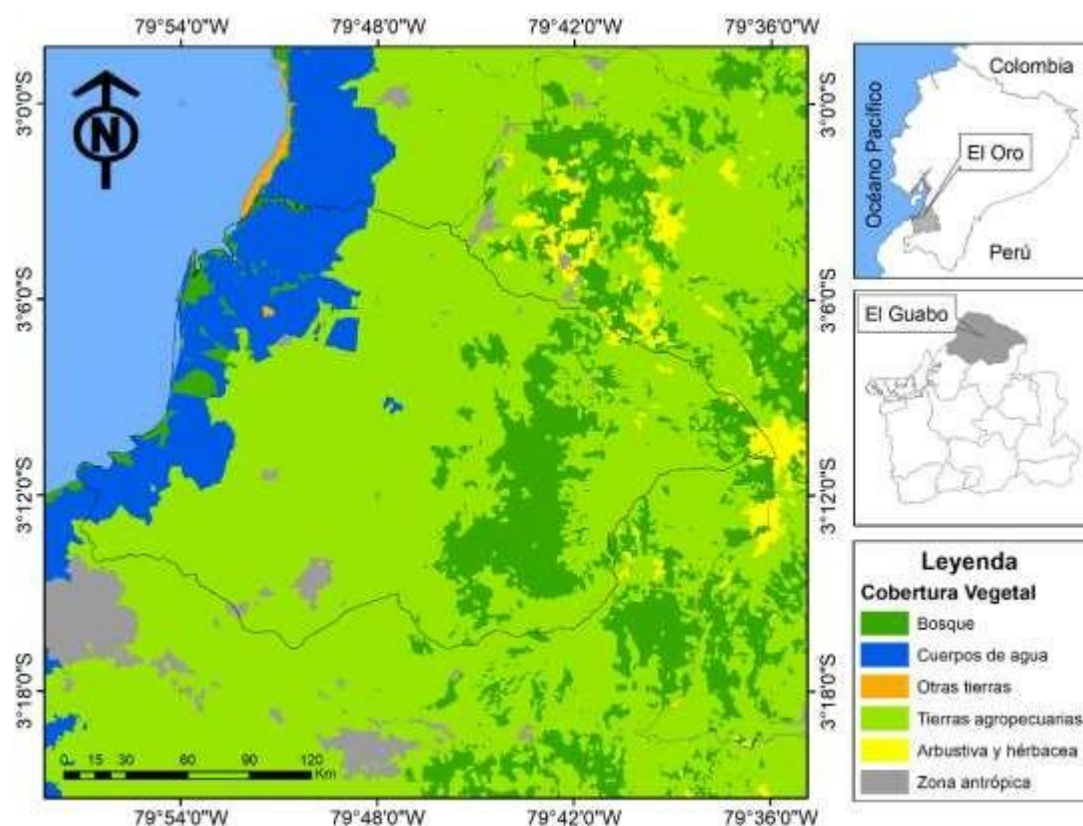


Figura 5. Mapa satelital de visualización, ubicación geográfica y clasificación agroecológica de la Provincia de El Oro.

Fuente: Elaboración propia del autor. 2019. Google earth.



Figura 6. Mapa político de la distribución del Cantón de El Guabo dentro de la Provincia de El Oro.

Fuente: Elaboración propia del autor. 2019. Google earth.

3.6. Definición del tamaño de la muestra

El inventario de los puntos de agua, y la recopilación de la información de los pozos perforados, permitió el establecimiento de zonas con características propicias para la explotación y utilización de las aguas subterráneas; se definen como áreas priorizadas aquellas que se encuentran entre Tendales y El Guabo.

A partir de la información recolectada se pudo establecer que la transmisividad promedio fue de 117,6 m²/d. Por otro lado, entre Machala, Pasaje y Santa Rosa (zona central), se encuentra un área acuífera de muy buenas condiciones; la transmisividad promedio fue de 464 m²/d; y constituye la zona donde se encuentra la ciudad de Machala, la que presenta las mejores características, con una transmisividad promedio de 716 m²/d; hacia el suroeste disminuye el parámetro, estableciéndose un valor promedio de 212 m²/d. En el extremo suroeste se encuentra una zona comprendida entre las poblaciones de Huaquillas y Cazaderos, que hidrogeológicamente se considera con excelentes perspectivas para la explotación de las aguas subterráneas, con la presencia de varios niveles acuíferos, que han sido captados por medio de pozos profundos y someros, que se utilizan como fuente de abastecimiento de las diferentes poblaciones y para riego en épocas de estiaje. Se establece que la transmisividad promedio en todos los puntos es de 290 m²/d, con una máxima de 840 m²/d.

Mediante barrido del área de estudio fueron tomados en cuenta para la investigación 85 pozos perforados en el área bananera de la zona baja del Cantón El Guabo los cuales son utilizados por los productores en sus actividades cotidianas y de los cuales se tomaron muestras de agua para su posterior análisis en laboratorio.

Para las determinaciones de coliformes totales y fecales y por factibilidad económica se realizó un cálculo del mínimo tamaño muestral con la finalidad de obtener, para el caso particular de estas variables, una muestra representativa de la población total de pozos. Para la selección de las unidades de estudio se aplicó una técnica de muestreo probabilístico donde cada uno tuvo la misma posibilidad de ser elegido.

El cálculo del mínimo tamaño de la muestra se efectuó con la aplicación del siguiente algoritmo matemático.

$$n = \frac{N * Z_{1-\alpha/2}^2 * S^2}{d^2 * (N - 1) + Z_{1-\alpha/2}^2 * S^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población, con marco muestral conocido (85).

Z = valor del percentil estandarizado para un 95% de confiabilidad (Z de $1-\alpha/2=1.96$).

S = desviación típica o estándar.

S^2 = varianza.

d = precisión o Error máximo permitido (0,500).

El tamaño de la muestra obtenido es 20,07 el cual se aproxima el entero superior, por lo cual se considera 21 el mínimo tamaño de la muestra, para realizar las determinaciones de coliformes totales y fecales presentes en aguas de pozos perforados en el Cantón El Guabo.

Para conocer si se presentan o no diferencias significativas entre las parroquias que conforman el Cantón el Guabo en función de los contenidos de los metales pesados (cadmio, plomo, mercurio, manganeso, hierro y cobre) se aplicó la prueba estadística Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor intergrupos, previo cumplimiento de los supuestos que exige el modelo aditivo de independencia de errores, normalidad de datos y homogeneidad de varianzas. En caso de incumplimiento de algún requisito exigido por el modelo paramétrico se aplicó la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis.

La presencia o no de relación lineal entre los contenidos de cadmio, plomo, mercurio, manganeso, hierro y cobre en relación con profundidad de pozos, altitud de los pozos y temperatura del agua se detectó mediante la utilización de la correlación de Pearson como prueba de hipótesis y el r de Pearson como estadístico que indica el tipo y la fuerza de la correlación lineal. Cuando se

incumplió algún requisito se ocupó el coeficiente Rho de Spearman como prueba de hipótesis.

Para la representación de los datos en los análisis estadísticos univariados y bivariados realizados se utilizaron diagramas de cajas y sesgos, así como histogramas y gráficos de barras. En estos últimos las letras encima de las barras indican similitud o diferencia estadística entre los grupos.

El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 22 de prueba para Windows y una confiabilidad en la estimación del 95% ($\alpha=0,05$, o sea, 5,00% de error máximo permisible).

3.6.1. Metodología de muestreo

Las muestras de agua fueron extraídas de los pozos a través de bombas de presión y de caudal, a una profundidad de 6 m, recolectando dos muestras de aguas en cada una de las estaciones de muestreo (Pozos) de la siguiente forma: una muestra de agua luego de haber encendido la bomba y otra seguida después de manar cinco minutos.

Las muestras de agua se recolectaron siguiendo el enfoque descrito por Rodier et al. (2009). Se utilizaron baldes de polipropileno esterilizados de 5 litros para conservar las muestras de aguas antes del análisis físico-químico y bacteriológico, las muestras fueron identificadas, y colocada en cavas almacenadas a una temperatura de 4 ° C para evitar cambios en los parámetros.

Los parámetros in situ: (temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS) y oxígeno disuelto, fueron determinados luego de fluir 5 minutos de desagüe del pozo a través de la bomba instalada en la estación, mediante la utilización de una sonda Medidor Multiparámetro HI 9828, caracterizado por ser un instrumento de uso al aire libre, resistente a impactos e impermeable según la norma IP67 30 minutos de

inversión bajo un metro de agua la sonda multisensor puede ser dejada bajo el agua según la Norma IP68) (Hanna instruments. 2008 With Great Products, Come Great Results, www.hannains.es) (Adamou et al., 2020).

Análisis in situ	Caracterización físicoquímica	Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Salinidad, Altitud, Profundidad
Procesamiento en el laboratorio	Determinación de metales pesados	Manganeso, cadmio, mercurio, plomo, hierro y cobre
	Caracterización Microbiológica	Número de Coliformes Totales Número de Coliformes Fecales

El análisis químico y biológico en muestras de agua subterránea extraídas de los pozos, se los determinó en el laboratorio para los siguientes parámetros: Manganeso, cadmio, mercurio, plomo, hierro y cobre. Los parámetros biológicos determinados fueron; Coliformes fecales y coliformes totales. Para realizar los análisis se utilizaron los procedimientos desarrollados y descritos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (Bracho et al., 2016).

Análisis microbiológico de muestras de agua

El análisis se limitó a la determinación del coliformes totales y coliformes fecales (*E. coli*). Para lo cual se tomaron volúmenes de 1 y 100 mL de muestras de agua, a través de una membrana celulósica con poros de diámetro uniforme igual a 0,45 µm. Después de la filtración. Posteriormente la membrana se colocó en una placa de Petri que contenía un patrón del medio de cultivo selectivo TTC (cloruro de trifenilo tetrazolio) y Tergitol TTC, respectivamente. Las placas de Petri fueron incubadas a 37 °C para Coliformes Totales y 44 °C para la determinación *E. coli*. Realizando la lectura de la UFC/ML a las 24 y 48 horas de incubación. Los resultados se analizan considerando los estándares bacteriológicos para la detección y enumeración de bacterias en agua de la OMS y la Organización

Internacional de Normalización (ISO) (Malek et al. 2019, Ulamattathil et al., 2016; Dugna et al., 2015).

3.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

La recolección de los datos se efectuó, mediante el uso de encuestas a los usuarios de pozos en el cantón, y de diferente actividad, así mismo se llevaron, registros, informes de los laboratorios, fotografías, etc.

Se diseñó una encuesta dirigida a los productores bananeros del cantón El Guabo (anexo 1), la cual fue sometida a la revisión de profesionales del área con la finalidad de garantizar la validez de contenido y donde se buscó conocer la percepción de los encuestados en relación con los periodos de alta extracción de aguas en los pozos, uso, profundidad del acuífero y los equipos de extracción. Para la georeferenciación de los acuíferos se efectuó con la sonda multiparamétrica Hanna 9828, así como las lecturas de varios parámetros in situ.

3.8. Análisis e interpretación de la información

Primeramente, se obtuvo información referente a la ubicación física de los pozos con disponibilidad del agua subterránea, mediante georreferenciación durante el periodo 2015-2016 en la zona baja del cantón El Guabo, para posteriormente relacionarlos con la ubicación geográfica del acuífero en un mapa, lo que permitió presentar con base a información básica, el escenario oficial de los pozos y las características que los describen. Además, con la finalidad de lograr la percepción de los usuarios del agua subterránea, se aplicó durante el trabajo de campo una encuesta, lo que permitió establecer uso, disponibilidad y acceso directo al agua, como su apreciación sobre la propiedad y manejo de ésta.

Posteriormente, en la visita in situ realizada se midieron las características físicas (temperatura, altitud, OD, Turbidez, TDS, pH, CE) y se tomaron las muestras de agua de cada pozo objeto de estudio para realizar las determinaciones en

laboratorio, entre las que se encuentran los metales pesados; mercurio, cadmio, plomo, manganeso, hierro y cobre, además, de las biológicas como son los coliformes totales y fecales.

La información producto de las encuestas, registros de parámetros de campo y laboratorios, fueron tabulados y se aplicaron las técnicas de estadística descriptiva y la presentación de resultados, con la utilización del software estadístico SPSS se realizó mediante gráficos de barras y circulares para variables categóricas (sus datos finales de medición son categorías) e histogramas y diagramas de caja y sesgo para variables numéricas (sus datos finales de medición son unidades).

Se utilizaron para obtener las muestras los siguientes equipos: Bomba de presión y de caudal para las muestras de agua, para coleccionar un total de dos muestras de agua en cada uno de los ochenta y cinco estaciones para el muestreo (Pozos) de la siguiente forma: una muestra de agua luego de haber encendido la bomba y haber dejado manar cinco minutos y otra seguida en un recipiente balde de polietileno de 5 litros para proceder a realizar la lectura de los diferentes parámetros, mediante el uso de una sonda Hanna, donde en cada uno de los 85 pozos registrados se obtuvo 1 muestra en una botella de polietileno de 1 litro, para trasladarla al laboratorio a fin de realizar las determinaciones de la cantidad de metales pesados, y una muestra para microbiología (Bracho et al., 2016).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de pozos perforados utilizados para extracción de aguas empleadas en actividades productivas en la zona baja del cantón El Guabo.

En atención al diseño metodológico y datos derivados en las diferentes etapas de la presente investigación se construyeron cuadros y gráficos estadísticos descriptivos los que admiten analizar las características de los parámetros esenciales en cada uno de los pozos evaluados, durante las diferentes instancias del proyecto, y se caracterizaron parámetros físicos, químicos y biológicos, de los pozos someros y profundos de la zona baja del cantón El Guabo.

4.1.1. Ubicación georrefenciada de pozos

Los pozos que fueron seleccionados en el cantón El Guabo para el desarrollo de la investigación y que constituyen las unidades de estudio fueron georrefenciados y ubicados en mapas temáticos mediante sistema de información geográfica (GIS) evidenciándose una distribución homogénea en el área dedicada a la producción bananera en el área de estudio (Figura 7).

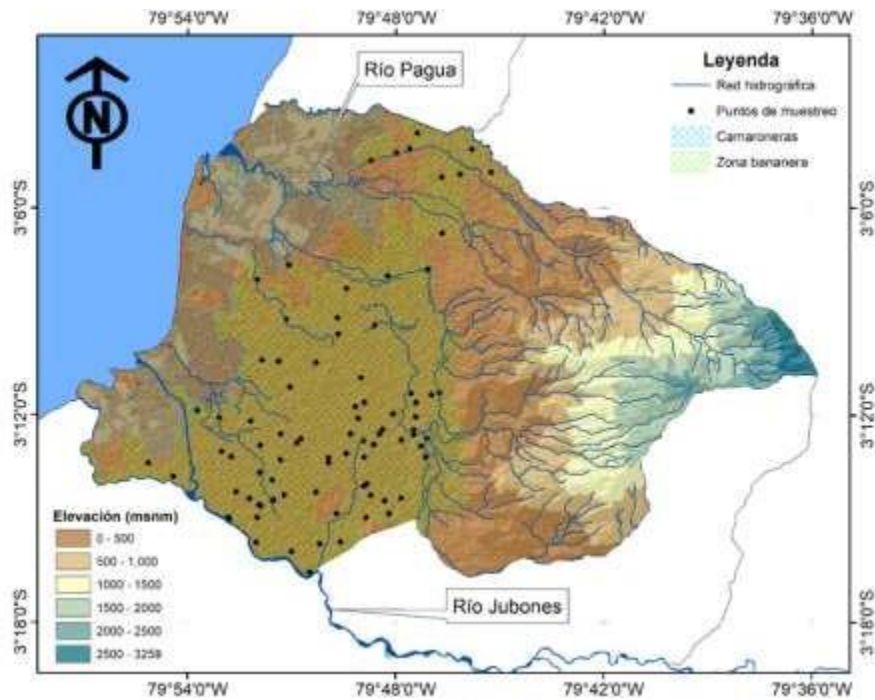


Figura 7. Ubicación georreferenciada de los pozos en el Cantón El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador.

4.1.2. Usos del agua de pozo

El comportamiento del uso del agua en la zona baja del cantón El Guabo muestra que la mayor frecuencia (90,6%) se distribuye en actividades productivas, dentro de las que se encuentran el empleo en regadío y proceso de poscosecha de banano, además, se presenta una baja utilización para consumo humano (2,4%) y dentro del 7,1% se encuentran ambos tipos de uso (Figura 8).

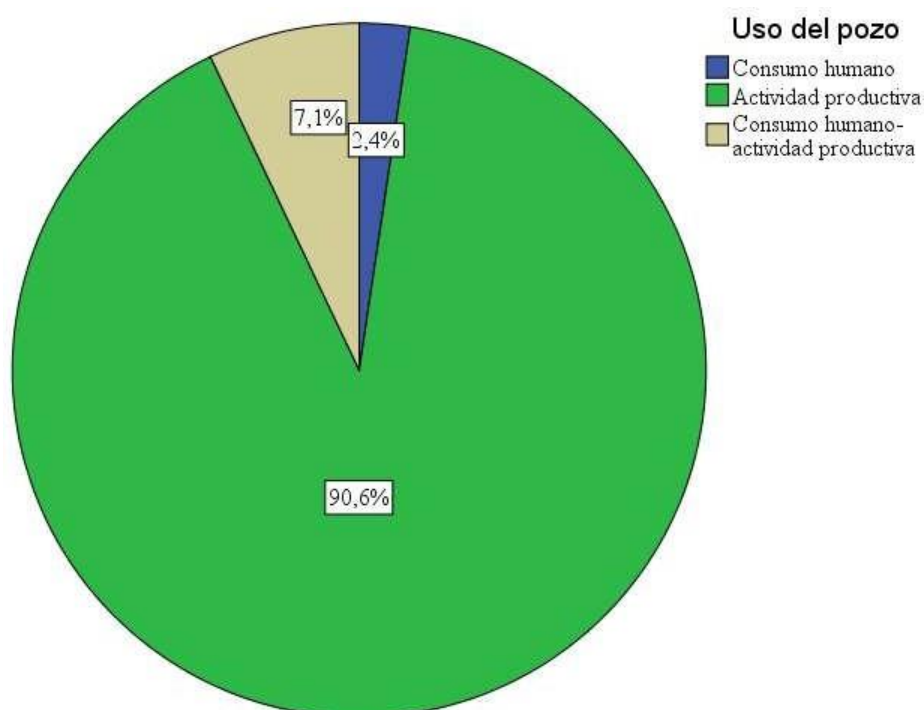


Figura 8. Distribución del uso del agua procedente de pozos perforados en la zona baja del cantón El Guabo.

Condiciones que concuerdan con estadísticas de las concesiones otorgadas por SENAGUA, en su base de datos publicada en 2011, según demandas sectoriales, la distribución del uso consuntivo preponderante del país es el agrícola, ya que constituye el 80% del caudal ocupado, continuado por su uso doméstico (13%) y el de la industria (7%) (CEPAL, 2012) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Criterios de la calidad de agua para uso agrícola.

Datos	% Agrícola	% Doméstico	% Otras A+D+I
CEPAL	80	13	7
El Guabo	90.6	2.4	7.1

Fuente: Datos caracterización resultados y CEPAL.

Según se señala en una investigación sobre el uso de agua en poscosecha de banano, una de las actividades para fruta de exportación, que a medida que las haciendas amplían la superficie bananera reduce el consumo de agua, entorno

favorecido por eficiencia en la jornada laboral y período de duración del proceso, lo que determina el consumo del agua por kilogramo de banano en la fase de poscosecha, demostrando un coeficiente de variación mayor para pequeños predios, siendo asociado con; manejo del tiempo para la actividad y mano de obra. Por lo demás, el sector bananero de “Caña quemada y zonas aledañas el 51% de las fincas presentan un consumo de agua entre 8 y 12,22 l kg⁻¹ de fruta procesada para exportación” (Solano et al., 2019), volumen que difiere, con los datos de Zarate & Kuiper (2013) citados por Solano et al. (2019); quienes establecieron gasto de agua en proceso poscosecha de banano para Ecuador se encuentra entre 11 y 36 l kg⁻¹ y el promedio de 24 l kg⁻¹, para Perú los valores presentan una elevada variabilidad de 0,3 y 26 l kg⁻¹, y un consumo promedio de 7 l kg⁻¹. (Solano et al., 2019).

4.1.3. Altitud de los pozos

En relación con la altitud en que se encuentran los 85 pozos que forman parte del estudio en la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo una media de 14,84 msnm, encontrándose la mayor frecuencia el intervalo comprendido entre los 15 y 20 msnm (21 pozos), además, es necesario señalar que se analizaron tres pozos entre 30 y 35 msnm, lo que puede influir en la calidad de las aguas muestreadas (Figura 9).

La provincia de El Oro tiene un relieve prácticamente plano, conocido como la parte baja, conforme avanza desde las costas relieve es regular donde se encuentra en su mayor parte cultivada por banano, donde se han perforado los pozos para extracción de agua subterránea, ubicados en la parte más baja, en lo que se pudo consultar con los productores sobre la presencia de una gran cantidad de agua durante todo el año. Producción hídrica que se debe a la recarga que tiene de agua, debido a se encuentra situada en un entorno hidrológico, cuyo origen está en la cordillera de Vizcaya que alimenta a muchas vertientes y con ello a los ríos; Jubones, Chaguana y Pagua. Los pozos estudiados que concuerdan muestreo y control de las características físicas

químicas subterráneas encontrando un buen número de pozos son de tipo someros y profundos.

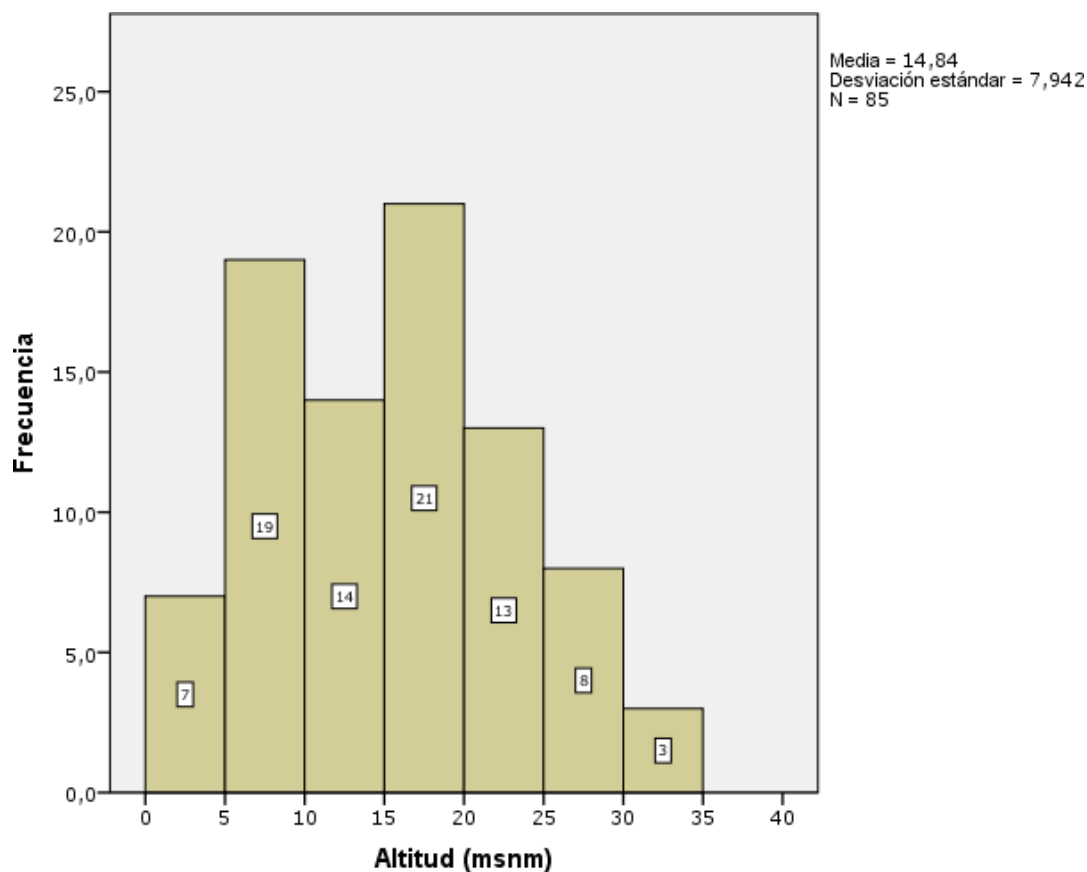


Figura 9. Altitud de los pozos perforados objeto de estudio en la zona baja del cantón El Guabo.

