

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS POZOS DE LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ, CESAR.



AUTORES

**KEYSSY MILENA FONTALVO SARMIENTO
DOGNY MILDRET SAJONERO CAMACHO**

DIRECTOR:

JOSÉ MAURICIO PÉREZ ROYERO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2021



www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Valledupar, 2021



Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por permitirnos culminar esta etapa de formación profesional.

A mi padre **Samuel Fontalvo** y a mi madre **Sandra Sarmiento**, por que han estado siempre para guiarme y brindarme todo su apoyo, por todo el sacrificio que han hecho por ayudarme a ser de mí la persona que hoy soy, los amo.

A mis hermanas **Luisa** y **Katrin**, gracias a mi primo **Jesús** y a **Luis**, por brindarme su ayuda cada vez que lo requería y a mis demás familiares por su apoyo incondicional.

A mi **AMIGA Laura** gracias por no tener excusa para guiarme y acompañarme en este proceso y por no dudar en que yo podía hacerlo. **“LO LOGRAMOS”**

Agradezco al **Ing. Amat Zuluaga** por su dedicación y colaboración en el desarrollo del proyecto.

Keyssy Fontalvo

El primer agradecimiento es a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres **Magalys Camacho Cañas** y **Néstor Sajonero Sierra** por su comprensión y su constante apoyo a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que de una u otra forma me han acompañado en la realización de este proyecto y en especial a **Laura Portillo** y al **Ing. Amat Zuluaga** por su apoyo.

Dogny Sajonero

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1. Formulación del problema	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo General:	11
3.2. Objetivos Específicos:	11
4. MARCO REFERENCIAL	12
4.1. Antecedentes de la investigación	12
4.2. Marco teórico.	14
4.3. Marco conceptual.	30
4.4. Marco contextual.	32
4.5. Marco Legal.	35
5. MARCO METODOLÓGICO.	37
5.1. Línea y sub-línea de investigación	37
5.2. Tipo de investigación	37
5.3. Población de estudio	38
5.4. Muestra poblacional	38
5.5. Desarrollo metodológico	38
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	44
7. CONCLUSIÓN	89
8. RECOMENDACIONES.	90
9. BIBLIOGRAFÍA	91
10. ANEXOS	97



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de pozos de agua.	16
Figura 2. Representación del Ciclo Hidrológico.	24
Figura 3. Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico.	26
Figura 4. Raster.	26
Figura 5. Rásteres en forma de mapas base.	27
Figura 6. Rásteres en forma de mapas de superficie.	28
Figura 7. Rásteres en forma de mapas temáticos.	28
Figura 8. Rásteres en forma de atributos de una entidad.	29
Figura 9. Imagen Satelital del municipio de Valledupar.	33
Figura 10. Imagen Satelital del municipio de La paz, Cesar.	33
Figura 11. Ubicación geográfica de los pozos a analizar.	34
Figura 12. Ruta de las herramientas a utilizar para este proceso, dentro de ArcToolbox.	41
Figura 13. Procedimiento en ArcMap, para obtener la distribución de los parámetros en la zona.	41
Figura 14. Actividades económicas de mayor importancia.	47
Figura 15. Asociaciones rurales de campesinos por actividad en el departamento del Cesar.	48
Figura 16. Ubicación de los puntos de muestreos.	50
Figura 17. Isolíneas del Ph en Valledupar y La paz, Cesar.	55
Figura 18. Isolíneas de la Conductividad Eléctrica en Valledupar y La paz, Cesar.	56
Figura 19. Isolíneas de la temperatura en Valledupar y La paz, Cesar.	57
Figura 20. Isolíneas del Oxígeno Disuelto en Valledupar y La paz, Cesar.	58
Figura 21. Isolíneas de la Resistividad en Valledupar y La paz, Cesar.	59
Figura 22. Isolíneas de Solidos Disueltos Totales en Valledupar y La paz, Cesar.	60
Figura 23. Isolíneas de salinidad en Valledupar y La paz, Cesar.	61
Figura 24. Resultados del pH medido en los puntos de Valledupar, Cesar.	62
Figura 25. Resultados del pH medido en los puntos de La paz, Cesar.	63
Figura 26. Resultados de la Conductividad Eléctrica medida en los puntos de Valledupar, Cesar.	65
Figura 27. Resultados de la Conductividad Eléctrica en los puntos de La paz, Cesar.	66
Figura 28. Resultados de la Resistividad medida en los puntos de Valledupar y La Paz, Cesar.	67
Figura 29. Resultados de la Salinidad medida en los puntos de Valledupar y La Paz, Cesar.	69
Figura 30. Resultados de la Temperatura en los puntos de Valledupar, Cesar.	70
Figura 31. Resultados de las temperaturas en los puntos de La paz, Cesar.	71
Figura 32. Resultados de los Solidos disueltos totales en los puntos de Valledupar, Cesar.	72
Figura 33. Resultados de los Solidos disueltos totales en los puntos de La paz, Cesar.	73
Figura 34. Resultados del Oxígeno Disuelto en los puntos de Valledupar, Cesar.	75
Figura 35. Resultados del Oxígeno Disuelto en los puntos de La paz, Cesar.	76
Figura 36. Escala del pH.	98
Figura 37. Toma de muestra.	100
Figura 38. Toma de muestra.	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de los puntos.....	32
Tabla 2. Normas que rigen al presente proyecto.....	35
Tabla 3. Parámetros in situ.....	39
Tabla 4. Parámetro con la normatividad a comparar.....	42
Tabla 5. Ubicación detallada de los puntos de muestreos.....	49
Tabla 6. Material, tipo de pozo y profundidad de los pozos muestreados.....	51
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de cada punto.....	52
Tabla 8. Aprovechamiento, método de explotación y condición actual en los pozos.....	53
Tabla 9. Comparación de la conductividad eléctrica y la resistividad en los puntos muestreados.....	67
Tabla 10. Relación de la conductividad eléctrica, salinidad y sólidos disueltos totales.....	68
Tabla 11. Programas de PMA en la zona norte de Valledupar, Cesar.....	79
Tabla 12. Comparación de las muestras con la norma.....	97
Tabla 13. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola.....	99
Tabla 14. Parámetros para clasificar el agua de riego para uso agrícola de acuerdo a su nivel de Salinidad y Sodicidad.....	99



INTRODUCCIÓN

En Colombia el agua subterránea es un recurso que al pasar los días toma mucha más importancia, se caracteriza por ser una fuente alterna de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales, obras civiles, túneles, entre otros; el agua es el recurso que se ve más afectado en la actualidad, es cierto que el agotamiento es la mayor problemática que se vive día a día, pero su calidad se ve afectada de igual manera. La calidad del agua es una de las preocupaciones que se evidencia con mayor reincidencia, por tal motivo requiere de una evaluación, la cual debe cumplir con parámetros establecidos en la normatividad ya sea para uso doméstico, agropecuario, pecuario, entre otro. El agua no debe de contar con ningún factor que proporcione un riesgo para su calidad.

Para el desarrollo del proyecto se consultaron documentos de la zona de estudio el fin de sentar las bases para la ejecución del presente proyecto, además se recolectaron los datos proporcionados por la investigación realizada en el marco del convenio 602 de 2019 entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH – y Corporación Autónoma Regional del Cesar – Corpocesar, los parámetros (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, resistividad, temperatura, oxígeno disuelto, y la profundidad), las mediciones se realizaron in situ y se utilizó una sonda multiparamétrica, sonda métrica y GPS para los 30 pozos, una vez que se establecieron las condiciones actuales de los pozos y aljibes se realizó el análisis de cada uno de los parámetros por medio de herramientas gráficas (ARGIS MAP Y EXCEL), cada uno de los parámetros se confrontó con la normatividad para consumo humano y en el caso de los parámetros que no eran regido por la normatividad colombiana se comparó con normatividad internacional.

Con los parámetros evaluados se determinó las causas que producen los valores elevados de los parámetros y posterior a esto se planteó un plan que establece actividades para prevenir, mitigar, controlar y compensar los impactos ambientales que se generen a partir de actividades agropecuarias, ya que en zona donde se realizó la toma de muestras se caracteriza por desempeñar estas actividades.

Se destinó el uso apropiado para el agua de cada uno de los pozos. Según los valores obtenidos en las muestras el pH el agua se puede disponer para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario, y fines recreativos (primario-secundario), pero según los resultados de conductividad eléctrica el 23% del agua de las muestras no son aptas para el consumo humano, teniendo en cuenta los resultados de los sólidos disueltos totales el agua de las muestras no son aptas para consumo humano en un 77%, según el OD el 63 % de las muestras demostraron niveles aptos para el desarrollo de la vida en el cuerpo de agua.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la secretaria distrital de Ambiente de Bogotá, El agua es un recurso natural renovable y esencial, pero raramente es entendido y apreciado. El agua subterránea constituye un recurso del subsuelo que brinda oportunidades de desarrollo a la sociedad, además de ser fuente de agua potable en las zonas con déficit de este recurso, también es útil para llevar a cabo proyectos agroindustriales, mineros y de hidrocarburos. (Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, s.f.)

Según lo señalado en la investigación realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (2015, como se cita en Cairasco, 2017), en Colombia, la gestión del recurso hídrico subterráneo cuenta con ciertas inconsistencias; principalmente en torno al monitoreo de éste. Realizar seguimiento y acompañamiento es una práctica de inspección en lo que, relacionado al agua subterránea, se convierte en un instrumento principal para la gestión del recurso hídrico a nivel nacional. Mediante el proceso de monitoreo y seguimiento de las aguas subterráneas se puede contribuir con la disminución de la reserva de agua subsuperficial facilitando de esta manera la prevención y toma de decisiones encaminadas a preservar las aguas ante situaciones de sobreexplotación y contaminación de estas fuentes; teniendo en cuenta la importancia de estas en el suministro a poblaciones en donde la única y/o principal fuente de agua potable es ésta.

En el departamento del Cesar existen diversas amenazas de contaminación y agotamiento de las aguas subterráneas. Gran parte de estas amenazas se encuentran asociadas a los núcleos poblados que presentan un acelerado crecimiento poblacional que trae consigo impactos significativos sobre la cantidad y la calidad del agua subterránea. En algunos casos los sistemas de tratamiento de aguas residuales ya superaron su capacidad de diseño. (CORPOCESAR - IDEAM, 2017).