En la figura 10 se muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas entre las parroquias del Cantón el Guabo, en función de la altitud del pozo, mostrándose los mayores valores en Rio Bonito.

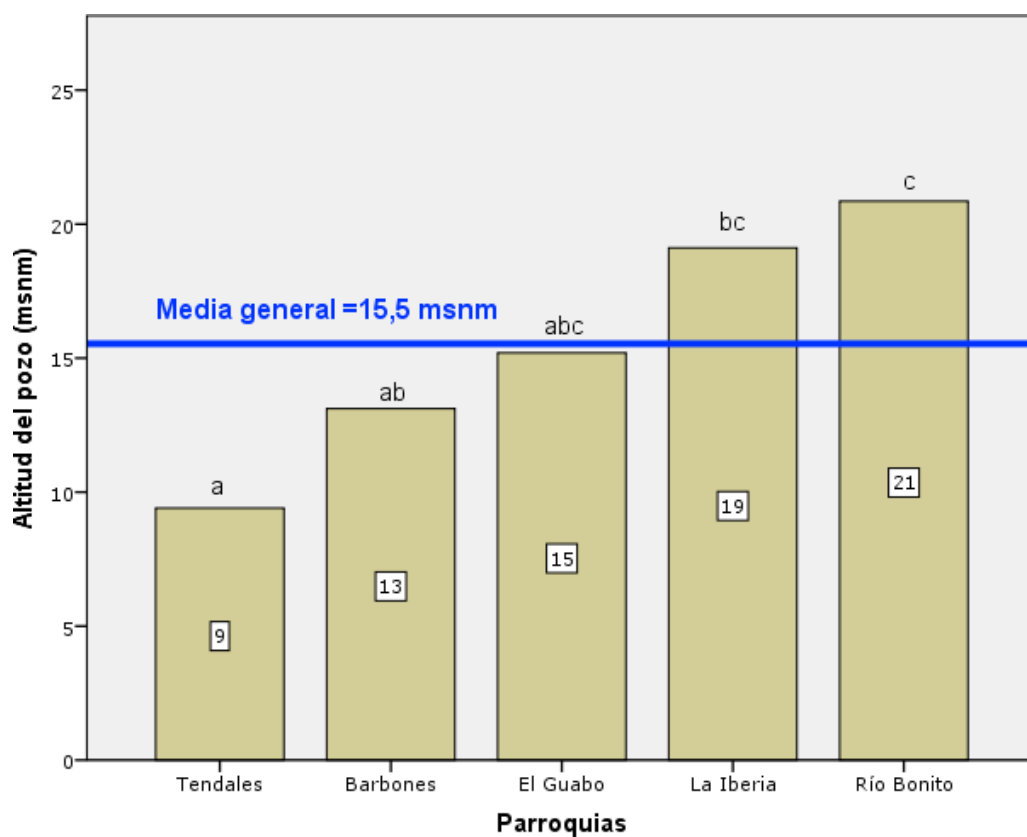


Figura 10. Promedio de altitud de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un $p\text{-valor} < 0,05$.

4.1.4. Profundidad de pozos

En correspondencia con la profundidad en que se localizan los 85 pozos los cuales se caracterizaron en la zona baja del cantón El Guabo, alcanzó una media de 28,33 m, con una desviación estándar de 23,5 m, encontrándose la mayor frecuencia en el intervalo comprendido entre los 15 y 30 m (34 pozos que representan el 40,0%), asimismo, es preciso señalar que el 80% del total de pozos analizados se encuentran a profundidades entre 0 y 45 m, lo que consigue influir en el atributo calidad de las aguas analizadas (Figura 11).

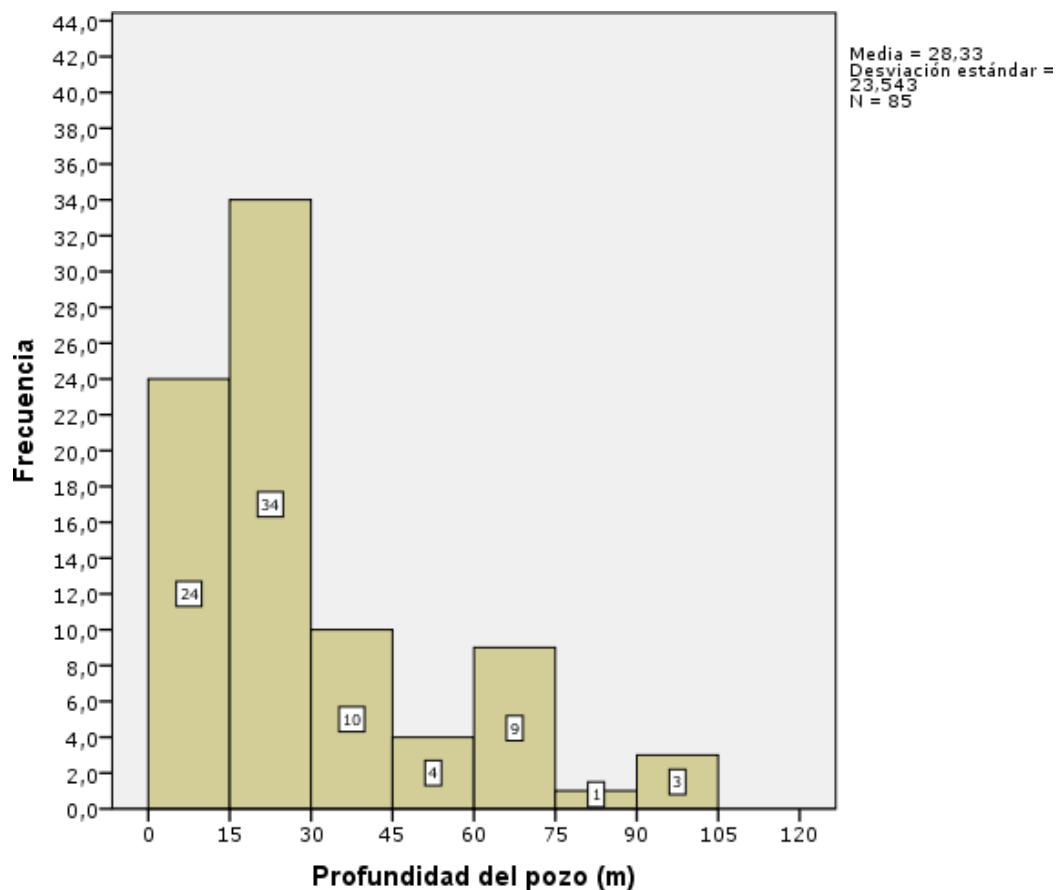


Figura 11. Profundidad de los pozos perforados estudiados en la zona baja del cantón El Guabo.

Consintiendo con criterios al observar que, en los primeros meses del año, la Prefectura de la provincia de El Oro y el Cabildo de El Guabo subscribieron un convenio para la ejecución de proyecto de provisión de agua potable que suministrará de líquido a cerca de 10.000 habitantes de El Guabo. Comprende la perforación de un pozo de 120 a 150 m. de profundidad, donde se podrá captar cerca de 45 l/s, según estudios el agua de acuíferos que se localizan a más de 100 m, de profundidad es apta para consumo humano. Igual se afirmó que será sometida a análisis de laboratorio a fin de descartar presencia de minerales y comprobar que puede utilizarse para el consumo humano (Machala móvil, 2019).

En relación al paramento profundidad, autores han señalado que “las aguas subterráneas de acuíferos profundos y confinados son habitualmente inocuas, correlacionado con la calidad microbiológica y química de este grupo de aguas, considerándose aguas estables, ya que medida que los acuíferos se hacen poco profundos o no confinados pueden estar expuestos a contaminación por las descargas o filtraciones asociadas a las prácticas agropecuarias (por ejemplo, de agentes patógenos, nitratos y plaguicidas)” (OMS, 2008).

En la Figura 12 se muestra que no se presentan diferencias estadísticas significativas entre las parroquias del Cantón el Guabo, en función de la profundidad del pozo.

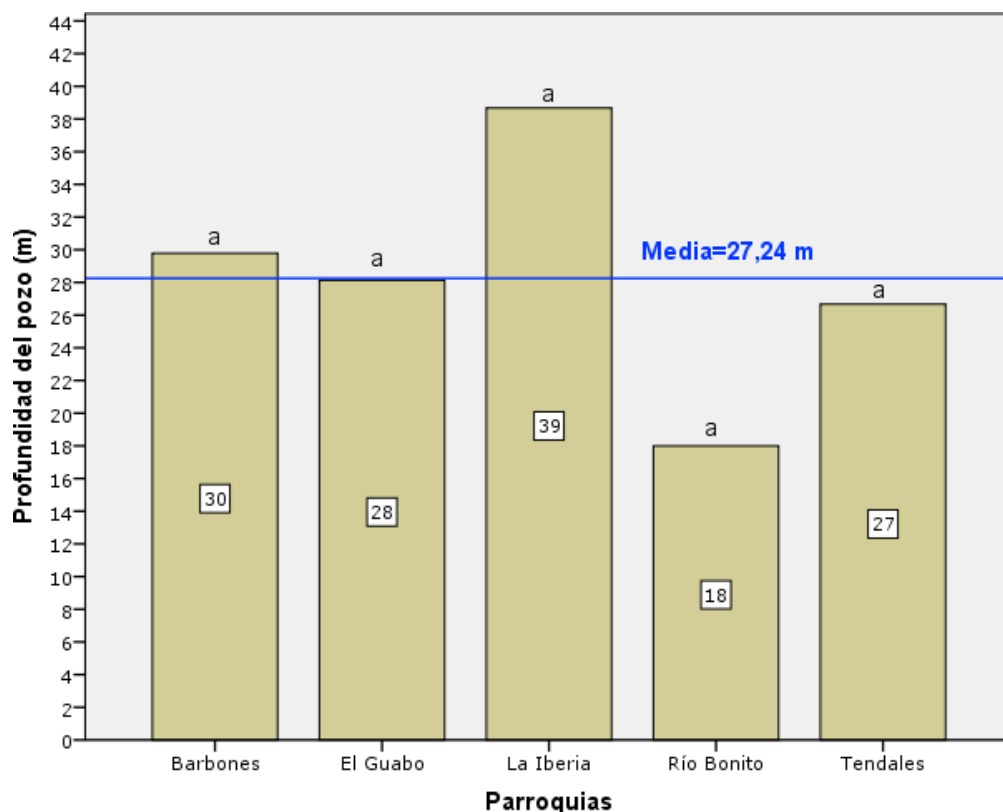


Figura 12. Promedio de profundidad de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

4.1.5. Temperatura del agua

Los resultados del parámetro básico de la temperatura registran una variación entre 25°C y 27.30 °C, en los diferentes pozos. Un 25 % según el análisis se encuentra entre 25.00°C y 25.60°C, con una mediana de 25.80°C (Figura 13). Encontrándose con algunos valores dispersos o atípicos, por arriba del límite superior, lo que puede deberse a la variabilidad climática de la zona. Que tiene influencia por la cercanía al mar y montañas, así como los días y horas de muestreo, asegurando que en ciertos periodos pueden sobrevenir temperaturas altas en el agua hasta alcanzar 27 °C.

Encontrándose los valores dentro de la norma ecuatoriana, que considera que la temperatura del agua, no exceda de 5 °C de la temperatura ambiental media de la región, esto es la media zonal de 25 °C, por lo tanto se encuentra dentro del rango de características organolépticas (Senagua, 1992). Otras investigaciones del área, han señalado que el índice de temperatura de las aguas subterráneas puede oscilar con variaciones de 13,1 °C a 42,9°C con una media de 28,9 °C, estos cambios de temperaturas han sido correlacionada directamente con la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua (Nordstrom, 2011; Dalai et al., 2002).

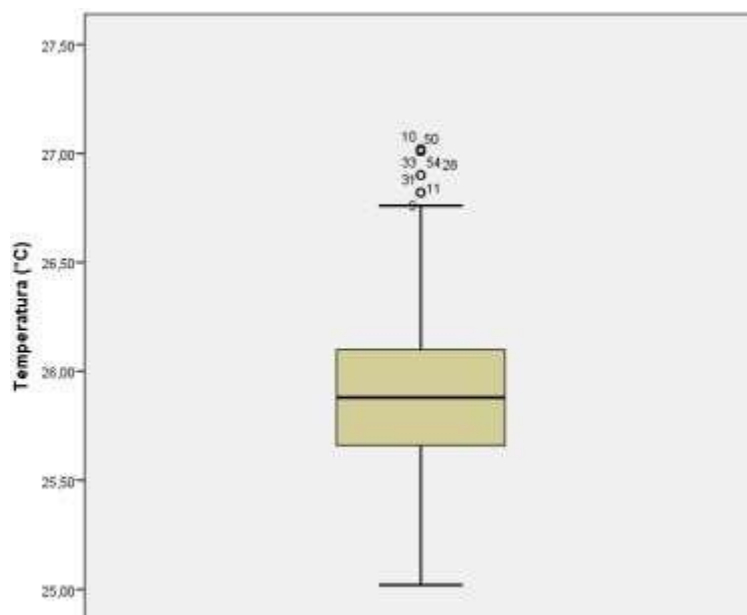


Figura 13. Temperatura del agua pozos someros y subterráneos estudiados en la zona baja del cantón El Guabo.

En la Figura 14 se muestra que no se presentan diferencias estadísticas significativas entre las parroquias del Cantón el Guabo, en función de la temperatura del agua de los pozos perforados.

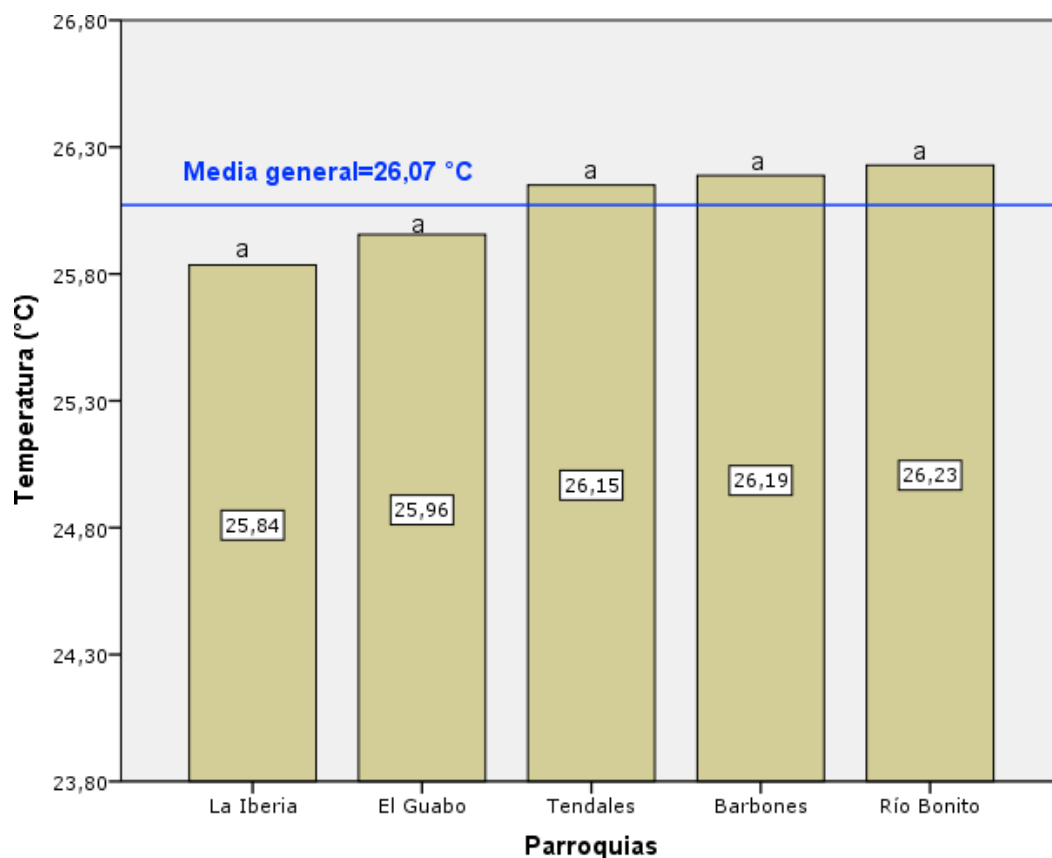


Figura 14. Promedio de temperatura del agua de pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

Temperatura del agua categorizada

La información proporcionada mediante las encuestas a los usuarios del agua de los pozos someros y profundos, de cómo identifican en dichos sectores a los atributos del agua, como la temperatura, olor, color y sabor del agua se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Distribución de las categorías de temperatura del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Categoría	FA	FR (%)	FAA	FRA (%)
Fría	9	10,6	9	10,6
Tibia	76	89,4	85	100,0
Total	85	100,0		

Nota. FA=Frecuencia absoluta. FR=Frecuencia relativa. FAA=Frecuencia absoluta acumulada. FRA=Frecuencia relativa acumulada.

4.2. Propiedades físico-químicas de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en áreas bananeras de la zona baja del cantón El Guabo.

4.2.1. Parámetros físicos

4.2.1.1. Turbiedad

Los valores de turbidez presentados corresponden al análisis de parámetros físicos básicos, de las muestras de agua extraída de los pozos someros y profundos, en donde se evidencia un índice de turbidez medio de conformidad a la lectura con la sonda multiparamétrica Hanna, donde se presenta que un 25 % de los pozos alcanzan valores entre 0,5 y 5,0, así mismo el otro 25% está por debajo de 7,00 (Figura 15).

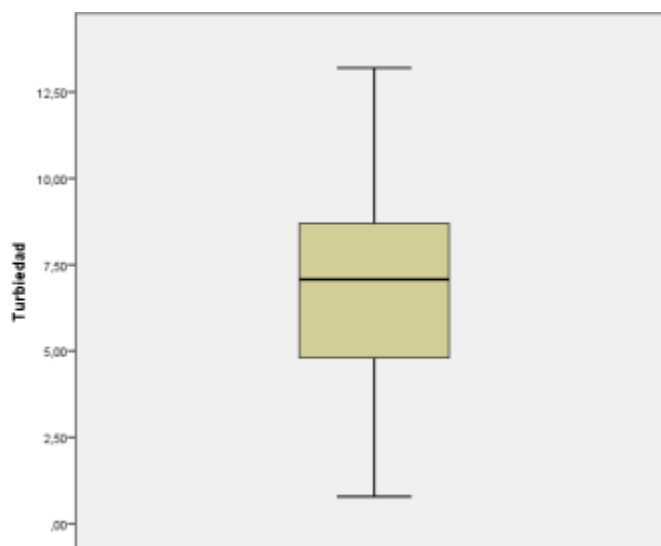


Figura 15. Comportamiento de los valores de turbidez en las aguas procedentes de pozos perforados del cantón El Guabo.

Los resultados se corroboran con varios autores que señalan las causas, como que la turbidez en el agua se debe a la presencia de partículas coloidales. La eliminación de la turbidez es uno de los pasos importantes en el proceso de tratamiento del agua, que generalmente se logra usando coagulante (Kumar et al., 2016).

Los coloides son pequeñas partículas suspendidas en el agua que no pueden sedimentarse o eliminarse naturalmente debido a su peso ligero y estabilidad. Estas partículas presentan cierto grado de estabilidad y causan turbidez del agua (Zand & Hoveidi, 2015). Así mismo, manifiesta otro autor que la turbidez es importante porque afecta tanto la aceptabilidad del agua para los consumidores como la selección y eficiencia de los procesos de tratamiento. La turbidez puede cambiar durante el tránsito y almacenamiento de la muestra y, por lo tanto, medirse en el sitio al momento del muestreo, esto se puede realizar por medio de medidores electrónicos o medidores de nefeloturbidez. (Rajendran & Mansiya, 2015).

4.2.1.2. TDS

En relación con el parámetro TDS, los valores encontrados en los 85 pozos que integran el estudio en la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo una media de 250, encontrándose la mayor frecuencia el intervalo comprendido entre los 350 y 700, además, es necesario señalar que se analizaron varios pozos atípicos entre 700 y 900, lo que puede influir en la calidad de las aguas muestreadas (Figura 16).

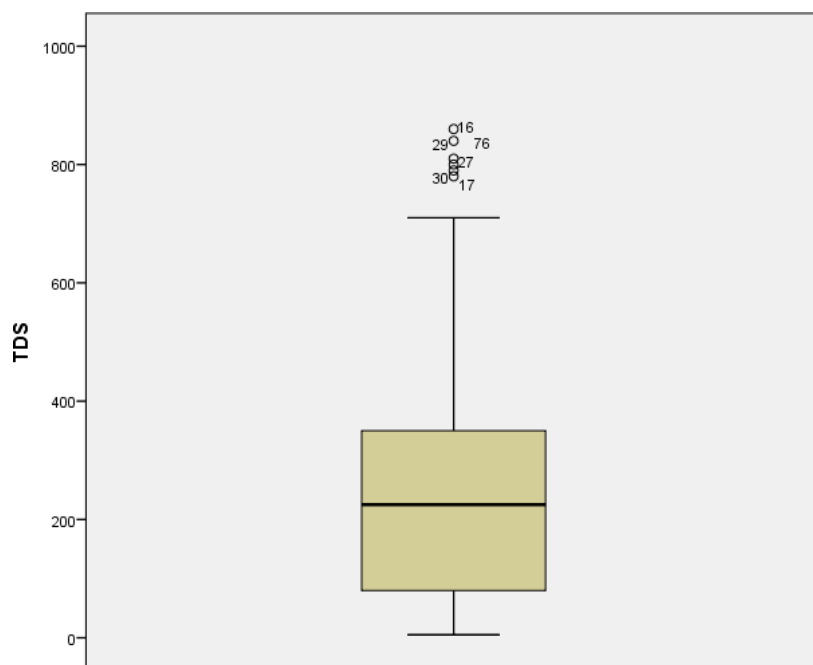


Figura 16. Ubicación de los valores de TDS en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Por lo que se considera al agua muestreada de los pozos de la zona baja de El Guabo el 75 % de éstos se encuentran por debajo de 350. Y un 25 % se localizan entre 350 y 700. Siendo compatible con criterios que manifiestan que el total de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas.