En el valle superior del río Cesar, al norte del departamento del Cesar tradicionalmente se ha hecho uso de agua subterránea con fines mayoritariamente ganaderos (abrevadero) seguido de la agricultura (riego de pastos y cultivos industriales), sin que se preste demasiada atención a la calidad y cantidad del agua disponible, lo cual ha resultado en numerosos casos en la falta de eficiencia en la aplicación de tan importante



recurso y en la afectación negativa de la calidad del mismo, como consecuencia del uso continuado de agroquímicos en los últimos 40 años, al punto que probablemente sea irreversible esta situación o, cuando menos, muy costosa su remediación. (Armenta & Gallardo, 2016).

En la zona norte de Valledupar existen múltiples pozos y aljibes de aguas subterráneas de los cuales no se tienen registros en el sistema de acuíferos de CORPOCESAR, se desconoce su utilidad, manejo y las condiciones en las que actualmente se encuentran, estas aguas subterráneas no se les realiza ningún tipo de tratamiento, ni monitoreo medioambiental que incluya análisis fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que se hace necesario la realización de un estudio que permita determinar la calidad de esta agua y sirva como base para el control y tratamiento de ellas.

1.1. Formulación del problema.

¿Qué características físico-químicas tiene el agua subterránea que es aprovechada en la zona norte de Valledupar y La paz - Cesar, es adecuado el tipo de uso que se le da a estas aguas según sus características?



2. JUSTIFICACIÓN

Es primordial tener acceso al agua ya sea para su uso doméstico, para fines recreativos o para la producción de alimentos, pero para lograr esto se debe mejorar el abastecimiento de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos. El agua freática o subterránea es fuente vital para el consumo humano y el uso agrícola; sin embargo, es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente. Cuando se contamina es de difícil depuración natural por presentar flujos lentos comparados con el agua superficial de escorrentía, y por su baja presencia de oxígeno que limita la biodegradación. (Vence et al., 2012)

De acuerdo a la OMS el saneamiento deficiente y la contaminación se encuentran directamente relacionadas con la transmisión de enfermedades como la hepatitis A, cólera, diarreas, fiebre tifoidea y poliomielitis, entre otras. Por esta razón es importante mantener los pozos o cualquier tipo de instalación de captación en constante limpieza y así poder mantener los parámetros como el pH y turbidez, entre otros, en los niveles aceptables para su consumo. (Arévalo, 2018)

Por tanto, se requiere llevar a cabo acciones que garanticen el desarrollo sostenible de los pozos de aguas subterráneas ya sea mediante estudios, equipos y/o herramientas. Estas acciones corresponden a la medición, monitoreo, control y establecimiento de medidas de prevención y corrección del estado de las fuentes hídricas para determinar la calidad del agua y garantizar su potabilidad para el consumo humano. Con la información de dicho monitoreo se pueden tomar decisiones informadas y coherentes para reducir de manera significativa los riesgos que implica el consumo de aguas contaminadas, el uso inadecuado en épocas de verano y la sobreexplotación. (Arévalo, 2018).

La realización del presente proyecto será un pilar para determinar a partir de las características físico-químicas de las aguas, los posibles riesgos sanitarios y para comprobar la aptitud del agua proveniente de estos lugares según límites permisibles establecidos en el Decreto 1575/2007 y la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, de tal forma que estos estudios sirvan de base para el monitoreo y tratamiento de estas aguas.



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General:

Evaluar la calidad físico-química del agua subterránea de los pozos de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar, mediante análisis in situ, con el fin de conocer las propiedades del agua subterránea de este sector y disponer un plan de alternativas de manejo.

3.2. Objetivos Específicos:

- Caracterizar los parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas en los pozos de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar mediante mediciones in situ.
- Analizar los resultados obtenidos mediante Software ArcGIS y comparar con la normatividad vigente de calidad de agua.
- Proponer un plan de alternativas de manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo proveniente de los pozos ubicados en la zona norte de Valledupar y La paz Cesar.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Antecedentes de la investigación

Se presentan a continuación los resultados de una revisión de investigaciones relacionadas directamente con el objeto de estudio (“Evaluar la calidad físico-química del agua subterránea de los pozos de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar”), con la intención de asentar el estado del conocimiento del mismo. Estos reportes de investigación consultados son trabajos recientes, en ellos se citan datos bibliográficos correspondientes al tema en cuestión, se señala el objetivo de cada investigación, el marco metodológico, los resultados y las conclusiones principales.

En el año 2009 Quintero Diana y Herrera Indira desarrollaron una investigación llamada Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar – Cesar que tuvo por objetivo determinar la calidad microbiológica de las aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar como son los Venados y Caracolí, fueron aleatoriamente seleccionados diez aljibes para determinar la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas almacenadas en estos aljibes, empleando como indicadores Coliformes totales, Coliformes fecales, Mesófilos Aerobios y Enterococos (Streptococos Fecales) cuantificados por el método de filtración por membrana utilizando medios de cultivo como fueron: Chromocult, Standard Plate Count y Enterocococell. Los autores encontraron que el 100 % de los aljibes presentes no cumple las características higiénicas adecuadas para almacenar agua en condiciones microbiológicas óptimas.

Moraima Fernández y Osvaldo Fernández (2007), realizaron una investigación llamada Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa (Cuba) que tiene como objeto determinar la calidad físico-química y bacteriológica del agua de pozos criollos con el fin de determinar si son aptas para el consumo humano. Esta investigación se desarrolló en dos etapas; primeramente, se seleccionó los puntos de muestreos, y en segundo lugar se realizó una determinación analítica en donde se trataron los datos. Como resultados se encontró la presencia de bacilos de colis y colifecales, siendo fundamentalmente su composición fecal lo que determina su estado sanitario. Se concluye

que las aguas de los pozos criollos estudiados no responden a los requisitos establecidos en las normas para consumo humano.

Caracterización del agua subterránea en el valle superior del río Cesar fue una investigación desarrollada en el año 2016 por Armenta Jorge y Gallardo Romel. En donde llevaron a cabo la caracterización del agua subterránea que es demandada en el valle superior del río Cesar, la cual es destinada al abastecimiento público, ganadería, agricultura, pequeña industria, entre otros usos. Para el año 2015 obtuvieron el modelo conceptual de flujo, así como la tipificación en campo de la calidad fisicoquímica básica del agua, el tipo de aprovechamiento, régimen de bombeo y estado sanitario de cada punto de manifestación del recurso hídrico. A partir de lo anterior, construyeron la cartografía temática y establecieron una comparación con datos tomados para la misma región en 2004, como apoyo a la gestión del agua subterránea por parte de los usuarios y las entidades gubernamentales.

Petro Ana y Wees Tatiana en el año 2014, desarrollaron una investigación titulada Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco – Bolívar, en el Caribe colombiano. El objetivo del trabajo presentado fue evaluar la calidad fisicoquímica y microbiología del agua consumida en el municipio de Turbaco. Se tomaron muestras en nueve (9) puntos, analizándose parámetros in situ y una posterior fase de laboratorio, seguidamente de una comparación con la normatividad vigente. Los resultados fisicoquímicos mostraron una turbiedad de 1.049 UNT, promedio de 102.022 mgCaCo₃/L de dureza total, el análisis microbiológico reveló que los coliformes totales variaron de 10 a 30 UFC/100 cm³ y el punto con mayor coliformes fecales fue 21 UFC/100cm³. Basado en los resultados del estudio, se concluye que, la calidad de agua en términos fisicoquímicos está por encima de los valores establecidos en la normatividad colombiana, en la mayoría de los puntos de muestreos escogidos, siendo la ausencia de cloro residual libre la mayor preocupación y posible deficiencia en el sistema de tratamiento.

Liliana Vence, Massiel Rivera, Yudis Osorio y Adriana Castillo (2009) realizaron una investigación titulada Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, (Colombia), con el objetivo de evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica de aguas

subterráneas de aljibes ubicados en los municipios de La Paz y San Diego, (Cesar-Colombia), se caracterizaron propiedades microbiológicas (determinación de *Pseudomona aeruginosa* y protozoos patógenos) y fisicoquímicas (conductividad, pH, temperatura, sólidos disueltos totales, salinidad, acidez, alcalinidad, turbidez, cloruros, amonio, nitritos, nitratos, hierro, magnesio, sodio y calcio, estos tres últimos análisis necesarios para calcular la aptitud para riego con el fin de evidenciar la calidad del agua de la que se abastecen los habitantes de estos predios). Se identificaron 5 géneros de protozoos siendo *Giardia* sp el patógeno con mayor prevalencia, representando un 46,1%, seguido de *Criptosporidium* sp con un 22,18%; en relación con los resultados fisicoquímicos, estos indicaron que de los aljibes muestreados solo un 4,3% contienen agua apta para riego sin que su uso acarree riesgos para la salud.

4.2. Marco teórico.

El recurso hídrico subterráneo es el que se filtra por medio de poros o grietas de las rocas o diferentes tipos de sedimentos que se encuentran debajo de la superficie de la tierra generando acumulación en las capas del subsuelo. Esta agua se mueve y se almacena en las formaciones geológicas que tienen vacíos o poros. El agua subterránea es un recurso del subsuelo que genera oportunidades de desarrollo a la sociedad, ya que le permite al ser humano tener una fuente de abastecimiento de agua adicional para su consumo o incluso para proyectos de minería, agroindustriales y de hidrocarburos. El agua es un recurso renovable e indispensable en la vida del ser humano, pero no es apreciado ni entendido correctamente. El agua subterránea está representada por más del 30% de las reservas de agua dulce del planeta, pero los glaciares y las capas de hielo no se encuentran disponibles para su uso, siendo así el agua subterránea representa alrededor de un 97% del agua dulce disponible en el planeta. En el país existen algunas zonas donde las aguas subterráneas son fuentes alternas a las fuentes tradicionales de abastecimiento de agua y son usadas para diferentes fines, así como en otras zonas estas son las únicas fuentes disponibles para cubrir sus necesidades. (Arévalo, 2018).

Agua Subterránea: es agua que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El

agua se almacena y mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos. (ICGM, 2011).

- Usos: El agua subterránea se utiliza principalmente para abastecimiento doméstico, uso industrial y riego.
- Composición: La composición del agua subterránea depende del tipo y características de la roca (tipos de suelo), composición del agua infiltrada (agua lluvia) y los procesos microbiológicos y químicos del suelo.
- Extracción: Puede extraerse a partir de condiciones dadas espontáneamente por la naturaleza, como es el caso de los manantiales o las descargas subterráneas a un río o al mar. Para extraer el agua subterránea de los acuíferos por medios artificiales, es necesario construir una captación, es decir una instalación que permita poner a disposición del usuario el agua contenida en los acuíferos. Entiéndase por acuíferos, las rocas que tienen agua y que a su vez permiten su movimiento, bajo la acción de las fuerzas de gravedad, de tal manera que puede explotarse en cantidades apreciables.

Composición del agua subterránea: La composición del agua subterránea depende de las características y tipos de roca (tipo de suelo), procesos químicos y microbiológicos del suelo y de la composición del agua filtrada. Enseguida se mencionarán los tipos de captación en los que se encuentra agua subterránea. (Arévalo, 2018).

Clasificación de las captaciones de agua subterránea:

- **Pozos:** perforación mecánica vertical, por lo regular en forma cilíndrica (diámetro 2 a 16 pulgadas) revestidos de tubería metálica o PVC. Se realizan mediante hincados de tubería o perforación con taladros y se dotan de sistemas de extracción (electrobombas o compresores).
- **Aljibes:** Receptáculo hallado mediante excavación, que almacena agua subterránea con profundidades pequeñas (5 a 10 metros) y diámetros grandes (hasta 1 metro), cuyas paredes se revisten con ladrillo, tubería de cemento o concreto para evitar su derrumbamiento. Para extraer el agua contenida, se puede hacer uso de bombas manuales o sistema de bombeo muy simples.
- **Manantiales:** Es una surgencia del agua que emerge de las rocas y están concentrados en la zona de descarga del agua subterránea, y cuando brota a la superficie, se convierte en un afluente

temporal o permanente. Generalmente se realizan galerías y drenes, las cuales son perforaciones horizontales de baja pendiente de sección circular que interceptan el flujo de agua subterránea en el acuífero, permitiendo que el agua salga a la superficie del terreno por gravedad. (ICGM, 2011).

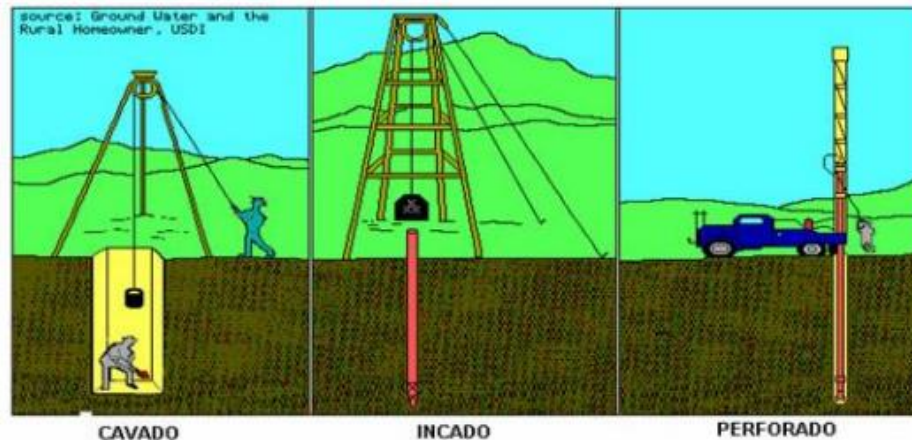


Figura 1. Tipos de pozos de agua.

Fuente: SDAB, s.f.

Contaminación del agua subterránea: Como se vio anteriormente las captaciones de agua subterránea son de alta importancia actualmente ya que se usan para diferentes fines como el consumo humano siendo el más importante, pero estas se están viendo afectadas por la contaminación que puede darse por diferentes orígenes, pero el más común es por aguas fecales pues es normal ver pozos sépticos que se encuentran cercanos a pozos con aguas limpias generando así la contaminación sobre estos. Las aguas subterráneas pueden ser purificadas mediante procesos naturales, pero también es posible realizar la eliminación de bacterias peligrosas usando filtraciones mecánicas hechas por los sedimentos por los cuales se mueve el agua o por oxidaciones químicas e incluso otros microorganismos pueden hacer la eliminación de las bacterias. Existen muchos casos en los cuales la purificación de las aguas subterráneas es más compleja, pues es necesario que estas captaciones de agua tengan la composición correcta para que se purifiquen naturalmente. Cuando los pozos están compuestos por gran cantidad de rocas fracturadas el agua contaminada va a recorrer mayores distancias sin ser purificada. Esta tarea de purificación de las aguas subterráneas también debe ser realizada por el ser humano, pues no solo las aguas fecales son las que causan la contaminación, también los elementos de aseo y cuidado personal que se usan a diario causan

consecuencias, las industrias deben tomar medidas para deshacerse de los residuos tóxicos y contaminantes que generen de una manera que no vayan a afectar las aguas subterráneas. A continuación, se ven los tipos de riesgos que puede generar la contaminación de las aguas subterráneas. (ICGM, 2011).

Riesgos de la salud. Como consecuencia de la contaminación encontramos:

- La salud de las personas o animales que beban o estén en contacto con aguas contaminadas puede ponerse en peligro, en particular si se tiene en cuenta que, para la manufactura de muchos productos de consumo, se utilizan las aguas subterráneas.
- La contaminación de las aguas subterráneas impide el uso futuro para el consumo humano, y algunos casos industrial, comercial o agrícola. (SDAB, s.f.)

Riesgos ambientales. La contaminación de las aguas subterráneas se puede dar por diferentes factores, como las actividades realizadas en la superficie por el ser humano, algunas de las más comunes son (SDAB, s.f.):

- El mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos no se encuentra en condiciones adecuadas.
- Sobre explotación de los acuíferos que genera riesgos en el funcionamiento del mismo.
- Urbanización, eliminación de impermeabilización en las zonas en las que se recargan los acuíferos.
- Derrames accidentales de hidrocarburos o filtración de tanques de almacenamiento.
- Derrame de sustancias tóxicas, grasas, aceites, residuos, aguas residuales químicos en la superficie.
- Contaminación biológica por fugas en la red alcantarillada, sobrealimentación, y fallo en el funcionamiento de los sistemas sépticos.
- Realizar la limpieza del agua subterránea no es sencillo debido al difícil acceso que se tiene a estas, así como el uso indebido del agua subterránea causa agotamiento de este recurso.

Agua Subterránea en Colombia: En Colombia las aguas subterráneas adquieren día a día una mayor importancia ya que son fuentes alternas de abastecimiento en zonas en las que se tiene acceso limitado a las aguas superficiales, así como también por su importancia en el uso en obras civiles, proyectos mineros,

carreteras, etc. Aunque las aguas subterráneas presentan un mayor grado de protección en cuanto a la contaminación y a las variaciones climáticas, cuando estas presentan deterioro en su calidad pueden llegar a ser más peligrosas que las aguas superficiales pues su detección es más compleja y tardía, es común darse cuenta que las aguas subterráneas tienen problemas en su calidad cuando estas ya han hecho daños o dejado algunas víctimas. Todos los años se trabaja en el desarrollo y modernización del país y el agua como recurso natural renovable indispensable debe ser manejado cuidadosamente, pero actualmente la sociedad colombiana tiene un conocimiento deficiente sobre el agua y por esta razón se da la polución y el malgasto del agua generando de alguna manera una pobreza relativa. Así como existen muchos lugares en los cuales no se tiene conocimiento alguno sobre cómo manejar y cuidar el agua existen muchos otros en los cuales este tema no es ignorado y el agua se utiliza racionalmente. El estado también tiene un papel importante en el estado de las aguas subterráneas en Colombia pues debido a la mala administración y la corrupción que se presenta no son aceptados los permisos ni peticiones para el estudio de este recurso, todas estas causas generan que Colombia no presente un buen nivel de sostenibilidad. (Arévalo, 2018).

Datos importantes sobre la calidad del agua:

- Alrededor de 2.400 millones de personas viven sin ningún tipo de estación de saneamiento y una de cada nueve personas en el mundo utilizan fuentes inseguras de agua potable.
- Más de 90% de las aguas residuales de los países en vía de desarrollo se vierte sin tratar sobre grandes masas de agua.
- La industria vierte al entre 300 y 400 megatoneladas de residuos sobre grandes masas de agua cada año.

Debido a la degradación de los ecosistemas de agua dulce por la contaminación de los recursos hídricos y de los ecosistemas acuáticos se estima una reducción de un tercio de la biodiversidad mundial. (Arévalo, 2018).

Calidad del agua: De acuerdo al decreto número 1575 de 2007 la calidad del agua se da por la comparación de las características químicas, físicas y microbiológicas que se pueden encontrar en el agua, así mismo con



el contenido de las normas que regulan la materia. La sociedad del siglo XXI se encuentra viviendo uno de los desafíos más complejos que es el de la calidad del agua ya que esta al no estar en buenas condiciones genera amenazas sobre la salud humana, los ecosistemas no funcionarían de la mejor manera, se limitaría la producción de alimentos y el crecimiento económico se obstaculizaría. Los problemas sociales, económicos y medioambientales son los que afectan directamente la degradación de la calidad del agua. Los recursos hídricos y que se tienen hoy en día en el mundo cada vez son más escasos debido a que la contaminación de las aguas dulces sigue aumentando por causa del vertido de aguas residuales que no han sido tratadas sobre lagos, ríos, aguas costeras y acuíferos. Y no son solo estos los contaminantes si no los productos fármacos, los productos de cuidado personal, productos químicos, domésticos e industriales, los pesticidas y los cambios climáticos los que también influyen en la calidad del agua causando efectos a largo plazo en la salud humana y en los ecosistemas. En el año 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas por medio de la resolución 64/292 reconoció que el acceso al agua potable segura y limpia y el saneamiento son un derecho humano fundamental para la vida y el bienestar. Durante los años 1990 y 2015 alrededor de 2.600 millones de personas tuvieron agua potable por medio de fuentes mejoradas en todo el mundo, pero quedan alrededor de 663 millones de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua potable. (Arévalo, 2018).