Soportando estos resultados, se señala que la determinación del TDS es uno de los parámetros más importantes para demarcar el peligro de salinidad y la

idoneidad del agua para fines de riego (Nagaraju et al., 2016), valores altos de TDS en el agua subterránea, son indicadores no aceptables para aguas con fines domésticos y agrícolas, según los estándares establecidos por la OMS (1000 mg/L) (OMS, 2011).

Rezaei & Hassani (2018), han señalado que niveles altos de TDS se relacionan con la filtración de los canales de agua que contiene sólidos y desechos agrícolas, siendo fuentes importantes de aumento de sólidos disueltos en el agua subterránea.

De igual forma los altos valores de SDT causan irritación gastrointestinal al ser humano y el uso prolongado de dicha agua puede provocar la formación de cálculos renales y también causar un ataque cardíaco. El alto porcentaje de TDS también imparte naturaleza alcalinidad al agua. Los TDS indican el comportamiento de la salinidad del agua subterránea (Selvakumar et al., 2017).

Siendo valores menores de 1000–3000 mg/l, señalado dentro de la clasificación de TDS en aguas subterráneas clasificadas como aguas frescas a salinidad baja y 10000 a 30000 muy salinas (OSM, 2011), El agua que contiene más de 500 mg/L de TDS no se considera deseable para uso como agua potable. El límite más deseable de TDS es 500 mg/L y el límite máximo permitido es 1500 mg/L. El total de sólidos disueltos presentes en la muestra de agua varía de 816 a 2912, lo que excede el límite permitido de 500 mg/litro (Udhayakumar et al., 2016).

Así mismo, Buckalew et al. (1998), señala que el agua subterránea, las presentan en unidades de mapas y están simbolizadas en la provincia de Guayas, cuyos pozos tienen producciones de 60 a los 7,920 l/min, con valores de TSD tan bajos como 60 mg/l tan altos como 6,000 mg/l. En la región costa hay extensas plantaciones bananeras siendo los principales usuarios, donde las áreas tienen escasa profundidad y fácil acceso.

Dentro del mismo orden de ideas, McGrory et al., (2020), ha señalado que las aguas subterráneas presentan concentraciones iónicas más altas, debido a la meteorización de los minerales, lo cual se correlaciona con las concentraciones iónicas en el agua subterránea, afectándose notablemente por la evaporación haciendo que elementos TDS, HCO_3^- , F^- y NO_3^- estén por encima de los límites recomendados para el agua potable por la Organización Mundial de la Salud. Asociándole de igual forma con la mala calidad del agua subterránea destinada a uso doméstico y fines agrícolas por las interacciones naturales agua-roca (TDS , HCO_3^- , F^-) y contaminación antropogénica (Missi and Atekwana, 2020).

En la Figura 17 se muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas entre las parroquias del Cantón el Guabo, en función del TDS del agua de los pozos perforados.

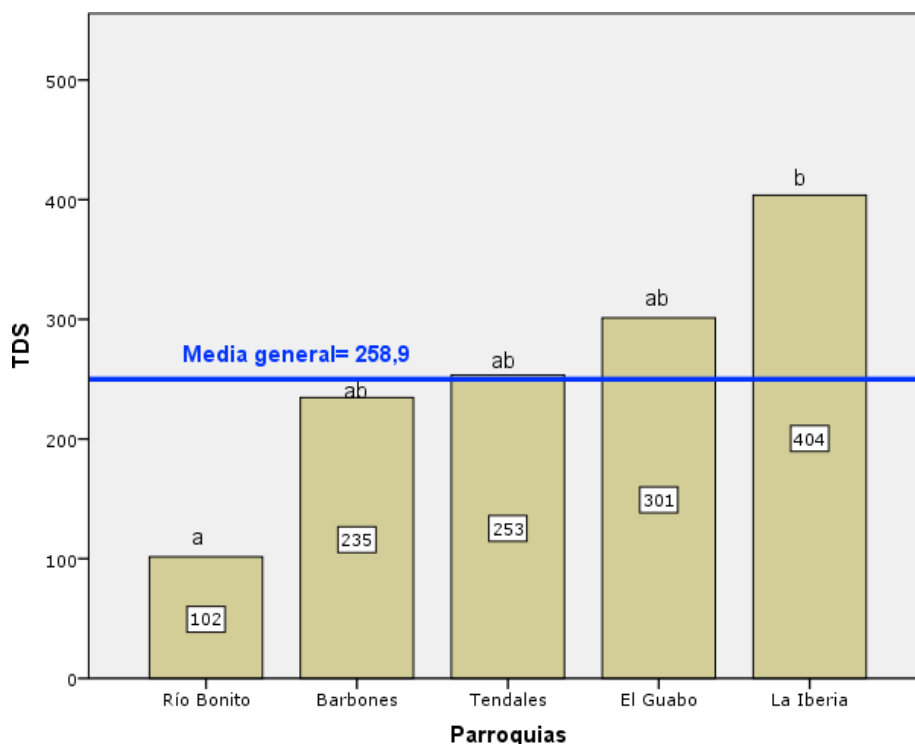


Figura 17. Promedio de TDS del agua en pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor < 0,05.

4.2.2. Olor del agua

De los resultados del cuadro 8, según la percepción se observa que los usuarios del agua subterránea de los pozos caracterizados, consideran a la misma; con un olor agradable el 87,1 % el 8,2 % orgánico y el 4,7 % metálico.

Cuadro 8. Distribución de las categorías de olor del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Categoría	FA	FR (%)	FAA	FRA (%)
Metálico	4	4,7	4	4,7
Orgánico	7	8,2	11	12,9
Agradable	74	87,1	85	100,0
Total	85	100,0		

4.2.3. Sabor del agua

La distribución de las categorías de sabor del agua muestra que dentro de la categoría de dulce se encuentra el 90,6% de los pozos muestreados, el resto se encuentra en las categorías salubre y agria-insípida, lo que explica la adecuada calidad del recurso hídrico (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distribución de las categorías de sabor del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Categoría	FA	FR (%)	FAA	FRA (%)
Dulce	77	90,6	77	90,6
Salubre	7	8,2	84	98,8
Agria-insípida	1	1,2	85	100,0
Total	85	100,0		

4.2.4. Color del agua

La distribución de las categorías de color del agua evidencia que dentro de la categoría de cristalina se encuentra el 94,1% de los pozos muestreados, el resto se encuentra en la categoría turbia, lo que explica la adecuada calidad del recurso hídrico (Cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución de las categorías de color del agua procedente de los pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Categoría	FA	FR (%)	FAA	FRA (%)
Cristalina	80	94,1	80	94,1
Turbia	5	5,9	85	100,0
Total	85	100,0		

4.2.5. Parámetros químicos

La química del agua subterránea y sus características están influenciadas por muchos factores que incluyen la mineralogía del acuífero, los procesos geoquímicos, los usos de la tierra suprayacentes, la fuente de recarga y los insumos de fuentes antropogénicas (Niu et al., 2017).

4.2.5.1. Oxígeno disuelto

El análisis de los resultados evidencia que el oxígeno disuelto (OD), que se determinó en el muestreo de los 85 pozos monitoreados de la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo una media aritmética de 2,327 %, encontrándose la mayor frecuencia con 38 pozos, seguido de 23 pozos con valores sobre 2,5 %, causando una influencia en la calidad de las aguas subterráneas caracterizadas (Figura 18). Siendo coherente con lo demostrado por la Organización mundial de la salud, que dice al referirse a este parámetro. El oxígeno disuelto es uno de los factores más importantes para la existencia de un organismo acuático en el agua. Según el estándar de la OMS, el valor de OD de 5 mg/l es ideal. El mayor valor

del oxígeno disuelto puede impartir un buen sabor estético al agua potable (Udhayakumar et al., 2016). Así mismo, el oxígeno disuelto es un parámetro transcendental en la evaluación de calidad de las agua y refleja los procesos físicos y biológicos que prevalecen en el agua (Vincy et al., 2015).

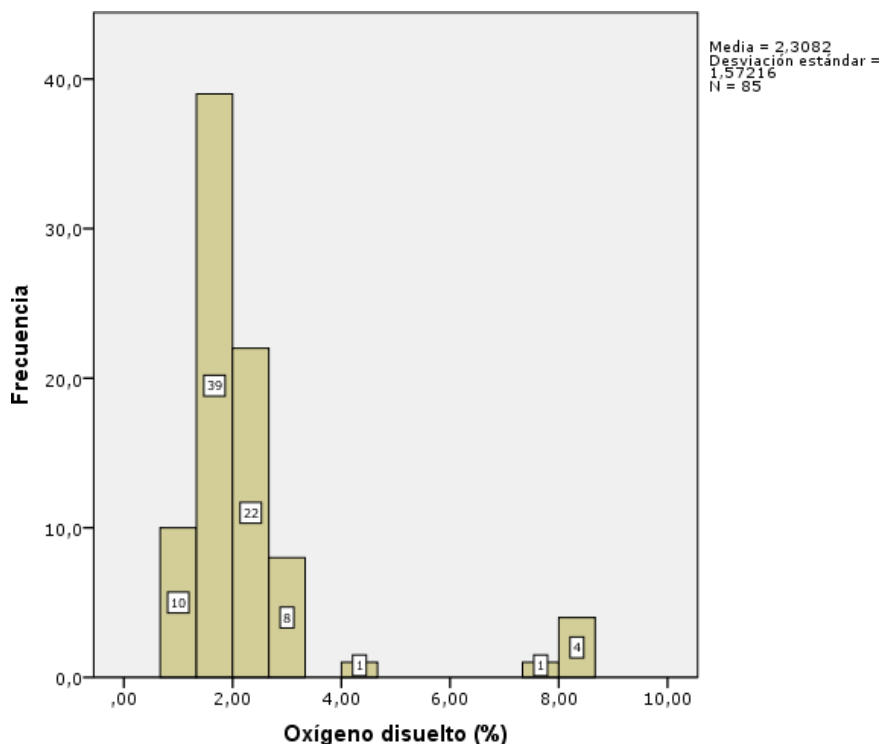


Figura 18. Frecuencias absolutas de valores de oxígeno disuelto en las aguas procedentes de pozos perforados en zona baja del cantón El Guabo.

Al mismo tiempo, el oxígeno disuelto (OD) es un parámetro importante para medir la calidad del agua potable. El (OD) siempre se fija en el sitio de muestreo y se mide inmediatamente después de la recolección. La demanda biológica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias en la descomposición de material orgánico. Se determina por el nivel de oxígeno en una muestra recién recolectada y comparándola con el oxígeno disuelto que se recogió al mismo tiempo y se incubó en condiciones específicas durante un período de cinco días. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua se expresa como una concentración. Una concentración es la cantidad de peso de una

sustancia particular en un volumen dado de líquido o expresado en mg/l o parte por millón (ppm) (Rajendran & Mansiya, 2015).

4.2.5.2. pH

El análisis de los resultados evidencia que el potencial Hidrógeno (pH), que se determinó en el agua muestreada de los 85 pozos monitoreados de la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo una media aritmética de 7,01; encontrándose la mayor frecuencia entre 6,70 y 7,4 entre el primer y tercer cuartil (Rango intercuartílico). Además, se encuentran valores entre 7,40 y 8,0, que corresponden a un 25 % del total de datos, originando una hegemonía en la calidad de las aguas subterráneas caracterizadas (Figura 19). Siendo una propiedad de las aguas de este sector, por tener influencia de las aguas salinas de la costa muy cercana y que en algunos casos limita con las tierras cultivadas, lo hace necesario contar con drenajes principales. Datos que están de acuerdo a los rangos para determinar su uso, ya sea para producción, agricultura o industria. El pH se considera uno de los parámetros químicos más esenciales necesarios para indicar la calidad del agua potable. Para verificar si el pH está en el rango óptimo para la desinfección, se pueden realizar pruebas simples. Los electrodos de pH portátiles se utilizan en el laboratorio, que se calibra con estándares de pH nuevos al menos antes del inicio de los experimentos. (Rajendran & Mansiya, 2015).

Los valores de pH en el área de estudio infieren que las muestras de agua analizadas son neutras a alcalina, el total de muestras muestran valores de pH dentro de los estándares de la OMS. Es probable que la posible razón del pH más alto en esta área sea controlada por HCO_3^{3+} CO_3^{-2} . Estos iones se forman durante el proceso hidrotermal debido a la presencia de dióxido de carbono disuelto (Sappa et al., 2013; Smedley et al., 1995; OMS, 2011).

En otras investigaciones se ha señalado valores de pH de las muestras de agua subterránea varían de 7,14 a 7,64, 6,87 a 7,84 y de 7,08 a 7,95, esto indica en general que el agua subterránea es levemente ácida a neutra sugiriendo una

influencia significativa que puede ser la infiltración del agua de lluvia (Zouheira et al., 2020).

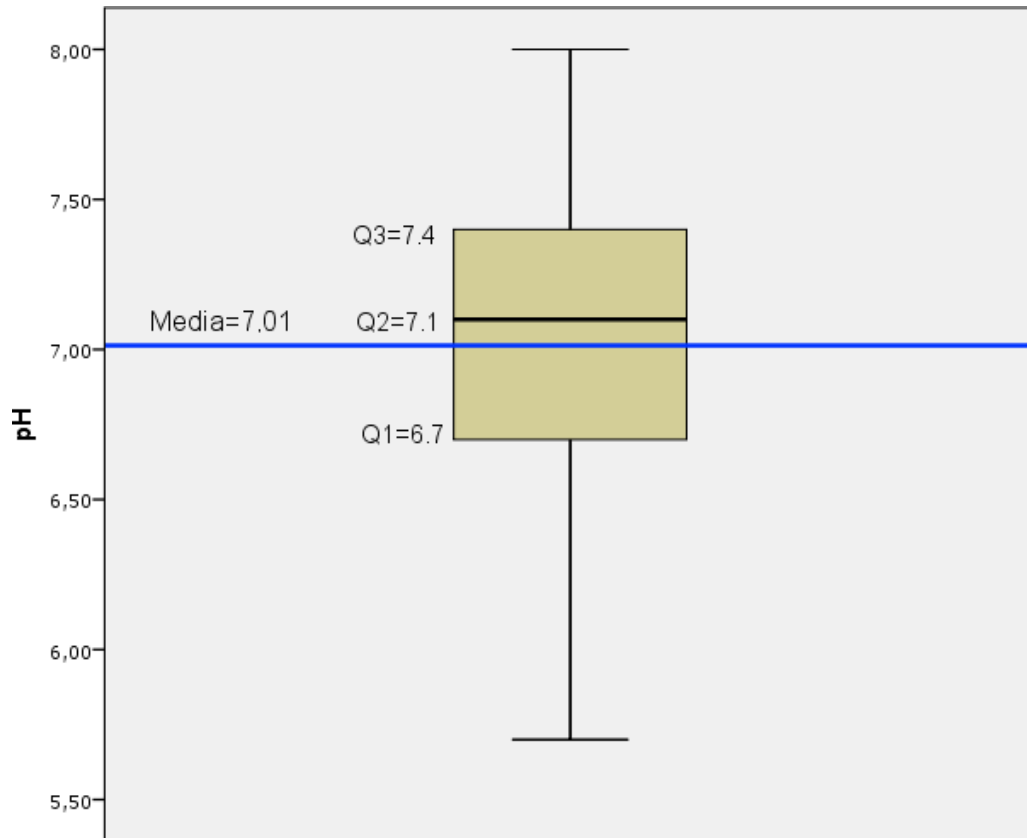


Figura 19. Comportamiento de los valores de pH en las aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de zona baja de El Guabo.

El pH es una medida del equilibrio entre la concentración de iones de hidrógeno y los iones de hidroxilo en el agua. El pH del agua proporciona información vital en muchos tipos de equilibrio geoquímico o cálculos de solubilidad (Vincy et al., 2015). Considerando que el pH del agua es un parámetro de calidad básico y determina la solubilidad y la disponibilidad biológica de los componentes químicos como los nutrientes y los metales pesados. El pH excesivamente alto y bajo puede ser perjudicial en el uso de aguas. El mapeo de la situación actual de calidad de las aguas subterráneas proporciona una mejor gestión de los recursos (Figura 20). Los métodos de interpolación facilitan la estimación de los valores de

los puntos no muestreados y crean un conjunto de datos continuo para estudiar las distribuciones espaciales (Gunarathna et al., 2016).

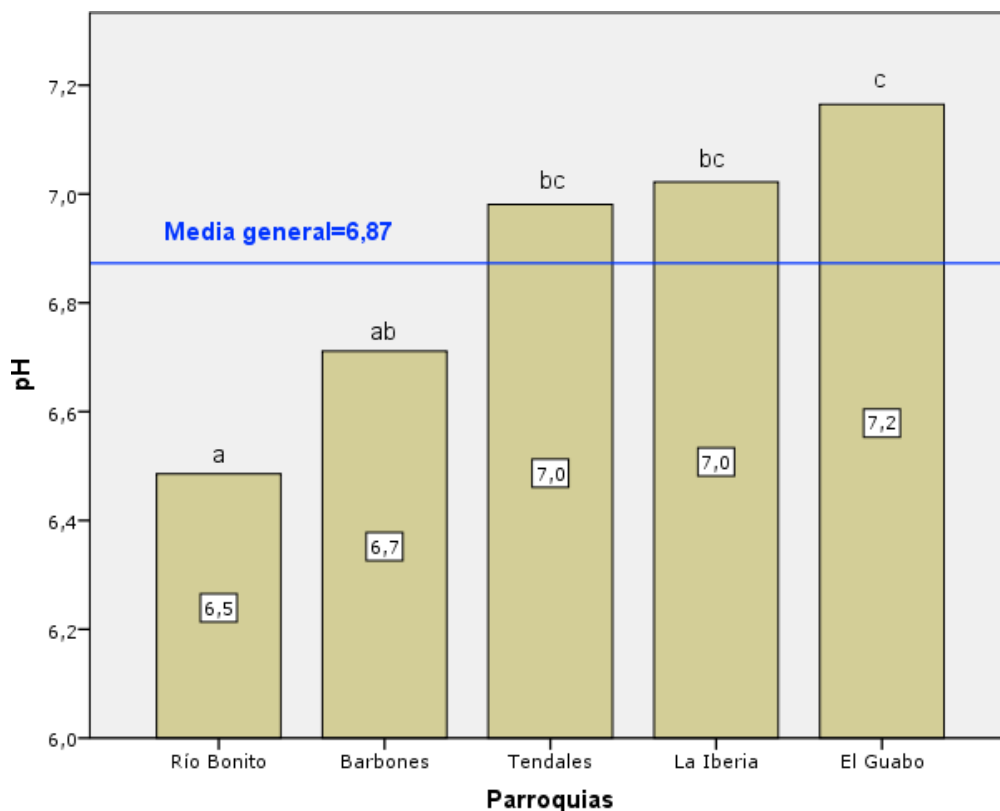


Figura 20. Promedio de pH del agua en pozos perforados en las parroquias del cantón El Guabo.

*Letras diferentes difieren estadísticamente para un $p\text{-valor} < 0,05$.

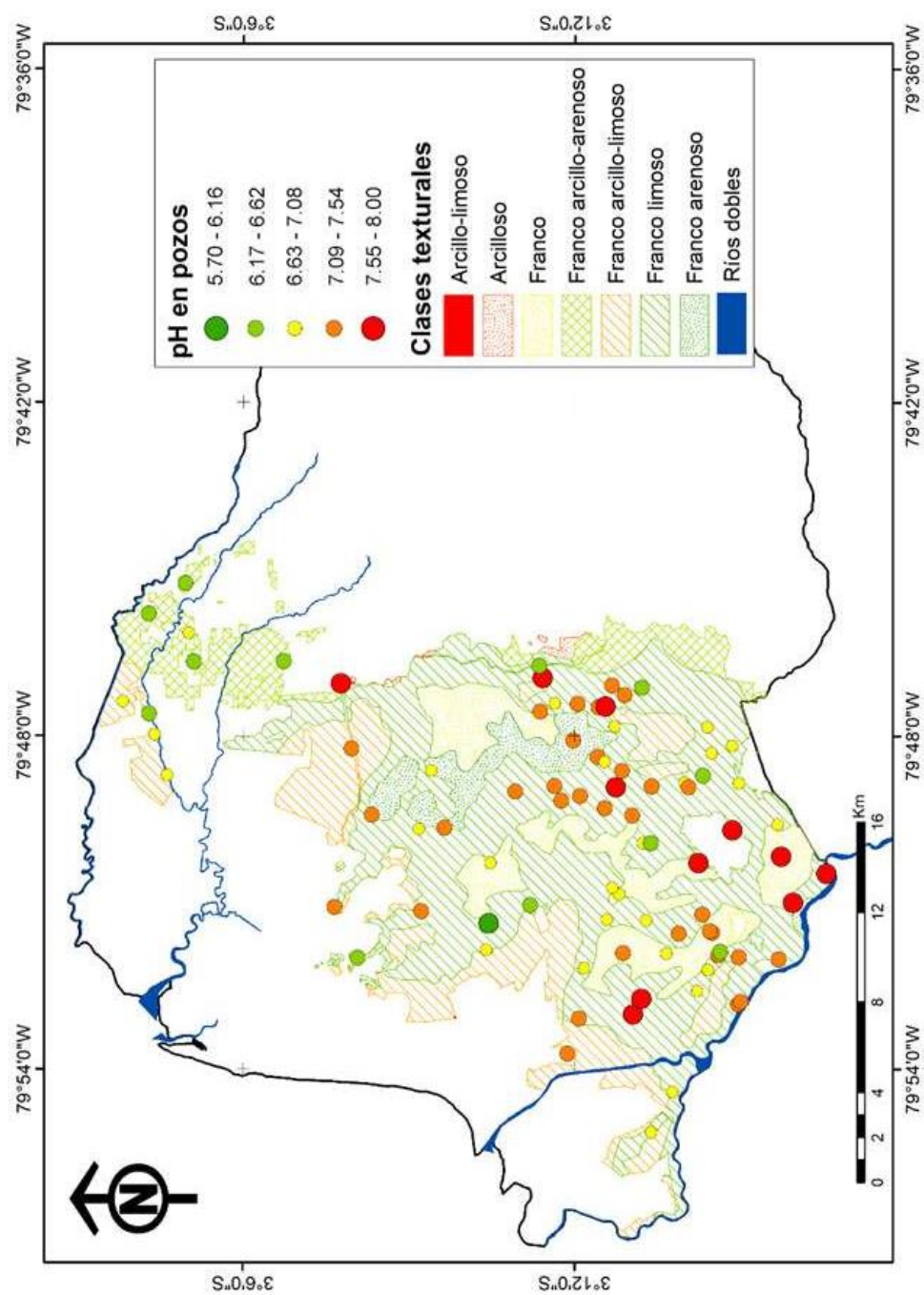


Figura 21. Distribución de los valores de pH en pozos de agua de la zona baja de El Guabo.