Año tras año muere gran cantidad de personas mueren por causa de enfermedades transmitidas por el agua como la diarrea que comúnmente afectan a los más pequeños, la poca higiene, la falta de saneamiento y el agua no potable. Aunque se hacen mejoras en las fuentes de agua estas no garantizan que la calidad del agua sea la adecuada para el consumo humano. No solo se ven efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas, el no tener agua potable limpia, asequible, segura y un propio saneamiento el desarrollo económico y social de los países se ve afectado. Por lo contrario, si se cumpliera con tener agua potable y servicios de saneamiento mejoraría en gran medida las enfermedades, salud humana, ingresos, igualdad de género, productividad económica y educación. (Arévalo, 2018).

Degradación de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua: La contaminación que se da por actividades humanas no genera únicamente cambios en la estructura de los ecosistemas si no también su



funcionalidad causando modificaciones en la integridad de estos. La eutrofización proviene de los nutrientes fosforo y nitrógeno que vienen de vertidos agrícolas, aguas domésticas, industriales, residuales y de emisiones atmosféricas por la queda de combustibles fósiles. Otra gran amenaza que sufren los lagos, reservas y humedales es la acidificación ya que tiene un gran impacto socioeconómico, sobre la salud humana, la biodiversidad, se reduce la funcionalidad de los ecosistemas y la sostenibilidad del agua para todo tipo de usos. Por esta razón la contaminación de las aguas es de las mayores amenazas, no solo impide que las necesidades humanas no se puedan cubrir, sino que tampoco se podrán cubrir las necesidades de los ecosistemas ni se podrá mantener el flujo de los ecosistemas. (Arévalo, 2018).

Nuevos contaminantes: Debido a la gran cantidad de contaminantes emergentes que afectan el medio ambiente y la salud humana, la calidad del agua está enfrentando un reto aún mayor. Los contaminantes emergentes están los pesticidas, productos de aseo personal, fármacos, los metales, productos domésticos, químicos e industriales, disolventes y aditivos industriales que generalmente se monitorean ya que causan grandes consecuencias sobre el ser humano y el medio ambiente, muchos de estos contaminantes alteran el sistema endocrino causando efectos adversos ecológicos y sanitarios. Hoy en día no es mucha la información que se tiene sobre estos contaminantes, debido a la complejidad de sus formas, la persistencia en el medio ambiente, y mecanismos de acción, por esto es necesario promover el crecimiento de conocimientos científicos sobre estos contaminantes emergentes y como tenerlos monitoreados, controlados y evaluados. Para los países en desarrollo es una gran preocupación y un gran reto debido a que las instalaciones encargadas de la depuración del agua y el tratamiento de las aguas residuales no pueden controlar ni eliminar en su totalidad estos contaminantes, aun así, los países que tienen un gran índice en el tratamiento de aguas residuales presentan este problema. (Arévalo, 2018).

Parámetros de calidad del agua: Los parámetros de calidad del agua son los indicadores que describen o proporcionan información sobre el estado del agua que se está estudiando, estos pueden variar dependiendo de los cambios en el ambiente y de las actividades humanas. La medición de los parámetros del agua puede proporcionar comparaciones internacionales y pueden ser aplicadas de forma regional o nacional. (Arévalo, 2018).



Características Físicas: El agua es la única sustancia que puede encontrarse en los tres estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso, esta no tiene color ni sabor, pero esto puede variar dependiendo de diferentes parámetros que se puedan llegar a encontrar en el agua e influir sobre estos. El calor es otro indicador relevante en las características físicas ya que el agua posee la capacidad de absorción del calor antes de que aumente la temperatura, por esta razón este recurso es muy importante durante las estaciones del año debido a que regula los cambios de temperatura y en las industrias tiene gran importancia ya que cumple la función de enfriador. A continuación, se describen los parámetros que forman parte de las características físicas del agua. (Arévalo, 2018).

Características Químicas: Los compuestos químicos que se encuentran en el agua pueden ser de origen industrial o natural, estos pueden ser dañinos beneficiosos dependiendo de su concentración y composición. (Arévalo, 2018).

Análisis del agua: El análisis del agua es un proceso indispensable para conocer las características de calidad de agua y permite determinar si esta es apta para el consumo humano o dependiendo de su calidad puede ser empleada para diferentes usos. Existen diferentes tipos de análisis en el agua de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente y Protección Social y estos serán mencionados a continuación. (Arévalo, 2018).

Análisis Microbiológico del agua: Procedimientos realizados en laboratorio sobre una muestra de agua para el consumo humano y así evaluar la ausencia y presencia, cantidad y los tipos de microorganismos. Los riesgos más comunes para la salud humana que tienen relación con el consumo de agua normalmente son las enfermedades que se ocasionan por agentes patógenos como los parásitos, virus y bacterias. Los fallos en el sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua pueden generar contaminación a gran escala y epidemias, incluso cuando la contaminación es leve se puede ocasionar con gran frecuencia la presencia de brotes esporádicos que ocasionan enfermedades, pero las autoridades de vigilancia de la salud pública no caen en cuenta que este problema viene de las fuentes de abastecimiento de agua de

consumo. (Arévalo, 2018).

Los agentes patógenos presentes en el agua pueden variar dependiendo de la cantidad de personas y de animales, así como también puede cambiar por el incremento del uso de las aguas residuales y cambios en los hábitos de la población, generando agentes patógenos nuevos o recombinaciones de los patógenos ya existentes. Gran cantidad de personas tienen inmunidad a los patógenos, pero esto depende de la edad, el contacto que se tiene con el patógeno, el sexo, la condición de vida y el estado de salud. (Arévalo, 2018).

Los agentes patógenos que se transmiten por vía fecal-oral no solo se transportan por el agua de consumo también por alimentos contaminados, la ropa, las manos y más que todo cuando el aseo doméstico es deficiente. Para reducir en un gran porcentaje las enfermedades por la vía oral-fecal es importante mejorar la disponibilidad del agua, su calidad, los métodos de eliminación de excrementos y mejorar la higiene de forma general. Los agentes patógenos que se transmiten por el agua tienen la capacidad de sobrevivir en el agua, pero en su mayoría no crecen si se proliferan en el agua. El *Campylobacter* y el *E-coli* son microorganismos que se pueden acumular en los sedimentos y se movilizan cuando el caudal del agua aumenta. Cuando los microorganismos abandonan a sus hospedados, la capacidad de infección de estos patógenos disminuye de forma gradual y después de transcurrido un tiempo este no podrá detectarse en el agua. La temperatura es el factor más importante en la persistencia de los patógenos en el agua, ya que cuando esta se encuentra a temperaturas altas los patógenos que se encuentran presentan disminuyen con mayor rapidez. (Arévalo, 2018).

Los virus y los parásitos como huevos, quistes y ooquistes no se pueden multiplicar en el agua, pero cuando se encuentran cantidades altas de carbono orgánico biodegradable, condensaciones residuales bajas de cloro y temperaturas cálidas se pueden proliferar *V. cholerae*, *Legionella* y *Naegleria fowleri*. La calidad microbiológica del agua puede variar en gran medida y de forma rápida ya que pueden aparecer agentes patógenos de forma repentina y en grandes cantidades aumentado así los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua. (Arévalo, 2018).



- **Análisis Básico:** Este procedimiento se lleva a cabo para determinar la turbiedad, pH, color aparente, cloro residual libre o usado, Escherichia coli y coliformes totales. Como se vio anteriormente algunos de estos parámetros son medidos en laboratorio y por tal razón no podrán ser medidos en el presente trabajo, se realizará un análisis básico teniendo en cuenta los parámetros más importantes en la medición de la calidad del agua, así como disponibilidad y costo de los sensores. (Arévalo, 2018).
- **Análisis Complementarios:** Este análisis es realizado para las determinaciones químicas, físicas y microbiológicas que no se contemplan en el análisis básico. (Arévalo, 2018).
- **Análisis Físico y Químico del agua:** En este análisis se llevan a cabo los procedimientos de laboratorio que se realizan a una muestra de agua y así evaluar sus características físicas y químicas. De acuerdo a la resolución 2115 de 2007 los plaguicidas son un compuesto químico adverso para la salud humana, pero existen otras características químicas de sustancias que también presentan un efecto adverso sobre la salud humana, estas sustancias presentan valores que sobrepasan el valor máximo aceptable. Las sustancias químicas excepto el nitrato que se encuentran en el agua de consumo humano por un largo tiempo (años) tienen un alto porcentaje de peligro para la salud. La calidad del agua presenta sus variaciones de forma progresiva, excepto cuando sobre las aguas subterráneas se vierten de forma esporádica sustancias o elementos contaminantes. (Arévalo, 2018).

Ciclo Hidrológico: Según Ordoñez (2011) es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Figura 1.).

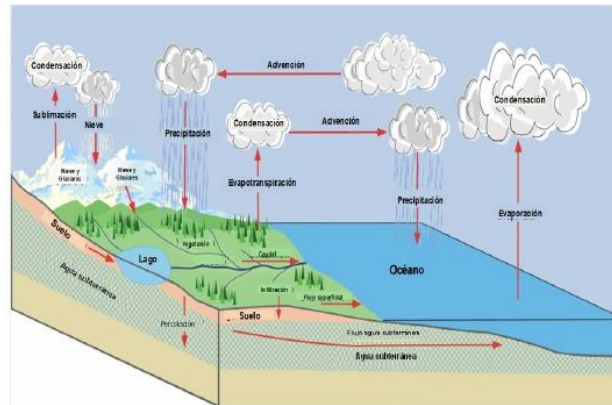


Figura 2. Representación del Ciclo Hidrológico.

Fuente: Ordoñez, 2011

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escurrimiento, y las otras fases del ciclo.