4.2.2.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un parámetro relacionado con TDS. La importancia de TDS y EC radica en su efecto sobre la corrosividad de una muestra de agua y su efecto sobre la solubilidad de compuestos ligeramente solubles como CaCO_3 (Vincy et al., 2015).

El análisis de los resultados muestra que la conductividad eléctrica (CE), que se determinó en el agua muestreada de los 85 pozos monitoreados de la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo una media aritmética de 538,64, encontrándose en 23 pozos la mayor frecuencia entre 0,00 y 150 S/cm, seguido de 16 con 350, 15 muestras con 666 S/cm. y la diferencia, o sea 31 pozos fluctúan entre 832 a 1,832 S/cm. Al mismo tiempo se ha ocasionado una influencia en la característica del agua subterránea evaluada (Figura 22).

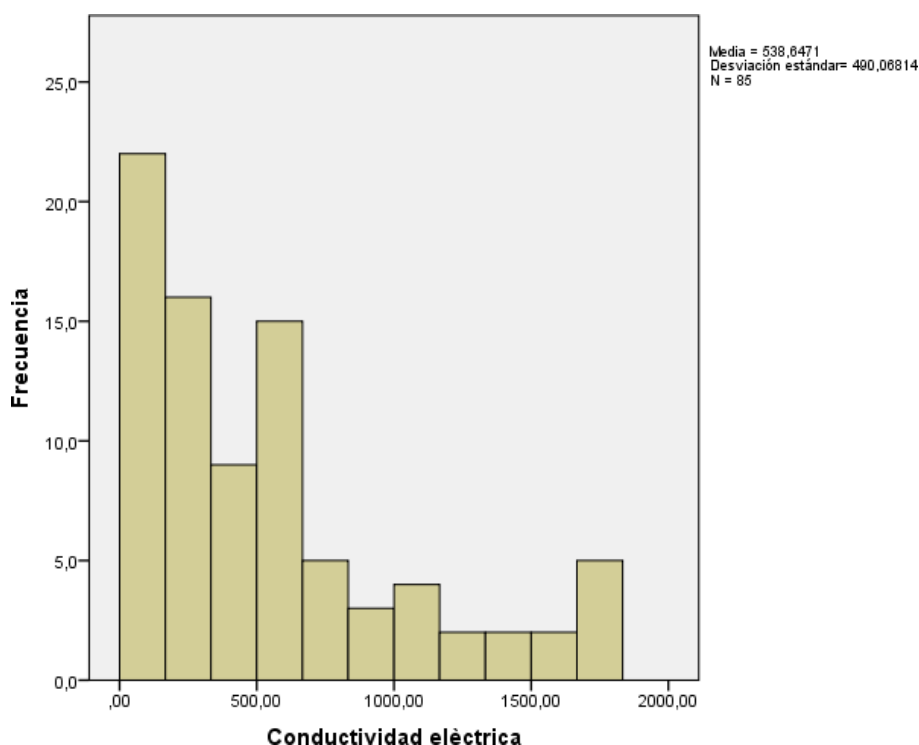


Figura 22. Distribución de frecuencias absolutas de los valores de conductividad eléctrica en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

Sabiendo que este parámetro es un buen indicador de salinidad total o cantidad total de sólidos disueltos en agua y ayuda a determinar la idoneidad de agua para beber y con fines agrícolas. Los estándares de la OMS, establecen límite máximo permitido para CE en el agua potable es de 1500 $\mu\text{S} / \text{cm}$ (OMS, 2011). Los resultados de análisis indica que valores por encima del estándar son consideradas como aguas salinas y/o contaminadas.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la concentración de iones, movilidad iónica y temperatura. La conductividad eléctrica del agua directamente relacionada con su contenido total de sólidos disueltos se expresa como Micro Siemens / cm a 25 °C (Udhayakumar et al., 2016).

El agua juega un papel importante tanto en las industrias domésticas como en las industriales. Los residuos industriales y los efluentes domésticos afectan la calidad de aguas superficiales y de las subterráneas, por lo tanto, la calidad de aguas de los ríos y pozos de aguas subterráneas depende principalmente de los parámetros químicos como el pH, la conductividad eléctrica (CE), el sólido disuelto total (TDS), el cloruro y la alcalinidad total (Sylus & Ramesh, 2015).

4.3. Calidad microbiológica de las aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en el cantón El Guabo.

El número que se considera como más probable de coliformes fecales y totales, se muestra en el Cuadro 11 y Figura 16, se puede apreciar, que 41% de muestras de aguas subterráneas de los pozos, presentaron los mayores valores de CF, oscilado en un rango de 40–160 UFC, seguida de un 23%, donde los valores medio de CF se ubicaron entre 161–450 UFC. El resto de las muestras analizadas (36%), quedo dentro de la escala de ausencia de coliformes. Mientras

que el comportamiento de la variable coliformes totales, mostro diferencias entre el número de pozos evaluados, apreciándose, valores máximos de 400- 500 UFC, presentes en un número de pozos, este comportamiento fue mermando a niveles de 100 a 300 UFC, significando una reducción en los niveles de coliformes de 40%, quedando por fuera en ausencia de coliformes totales, lo cual les permite cumplir la normativa de calidad apta para consumo doméstico.

Según lo señalado por OMS, 2011, donde se indica como nivel permisible de Coliformes Fecales, *E. coli* o Coliformes termotolerantes, la ausencia bacteriana en 100 mililitros de muestra analizada, que va a ser destinada para el consumo, los resultados obtenidos pudieran inferir que solo las muestras obtenidas de los pozos (S19, S20, S21, S77, S62, S2, S15 y S27) cumple con los parámetros establecidos.

Esta categorización, es imprescindible en la calidad del agua, ya que está relacionada directamente con la posible presencia de contaminación (Liu et al., 2015; Fernandez, 2017; Chán et al., 2014) sin embargo, este grupo de bacterias son indicadores de patógenos (Chacón & García, 2012), lo cual, si es una respuesta de acciones antropogénicas (Park & Chon, 2016), a través de contaminación fecal de personas y animales. (Tran et al. (2015), señalan que la importancia del seguimiento de fuentes de contagio fecal a fin de identificar el origen en las aguas de superficie y subterráneas, con la finalidad de gestionar planes de mejoramiento e implementación de acciones de remediación del líquido, de forma rentable y eficiente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Número de coliformes totales y coliformes Fecales en aguas subterráneas en la zona baja del Cantón El Guabo. Provincia El Oro.

Pozo	Coliformes fecales (UFC/100 MI)	Coliformes totales (UFC/100 MI)	Uso agua
S19	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Empacadora
S20	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Empacadora
S21	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Empacadora
S22	$8,2 \times 10^1$	$2,70 \times 10^2$	Empacadora
S23	$6,6 \times 10^1$	$2,90 \times 10^2$	Empacadora
S24	$1,80 \times 10^2$	$2,80 \times 10^2$	Empacadora
S25	$4,50 \times 10^2$	$5,40 \times 10^2$	Consumo humano
S26	$3,00 \times 10^2$	$3,90 \times 10^2$	Empacadora
S27	$9,6 \times 10^1$	$3,30 \times 10^2$	Consumo humano-Empacadora
S28	$6,0 \times 10^1$	$2,70 \times 10^2$	Riego-Empacadora
P77	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Consumo humano-Empacadora
P62	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Limpieza-Empacadora
2	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Empacadora
P20	$4,0 \times 10^1$	$2,70 \times 10^2$	Riego
55	$1,20 \times 10^2$	$3,40 \times 10^2$	Empacadora
69	$8,6 \times 10^1$	$2,60 \times 10^2$	Riego
73	$3,40 \times 10^2$	$4,20 \times 10^2$	consumo humano
P63	$1,88 \times 10^2$	$3,00 \times 10^2$	Limpieza-Empacadora
S9	$8,0 \times 10^1$	$1,20 \times 10^2$	Empacadora
S15	Ausencia de crecimiento	Ausencia de Crecimiento	Empacadora
S12	$9,0 \times 10^1$	$1,10 \times 10^2$	Empacadora
S7	Ausencia de crecimiento	Ausencia de Crecimiento	Empacadora

Así mismo, en relación a esta variable se aprecia variabilidad del número de CT y CF, según la profundidad de los pozos, apreciándose una correlación entre aquellas aguas provenientes de pozos más profundos, fueron las que se correspondieron con menos número de CT y ausencia de coliformes. En este sentido se ha señalado que la edad del pozo, el tipo de pozo, la profundidad del pozo, el tamaño de la parcela y las calificaciones del suelo pueden modificar la probabilidad de detectar bacterias coliformes. Encontrando que los pozos

perforados fueron menos profundos (profundidad media de 18 metros) en comparación con los pozos perforados (profundidad media de 79 metros). Encontramos bacterias coliformes, indicando que los pozos perforados tenían 4,76 veces más probabilidades de contener bacterias en comparación con los pozos perforados, a mayor profundidad. El número de bacterias coliformes aumentaba significativamente con la edad y profundidad del pozo (Owusu et al., 2020). Estos hallazgos se pueden aprovechar para determinar áreas de preocupación para alentar a los usuarios de pozos a tomar medidas para reducir el riesgo de beber posibles patógenos en el agua de pozo.

Rodriguez et al. (2018) señalaron la presencia de estos indicadores de calidad, por lo cual deben estar presente en el monitoreo de calidad de aguas se requiere una evaluación de la microbiología del agua. En el mismo orden, Rwasoka et al. (2011), señalan que las aguas subterráneas, en su estado natural, son de buena calidad microbiológica, ya que se filtra en el suelo, las rocas y sus derivados. Sin embargo, no todos los suelos son filtros efectivos. Como resultado, los patógenos contenidos en los desechos humanos, como las bacterias coliformes pueden atravesar el filtro del suelo y contaminar este recurso (Myers, 2009). La vulnerabilidad de las fuentes de agua subterránea a la contaminación microbiológica, se ha correlacionado, con la distribución espacial y temporalmente de acuerdo con los diferentes niveles de degradación de la fuente (Masocha et al., 2017), de igual forma la probabilidad de bacterias coliformes en las aguas subterráneas se ha visto incrementada significativamente con la edad del pozo, la profundidad del pozo, el tamaño de la parcela y la probabilidad de tener coliformes en los pozos (Plúas et al., 2020) (Figura 23).

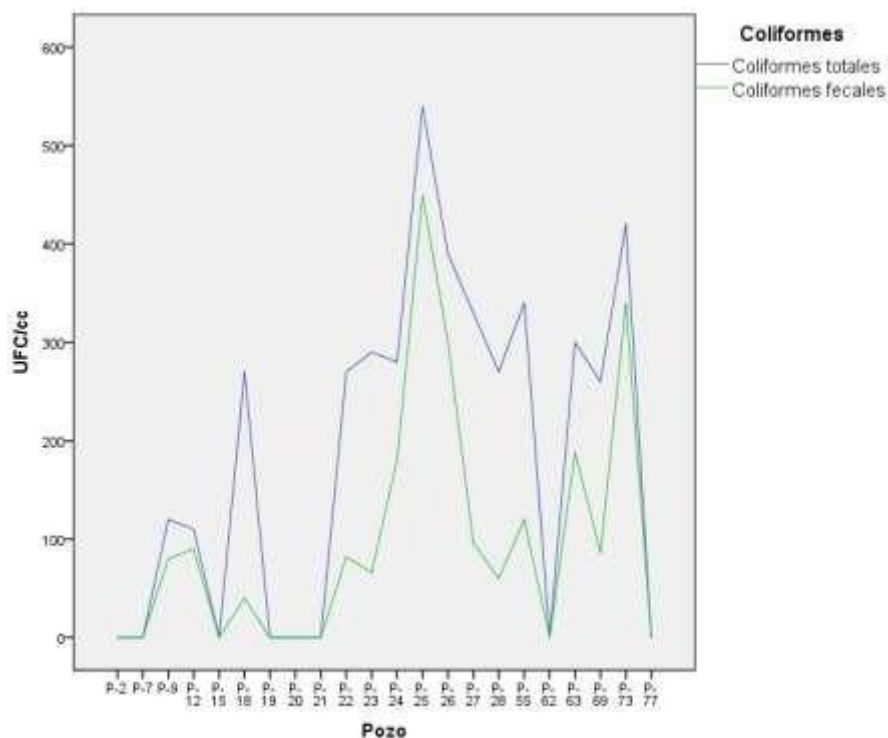


Figura 23. Comportamiento de coliformes totales y fecales en aguas subterráneas de la zona baja de El Guabo.

De igual forma, Balderacchi et al. (2013), han señalado que la calidad microbiológica del agua subterránea es muy variable y con frecuencia puede variar rápidamente, presentándose “aumentos repentinos de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y pueden desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua (OMS, 2011). Además, pueden exponerse a la enfermedad numerosas personas antes de que se detecte la contaminación microbiológica. Por estos motivos, para garantizar la salubridad microbiológica del agua subterránea, debe estar en monitoreo, no puede confiarse únicamente en análisis del producto final, incluso si se realizan con frecuencia” (Mulugeta et al., 2020).

Se ha indicado que el pH, se correlaciona con variaciones significativas en la composición, las funciones potenciales y las interacciones de las comunidades

bacterianas en el agua subterránea con alto contenido de metales pesados (Wu et al., 2020)

“La protección de la calidad del agua subterránea se ve dificultada por el hecho de que la mayoría de los contaminantes provienen de fuentes difusas y que la contaminación se traslada por el subsuelo a diferentes velocidades que son difíciles y costosas de monitorear. En general, la calidad del agua subterránea debe ser manejada indirectamente especificando un conjunto de mejores prácticas de manejo para gobernar las actividades que se llevan a cabo en las áreas de recarga. Un conjunto de prácticas bien diseñadas minimizará o eliminará la posibilidad de que los contaminantes lleguen al acuífero en cuestión. Los programas de protección del brocal del pozo son especialmente importantes en la medida en que los contaminantes pueden alcanzar el agua subterránea casi instantáneamente si fluyen por los pozos”.

Es importante señalar (Perdomo et al., 2001), que la sola presencia de coliformes en las aguas, ya es un indicador cualitativo de contaminación. Por lo que, agua con bajo niveles de coliformes siguen considerada como peligro ya que se correlaciona con la presencia de microorganismos patógenos. El análisis muestra un comportamiento generalizado ya que el 63% de las muestras indica presencia de coliformes, demostrándose que las aguas extraídas procedentes de pozos no son aptas para uso doméstico.

Específicamente en Ecuador se ha señalado que la presencia de coliformes fecales específicamente la especie *E. coli* se presenta de forma generalizada en fuentes de agua superficiales y subterráneas con rangos que presentan variación en relación con el uso del suelo y la presencia de poblados en las cercanías.

Investigaciones realizadas por SENAGUA (2010) indica que el 67% de las muestras analizadas en la cuenca del Río Guayas superan el límite máximo permisible (1000 NMP/100 ml) de coliformes fecales, alcanzando valores de hasta 16.000 NMP/100 ml.

De igual forma, “conforme al estudio presentado por la (ARCA, 2016); en el cual se analiza el incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica, se conoce que en promedio el porcentaje de incumplimiento de los criterios de calidad de agua para riego agrícola es del 53,25%, teniendo una tendencia creciente hacia el aumento del porcentaje de incumplimiento. Esto indica que las fuentes de agua del Ecuador tienen importantes restricciones de calidad para el uso y/o aprovechamiento sin tratamiento en actividades agrícolas” (MAGAP, 2016).

Lo cual se ha correlacionado con la “falta de tratamiento de las aguas residuales domésticas, reflejándose en los resultados de los parámetros bacteriológicos que se han analizado históricamente en diversos cuerpos de agua. Como se menciona en la sección sobre calidad del agua para los diferentes usos y/o aprovechamientos, uno de los indicadores de esta falta de tratamiento se expresa en mala calidad bacteriológica que sobrepasa los criterios de calidad para todos los usos en la mayoría de muestras analizadas en los informes de calidad de aguas subterráneas (INEC, 2014). En este mismo estudio se indica que la región de El Guabo, un área en que la infraestructura sanitaria es mínima. Las poblaciones reportaron que 40% utiliza una letrina, y 60% dispone de las excretas en el campo o los ríos, siendo muchos de estos ríos la fuente primaria de abastecimiento de agua”.

Los cual refuerza los resultados obtenidos en este estudio donde se puede conformar que las aguas subterráneas que se vienen utilizando como recurso primordial en la zona de estudio, no son aptas para consumo humano, debido a la elevada carga de contaminantes biológicos que posee. Como se aprecia solo el 63% de las muestras analizada está por encima de los niveles permisibles de contaminantes microbiológicos, tanto coliformes totales y fecales respectivamente, lo cual conlleva a inferir la necesidad de desarrollar un programa para el monitoreo que garantice la vigilancia continua y sistemática de todas las fuentes de distribución y abastecimiento.

4.4. Caracterización de metales pesados en aguas subterráneas utilizadas en actividades productivas en el cantón El Guabo.

En el Cuadro 12 se muestran los LMP para aguas de consumo humano y EL uso doméstico, agrícola, pecuario, vida acuática; dulce y marina, los cuales se utilizan como punto de comparación.

Cuadro 12. LMP para las aguas de consumo humano y uso doméstico, agrícola, pecuario, vida acuática; dulce y marina.

Metales Pesados en aguas expresados en mg/l					
Parámetros	Uso humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	Vida acuática agua dulce	Agua marina y estuario
Cadmio	0,02	0,05	0,05	0,001	0,005
Plomo	0,01	0,05	0,05	0,001	0,001
Mercurio	0,006	0,001	0,01	0,0002	0,0001
Manganeso	--	0,2	--	0,1	0,1
Cobre	2,0	0,2	2,0	0,005	0,005
Hierro	1,0	5,0	1,0	0,3	0,3

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015).

4.4.1. Cadmio

Como se puede prestar atención en la Figura 24 se presenta los contenidos de cadmio en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo, donde se observa que el 94,6 % de los pozos monitoreados por debajo del límite de detección, el 5,4 % corresponde entre 0 y el límite permisible y ninguno hay sobre el límite permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana. En relación al contenido de cadmio en las aguas subterráneas procedentes de pozos someros y subterráneos de las parroquias de la zona baja del cantón El Guabo, se puede apreciar en la figura 25 y 26, que los valores de

cadmio oscilaron entre -0,0480 a -0,0599 mg/L, apreciando como niveles fuera de los imites detectables de cadmio.

Para Xiaoyan et al. (2016) que la contaminación por cadmio (Cd) es un peligroso problema del medio ambiente general, no destruye únicamente la ecología microbiana en el suelo y reduce la cosecha de plantaciones, de igual forma proyecta peligroso riesgo a la salud humana. Se ha desarrollado varias metodologías para remediar la contaminación por Cd, pero no son absolutamente satisfactorias. Experiencias de remediación microbiana generan mayor ventaja por ser ecológicas y beneficiosas.

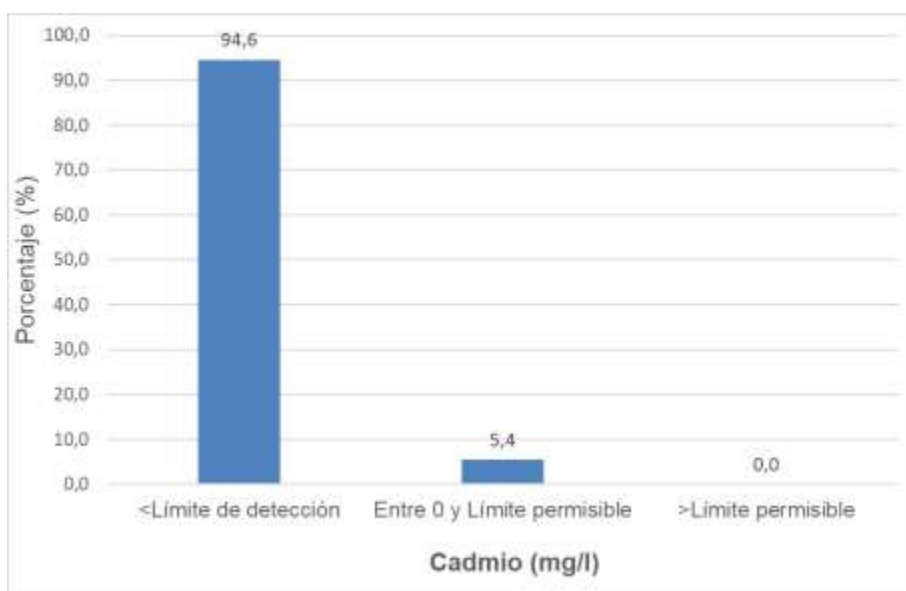


Figura 24. Contenidos de cadmio en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

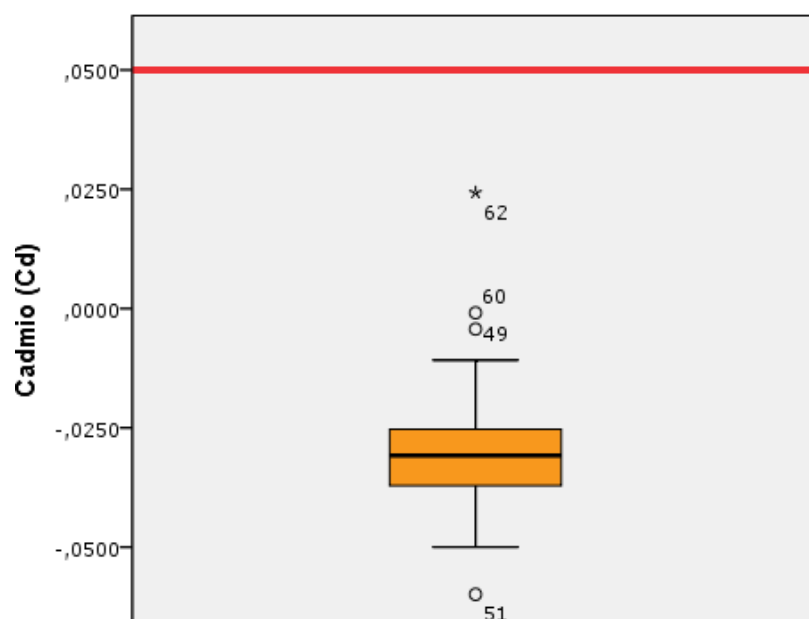


Figura 25. Distribución de los valores de Cd en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Cd.