- **Precipitación:** Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental.
- **Evaporación:** Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación más).
- **Condensación:** El cambio en el estado de la materia de vapor a líquido que se produce con el enfriamiento. Normalmente se utiliza en meteorología cuando se habla de la formación de agua líquida en vapor. Este proceso libera energía de calor latente para el medio ambiente.
- **Transpiración:** Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el

interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración.

- **Intercepción:** Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.
- **Escorrentía superficial:** Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad, la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso.
- **Escorrentía subsuperficial:** Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto, debe ser considerada como parte de la escorrentía.

Acuíferos: Las aguas subterráneas en Colombia constituyen un recurso que día a día adquiere mayor importancia, pues son reconocidas tanto por ser fuentes principales, complementarias o alternas de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales, y por su influencia en obras civiles, túneles y carreteras y proyectos mineros, entre otros. (MADS, 2020).

Tipos de acuíferos:

- **Acuífero confinado o cautivo:** Aquél en que el agua está, en cualquier punto del mismo, a mayor presión que la atmosférica, razón por la cual al efectuar una perforación el agua asciende hasta un nivel superior al del techo del acuífero, en que se equilibra la presión hidráulica con la atmosférica. A este nivel ideal determinado por todos los puntos de equilibrio de la presión del agua con la atmosférica se le denomina superficie piezométrica. Los acuíferos cautivos se caracterizan por estar separados de la atmósfera por materiales impermeables o confinantes. El caso más simple y conocido, aunque no el único, lo constituye una estructura sinclinal en una formación porosa y permeable entre materiales impermeables, estando el área de recarga situada por encima del resto del acuífero. (Rebollo, s.f.).
- **Acuífero semiconfinado:** Acuífero cautivo que, al estar recubierto por (o yaciendo sobre) un acuitado, puede recibir o perder parte del agua que almacena a través del techo y/o la base del acuífero. Está delimitado, por lo tanto, por materiales semiconfinantes (o semipermeables), al menos en parte. Su

superficie piezométrica también se encuentra por encima del techo del acuífero. (Rebollo, s.f.).

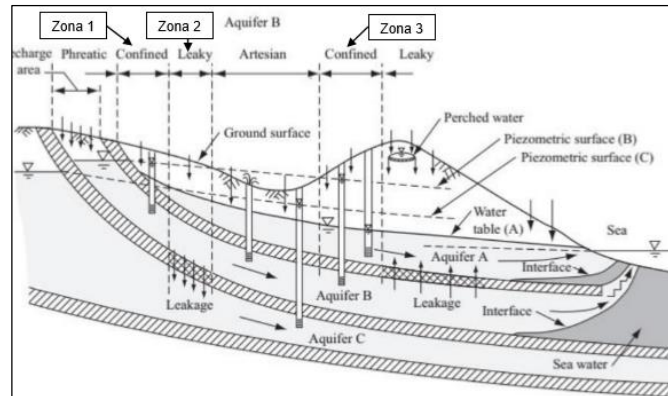


Figura 3. Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico.

Fuente: Cairasco, 2017.

Raster: En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados (ESRI, s.f.).

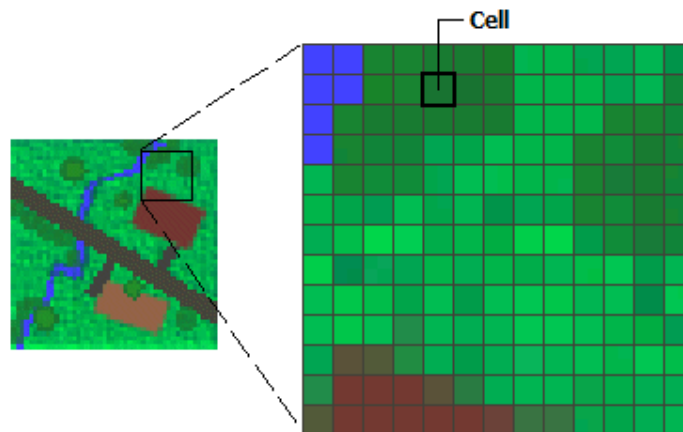


Figura 4. Raster.

Fuente:(ESRI, s.f.).

Si bien la estructura de datos ráster es simple, es excepcionalmente útil para una amplia variedad de

aplicaciones. En un SIG, los usos de los datos ráster se pueden dividir en cuatro categorías principales:

Rásteres en forma de mapas base: Un uso común de los datos ráster en un SIG es en forma de visualización de fondo para otras capas de entidades. Por ejemplo, las ortofotografías que se visualizan debajo de otras capas ofrecen al usuario de mapas la garantía de que las capas de mapa se alinean espacialmente y representan tanto objetos reales como información adicional. Las tres fuentes principales de mapas base ráster son las ortofotografías de fotografías aéreas, imágenes de satélite y mapas escaneados. A continuación, se muestra un ráster que se utiliza como forma de mapas base.

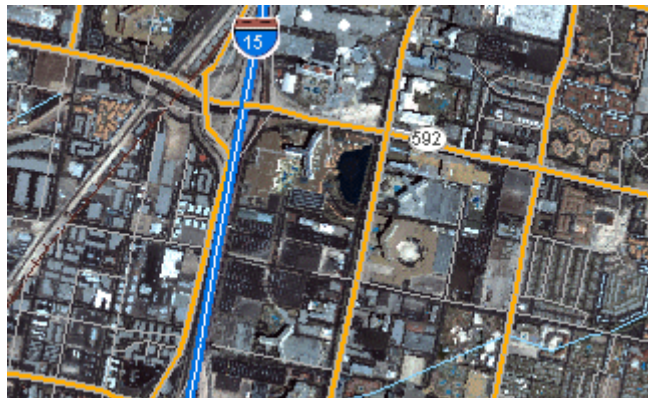


Figura 5. Rásteres en forma de mapas base.

Fuente: (ESRI, s.f.).

Rásteres en forma de mapas de superficie: Los rásteres son apropiados para representar datos que cambian continuamente en un entorno (superficie). Ofrecen un método efectivo para almacenar la continuidad en forma de superficie. También proporcionan una representación de superficies con espacios regulares. Los valores de elevación que se miden desde la superficie de la Tierra son la aplicación más común de los mapas de superficie, pero otros valores, como las precipitaciones, la temperatura, la concentración y la densidad de población, también pueden definir superficies que se pueden analizar espacialmente. En el siguiente ráster se visualiza la elevación: se utiliza el color verde para mostrar una elevación menor y celdas de color rojo, rosa y blanco para mostrar elevaciones mayores.

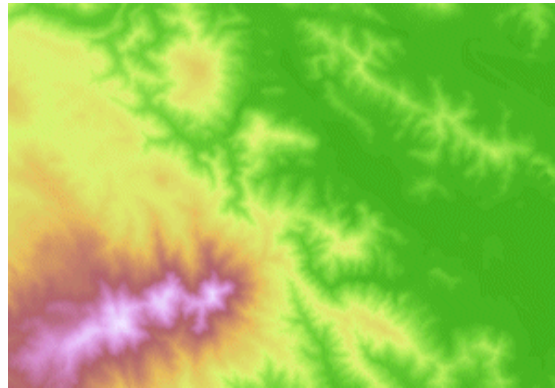


Figura 6. Rásteres en forma de mapas de superficie.

Fuente: (ESRI, s.f.).

Rásteres en forma de mapas temáticos: Los rásteres que representan datos temáticos se pueden derivar al analizar otros datos. Una aplicación de análisis común consiste en clasificar una imagen de satélite por categorías de cobertura de suelo. Básicamente, esta actividad agrupa los valores de datos multispectrales en clases (como tipo de vegetación) y asigna un valor categórico. También es posible obtener mapas temáticos a partir de operaciones de geo procesamiento que combinen datos de varias fuentes como, por ejemplo, datos vectoriales, ráster y de terreno. Por ejemplo, puede procesar datos por medio de un modelo de geoprocresamiento para crear un dataset ráster apropiado para una actividad específica. A continuación, encontrará un ejemplo de dataset ráster clasificado en el que se muestra el uso del suelo.

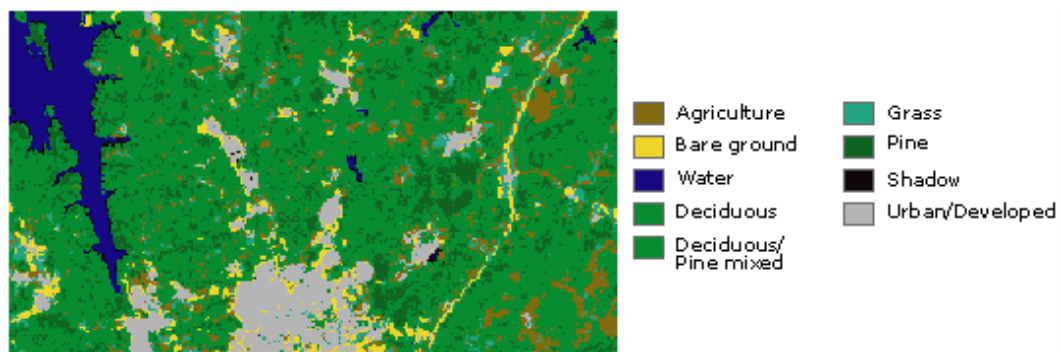


Figura 7. Rásteres en forma de mapas temáticos.

Fuente: (ESRI, s.f.).

Rásteres en forma de atributos de una entidad: Los rásteres utilizados como atributos de una entidad

pueden ser fotografías digitales, documentos escaneados o dibujos escaneados relacionados con un objeto o ubicación geográfica. Una capa de parcela podría tener documentos legales escaneados que identifiquen la transacción más reciente de dicha parcela, o una capa que represente las entradas a una cueva que podría incluir imágenes de las entradas reales a las cuevas asociadas a las entidades de puntos. A continuación, encontrará una imagen digital de un viejo árbol de gran tamaño, que podría utilizarse como atributo de una capa de paisaje que puede mantener una ciudad.



Figura 8. Rásteres en forma de atributos de una entidad.

Fuente: (ESRI, s.f.).

Kriging: Está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (ESRI, s.f.).

Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a un número específico de puntos o a todos los puntos dentro de un radio especificado, para determinar el valor de salida para cada ubicación (ESRI, s.f.).

- **La fórmula de Kriging:** El método Kriging es similar al de IDW en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

Ecuación 1. Suma ponderada de los Datos

Fuente: ESRI, s.f.

Donde:

$Z(s_i)$ = el valor medido en la ubicación n.º i

λ_i = un peso desconocido para el valor medido en la ubicación n.º i

s_0 = la ubicación de la predicción

N = el número de valores medidos.

4.3. Marco conceptual.

Acidez (pH): Es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en la disolución. Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (Ph-metro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24 h, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos entre 1 y 14. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (incrustaciones). En las medidas de pH hay que tener presente que estas sufren variaciones con la temperatura y que los valores indicados son para 20 °C. (Jiménez, 2000).

Acuífero: Una capa en el suelo que es capaz de transportar un volumen significativo de agua subterránea. (LENNTECH, s.f.).

Agua contaminada: La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua. (LENNTECH, s.f.).

Agua subterránea: Agua que puede ser encontrada en la zona satura del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos. (LENNTECH, s.f.).

Agua: El agua es un compuesto básico e insustituible con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

biológicos que gobiernan el medio natural. Por lo tanto, es el elemento estructurante de la dinámica natural y social del territorio, sin el cual no es posible la vida ni la actividad del hombre. (SIAC, s.f.).

Calcio: Elemento químico, Ca, de número atómico 20; es el quinto elemento y el tercer metal más abundante en la corteza terrestre. Los compuestos de calcio constituyen 3.64% de la corteza terrestre. (LENNTECH, s.f.).

Conductividad: La conductividad es un parámetro de medición que se controla en diferentes sectores como la industria química y la agricultura. Esta propiedad depende de la cantidad de sales disueltas en líquidos y es inversamente proporcional a la resistividad. Los líquidos con conductividad alta producen grandes cantidades de corriente. (Arévalo, 2018).

Contaminante: Un compuesto que a concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos. (LENNTECH, s.f.).

El uso eficiente y ahorro del agua: Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso. (Becerra, 2014).

Fósforo total: El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una gran parte del fósforo presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados y detergentes. La determinación se efectúa por espectrofotometría (UNE 77047-1983 y UNE EN 1189-1997), siendo necesaria la digestión previa de las polifosfatos (constituyentes de los detergentes) en fosfatos, para su análisis posterior. (Jiménez, 2000).

Salinidad: La salinidad es la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están conectada porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. (Waterboards, s.f.)

Saneamiento: Por saneamiento se entiende el suministro de instalaciones y servicios que permiten eliminar sin riesgo la orina y las heces. Los sistemas de saneamiento inadecuados constituyen una causa importante de morbilidad en todo el mundo. Se ha probado que la mejora del saneamiento tiene efectos positivos significativos en la salud tanto en el ámbito de los hogares como el de las



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

comunidades. El término saneamiento también hace referencia al mantenimiento de buenas condiciones de higiene gracias a servicios como la recogida de basura y la evacuación de aguas residuales. (OMS, 2015).

Sobreexplotación: Explotación de forma abusiva de un recurso natural. (Glosario de Riego, s.f.).

Sólidos disueltos totales: Los sólidos disueltos totales se componen de sales inorgánicas. Las sales inorgánicas comunes presentes en el agua son los minerales como calcio, magnesio, potasio y sodio, entre otros. (TEAM, 2019)

Temperatura: Este es considerado uno de los parámetros más importantes debido a que influye en la aceleración o retardo de la actividad biológica, precipitación de compuestos, absorción de oxígeno, formación de depósitos, procesos de mezcla, desinfección, sedimentación, filtración y floculación. Los factores ambientales también son una causa principal por la que la temperatura del agua puede variar. (LENNTECH, s.f.).

4.4. Marco contextual.

La zona de estudio está comprendida por los municipios de La paz y Valledupar, Cesar, las muestras se tomaron en las siguientes veredas:

Tabla 1. Localización de los puntos.

VEREDA	MUNICIPIO	Nº DE MUESTRAS POR VEREDA
VARAS BLANCAS	LA PAZ	1
LOS CALABAZOS	VALLEDUPAR	1
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	11
CALLEJA	LA PAZ	1
VALENCIA	VALLEDUPAR	1
EL PORVENIR	LA PAZ	1
CARRILLO	LA PAZ	1
CHIMILAIMA	VALLEDUPAR	1
TROCHA DEL MONO	VALLEDUPAR	1
GUARTINAJA	VALLEDUPAR	1
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	4

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS

LOS TRANSFORMADORES	LA PAZ	1
VILLA LUZ HELENA	LA PAZ	1
LOS MANATAIALES	LA PAZ	1
MARIANGOLA	VALLEDUPAR	3
TOTAL DE MUESTRAS		30

Fuente: Autores, 2020

- La paz, Cesar: Se encuentra a 12 kilómetros de la ciudad capital del Departamento del Cesar, Valledupar, sus Coordenadas son: Norte 1649000 a 1583000 y Este 1130000 a 1049500. El Municipio de La Paz tiene fronteras al norte con la Guajira, al noreste con el municipio de Manaure, al este con la República de Venezuela, comparten la serranía de Perijá cordillera. Al sur con el municipio de Codazzi, al suroeste con el municipio de El Paso, Cesar (compartiendo el rio Cesar como frontera), al oeste con el municipio de San Diego y al noroeste con el municipio de Valledupar.

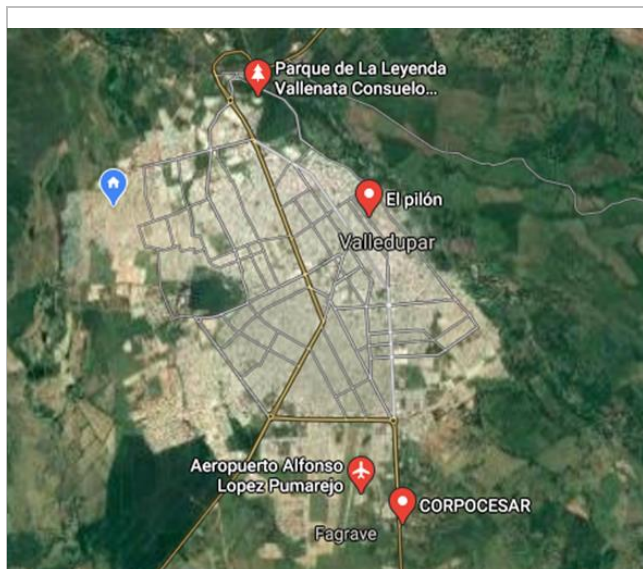


Figura 9. Imagen Satelital del municipio de Valledupar.

Fuente: Google Earth, 2020.

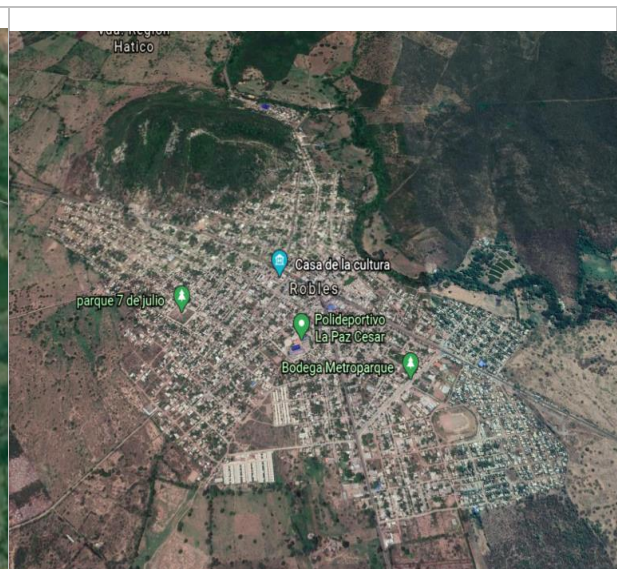


Figura 10. Imagen Satelital del municipio de La paz, Cesar.

Fuente: Google Earth, 2020.

- Valledupar: Es la capital del Departamento del Cesar, cuenta con una extensión de 4192 Km² (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden a área de protección forestal según la Ley 2ª de 1959, Valledupar tiene una temperatura de 31°C, la posición Astronómica está determinada por las siguientes coordenadas, Latitud: 10.45, Longitud: -73.25 10° 27' 0" Norte, 73° 15' 0" Oeste, además de limitar al norte con el departamento de La Guajira. (PDM, 2019).



Figura 11. Ubicación geográfica de los pozos a analizar.

Fuente: Google Earth, 2020.

Vegetación: El valle del río Cesar pertenece a la clasificación climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros *Cassia*, *Tabebuia*, *Crescentia* e *Inga* entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos. Particularmente, la ciudad es considerada como una de las más arborizadas del país, en este aspecto se puede hacer referencia a

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

la cultura local que impone la siembra de árboles en los frentes y los patios de las viviendas casi como una obligación; es extraño en la ciudad encontrar una vivienda o edificio sin algún tipo de árbol. También es importante la presencia de árboles frutales en zonas públicas como parques, andenes y separadores de avenidas, en este caso por iniciativa de la municipalidad. El árbol más común es el mango seguido de cañahuate, ceibas, robles, totumos, acacias, mamones, cotoprix, uvitos, cardamomos y un importante corredor vial de cauchos. (PDM, 2019).

Fauna: La fauna silvestre en la actualidad se encuentra muy afectada, los felinos y mamíferos como el tigrillo y los venados son actualmente una rareza sobresaliendo casi exclusivamente los reptiles representados por las iguanas, lagartijas y algunas serpientes como boas, falsas corales, y mapaná. En cuanto a las aves sobresalen algunas rapaces como la lechuza y los gavilanes y otras como palomas, tierrelitas, pericos y colibríes. (PDM, 2019).

Clima: el clima es tropical en Valledupar. Los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos en Valledupar. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Aw. La temperatura media anual en Valledupar se encuentra a 27.9 °C. Precipitaciones promedios 1124 mm. (PDM, 2019).

4.5. Marco Legal.

A continuación, se mencionan las normas con las que se regirá el proyecto en cuestión:

Tabla 2. Normas que rigen al presente proyecto.