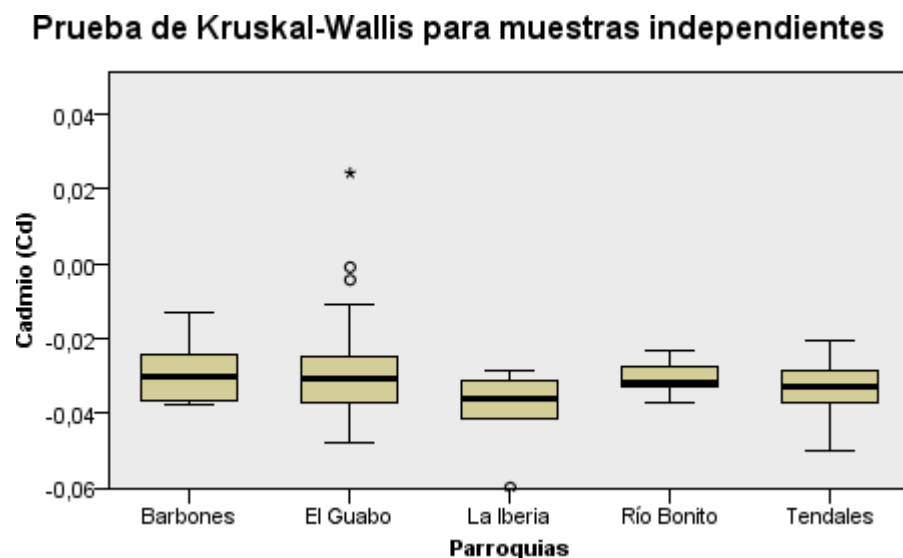


Figura 26. Valores medios de Cd en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo.

En relación a estos resultados se han encontrado correlaciones negativas entre Cd y parámetros que indican reducción o condiciones alcalinas. Señalando una correlación negativa al pH, se sugirió que el comportamiento general del Cd, una correlación significativa con otros metales traza, como Pb y Cu, infiriendo un comportamiento de movilización similar de estos elementos controlado por cambios en el pH, cambios en las condiciones redox o entrada antropogénica. Así mismo se señala la correlación positiva con el nitrato, lo cual es un indicador de influencia agrícola en la presencia de Cd en aguas subterráneas. La correlación negativa del Cd con los parámetros que indican condiciones alcalinas (HCO_3) o reductoras (Fe, NH_4) se puede explicar por la preferencia de condiciones de solubilidad del Cd.

Domagalski & Johnson (2012) indicaron que el fosfato es fuertemente adsorbido por sedimentos ricos en arcilla y óxidos metálicos en agua ácida y óxica, resultando en una correlación negativa con Cd, que es mucho menos adsorbido y por tanto permanece preferentemente en solución. El análisis de correlación indica que la movilidad del Cd no está relacionada con las condiciones de la solución.

Kubier et al. (2019) señalan que las concentraciones elevadas de cadmio (Cd) en las aguas subterráneas tienen implicaciones generalizadas para el suministro de agua y la agricultura. La química acuosa del Cd no se considera compleja; sin embargo, además de la intensa contaminación industrial, las interacciones hidrogeoquímicas multifacéticas controlan la movilidad del Cd.

Mollema et al. (2015), señalan que, dada la naturaleza del Cd como metal inmóvil en óxido y minerales de carbonato en condiciones alcalinas y neutras, puede convertirse móvil en aguas ácidas, debido a la disolución de su mineral huésped. Los pH mostrados por las muestras de las aguas analizadas se ubicaron en neutro a alcalinos, investigaciones han señalado que la aparición de Cd por encima de

0,5 µg /L principalmente en un rango estrecho de valores de pH entre 4.5 y 5.5, indicando que no era probable que la solubilidad del Cd en las aguas subterráneas estudiadas porque la frecuencia más alta de observaciones por debajo del límite de detección se observó a un pH alrededor de cercano a la alcalinidad.

La aparición y comportamiento de Cd en el agua subterránea se ha estudiado con respecto a los aspectos agrícolas (Bigalke et al., 2017; Grant & Sheppard, 2008). Quinde (2018) señalan contenidos de Cd un valor promedio de 0.95 mg/kg en suelos con explotación bananera, excediendo los límites máximos permisibles de acuerdo a la legislación ecuatoriana. Sin embargo. Se hace necesarios estudios a gran escala para investigar el comportamiento geoquímico del Cd con respecto a la influencia de factores hidrogeoquímicas, como condiciones redox cambiantes o cambios en la capacidad de amortiguamiento.

Haciéndose necesario considerar los diferentes ambientes redox en un acuífero, procesos redox inducidos microbianamente en el agua subterránea, lo cual pueden proporcionar parámetros indicadores de las condiciones que afectan la movilidad del Cd, haciéndolos proxies ideales para monitorear los procesos redox y la movilidad de metales traza como el Cd (Riedel & Kübeck, 2018).

4.4.2. Plomo

En relación a los contenido de plomo en las aguas subterráneas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo, se puede apreciar en la figura 18, que los valores máximos, fueron presentadas por las muestras de aguas monitoreas en la parroquia Iberia con valores de 0,5896 mg/L, seguida por las aguas subterráneas de pozos ubicados en las parroquias Rio bonito, Tendales y Guabo, con valores de 0,3349 a 0.4640 mg/L, quedando con valores de 0,2713 mg/L, las aguas provenientes de los pozos ubicados en la parroquia Barbones (Figura 27).

Así mismo se aprecia en la figura 28, que el 100,0 % de las aguas subterráneas extraídas de los pozos monitoreados supera los límites de permisible de plomo establecidos en norma ecuatoriana (figura 21) en la cual se establece como valor referencial 0,005 mg/L (CEPAL, 2012). De esta manera se ha indicado que los iones de metales pesados de plomo (Pb) son una amenaza peligrosa al ambiente y la salud humana (Huang & Keller, 2015), considerándose tóxicos cuando exceden las concentraciones normales; tienen efectos letales sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas (Qu et al., 2020).

Abdelwaheb et al. (2019) señalan que las actividades agrícolas presentan un riesgo significativo de contaminación de las aguas subterráneas. De hecho, los fertilizantes y las aguas residuales tratadas que se utilizan para el riego son, en parte, responsables del detrimento de la calidad de aguas subterráneas y superficiales. Las investigaciones indican que los contaminantes que presentan el mayor riesgo de contaminación del agua subterránea cuando son transportados por el agua a través del suelo arenoso se clasifican de la siguiente manera: plomo <níquel <fosfato <nitrato, mientras que, para un suelo arcilloso, la clasificación se vuelve como sigue: fosfatos <plomo <níquel < nitrato.

“El flujo subterráneo puede actuar como medio de transporte de los contaminantes desde los puntos de vertido, pudiendo degradar la calidad del agua en los pozos y manantiales, e incluso contaminar las aguas superficiales a las que fluye; en los casos más graves pueden hacer inutilizables estos recursos para usos urbanos o producir deterioros ambientales y ecológicos” (Mancilla et al., 2017).

Así mismo el riego agrícola aumenta el riesgo de contaminación del suelo por contaminantes persistentes como los metales pesados, que a su vez representan un peligro real para las aguas subterráneas a las que pueden llegar por la infiltración de agua de flujo (Tao & Barros, 2019) (Kumar et al., 2018). De igual

forma se ha señalado que la presencia de plomo en las aguas subterráneas es de origen geogénico, proviene del acuífero de roca carbonatada y del mineral y las aguas subterráneas poco profundas se ven afectadas por aguas superficiales contaminadas a través de la interacción de las aguas subterráneas, Kong et al. (2018) señalan que los acuíferos someros son más susceptibles a ser contaminados fácilmente por los pesticidas, fertilizantes, entre otros, además del regadío de auxilio con aguas residuales, lo cual conlleva a incrementar los niveles significativos de los metales contaminantes en las aguas subterránea (Robles et al., 2016).

En los análisis de correlación realizados para esta variable señalaron, una significancia en el 0,01 para la relación plomo con el nivel de pH presentado en las muestras de aguas (Cuadro 13) y significativa en el nivel 0,05 con relación a la profundidad del pozo (Cuadro 14).

En cuanto a la adsorción de plomo se han estudiado los parámetros que afectan el proceso como son: concentración inicial de plomo, tiempo de contacto, razón masa de zeolita-volumen de la solución, temperatura y pH e incluso la composición de la zeolita natural (Huanca et al., 2018). Estudios demuestran la utilidad de las zeolitas naturales en la remediación de aguas impactadas con plomo, en los cuales se logró remover hasta el 90% del metal toxico por mecanismos de adsorción e intercambio iónico (Alvarado et al., 2013).

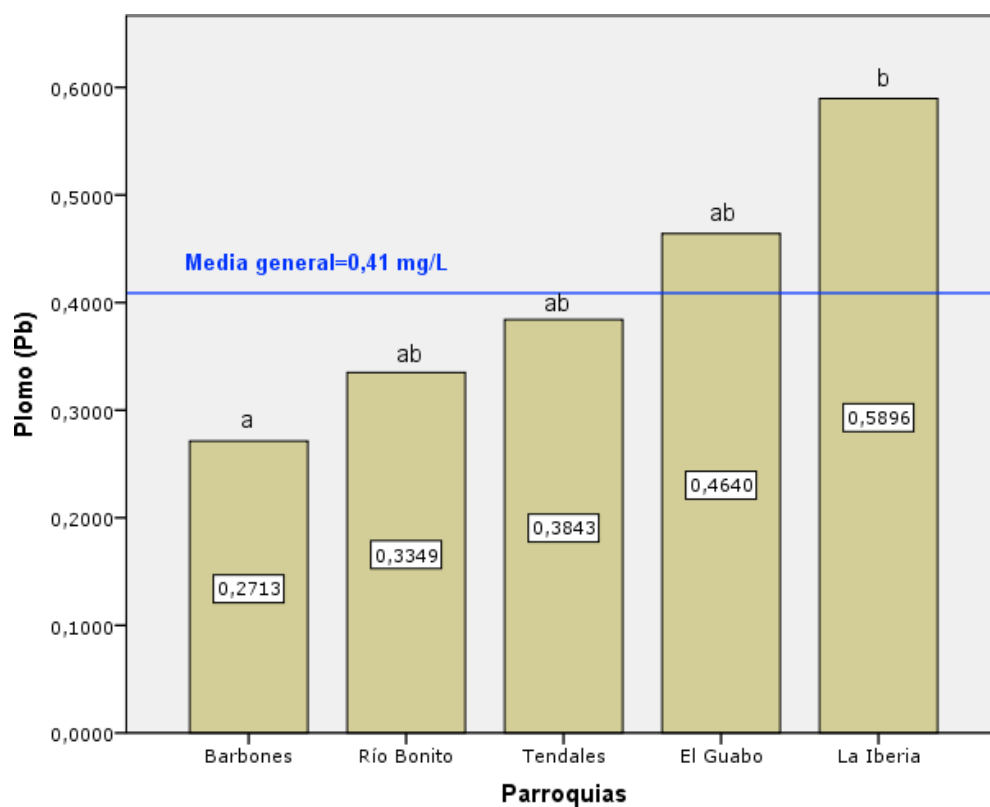


Figura 27. Valores promedio de Pb en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo. *Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor<0,05.

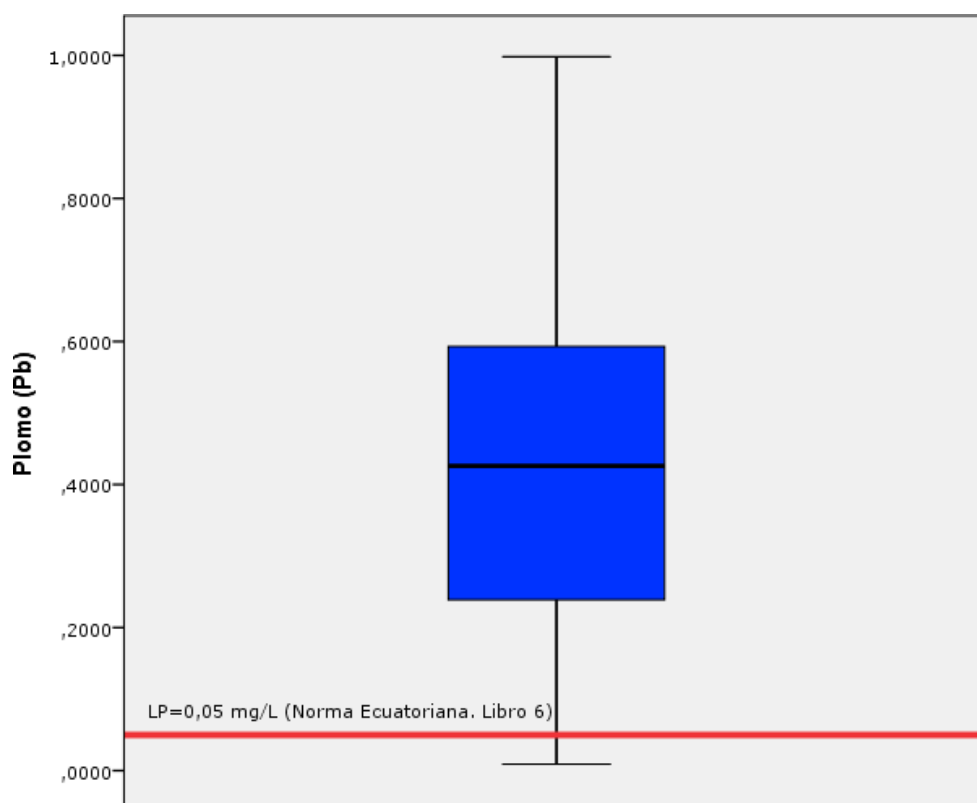


Figura 28. Distribución del contenido de Pb en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Pb.

Cuadro 13. Correlación entre contenido de plomo y pH de las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo.

		pH	Plomo (Pb)
pH	r de Pearson	1	0,449**
	p-valor		0,000
	N	85	85
Plomo (Pb)	r de Pearson	0,449**	1
	p-valor	0,000	
	N	85	85
**Correlación significativa al 0,01 (2 colas).			

Cuadro 14. Correlación entre contenido de plomo en aguas subterráneas y la profundidad de los pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo.

		Plomo (Pb)	Profundidad del pozo (m)
Plomo (Pb)	r de Pearson	1	0,224*
	p-valor		0,039
	N	85	85
Profundidad del pozo (m)	r de Pearson	0,224*	1
	p-valor	0,039	
	N	85	85
*Correlación significativa al 0,05 (2 colas).			

Diferentes investigaciones señalan el rol del pH en varios sistemas, reconociendo su fuerte influencia en el proceso de biosorción, marcando un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (Can-chulim et al., 2011). “En soluciones ácidas se produce una competencia de los iones H⁺ con los cationes metálicos por los sitios de intercambio. Al aumentar el pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad. Por lo tanto, en suelos agrícolas con cargas variables, la retención de los cationes metálicos aumenta en la medida que el pH sea más alto y se reduce al acidificarse el suelo o el agua” (Mancilla et al., 2017; Cuizano et al., 2010).

4.4.3. Mercurio

Se puede observar en las figuras 29-30, se presenta el contenido de mercurio en aguas procedentes de pozos someros y profundos de la zona baja del cantón El

Guabo, resultados de los pozos muestreados: los valores de mercurio oscilaron entre -42,0056 a - 0,1900, quedando el 100,0 % de las aguas con niveles de Hg fuera del límite de detección, de acuerdo a la normativa ecuatoriana. Manteniendo la misma distribución de mercurio en las parroquias evaluadas.

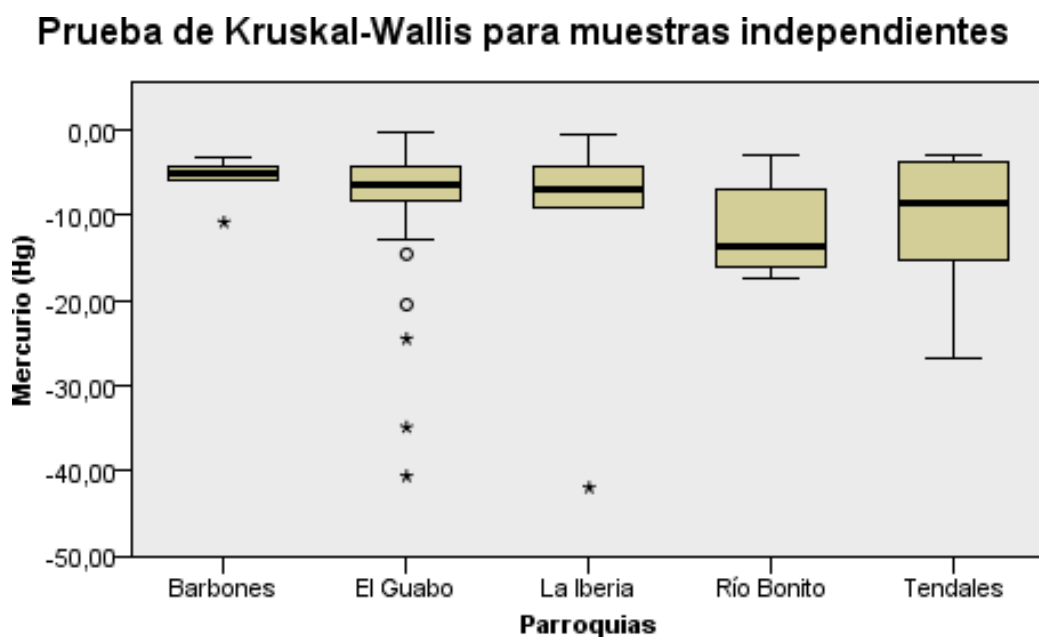


Figura 29. Valores medio del contenido de Hg en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo.

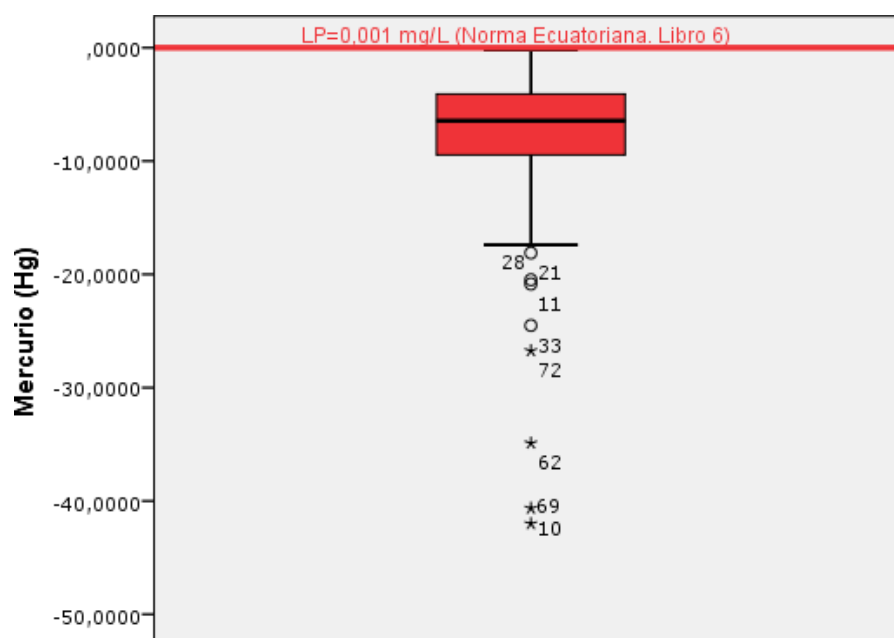


Figura 30. Distribución de los valores de Hg en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles Hg.

La temperatura y el pH presentan un rol importante en la forma química en la que se encuentra el mercurio, valores cercanos a 30°C y por debajo de 7 de pH benefician la forma inorgánica del Hg^{2+} , estado en el que ocasiona la contaminación del agua y que el hombre al consumirlo puede incorporar (Halldin et al., 2020), provocando efectos adversos en la salud y preocupación por los sistemas que utilizan una fuente de agua subterránea (Sirajudeen & Pravinkumar, 2020)., lo cual, indica que la mayoría de los metales, incluido el mercurio, son más disponibles en pH ácidos, siendo menos absorbidos en el medio (Galán y Romero, 2008) y se facilitan mayormente la movilidad de los metales (Oyarzún, 2007).

El elemento mercurio es un peligro general hacia la salud humana y ambiental, lo cual ha generado preocupación mundial éstos últimos años por su volatilidad,

persistencia y bioacumulación, siendo la energía con uso del carbón, el mayor origen de emisiones antropogénicas de mercurio al aire (Yang et al., 2015).

De la misma manera, Krishna et al. (2016), indican que el “mercurio es un metal altamente tóxico que puede acumularse en los sistemas ecológicos y afectar negativamente al medio ambiente. Las principales especies químicas del mercurio son el mercurio elemental (HgO), el mercurio iónico (Hg^+ , Hg^{2+}), el metilmercurio (MeHg^+) y el etilmercurio ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Hg}^+$). El metilmercurio es una neurotoxina y se encuentra comúnmente en ambientes acuáticos debido a su afinidad con el tejido graso en los animales; el metilmercurio tiende a bioacumularse y biomagnificarse más fácilmente que otras especies de mercurio. En particular, el mercurio divalente (Hg^{2+}) es un contaminante ambiental generalizado, que se encuentra principalmente en las aguas superficiales” (Krishna et al., 2016).

4.4.4. Cobre

En relación con el contenido de cobre encontrado en el muestreo realizado al agua procedente de los pozos que forman parte del estudio en la zona baja del cantón El Guabo, se obtuvo el 48,6 % entre 0 y el límite permisible, así como el 51,4 % mayor que el límite permisible de la norma ecuatoriana que acepta como límite máximo permisible 2,0 mg/l para uso humano y doméstico, así como 0,2 mg/l, para uso agrícola, por lo que según los datos alcanzados al encontrarse por encima del límite permisible más de la mitad de los pozos, es un indicador de contaminación del agua (Figura 31 y 32).

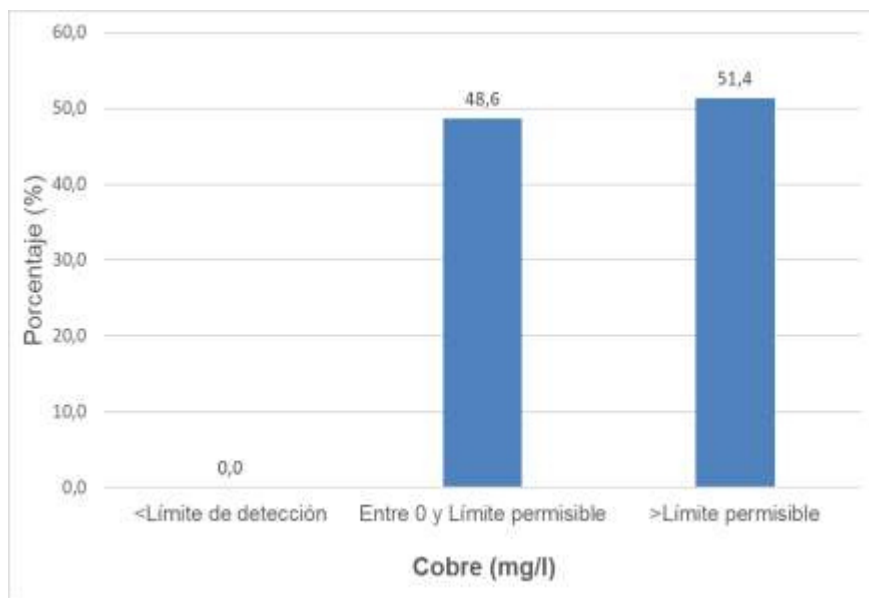


Figura 31. Contenidos de Cu en aguas para riego procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

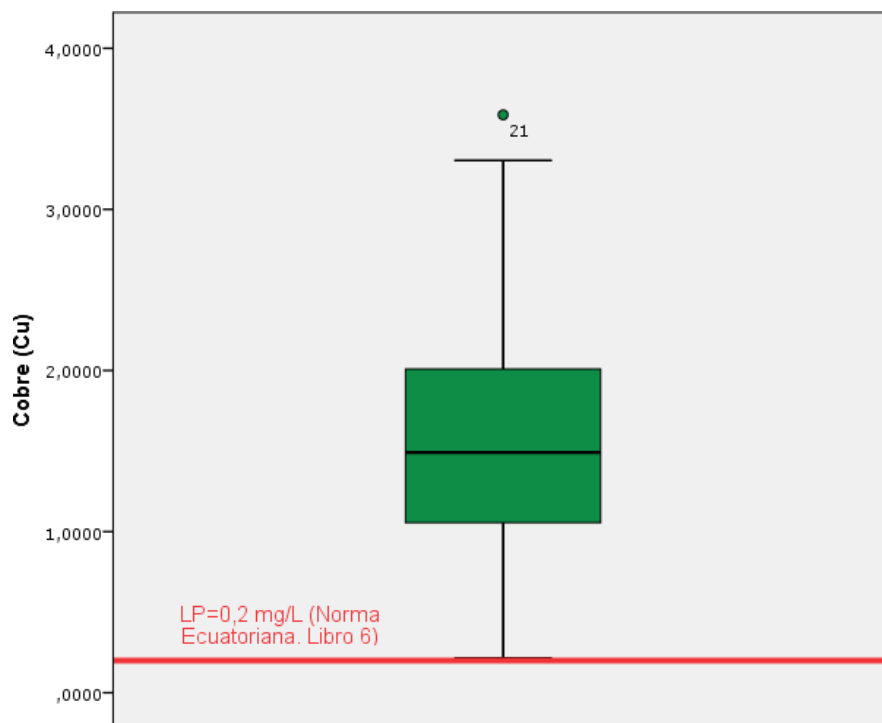


Figura 32. Distribución del contenido de Cu en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles.

Los niveles detectados en muestras de aguas manifiestan que las aguas subterráneas perteneciente al Cantón El Guabo hay presencia de cobre, así mismo, se muestra, que, según la distribución en las parroquias, los valores medios del metal oscilaron entre 0,2140 a 3,5868 mg/L. Los valores máximos, fueron presentadas por las muestras de aguas monitoreas en la parroquia Tendales con valores de 3,5868 mg/L, seguida por las aguas subterráneas de pozos ubicados en las parroquias Guabo e Iberia con valores de 3,3036 a 2,8694 mg/L, y en un último grupo las parroquias Río Bonito y Barbones con valores de 2,5107 a 2,3031 mg/L respectivamente (Figura 33).

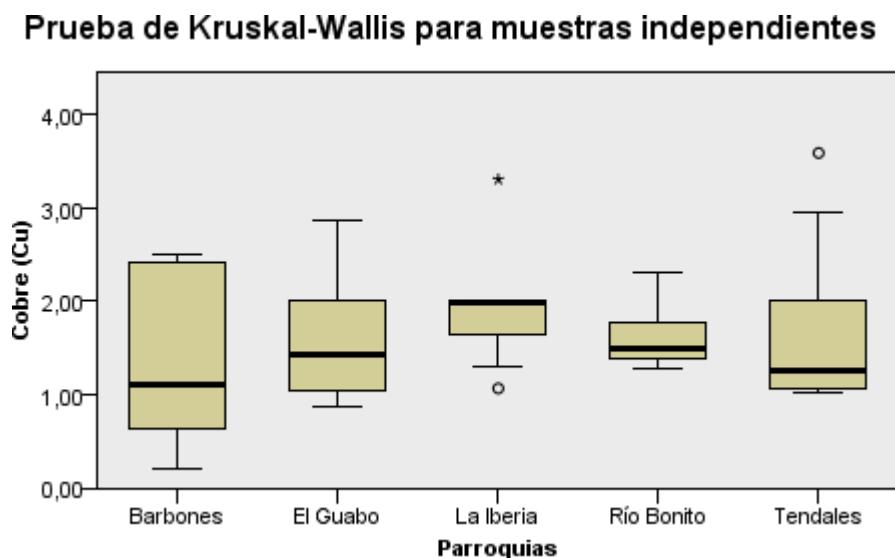


Figura 33. Valores medios de Cu en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo

El cobre se utiliza principalmente en formulaciones de plaguicidas (Filimonova et al., 2016) reportan el cobre en el tercer lugar como metal tóxico después del cadmio y el mercurio, que presentan la mayor toxicidad. La presencia de cobre por encima de los límites esenciales afecta a una gran variedad de procesos

metabólicos y bioquímicos, como la respiración, la división celular, la fotosíntesis, síntesis de clorofila, síntesis de carbohidratos, síntesis de pigmentos y metabolismo (Filimonova et al., 2016).

Características importante ya que la explotación agrícola principal de la zona en estudio está destinada a la explotación bananera, altamente dependiente de agroquímicos, de esta manera se ha correlacionado la proximidad de las bananeras y la calidad de las aguas, por ello, la calidad de agua era baja, ubicándose parámetros físico químicos fuera de las normativas aunado a la detección de problemas de salud más altos, que se presentan en otros pueblos, con problemas de piel y esterilizaciones de los trabajadores (Rossi, 2013).

Pérez (2011), citado por Goicochea (2015), menciona que la ingesta en demasía de cobre puede producir anemia y afectar el estómago y el intestino, lo que obedece con una elevada y reiteradas molestias digestivas expresadas por las personas encuestadas, y que corresponden a actores sociales, trabajadores de la fábrica y pobladores de la fábrica de cerámica blanca.

4.4.5. Manganeseo

En la figura 34 y 35, se pueden apreciar los contenidos de manganeseo en aguas procedentes de pozos someros y profundos de la zona baja del cantón El Guabo, donde se observa que el 45,9 % de los pozos monitoreados está menor al límite de detección, el 27,0 % corresponde entre 0 y el límite permisible y el 27,0 % está sobre el límite permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana.

La contaminación por metales pesados se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves en la actualidad. Los métodos biológicos como la bioabsorción o las estrategias de bioacumulación para la eliminación de iones de metales pueden proporcionar una alternativa atractiva a las tecnologías existentes.

Los microorganismos, como bioabsorbentes de metales pesados, ofrecen una nueva alternativa para la eliminación de metales tóxicos o valiosos en el agua.

Saccharomyces cerevisiae ha recibido una atención creciente debido a su naturaleza única y capacidad de adsorción de metales. Es uno de los biosorbentes más prometedores capaces de eliminar iones metálicos de una solución acuosa. El manganeso se produce naturalmente en muchas fuentes de agua superficial y subterránea y en suelos que pueden erosionarse en esta agua (Fadel et al., 2019).

En este estudio, tres bacterias con altas capacidades de oxidación de Fe y Mn fueron aisladas del lodo de pozos de agua subterránea e identificadas como *Acinetobacter* sp., *Bacillus megaterium* y *Sphingobacterium* sp. Las relaciones máximas de eliminación de Fe y Mn (99.75% y 96.69%) se obtuvieron mediante una combinación óptima de las bacterias a una temperatura de 20.15 °C, pH 7.09 y un tamaño de inóculo de 2.08%, escala de cuatro laboratorios.

Los biofiltros se probaron en paralelo para la eliminación de iones de hierro y manganeso del agua subterránea. Los resultados indicaron que las relaciones de eliminación de Fe / Mn del biofiltro R4, que se inoculó con bacterias oxidantes de hierro y manganeso y una bacteria formadora de biopelículas, fueron aproximadamente del 95% para cada metal durante la operación continua y fueron mejores que los otros biofiltros. Este estudio demostró que la bacteria que forma biopelículas podría promover la inmovilización de las bacterias oxidantes de hierro y manganeso en los biofiltros y mejorar la eficiencia de eliminación de iones de hierro y manganeso del agua subterránea (Li et al., 2016).

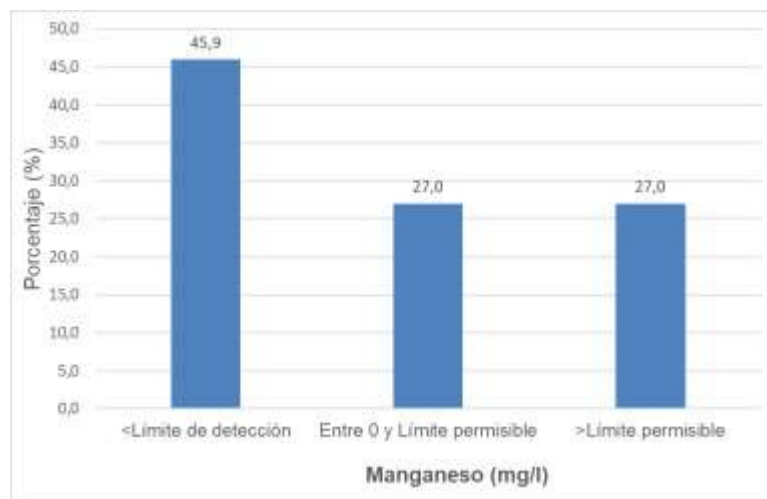


Figura 34. Contenidos de manganeso en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

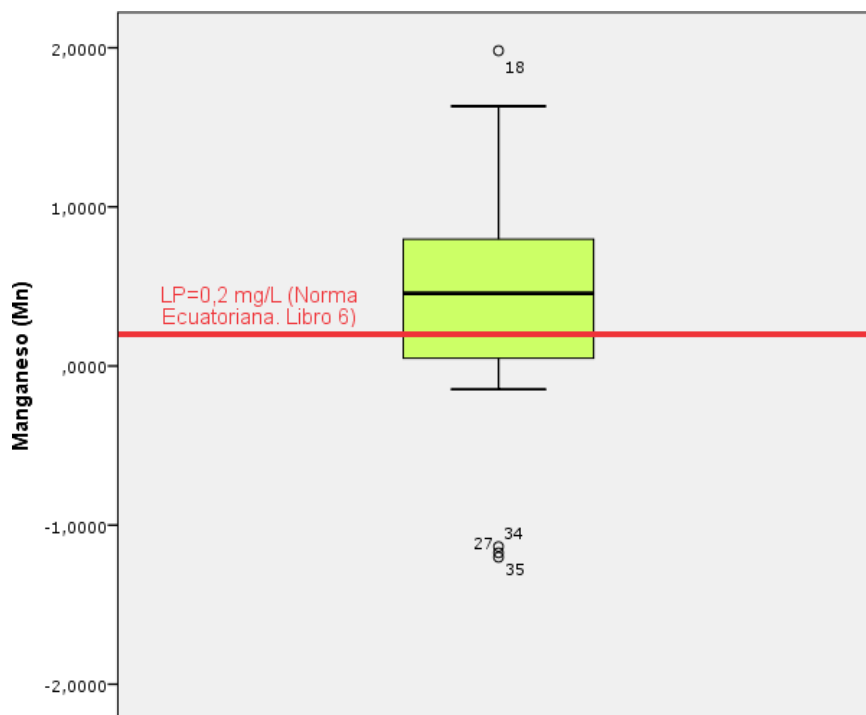


Figura 35. Distribución de los valores de Mn en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles

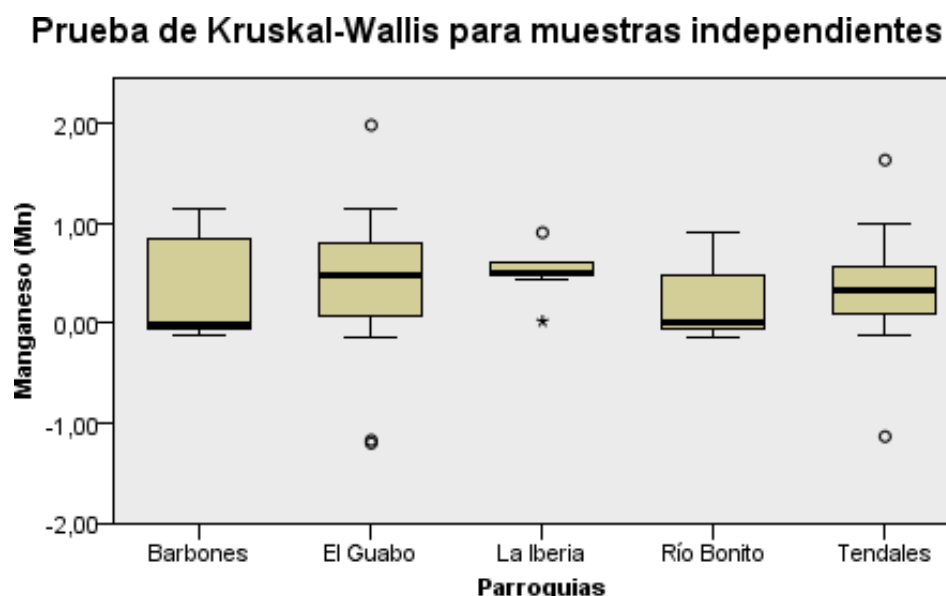


Figura 36. Valores medio del contenido de Mn en las aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo.

4.4.6. Hierro

En relación con el contenido de hierro encontrado en el muestreo realizado al agua procedente de los 85 pozos que forman parte del estudio en zona baja del cantón El Guabo se obtuvo un 91,9 % se encuentra menor al límite detectable, entre 0 y el límite permisible con un 8,1 %, para la norma ecuatoriana (0,3 mg/l) (Figura 37 y 38).

“El abastecimiento público de agua con altas concentraciones de Fe y Mn es una problemática presente en diversas localidades del país. Un ejemplo, son los municipios de Azcapotzalco, Agrícola Oriental, Sierra de Santa Catarina, Iztapalapa, Milpa Alta, Tlahuac y Xochimilco, en la Ciudad de México, donde se han detectado altas concentraciones de manganeso y particularmente de hierro (del orden de 1 a 5 mg/L). En el estado de Hidalgo, estudios realizados en los municipios de Molango y Zimapán, han mostrado que los acuíferos se encuentran contaminados con Mn, Zn, Al, Ba y Fe; sin embargo, únicamente las

concentraciones de Mn exceden los límites establecidos por la normatividad mexicana para agua de consumo humano”.

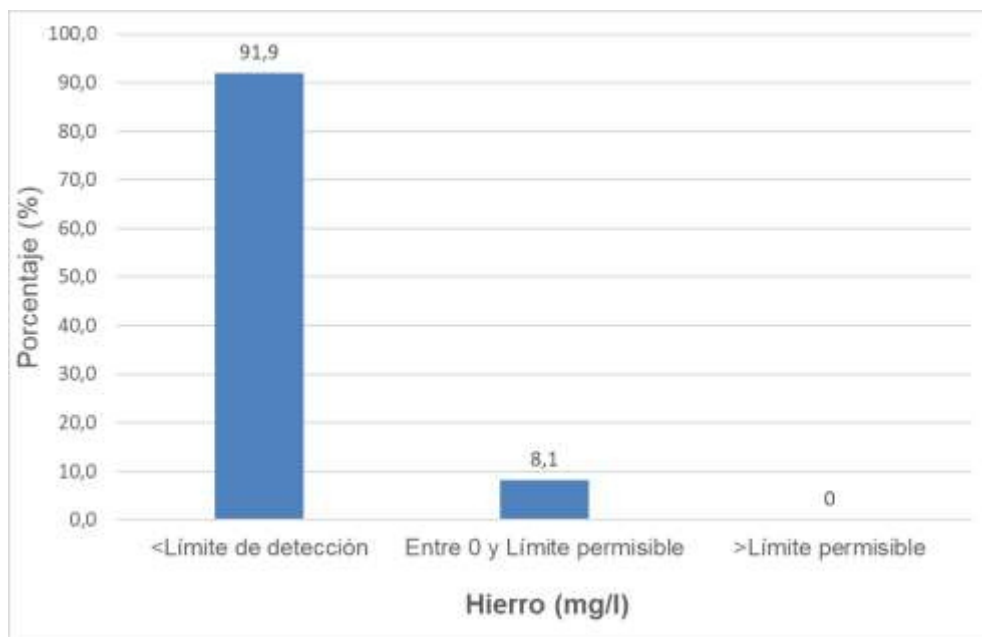


Figura 37. Contenidos de hierro en aguas procedentes de pozos someros y subterráneos de la zona baja del cantón El Guabo.

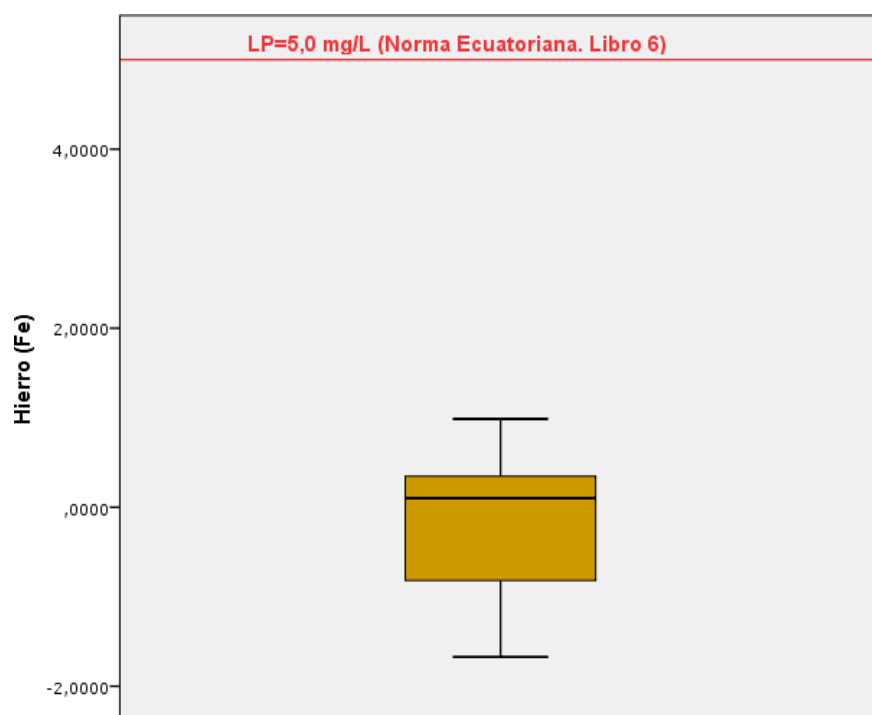


Figura 38. Distribución de los valores de Fe en aguas subterráneas extraídas en los pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo dentro del límite permisibles.

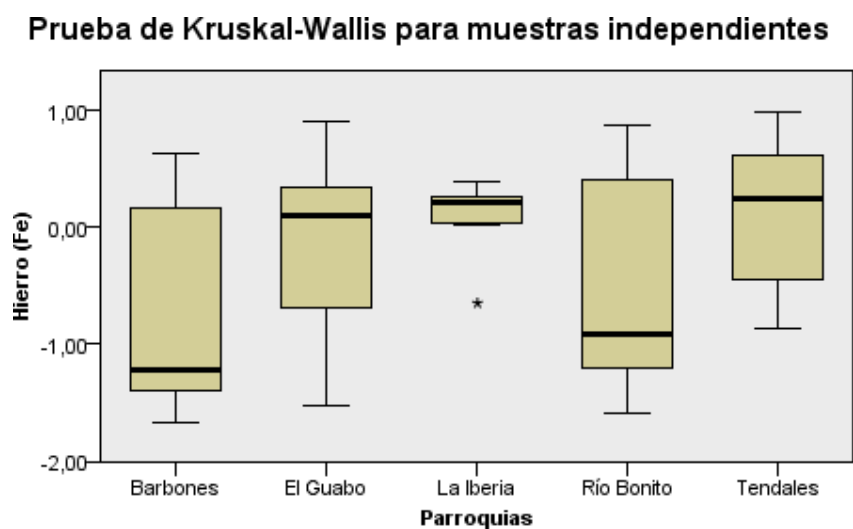


Figura 39. Valores medios del contenido de Hierro en aguas subterráneas extraídas de pozos perforados ubicados en las parroquias del cantón El Guabo

“Generalmente, el manganeso está presente junto con el hierro en los pozos de agua, dado que su química es similar, las fuentes industriales de manganeso son también fuentes de hierro. Las aguas con mayor carga orgánica contienen mayor cantidad de hierro produciéndose asociaciones y complejos químicos. La fuente de contaminación por hierro en las aguas naturales puede ser por vertimientos industriales, sales solubles del suelo, así como por la corrosión de las tuberías de hierro. El hierro y el manganeso pueden encontrarse en el agua en tres posibles formas: disuelto, en partículas y coloidal. La prevalencia de una forma u otra dependerá del pH del agua, la temperatura y el potencial redox” (Hernández et al., 2005).

Los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas tuvieron variación significativa según las características de los pozos evaluados mostrando situaciones diversas en la región del Guabo. Esta variabilidad en los datos recolectados, nos señala la necesidad del monitoreo para conocer el comportamiento de los parámetros, a fin de mejorar la gestión del agua subterránea en la zona de estudio y tomar medidas para su manejo sustentable. En relación a esta situación se ha venido señalando en informes de la gestión de la calidad de las aguas en Ecuador, que la falta de monitoreo sistemático del agua subterránea es uno de los obstáculos para la gestión sostenible. Por ello, el Centro Internacional para la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos (IGRAC),) ha venido desarrollado la Red Global de Monitoreo de Aguas Subterráneas (GGMN), programa que tiene como objetivo mejorar la calidad y accesibilidad a la información del monitoreo a nivel global y, con ello, mejorar el conocimiento sobre el estado del recurso, en los cuales según lo presentado por la UNESCO sobre la situación del monitoreo de las aguas subterráneas en América Latina indicándose que a pesar que en nuestro país existe SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua), como institución responsable de la gestión de los recursos hídricos sin embargo no existe en el Ecuador una Red nacional de monitoreo de aguas subterráneas, y se hace necesario realizarlos con una frecuencia establecida y una continuidad a lo largo del tiempo, ya que esto no

solo permite observar el comportamiento del acuífero por variaciones estacionales.

Así mismo, se recalcó que información existente no está documentada formalmente, basada en opiniones particulares de la comunidad (Izurieta et al., 2019). Por lo que la información suministrada podrá contribuir a visualizar el estado de situación del agua subterránea en la región del Guabo, utilizando los datos del monitoreo como herramienta, así como, formar sinergias que permitan el intercambio de experiencias y conocimientos con evaluaciones realizadas en otras regiones importantes del país.

CONCLUSIONES

- La distribución del uso de las aguas subterráneas según la georreferenciación de los 85 pozos ubicados en la zona bananera del cantón El Guabo, Provincia de El Oro, Ecuador, fueron discriminados en un 90.6 % destinados a la actividad de producción bananera, el 2.4 % en consumo humano y el 7.1 % para uso mixto (producción, doméstico y otras).
- Los parámetros físicos de las aguas subterráneas extraídas de los pozos georreferenciados fueron catalogados con temperaturas de 25.80°C, un 87% de olor agradable, el 90% con sabor dulce, un 94% de color cristalino y con una turbidez media de 0.5-5,0.
- Los valores medios de los parámetros químicos de las aguas subterráneas analizadas se ubicaron en TDS con 250 mg/l, oxígeno disuelto en 2,327 %, un pH de 7,01 y una conductividad eléctrica de 538,64 S/cm.
- El 63% de las aguas subterráneas que se utilizan en la zona bananera en el cantón de El Guabo, Provincia El Oro, no son indicadas para el consumo de los seres humanos, debido a los valores alcanzados de coliformes totales y fecales presentes.
- Los índices medios de coliformes totales presentes en las aguas subterráneas que se usan en la zona bananera en el cantón El Guabo, Provincia El Oro oscilaron en niveles de 110 – 540 UFC/100 ml, ubicándola como uso prioritario para actividades de producción agrícola/pecuaria.