COSTITUCIÓN POLITICA DE COLOMBIA	Artículo 8	Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
	Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
LEY	23 de 1973	Prevención y control de la contaminación del medio ambiente, mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	
	2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	
DECRETO	1974 de 1989 Artículo 7	El Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DMI) se organizará conforme a un proceso de ordenamiento territorial, realizando recuperación: Esta categoría puede ser de dos tipos: recuperación para la preservación: Entiéndase por recuperación para la preservación las actividades humanas orientadas al restablecimiento de las condiciones naturales primigenias de la zona y recuperación para la producción: Entiéndase por recuperación para la producción las actividades humanas orientadas al restablecimiento de las condiciones naturales que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos de la zona.	
	475 de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.	
	1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.	
	815 de 1997	Por medio del cual en la que se obliga a implementar un sistema de medición para la explotación del RHS.	
RESOLUCIÓN	1096 del 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS	
	250 de 1997	Por medio del cual se obliga a la determinación anual de los niveles estáticos y dinámicos y el monitoreo fisicoquímico de las aguas subterráneas.	
	2115 del 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.	
		Norma internacional	
	TIPO	OBJETO	PAIS
	Reglamento de Calidad de Agua Potable N.º 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud	Tiene por objetivo establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de	Costa Rica

los sistemas de abastecimiento de agua
en beneficio de la salud pública.

Fuente: Autores, 2020.

5. MARCO METODOLÓGICO.

En esta etapa se desarrollará un procedimiento para el cumplimiento del objetivo general que trata sobre Evaluar la calidad físico-química del agua subterránea de los pozos y aljibes de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar.

5.1. Línea y sub-línea de investigación

La línea de investigación de la Facultad de Ingenierías y Tecnológicas es **Sostenibilidad y Gestión Ambiental**, la cual, para este proyecto enmarca la siguiente sub-línea correspondiente al Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria: **Gestión Integral del Recurso Hídrico**.

5.2. Tipo de investigación

Esta investigación es de nivel Descriptiva debido a que se pretende caracterizar y describir la calidad del agua subterránea de los pozos y aljibes. La investigación descriptiva intenta describir las características de un fenómeno a partir de la determinación de variables o categorías ya conocidas. Se miden con mayor precisión las variables y/o categorías que caracterizan el fenómeno. Se utilizan cuando se requiere una adecuada caracterización del fenómeno y precisar la información existente y o verificar la exactitud de descripciones anteriores. (Yuni & Urbano, 2014). También se debe tener en cuenta que en base a los datos que se utilizan pueden ser cuantitativo y cualitativo, para este proyecto se opta trabajar con los dos tipos cuantitativo y cualitativo ya que se recogerá, procesará y analizará datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas y se estudiarán los contextos estructurales y situacionales del área de trabajo (Domínguez, 2007).



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

5.3. Población de estudio

Este trabajo tomó en consideración el número de pozos existentes entre el municipio de Valledupar y el municipio de La paz que son alrededor de 269 puntos de manifestación de agua subterráneas.

5.4. Muestra poblacional

Para los fines del presente trabajo de investigación se seleccionaron de manera aleatoria y representativa para su estudio 30 muestras entre pozos y aljibes de la zona norte de Valledupar y La paz, Cesar.

5.5. Desarrollo metodológico

Para la realización de este proyecto se llevarán a cabo las siguientes etapas:

Etapa 1: Caracterizar los parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas de los pozos y aljibes de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar mediante mediciones in situ.

Esta etapa se ejecutará por medio de las siguientes actividades:

Actividad 1.1. Revisión bibliográfica: Se consultaron documentos y estudios que se realizaron en la zona de estudio, como la hidrología, hidrografía, vegetación, geología, uso del suelo, explotación de acuíferos, Planes de manejo y ordenamiento de aguas subterráneas, y la información que maneja y proporciona la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM), todo esto con el fin de sentar las bases para la ejecución del presente proyecto.

Actividad 1.2. Recolección de datos: Los datos fueron proporcionado por la investigación realizada en el marco del convenio 602 de 2019 entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH – y Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR cuyo objeto es la Actualización y caracterización de inventario de puntos de agua en áreas priorizadas en zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de

exploración y producción de Hidrocarburos en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del César (CORPOCESAR), en la cuenca Cesar – Ranchería, los parámetros se determinaron in situ y el equipo que se utilizó fue el siguiente para los 30 pozos (ver tabla 2). Además, se proporcionó la ubicación geográfica y profundidad de cada pozo.

Tabla 3. Parámetros in situ.

Parámetros in situ	
Conductividad eléctrica	Sonda multiparamétrica
Oxígeno Disuelto	Sonda multiparamétrica
pH	Sonda multiparamétrica
Profundidad	Sonda métrica
Salinidad	Sonda multiparamétrica
Sólidos disueltos	Sonda multiparamétrica
Resistividad	Sonda multiparamétrica

Fuente: Autores, 2020.

Para la identificación de cada punto se descargó en el celular de los profesionales de campo la aplicación AvenzaMap, la cual permitió visualizar mapas y movimiento de las cuadrillas en tiempo real con un equipo GPSMAP 64 s Referencia C10-01199-10 marca GARMIN. Cada cuadrilla tenía un archivo con todos los mapas de sus recorridos de puntos a inventariar en formato pdf. Este archivo se abría con la aplicación mencionada y esta automáticamente les permitía visualizar las rutas a seguir para el inventario de puntos de agua, la identificación de cada uno fue alfanumérico según el mapa de campo.

Para la obtención de los valores de cada parámetro en los diferentes puntos se realizó lo siguiente:

- Se realizaron las mediciones de niveles con sonda de nivel tomando inicialmente la profundidad de los pozos. La medición de nivel se llevará a cabo en condiciones de no bombeo. La profundidad de cada uno de los pozos se obtuvo por medio de una sonda métrica marca Solinst, se determinó el tipo de punto hidrogeológico, la clasificación se basó en sus características de construcción.
- El procedimiento para la toma de los parámetros fisicoquímicos se desarrolló a través de la utilización de un medidor multiparamétrico Hach HQ40D, para la captura de los datos, lo primero que se realizará

será bombear agua por 20 minutos y posteriormente extraerá la muestra de agua.

Fue necesario introducir y fijar imperturbablemente al interior del pozo antes que la sonda, una serie de tubos, para luego introducir en este tubo la sonda propiamente dicha, con el fin de evitar que se quede obstruida con el cableado de la bomba, o en los alambres de sostenimiento de la instalación de la bomba y tubería de succión.

Además de los parámetros fisicoquímicos se tuvo en cuenta algunos datos como: la condiciones en la que se encontraba el pozo, tipo de uso y/o aprovechamiento principal del recurso hídrico, tipo de energía y método de explotación en cada punto, la información se determinó a partir de la observación y antecedentes proporcionados por los encargados.

Etapas 2: Analizar los resultados obtenidos y comparar con la normatividad vigente en agua para consumo humano.

Una vez que se han establecido las condiciones actuales de los pozos y aljibes que se encuentran la zona norte de Valledupar y La paz – Cesar de los puntos escogidos, se realizó las siguientes actividades:

Actividad 2.1. Modelamiento de los datos mediante Software ArcGIS: Para conocer como están distribuidos los parámetros de estudio dentro de la zona norte de Valledupar y La paz - Cesar, se realizó el procedimiento en ArcMap, primeramente, se hizo una interpolación con la herramienta Kriging (ver ruta 1) en el cual se ingresaron los parámetros (variable de entrada) y se obtuvo el primer ráster (ráster 1) que contiene el resultado de la distribución de cada parámetro (de manera individual).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que esa distribución deberá tener un límite en la zona norte de Valledupar y La paz - Cesar, por lo tanto, se cortó el (ráster 1) obtenido, mediante la herramienta Extrac by mask (ver ruta 2); y así se obtuvo un segundo ráster (ráster 2) que contiene la información del ráster 1, pero será de acuerdo al límite de la zona de estudio.

Después de tener cortado el (ráster 1), se creó las curvas que indico la distribución de los parámetros, y para

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ello se utilizará la herramienta Contour (ver ruta 3) que definió el intervalo de dichas curvas. Se obtuvo un mapa por cada parámetro y este procedimiento obedeció a todos los parámetros que se seleccionaron para evaluar la calidad del agua subterránea de los pozos de la zona norte de Valledupar y La Paz, Cesar. Ver figura 12, que indica el proceso que se llevó a cabo en ArcMap.

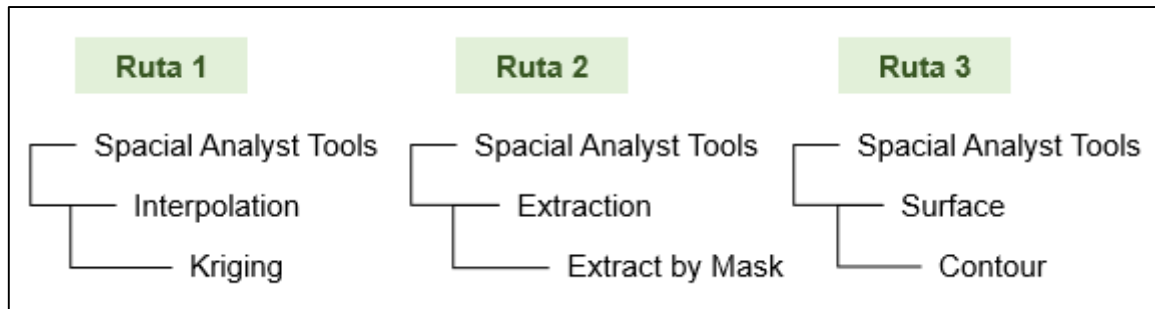


Figura 12. Ruta de las herramientas a utilizar para este proceso, dentro de ArcToolbox.

Fuente: Autores, 2020.