- Los valores de los metales pesados cadmio, mercurio, y hierro, presentes en las aguas subterráneas analizadas se encuentran en niveles por debajo de los límites permisibles para uso agrícola y humano indicados en la normativa de Ecuador para el recurso agua.
- Las muestras de aguas subterráneas poseen concentraciones significativas de los niveles de Plomo superando los límites máximos permisibles de acuerdo a lo indicado por la norma ecuatoriana correspondiente al uso del recurso agua para consumo humano, aceptándose dentro la categoría de uso de actividades de producción.
- Los niveles de cobre y manganeso presentes en las muestras de agua subterránea analizadas, fueron superiores a los límites máximos permisibles para uso humano y agrícola en los sitios que se encontraron los elementos.
- El manejo de los sistemas productivos bananeros en El Guabo, El Oro y Ecuador, así como las actividades de poscosecha en banano de exportación constituyen elementos que influyen de forma negativa en la contaminación del suelo y el agua por metales pesados, condicionados por el uso excesivo de productos químicos.

RECOMENDACIONES

Es necesaria que las instituciones nacionales y regionales que conforman el Comité Interinstitucional de la Calidad del Agua del Ecuador: SENAGUA, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Salud Pública y Ministerio de Ambiente, enlacen esfuerzos para facilitar y apoyar la creación de un programa de Red de coordinación, formulación de políticas y articulación de acciones sobre la calidad y el control de la contaminación de aguas, orientadas a la protección, conservación, así como de su manejo integrado, además de gestión de recolección y análisis de datos sobre el estado y la calidad de aguas subterráneas a través de la integración de los indicadores tradicionales y nuevas tecnologías acreditadas bajo la Norma Técnica ISO de los estándares que garanticen la calidad del agua.

Procurar implementar proyectos de investigación para determinar las fuentes de contaminantes orgánicos, para disminuir los riesgos evitando la biomagnificación y desarrollo de enfermedades por agentes contaminantes.

La OMS instituye los estándares internacionales para calidad de agua para consumo humano, por ello, los países que implementan normas nacionales se valen de las guías de la OMS que son escritos que publican alrededor de cada 12 años, en que se recopila la información actualizada del mundo.

La información levantada en este estudio de monitoreo debe ser recolectada, analizada, sistematizada y accesible mediante un sistema de información compartido por los diversos actores generadores y aquellos usuarios de la información, a fin que los datos obtenidos en el monitoreo de la calidad de aguas se encuentren dispersos, se presenten pérdidas de recursos.

Es necesario mejorar la calidad del agua subterránea a través del monitoreo y obtención de datos obtenidos regularmente, debido a la interdependencia de aguas que manan entre estados, provincias y regiones del país, enlazados con las instituciones educativas y de investigación que validen la información obtenida, grado de vigilancia para establecer el riesgo que se asocia con los diferentes contaminantes y la confiabilidad de la calidad actual del recurso.

Continuar con el monitoreo específicamente hacer el seguimiento a la información obtenida de los pozos detectados con problemas de contaminación específica con metales pesados (plomo, manganeso y cobre) y fuentes microbiológicas a fin de detectar de forma oportuna la contaminación y las afectaciones a la calidad y la cantidad del agua y desarrollar estrategias de remediación para mejorar la calidad del recurso hídrico, por ello, se deben medir con una frecuencia que permita la seguridad de su uso.

Establecer un plan de capacitación a los usuarios y grupos vulnerables con relación a los mecanismos eficaces que permitan controlar, prevenir y mitigar la afectación a la calidad de las aguas y aquellos efectos adversos derivados de su contaminación.

En la zona de El Guabo, no hay datos relevantes para metales pesados en suelos, tampoco en aguas subterráneas, sobre la extracción desde los acuíferos, siendo apremiante realizar investigaciones para determinar los caudales, las fuentes de contaminación y la remediación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelwaheb, M., Jebali, K., Dhaouadi, H., & Dridi-Dhaouadi, S. (2019). Adsorption of nitrate, phosphate, nickel and lead on soils: Risk of groundwater contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 179(January), 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.040>
- Adamou, H., Ibrahim, B., Salack, S., Adamou, R., Sanfo, S., & Liersch, S. (2020). Physico-chemical and bacteriological quality of groundwater in a rural area of Western Niger: A case study of Bonkoukou. *Journal of Water and Health*, 18(1), 77–90. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.082>
- Ahmed, M., Matsumoto, M., & Kurosawa, K. (2018). Heavy Metal Contamination of Irrigation Water, Soil, and Vegetables in a Multi-industry District of Bangladesh. *International Journal of Environmental Research*, 12(4), 531–542. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0113-z>
- Alvarado, G; Mora, G; Ulloa, A. (2013). Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica , ICE , Escuela Centroamericana de Geología , Universidad de Costa Rica * Autor para contacto : galvaradoi@ice.go.cr. *Revista Geológica de América Central*, 48, 159–168.
- Anim-Gyampo, M., Anornu, G. K., Appiah-Adjei, E. K., & Agodzo, S. K. (2019). Quality and health risk assessment of shallow groundwater aquifers within the Atankwidi basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(April), 100217. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100217>
- Apaza, T. (2020). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Badeenezhad, A., Tabatabaee, H. R., Nikbakht, H. A., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M. A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(May), 100435. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100435>
- Baird, C., & Cann, M. (2014). Química Ambiental. *Editorial Reverté*, 816.
- Balderacchi, M., Benoit, P., Cambier, P., Eklo, O. M., Gargini, A., Gemitzi, A., ... Trevisan, M. (2013). Groundwater pollution and quality monitoring approaches at the European level. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(4), 323–408. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.604259>
- Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>

- Barik, R., & Pattanayak, S. K. (2019). Assessment of groundwater quality for irrigation of green spaces in the Rourkela city of Odisha, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 8(January), 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.005>
- Bidhuri, S., & Khan, M. M. A. (2020). Assessment of Ground Water Quality of Central and Southeast Districts of NCT of Delhi. *Journal of the Geological Society of India*, 95(1), 95–103. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1390-7>
- Bigalke, M., Ulrich, A., Rehmus, A., & Keller, A. (2017). Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental Pollution*, 221, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.035>
- Bocanegra, O., Bocanegra, E., & Alvarez, A. (2002). Arsénico en aguas subterráneas: su impacto en la salud. *Groundwater and Human Development*, (1), 7. <https://doi.org/10.1201/9781439833599.sec1>
- Bracho, G. J., Cuador Gil, J. Q., & Rodríguez Fernández, R. M. (2016). Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia. *Minería y Geología. Revista Digital Científica Tecnológica*, 32(1), 1–14.
- Brousett, Magaly; Alex, Chambi; Mery, Mollocondo; Luzbenita, A. E. L. (2018). Physical-Chemical and Microbiological Evaluation of Water for Human Consumption Puno - Peru, 47–68.
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2014). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*.
- Calsín, K. V. (2016). Br. KATHERINE VANESSA CALSÍN RAMÍREZ.
- Can-chulim, Á., Ortega-escobar, H. M., García-calderón, N. E., Reyes-ortigoza, A. L., González-hernández, V., & Flores-Roman, D. (2011). Origin and Quality of the Groundwater in the Oriental Basin of Mexico. *Terra Latinoamericana*, (29), 189–200.
- Caraballo Collazo, M. P., & Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. <https://doi.org/978-9974-594-09-8>
- CEPAL. (2012). *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador*.
- Chacón, C; García, H. (2012). Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales y Subterráneas, de la Subcuenca del Río Viejo. *Universidad y Ciencia*, 6(9), 13–19. <https://doi.org/10.5377/uyc.v6i9.1951>
- Chán Santisteban, M. L., & Peña, W. (2014). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán , Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19–23.
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Singh, A. K., & Kumar, V. (2018). A new approach for indexing groundwater heavy metal pollution. *Ecological Indicators*, 87(June 2017), 323–331.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.052>

- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Chaware, S., Patil, N., Satpute, G., Apturkar, S., Tingre, A., Bante, C., & Deshkar, B. (2020). Google Earth Imageries for Validating Groundwater Recharge Zone in Basaltic region. *Journal of the Geological Society of India*, 96(4), 374–384. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1566-1>
- Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Fillastre, U., Hay, M., Rouleau, A., ... Germaneau, D. (2011). Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems: Application to the Saguenay-Lac-St.-Jean region, Canada. *Computers and Geosciences*, 37(11), 1870–1882. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.04.013>
- Chirino, N. A., & Camperos, J. C. (2018). Caracterización de aguas subterráneas en el municipio buchivacoa (venezuela) con fines de tratamiento C, 11, 27–38.
- Comisión de Comercio y Desarrollo Sustentable. (2017). *Mejores negocios, un mundo mejor. Resumen ejecutivo*.
- Cuizano, N. A., Reyes, Ú. F., Domínguez, S., & Llanos, B. P. (2010). RELEVANCIA DEL pH EN LA ADSORCIÓN DE IONES METÁLICOS MEDIANTE ALGAS PARDAS. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(2), 123–130.
- Czekalla, C; Mevius, W; Hanert, H. (1985). Quantitative removal of Fe and Mn by microorganisms in rapid sand filters (in situ investigations). *Water Supply*, 3, 143.
- Dar, T., Rai, N., Bhat, A., & Dar, T. (2020). Delineation of potential groundwater recharge zones using analytical hierarchy process (AHP) hierarchy process (AHP). *Geology, Ecology, and Landscapes*, 00(00), 1–16. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1726562>
- Domagalski, J. L; Johnson, H. M. (2012). Phosphorus and Groundwater: Establishing Links Between Agricultural Use and Transport to Streams. *National Water-Quality Assessment Program*, (January), 2–5.
- Dominguez, J., & Carrillo, J. J. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México. *México En Tres Momentos: 1810-1910-2010*, 1–29.
- Dougna, A. A., Gnazou, M. D.-T., Kodom, T., Djaneye-Boundjou, G., & Bawa, M. L. (2014). Physico-chimie et qualité des eaux des forages d'hydraulique villageoise dans la région centrale au Togo. *International Journal of Biological*

- and Chemical Sciences*, 9(4), 2249. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.42>
- Embaby, A., & Redwan, M. (2019). Sources and behavior of trace elements in groundwater in the South Eastern Desert, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7868-3>
- Escrig, I., & Morell, I. (1996). Origen y comportamiento de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en el subsistema acuífero de la Plana de Castellon. *Estudios Geológicos*, 52(5–6), 259–268.
- Facundo Agustín Paganini Gismond. (2019). Departamento de Geología y Petróleo Evaluación de resultados de Sondeos Eléctricos Verticales en la prospección de agua subterránea en la provincia de.
- Fadel, M., Hassanein, N. M., Elshafei, M. M., Mostafa, A. H., Marwy, A., Khater, H. M., ... Mostafa, A. H. (2019). Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *HBRC Journal*, 13(1), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.12.006>
- Filimonova, V., Gonçalves, F., Marques, J. C., De Troch, M., & Gonçalves, A. M. (2016). Biochemical and toxicological effects of organic (herbicide Primextra® Gold TZ) and inorganic (copper) compounds on zooplankton and phytoplankton species. *Aquatic Toxicology*, 177, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.05.008>
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., DÉlia, M., & Paris, M. (2002). *Proteccion de la Calidad del Agua Subterranea*.
- Gislette, P; Mouchet, P. (1997). Iron, Manganese and Ammonia removal in drinking water: the biological treatments. *International Workshop on Iron and AIDIS, Buenos Aires, Argentina*.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). Science of the Total Environment 21st century climate change in the European Alps — A review ☆. *Science of the Total Environment*, 493, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- Golekar, R. B., Patil, S. N., & Baride, M. V. (2013). Human health risk due to trace element contamination in groundwater from the Anjani and Jhiri river catchment area in northern Maharashtra, India. *Earth Sciences Research Journal*, 17(1), 17–23.
- Gou, S. (2010). Identifying Groundwater Dependent Ecosystems in the Edwards Aquifer Area, 1–24.
- Grant, C. A., & Sheppard, S. C. (2008). Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. *Human and Ecological Risk Assessment*, 14(2), 210–228. <https://doi.org/10.1080/10807030801934895>

- Gunarathna, M. H. J. P., Kumari, M. K. N., & Nirmanee, K. G. S. (2016). Evaluation of Interpolation Methods for Mapping pH of Groundwater. *Ijltamas*, V(III), 1–5.
- Haas, J. C., & Birk, S. (2017). Characterizing the spatiotemporal variability of groundwater levels of alluvial aquifers in different settings using drought indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(5), 2421–2448. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2421-2017>
- Halldin Stenlid, J., Campos dos Santos, E., Arán-Ais, R. M., Bagger, A., Johansson, A. J., Roldan Cuenya, B., ... Pettersson, L. G. M. (2020). Uncovering the electrochemical interface of low-index copper surfaces in deep groundwater environments. *Electrochimica Acta*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.137111>
- Han, K., Zuo, R., Ni, P., Xue, Z., Xu, D., Wang, J., & Zhang, D. (2020). Application of a genetic algorithm to groundwater pollution source identification. *Journal of Hydrology*, 589(March), 125343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125343>
- Hatva, T. (1988). Treatment of groundwater with slow sand filtration. *Water Science Technology*, 20(3), 141–147.
- Hedberg, T.; Wahlberg, T. (1998). Upgrading of waterworks with a new biooxidation process for removal of manganese and iron. Upgrading Of Water And Waste Systems, Kalmar, Suecia. *Water Science and Technology*, 37(9), 121–126.
- Hernández, S; Gómez, A; Juárez, P; Hernández, G. (2005). Química del Hierro y Manganeseo en el agua, Metodos de Remoción, 52.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*.
- Hohmann, C., Kirchengast, G., & Birk, S. (2018). Alpine foreland running drier? Sensitivity of a drought vulnerable catchment to changes in climate, land use, and water management. *Climatic Change*, 147(1–2), 179–193. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2121-y>
- Hossain, M., Patra, P. K., Begum, S. N., & Rahaman, C. H. (2020). Spatial and sensitivity analysis of integrated groundwater quality index towards irrigational suitability investigation. *Applied Geochemistry*, 123, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104782>
- Huan, H., Li, X., Zhou, J., Liu, W., Li, J., Liu, B., ... Jiang, Y. (2020). Groundwater pollution early warning based on QTR model for regional risk management: A case study in Luoyang city, China. *Environmental Pollution*, 259, 113900. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113900>
- Huanca, P. K., Paredes, B., Rodríguez, M., Gonzales, D. P., Tejada, T. R., &

- Chávez, J. E. (2018). CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA ZEOLITA NATURAL DE OCUVIRI (PERÚ) PARA LA REMOCIÓN DE Pb (II) EN SOLUCIÓN A NIVEL LABORATORIO. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 9(3), 1–12.
- Huang, Y., & Keller, A. A. (2015). EDTA functionalized magnetic nanoparticle sorbents for cadmium and lead contaminated water treatment. *Water Research*, 80, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.011>
- Ingallinella AM, Sanguinetti G, P. V. (2001). Remoción de Fe y Mn en aguas subterráneas mediante biooxidación. *WEFTEC Latin America 2001, Water Environmental Federation, USA, Noviembre, San Juan, Puerto Rico*, 1-9.
- Izurieta, I; Campaña, A; Calles, J; Estévez, E; Ochoa, T. (2019). Informe de la calidad de agua en el Ecuador. In *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades* (pp. 283–306).
- Jesiya, N. P., & Gopinath, G. (2020). A fuzzy based MCDM–GIS framework to evaluate groundwater potential index for sustainable groundwater management - A case study in an urban-periurban ensemble, southern India. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(August), 100466. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100466>
- Jianmin, B., Yu, W., & Juan, Z. (2015). Arsenic and fluorine in groundwater in western Jilin Province, China: occurrence and health risk assessment. *Natural Hazards*, 77(3), 1903–1914. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1682-1>
- Kofi A. Annan. (2006). *Agua para el consumo humano. Agua para el consumo humano*.
- Kong, H., Teng, Y., Song, L., Wang, J., & Zhang, L. (2018). Lead and strontium isotopes as tracers to investigate the potential sources of lead in soil and groundwater: A case study of the Hun River alluvial fan. *Applied Geochemistry*, 97(August), 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.08.022>
- Krishna, A. S., Jiang, S., & Tseng, W. (2016). Facile synthesis and characterization of thiol-functionalized graphene oxide as effective adsorbent for Hg (II). *Biochemical Pharmacology*, 4(2), 2052–2065. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.034>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 108(July). <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
- Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Bhardwaj, R., ... Cerda, A. (2018). Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. *Chemosphere*, 216, 449–462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.066>

- Kuwayama, Y., & Brozović, N. (2013). The regulation of a spatially heterogeneous externality: Tradable groundwater permits to protect streams. *Journal of Environmental Economics and Management*, 66(2), 364–382. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.02.004>
- Lazo Fraga, A. R. (2014). *Desarrollo de electrodos selectivos a iones Pb(II) basados en aroiltiureas*.
- Li, C., Wang, S., Du, X., Cheng, X., Fu, M., Hou, N., & Li, D. (2016). Immobilization of Iron- and Manganese-oxidizing Bacteria with a Biofilm-forming Bacterium for the Effective Removal of Iron and Manganese from Groundwater. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.020>
- Liu, W., Chan, W., & Young, C. (2015). Science of the Total Environment Modeling fecal coliform contamination in a tidal Danshuei River estuarine system. *Science of the Total Environment*, The, 502, 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.065>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López Geta, J., Fornés Azcoiti, J., Ramos González, G., & Villarroya Gil, F. (2009). *Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo*. Instituto Geológico y Minero de España.
- MAGAP. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 97.
- Malek, A., Kahoul, M., & Bouguerra, H. (2019). Groundwater's physicochemical and bacteriological assessment: Case study of well water in the region of Sedrata, North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 41(1), 91–100. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0032>
- Mancilla Villa, O., Fregoso Zamorano, B. E., Hueso Guerrero, E. J., Guevara Gutiérrez, R. D., Palomera García, C., Olguín López, J. L., ... Flores Magdaleno, H. (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería. *Idesia*, 35(3), 115–123. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000303>
- Marcovecchio, R. H.; Freije, J. E. (2004). Efectos de la intervención antrópica sobre sistemas marinos costeros: el estuario de Bahía Blanca., *Acad.Nac.C*(56), 115–132.
- Martí, L., Salcedo, C., Troilo, S., Filippini, M., Drovandi, A., & Valdés, A. (2011). Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza : *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(2), 203–221.

- Masocha, M., Dube, T., & Dube, T. (2019). Integrating microbiological and physico-chemical parameters for enhanced spatial prediction of groundwater quality in Harare. *Physics and Chemistry of the Earth*, 112(January), 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.03.003>
- Masocha, M., Murwira, A., Magadza, C. H. D., Hirji, R., & Dube, T. (2017). Remote sensing of surface water quality in relation to catchment condition in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 100, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.013>
- Mcquillan, D., Richards, A., & Parkers, J. (2002). Agua subterránea, Departamento de Medio Ambiente. (Primera). México.
- Mendoza, R. (2006). Sistemática e historia del ají Capsicum Tourn. *Universalía*, 11(2), 80–86.
- Meng, L., Zuo, R., Wang, J. sheng, Yang, J., Li, Q., & Chen, M. (2020). The spatial variations of correlation between microbial diversity and groundwater quality derived from a riverbank filtration site, northeast China. *Science of the Total Environment*, 706, 135855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135855>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Registro Oficial* (Vol. 387).
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo No 097- A. Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria. *Registro Oficial TULSMA*, (0075), 1–184.
- Mohamed, N. S., Kandeil, A., Al-Zubaidy, I. A. H., Kayali, G., & Ali, M. A. (2019). Genetic and antigenic characterization of avian influenza H9N2 viruses during 2016 in Iraq. *Open Veterinary Journal*, 9(2), 164–171. <https://doi.org/10.4314/ovj.v9i2.12>
- Mohankumar, K., Hariharan, V., & Rao, N. P. (2016). Heavy Metal Contamination in Groundwater around Industrial Estate vs Residential Areas in Coimbatore , India. *Journal of Clinicak and Diagnostic*, 10(4), 5–7. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/15943.7527>
- Mollema, P. N., Stuyfzand, P. J., Juhász-Holterman, M. H. A., Van Diepenbeek, P. M. J. A., & Antonellini, M. (2015). Metal accumulation in an artificially recharged gravel pit lake used for drinking water supply. *Journal of Geochemical Exploration*, 150, 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.004>
- Momiy Hada, F., Rojas Morote, A., Rodríguez González, A., Mendez Vega, M., & Castro, F. (2017). *Nuevo régimen especial de monitoreo y gestión de uso de aguas subterráneas a cargo de las EPS. Metodología, criterios técnico-económicos y procedimiento para determinar la tarifa.*
- Montolío, S; Valls, V; Sanz, G. (1979). Contaminación de aguas subterráneas.
- Moreno Merino, L., Losa Román, A., Romero Prados, A., & Navarrete Martínez,

- P. (2016). Guía para el muestreo de las aguas subterráneas y la solución del suelo. *Publicaciones Del Instituto Geológico y Minero de España. Hidrogeología y Aguas Subterráneas N°32*, 880.
- Mouchet, P. (1992). From conventional to biological removal of Fe and Mn in France. *J. AWWA*, 84(4), 158–166.
- Mulugeta, T., Muhinyuza, J. B., GOUWS-MEYER, R., MATSAUNYANE, L., ANDREASSON, E., & ALEXANDERSSON, E. (2020). Botanicals and plant strengtheners for potato and tomato cultivation in Africa. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(2), 406–427. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62703-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62703-6)
- Myers, J. N. (2009). Accuweather. Retrieved from <https://www.accuweather.com/es/cl/bulnes/57572/julyweather/57572?monyr=7/1/2017&view=table>
- Narsimha, A., & Jianhua, W. (2019). Groundwater quality and associated health risks in a semi-arid region of south India: Implication to sustainable groundwater management Human and Ecological Risk Assessment: An International Groundwater quality and associated health risks in a semi-arid. *Human and Ecological Risk Assessment*, 0(0), 1–26. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546550>
- Niu, B., Wang, H., Loáiciga, H. A., Hong, S., & Shao, W. (2017). Temporal variations of groundwater quality in the Western Jiangnan Plain, China. *Science of the Total Environment*, 578, 542–550. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.225>
- Oki, T. (2016). Global Hydrological Cycles and World Water Resources Global Hydrological Cycles and World Water Resources, (January). <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- OMS. (2012). Estudio De La Calidad De Fuentes Utilizadas Para Consumo Humano Y Plan De Mitigación Por Contaminación Por Uso Doméstico Y Agroquímicos En Apurímac Y Cusco. *Ecofluidos Ingenieros S.A.*, 105.
- Oyarzún, R. (2007). Transporte de contaminantes en aguas subterráneas. *CEAZA - Chile*, 22, 1–32.
- Pacheco Ávila, J., Cabrera Sansores, A., & Perez Ceballos, R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, . *Ingeniería*, 8(2), 165–179.
- Pacini, V, Ingallinella, A. M; Sanguinetti, G. (2004). . Nuevos avances en la remoción biológica de Fe y Mn. 29º Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria, San Juan de Puerto Rico, 1-9.
- Pacini, V. (2006). Prefiltración en Mantos de grava ascendente aplicados a la

- remoción biológica de Fe y Mn en aguas para consumo humano. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 1-220.
- Park, J. H., & Chon, H. (2016). Characterization of cadmium biosorption by *Exiguobacterium* sp. isolated from farmland soil near Cu-Pb-Zn mine. *Environ Sci Pollut Res*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6335-8>
- Pateiro, L. M. (2019). *El derecho internacional del agua: los acuíferos transfronterizos* (Vol. 504).
- Perdomo, C. H. C. O. N. C. V. S. (2001). COLIFORMES EN EL LITORAL SUDOESTE DEL URUGUAY NITRATE AND COLIFORM CONTAMINATION OF GROUNDWATER IN, 10–22.
- Petri, M., Gostin, P., Krsnik, P., & Gacin, M. (2020). GIS database of groundwater flow characteristics in carbonate aquifers: Tracer test inventory from Slovenian karst, 118(March). <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102191>
- Plúas-Chiquito, A. L., Pozo-Cajas, M., Lajones-Tapia, C., Carreño-Rosario, H., & Arévalo-Castro, O. (2020). Determinación de Coliformes Totales y *Escherichia Coli* en el Estuario Chulluype del Cantón Santa Elena Provincia de Santa Elena. *Investigatio*, (14), 61–70. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2020.14.6>
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C., Román Gutiérrez, A., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Qu, W., Wang, C., Luo, M., Zheng, C., & Li, H. (2020). Distributions, quality assessments and fluxes of heavy metals carried by submarine groundwater discharge in different types of wetlands in Jiaozhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 157(May), 111310. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111310>
- Quinde, L. G. (2018). *Determinación del grado de contaminación por presencia de metales pesados en suelos, raíces, hojas y frutas en plantas de banano debido al uso de agroquímicos en una finca ubicada en la Provincia de Los Ríos*.
- Rajendran, A., & Mansiya, C. (2015). Physico-chemical analysis of ground water samples of coastal areas of south Chennai in the post-Tsunami scenario. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 218–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.03.037>
- Rajkumar, M., Sandhya, S., Prasad, M. N. V., & Freitas, H. (2012). Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 30(6), 1562–1574. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.04.011>

- Ramírez, E; E. Robles, Ma. G. Sainz, R. A. y E. C. (2009). Coliformes y amibas de vida libre presentes en agua subterránea, 5(2), 98–105.
- Rezaei, A., & Hassani, H. (2018). Hydrogeochemistry study and groundwater quality assessment in the north of Isfahan, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(2), 583–608. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0003-x>
- Rezaei, A., Hassani, H., Hassani, S., Jabbari, N., Fard Mousavi, S. B., & Rezaei, S. (2019). Evaluation of groundwater quality and heavy metal pollution indices in Bazman basin, southeastern Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
- Rezaverdinejad, V., & Rahimi, M. (2017). Seasonal assessment of nitrate, nitrite, and heavy metals pollution in groundwater of Ardabil Aquifer, Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(5), 2267–2276. <https://doi.org/10.15244/pjoes/69943>
- Riedel, T., & Kübeck, C. (2018). Uranium in groundwater – A synopsis based on a large hydrogeochemical data set. *Water Research*, 129, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.001>
- Robles, Claudia, Chávez, Dagoberto, González, Julian, Juárez, H. (2016). Evaluación de la Contaminación del Agua Subterránea por Metales Pesados en un Acuífero Somero. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(6), 15–22.
- Rodríguez-pacheco, R. L., Fabregat, S., & Candela, L. (2016). La Contaminación De Las Aguas Subterráneas Por Residuos Mineros. Ejemplo Del Aluvial Del Río Moa, Holguín (Cuba), 1–14.
- Rodriguez, Asmundis, Ayala, & Arzú. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes , Argentina). *Revista Veterinaria*, 29(1), 9–12.
- Rossi, D. (2013). Los Agroquímicos usados en Las Plantaciones Bananeras y sus Efectos en el Agua, la Gente, y el Ambiente en la Comunidad de Changuinola, Bocas del Toro, Panamá. *Independent Study Project (ISP) Collection*, 1595.
- Rueda, G., Rodriguez, J., & Madriñan, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203–217.
- Rwasoka, D. T., Gumindoga, W., & Gwenzi, J. (2011). Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(14–15), 736–746. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.035>
- Saba, N. U., Umar, R., & Khan, A. (2015). Evaluation of chemical and microbial quality of groundwater of Moradabad City, India. *Arabian Journal of*

- Geosciences*, 8(6), 3655–3672. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1473-0>
- Sagasta, J., Zadeh, S., & Turrall, H. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review*.
- Sanchez, J. (2017). Contaminación de aguas subterráneas. *Dpto. Geología Univ. Salamanca*, p. 6.
- Santos Calderón, J. M. (2014). *Guía Metodológica para Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos*.
- Sappa, G., Ferranti, F., Ergul, S., & Ioanni, G. (2013). Evaluation of the groundwater active recharge trend in the coastal plain of Dar es Salaam (Tanzania). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(12), 548–552.
- Selvakumar, S., Chandrasekar, N., & Kumar, G. (2017). Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resources and Industry*, 17(December 2016), 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.02.002>
- Selvam, S., Venkatramanan, S., Sivasubramanian, P., Chung, S. Y., & Singaraja, C. (2017). Geochemical characteristics and evaluation of minor and trace elements pollution in groundwater of Tuticorin city, Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Journal of the Geological Society of India*, 90(1), 62–68. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0664-1>
- Senagua. (1992). Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte Ix Obras Sanitarias, 17(2), 420.
- Senthil Kumar, P., Centhil, V. M., Kameshwari, R., Palaniyappan, M., Kalaivani, V. D., & Pavithra, K. G. (2016). Experimental study on parameter estimation and mechanism for the removal of turbidity from groundwater and synthetic water using *Moringa oleifera* seed powder. *Desalination and Water Treatment*, 57(12), 5488–5497. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.1003977>
- Shiklomanov, I. A. (1998). Recycling and reuse of ‘derivative water’ under conditions of scarcity and competition. *Rethinking Water Management Innovative Approaches to Contemporary Issues*, 102–119. <https://doi.org/10.4324/9781849772402>
- Singaraja, C., Chidambaram, S., Srinivasamoorthy, K., Anandhan, P., & Selvam, S. (2015). A Study on Assessment of Credible Sources of Heavy Metal Pollution Vulnerability in Groundwater of Thoothukudi Districts, Tamilnadu, India. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(4), 459–467. <https://doi.org/10.1007/s12403-015-0162-x>
- Sirajudeen, J., & Pravinkumar, J. (2020). Heavy metal analysis of groundwater of Thirukoviloor, Villuppuram, Tamil Nadu, India. *Materials Today: Proceedings*,

- (xxxx), 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.012>
- Smedley, P. L., Edmond, J. M., West, J. M., Gardner, S. J., & Pelig-Ba, K. B. (1995). Vulnerability of Shallow Groundwater Quality due to Natural Geochemical Environment: Health problems related to groundwater in the Obuasi and Bolgatanga areas, Ghana. *British Geological Survey*.
- Solano Pineda, M., Castillo Herrera, S. E., & Maldonado Mora, T. (2019). WATER CONSUMPTION IN THE POST-HARVEST PROCESS IN THE EXPORT BANANA PRODUCTION. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(1), 97–104.
- Soleimani, K., Tehrani, A. D. D., & Adeli, M. (2018). Bioconjugated graphene oxide hydrogel as an effective adsorbent for cationic dyes removal. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147(August 2017), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.021>
- Srimanti, D; Abhijit, M., Kousik, Avishek, D., & Bhattacharya, B. (2020). Groundwater vulnerability to pesticide pollution assessment in the alluvial aquifer of Western Bengal basin, India using overlay and index method. *Chemie Der Erde*, (August 2019), 125601. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125601>
- Suarez, Á. D. (2020). Universidad técnica de babahoyo facultad de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agropecuaria.
- Sudhakar, S; Srinivas, P; Soumya, S; Suresh, K. (2020). Effectiveness of groundwater heavy metal pollution indices studies by deep-learning. *Journal of Contaminant Hydrology*, 235(August), 103718. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103718>
- Sun, Y., Kang, S., Li, F., & Zhang, L. (2009). Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling and Software*, 24(10), 1163–1170. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.009>
- Sylus, K. J., & Ramesh, H. (2015). The Study of Sea Water Intrusion in Coastal Aquifer by Electrical Conductivity and Total Dissolved Solid Method in Gurgur and Netravathi River Basin. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.009>
- Tanvir Rahman, M. A. T. M., Saadat, A. H. M., Islam, M. S., Al-Mansur, M. A., & Ahmed, S. (2017). Groundwater characterization and selection of suitable water type for irrigation in the western region of Bangladesh. *Applied Water Science*, 7(1), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0239-x>
- Tao, J., & Barros, A. P. (2019). Multi-year surface radiative properties and vegetation parameters for hydrologic modeling in regions of complex terrain—Methodology and evaluation over the Integrated Precipitation and Hydrology Experiment 2014 domain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22(June 2018), 100596. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100596>

- Thapa, R., & Gupta, S. (2017). Assessment of groundwater potential zones using multi-influencing factor (MIF) and GIS : a case study from Birbhum district , West Bengal. *Applied Water Science*, 7(7), 4117–4131. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0571-z>
- Tran, N. H., Gin, K. Y. H., & Ngo, H. H. (2015). Fecal pollution source tracking toolbox for identification, evaluation and characterization of fecal contamination in receiving urban surface waters and groundwater. *Science of the Total Environment*, 538, 38–57. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.155>
- Truque, P. A. (2003). *Armonización de los estándares de agua potable en las américas. Organization of American States. Departament of Sustaninable Development.*
- Udhayakumar, R., Manivannan, P., Raghu, K., & Vaideki, S. (2016). Assessment of physico-chemical characteristics of water in Tamilnadu. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 474–477. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.014>
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.*
- Varghese, J., & Jaya, D. S. (2014). Metal pollution of groundwater in the vicinity of Valiathura Sewage Farm in Kerala, South India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93(6), 694–698. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1410-7>
- Vásquez Arnés, V. E. (2016). *Evaluación de la situación actual de las aguas subterráneas con referencia a nitratos y coliformes del municipio de Punata, Cochabamba.* Retrieved from <http://hdl.handle.net/123456789/5691>
- Velásquez-López, P. C., López-Sánchez, I. Y., & Rivera-Velásquez, M. F. (2020). Estimación del riesgo ecológico y a la salud humana del mercurio en una zona de manglar del estuario La Puntilla, provincia de El Oro, sur del Ecuador. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49(1), 81–100. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.1.775>
- Vidoni, R., Pacini, V., Ingallinella, A., & Sanguinetti, G. (2010). Remoción de arsénico , hierro y manganeso en agua subterránea en planta piloto ubicada en una escuela rural. *Asociación de Universidades Grupo Montevideo*, 105–117.
- Villaseñor D., Chabla J. y Luna E. (2015) Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. CUMBRES, Revista Científica. 1(2) 28 - 34

- Vincy, M. V., Brilliant, R., & Pradeepkumar, A. P. (2015). Hydrochemical characterization and quality assessment of groundwater for drinking and irrigation purposes: a case study of Meenachil River Basin, Western Ghats, Kerala, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4217-4>
- Wen, X., Lu, J., Wu, J., Lin, Y., & Luo, Y. (2019). Influence of coastal groundwater salinization on the distribution and risks of heavy metals. *Science of the Total Environment*, 652, 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.250>
- WHO. (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th Edn. World Health Organization Geneva.
- Wu, M., Wang, H., Wang, W., Song, Y., Ma, L., Lu, X., ... Liu, C. (2020). The impact of heavy rain event on groundwater microbial communities in Xikuangshan, Hunan Province, P.R. China. *Journal of Hydrology*, 125674. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125674>
- Xiaoyan Lin, Renxiang Mou, Zhaoyun Cao, Ping Xu, Xiaoliang Wu, Zhiwei Zhu, M. C. (2016). Characterization of cadmium-resistant bacteria and their potential for reducing accumulation of cadmium in rice grains. *Science of the Total Environment*, 569–570, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.121>
- Yang, J., Zhao, Y., Zhang, J., & Zheng, C. (2015). Removal of elemental mercury from flue gas by recyclable CuCl₂ modified magnetospheres catalyst from fly ash . Part 1 . Catalyst characterization and performance evaluation. *FUEL*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.08.012>
- Yulieth C. Reyes, Inés Vergara, Omar E. Torres, Mercedes Díaz, E. E. G. (2016). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Zand, A. D., & Hoveidi, H. (2015). Comparing aluminium sulfate and poly-aluminium chloride (PAC) performance in turbidity removal from synthetic water. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 287–292.
- Zhong, S., Geng, H., Zhang, F., Liu, Z., Wang, T., & Song, B. (2015). Risk Assessment and Prediction of Heavy Metal Pollution in Groundwater and River Sediment: A Case Study of a Typical Agricultural Irrigation Area in Northeast China. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/921539>
- Zhu, Z., Wang, J., Hu, M., & Jia, L. (2019). Geographical detection of groundwater pollution vulnerability and hazard in karst areas of Guangxi Province, China. *Environmental Pollution*, 245, 627–633. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.017>

Zouheira, D., Agbor, G. A., Singh, R., Kamani, S. L. P., Kajal, A., Farooq, S. A., & Ngnokam, S. L. W. (2020). In vitro antioxidant properties and inhibitory effect of extracts and fractions of *Plectranthus glandulosus* leaves on copper sulfate (CuSO₄)-induced oxidation in human low-density lipoprotein. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(4), 133–145. <https://doi.org/10.22270/jddt.v10i4.4250>

ANEXOS.

Anexo 1. Tubería PVC, de un acuífero somero.



Anexo 2. Sonda multiparamétrica Hanna.



Anexo 3. Autora de la investigación en recolección de datos.



Anexo 4. Encuesta utilizada para conocer la percepción de los usuarios del agua en relación al recurso que utilizan en actividades productivas.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UPG Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**INSTRUMENTO DE ENCUESTA APLICADAS A USUARIOS DE AGUA DE POZO EN
 PARROQUIAS DEL CANTON EL GUABO**

Nº

Características del lugar:

Esta encuesta está dirigida a los usuarios de agua de pozo en las áreas, bananeras de las parroquias del Cantón El Guabo, con el objeto de recoger información, sobre distintos aspectos relacionados con la fecha, ubicación, percepción sensorial, actividad, cultivo y usos que se da al agua extraída de pozos. Para la aplicación se solicitará autorización para proceder a la diligencia haciendo constar que la información obtenida se mantendrá en reserva, así como la identificación del lugar y nombre del informante.

Finalmente se tomará la muestra de agua previamente autorizado con fines de investigación. Su opinión es muy importante para nosotros, sea veraz al responder cada una de las preguntas solicitadas.

El autor garantiza que no se identificará a quienes lo respondan.

Fecha:

Área.....

Nombre del usuario:

Encuesta número:

Lea con atención cada una de las preguntas, escoja una sola opción y marque la seleccionada con una (x) en el cuadro que está a la derecha de la opción.

1. Tipo de pozo por su profundidad

Somero ☐ Profundo ☐

2. Equipo para extracción de agua del pozo

Bomba eléctrica ☐ Bomba combustible ☐ Bomba manual ☐

3. ¿El agua pozo para que usted la utiliza?

Riego ☐ Consumo humano ☐ Empacadora ☐ Limpieza ☐

4. ¿Qué profundidad de perforación tiene el pozo? ----- metros

5. ¿Cómo califica la calidad del agua? Por favor, marque con una cruz su percepción cómo los que haya observado en el momento del uso

6. Color Cristalina ☐ Turbia ☐ Sucia ☐ incolora ☐

7. Sabor Dulce ☐ Salubre ☐ Agria ☐ insípida ☐ Insabora ☐
8. Olor Metálico ☐ Orgánico ☐ Agradable ☐ inolora ☐
9. Temperatura Caliente ☐ Tibia ☐ Fría ☐ Helada ☐

Muchas gracias por su colaboración

Anexo 5. Plantaciones bananeras correspondientes al cantón El Guabo en la zona baja de la provincia de El Oro. Donde se desarrolla la principal actividad productiva.





Anexo 6. Imágenes sobre equipo de trabajo en recolección de muestras y datos in situ.













Anexo 7. Matrices para trabajo en recolección de datos y resultados de análisis: Químico, Físicos y biológicos.

1. Matriz de Datos de Propiedades Químicas mg/l						
Pozo	Cadmio	Plomo	Mercurio	Manganeso	Hierro	Cobre
1	-0,0253	0,891	-8,229	0,265	0,851	1,092
2	-0,0418	0,123	-7,836	0,127	0,584	1,065
3	-0,0405	0,3077	-0,9827	0,3178	-1,1426	0,8684
4	-0,0306	0,72	-7,338	0,727	0,241	1,04
5	-0,0359	0,247	-3,213	0,0985	0,871	1,054
6	-0,0371	0,2841	-12,7543	-1,2019	-1,1084	1,4347

2. Matriz de Datos de Propiedades Físicas con Sonda								
Pozo	Latitud	Longitud	OD (%)	pH.	Temperatura (°C)	CE	TDS	Salinidad
1	-3,077078	-79,811961	1,68	7	25,66	530	260	-
2	-3,073219	-79,799747	2,1	6,7	25,6	984	720	-
3	-3,071467	-79,793397	3,2	7,1	26,73	645	320	-
4	-3,063744	-79,789736	1,58	7,5	25,79	840	420	-
5	-3,071467	-79,763517	1,2	6,9	24,02	125	60	-

3. Matriz de Datos de Encuesta								
Usuarios	No. del pozo	¿Tipo de extracción del agua pozo?	¿El agua pozo para que usted la utiliza?	¿Qué Profundidad de perforación tiene el pozo (m)?	¿Cómo califica la calidad del agua?			
					Color	Sabor	Olor	Temperatura
75	1	Bomba eléctrica	humano y doméstico	12	Turbia	Salubre	Metálico	Fría
40	2	Bomba combustible	humano y doméstico	90	Turbia	Salubre	Metálico	Fría
72	3	Bomba manual	humano y doméstico	18	Turbia	Salubre	Metálico	Fría

4. Matriz de resultados de laboratorio de microbiología		
Usuarios	Coliformes totales	Coliformes fecales
1	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento
2	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento
3	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento
4	270 UFC/cc	82 UFC/cc
5	290 UFC/cc	66 UFC/cc
6	280 UFC/cc	180 UFC/cc
7	540 UFC/cc	450 UFC/cc
8	390 UFC/cc	300 UFC/cc

Anexo 8. Imágenes de Sonda Multiparamétrica HI 9828 para recolección de data y resultados para análisis de parámetros Físicos in situ.





Anexo 9. Evidencias de la validación del instrumento de medición documental (encuesta) aplicado en la investigación.


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
D.L. NO. 69-04 DE 14 DE ABRIL DE 1969
Calidad, Pertinencia y Calidez
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

SECCIÓN/CARRERA: Machala, El Oro, Ecuador

Señora Ing. Sara Enid Castillo Herrera
Presente

Asunto: Validación de instrumento a partir de juicio de experto.

Quien suscribe, Hipólito Israel Pérez Iglesias, titular de la Cédula de Identidad No. 0959113929, de Profesión ingeniero agrónomo y PhD en nutrición vegetal, mediante la presente, hago constar que luego de haber recibido el Instrumento (encuesta) con la cual se recogerá información necesaria para poder desarrollar el Trabajo de tesis Titulado: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA PARA USO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS, EN LA ZONA BAJA DE LA PROVINCIA, EL ORO, realizado por: Ing. Sara Enid Castillo Herrera, Ms. Sc, titular de la Cédula de Identidad No. 1101630380; aspirante al Título de Doctor en Ciencias Ambientales en la UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, después de realiza las observaciones pertinentes, las que fueron solventadas por la tesista, se informa que el instrumento de medición documental reúne los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente;
Ing. Hipólito Israel Pérez Iglesias PhD. Firma: 
Profesor Titular UTMACH
<https://scholar.google.es/citations?user=o8s4NPQAAAA&hl=es&authuser=3>
<https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

Dirección: Páramo de la Cruz 100 Vía Machala-Panamá. Telf: 2900302 - 2903263 - 2903263 - 2903364

www.utmachala.edu.ec



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

D.L. NO. 69-04 DE 14 DE ABRIL DE 1969

Calidad, Pertinencia y Calidad

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

SECCIÓN/CARRERA: |

Machala, El Oro, Ecuador

Señora Ing. Sara Enid Castillo Herrera

Presente

Asunto: Validación de instrumento a partir de juicio de experto.

Quien suscribe, Irán Rodríguez Delgado, titular de la Cédula de Identidad No. 0959288960, de Profesión ingeniero agrónomo y master en agricultura sostenible, mediante la presente, hago constar que luego de haber recibido el Instrumento (encuesta) con la cual se recogerá información necesaria para poder desarrollar el Trabajo de tesis Titulado: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA PARA USO EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS, EN LA ZONA BAJA DE LA PROVINCIA, EL ORO, realizado por: Ing. Sara Enid Castillo Herrera, Ms. Sc, titular de la Cédula de Identidad No. 1101630380; aspirante al Título de Doctor en Ciencias Ambientales en la UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, después de realiza las observaciones pertinentes, las que fueron solventadas por la tesista, se informa que el instrumento de medición documental reúne los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente;

Ing. Irán Rodríguez Delgado Mg. Sc. Firma: _____

Profesor Titular UTMACH

<https://scholar.google.es/citations?user=IMQiWegAAAAJ&hl=es>

[researchgate](https://orcid.org/0000-0002-6453-2108?lang=es)

orcid.org/0000-0002-6453-2108?lang=es

Anexo 10. Certificación del laboratorio donde se realizaron los análisis de metales pesados.


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
D. L. 69 - 04 DE 14 DE ABRIL DE 1969
Calidad, Pertinencia y Calidad
FACULTAD DE QUÍMICAS Y DE LA SALUD
Laboratorio de Investigaciones

Área: Biomateriales

En el Laboratorio de Investigaciones, en el Área de Biomateriales de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, se desarrollan proyectos de investigaciones con fines académicos, donde se procedió analizar 85 muestras de aguas subterráneas de la zona bananera El Guabo-Machala-El Oro previamente procesadas en la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Machala.

En el laboratorio de Investigaciones se cuantifico hierro, cobre, cadmio y plomo utilizando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, y mercurio mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica-vapor frío.

El equipo utilizado para estos análisis es un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SHIMADZU AA-6300 y un Generador de vapor frío SHIMADZU, los estándares utilizados para la curva de calibración de los elementos analizados son marca ACCUSTANDARD.


Ing. Estefanía Molina Corozabel
Técnico del laboratorio de Investigaciones