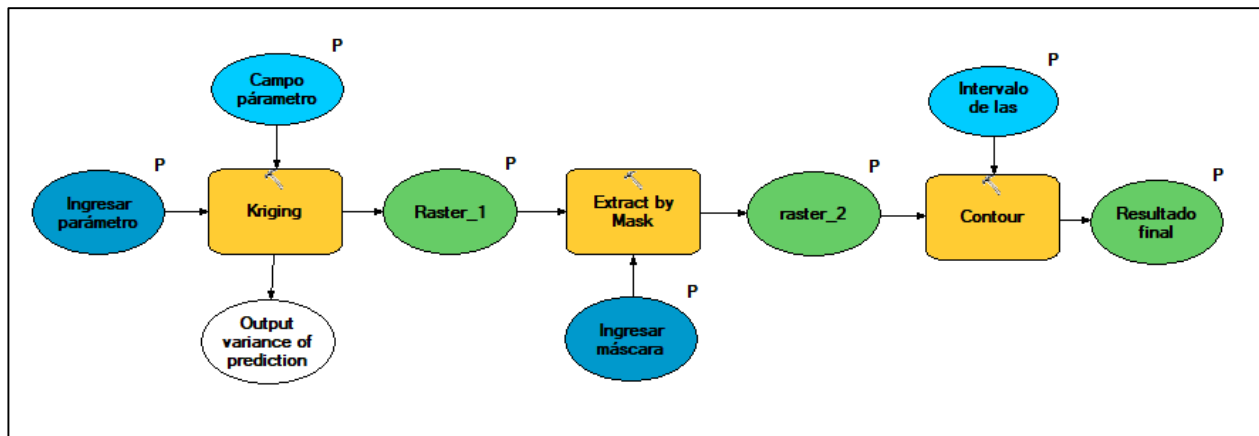


Figura 13. Procedimiento en ArcMap, para obtener la distribución de los parámetros en la zona.

Fuente: Autores, 2020

Actividad 2.2. Comparación de los parámetros con la normatividad: Las características físicas (pH, Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos, Salinidad, Resistividad, Temperatura, DBO, Profundidad) para los puntos en los que se tomarán la muestra fueron confrontados de acuerdo a la normatividad de calidad de agua.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

En primera instancia se procede a tabular y se agrupará cada parámetro con cada uno de los pozos (30) y se analizarán por medio del programa estadístico EXCEL, para su análisis se construye histogramas activando la herramienta de análisis de datos de EXCEL para visualizar el comportamiento de cada uno de los parámetros, posterior a esto se relacionarán los resultados obtenidos con la normatividad de calidad de agua, la cual nos permitirá inferir si es aceptable o no según los valores máximos permisibles estipulados en la normatividad vigente, cabe recalcar que las siguientes normas no cuenta con la totalidad de los parámetros evaluados, en tabla 4, se referencia la norma con la cual se realizara la comparación de cada parámetro.

Tabla 4. Parámetro con la normatividad a comparar.

Parámetros in situ	Equipo	Unidad	Valor permisible		Normatividad
			Mínimo	Máximo	
Conductividad eléctrica	Sonda multiparamétrica	Microsiemens/cm		1000	Resolución / 2115 /22 JUN 2007 Colombia
Oxígeno disuelto	Sonda multiparamétrica	Miligramos por litro mg/L.		> 4	Resolución / 1096 /17 NOV 2000 Colombia
pH	Sonda multiparamétrica	Unidades de Ph	6,5	9,0.	Resolución / 2115 /22 JUN 2007 Colombia
Sólidos disueltos Totales	Sonda multiparamétrica	Miligramos por litro mg/L		1000	Decreto / 475 /22 JUN 1998 Colombia Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud Costa Rica
Temperatura	Sonda multiparamétrica	Grados Celsius °C	18	30	Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud Costa Rica

Fuente: Autores, 2020

Dicha comparación se realizó mediante el software Microsoft Excel 2019. Para la presentación de los resultados, se dividieron en dos grupos los datos teniendo en cuenta la zona de las muestras, se estableció que el primer grupo era el de Valledupar con 23 muestras y el segundo grupo lo conformarían las 7 muestras tomada en La paz, Cesar.

Etapas 3: Plantear un plan de alternativas de manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo proveniente de los pozos ubicados en la zona norte de Valledupar y La paz - Cesar.

Actividad 3.1. Establecimiento de medidas preventivas, correctivas y de cuidado de agua subterránea y métodos de conservación:

De acuerdo los resultados obtenidos y analizados, se diseñaron medidas correctivas ya que las concentraciones de los parámetros evaluados no cumplen con las normas establecidas en más del 50% del total de las muestras y se diseñaron medidas preventivas para los casos en donde los parámetros no exceden los límites permisibles:

- Para las medidas preventivas: Se recomienda una serie de actividades con el objetivo de darle un uso sostenible al recurso hídrico y sea visible la mitigación del impacto de manera anticipada basándose en los antecedentes de casos en los que se evidencian los efectos adversos sobre la calidad y potabilidad del agua. Por tanto, teniendo en cuenta la importancia del cuidado de las aguas, se plantearán recomendaciones que fomenten el ahorro del recurso hídrico como medida preventiva.
- Como medidas correctivas: se plantean planes que minimicen la gravedad del daño que se haya causado de manera que se reduzca la contaminación del recurso hídrico, asimismo, se recomendará planes de aprovechamiento de los procesos de autodepuración natural de los pozos.

Actividad 3.2. Elaboración de un documento final.

Se realiza el presente documento, con el objetivo de beneficiar a la comunidad, teniendo en cuenta las actividades realizadas, los resultados obtenidos y las medidas de prevención y corrección planteadas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

En esta etapa de acuerdo a la información recopilada y suministrada por la investigación realizada en el marco del convenio 602 de marco del convenio 602 de 2019 entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH – y Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR cuyo objeto es la Actualización y caracterización de inventario de puntos de agua en áreas priorizadas en zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de exploración y producción de Hidrocarburos en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del César (CORPOCESAR), en la cuenca Cesar – Ranchería, se analizaron los resultados obtenidos de los parámetros medidos in situ los cuales facilitaron la obtención de los ítems tabulados a continuación:

Etapa 1: Caracterizar los parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas de los pozos y aljibes de la zona norte de Valledupar y La paz Cesar mediante mediciones in situ.

Actividad 1.1. Revisión bibliográfica:

La siguiente información es el resultado de la consulta de estudios realizados en el Cesar que se consideran de interés para esta investigación.

- Aguas Subterráneas en el departamento del Cesar.

Según lo consultado en la Evaluación del potencial del agua subterránea en los municipios de Curumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Rio De Oro, San Martin Y San Alberto, Departamento Del Cesar. Convenio 097-2003-06-2007 realizado por el IDEAM y CORPOCESAR, se considera de gran importancia la información ahí establecida de Aguas Subterráneas en el departamento del Cesar y que por tal motivo se plantea en la revisión realizada. Al considerar el agua subterránea, la ecorregión Valle del Río Cesar se caracteriza porque en ella aflora el sistema acuífero de la llanura aluvial, el cual abarca una extensión de 8.500 Km^2 (la mayor del departamento) desde el límite con el Departamento de la Guajira en el nororiente y el Magdalena en el noroccidente hasta la parte central del departamento del Cesar, entre

las poblaciones de Pailitas y Palestina. La calidad de los acuíferos, en general, hace el agua subterránea en esta ecorregión apta para el consumo humano, limitado en algunos sectores y mayormente inadecuado para riego. De acuerdo con INGEOMINAS - Corpocesar (Evaluación del Agua Subterránea en el departamento del Cesar, 1995) el total de reservas calculadas, $218'346.000 \text{ m}^3$, supera a la explotación que se hace en esta eco-región, que es del orden de $39'331.050 \text{ m}^3/\text{año}$, discriminados así: $569.000 \text{ m}^3/\text{año}$ para uso público, $7'785.450 \text{ m}^3/\text{año}$ para uso doméstico, $23'242.200 \text{ m}^3/\text{año}$ para irrigación y $1'213.700 \text{ m}^3/\text{año}$ para uso industrial ganadero), todo lo anterior mediante pozos profundos; mientras que mediante aljibes, se extrae $2'253.700 \text{ m}^3/\text{año}$ para uso doméstico, $3'295.200 \text{ m}^3/\text{año}$ para industrial ganadero, $369.000 \text{ m}^3/\text{año}$ para irrigación y $603.200 \text{ m}^3/\text{año}$ para uso público. Sin embargo, la información anterior no significa que hay disponibilidad ilimitada de agua subterránea, ya que en ello inciden factores como rentabilidad de la extracción y posibilidades técnicas para la misma.

Paradójicamente, el uso que más se hace del agua subterránea es el agrícola (riego) a pesar de no ser apta por naturaleza en su mayoría para este fin, lo cual implica que los usuarios deben someterla a un tratamiento antes de aplicarla a los cultivos. Lo anterior significa que, con el propósito de maximizar el rendimiento agropecuario, y por ende racionalizar el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, sus usuarios deben propender en el futuro por el tratamiento del recurso y la adecuada medida de las pretensiones relacionadas con el área a irrigar. (Cañas & Armenta, 2007)

La ecorregión del Valle del Río Cesar cuenta con suelos considerados de alta productividad que tradicionalmente se han constituido en uno de los pilares sobre los que se asienta el potencial económico del departamento del Cesar, por cuanto en ella tienen asiento los procesos productivos más importantes que contribuyen de manera primordial con el desarrollo socioeconómico del Departamento, dentro de los que sobresalen la ganadería, agricultura, la agroindustria y la minería. Estas tierras se extienden desde el norte en las llanuras centrales de los valles de los ríos Cesar y Ariguaní, en límites con el Departamento de La Guajira en el nororiente y el Magdalena al noroccidente, hasta la parte central del Departamento, entre las poblaciones de Pailitas y Palestina, abarcando una extensión de 8.500 Km^2 . Esta es una zona muy rica, con suelos de fertilidades moderada (Gobernacion Del Cesar, 2020).



- **Las precipitaciones en el departamento del Cesar.**

Las áreas más húmedas se localizan en las zonas montañosas de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, además, de la zona sur del Departamento con precipitaciones superiores a los 3000 mm anuales; menos húmedas resultan las planicies de Aguachica y el centro del Departamento (1500-2000 mm); sectores con precipitaciones en torno a los 1000 mm se encuentran en el Valle del Cesar, Codazzi, El Copey, Bosconia y el resto del Departamento. Hay algunos semi-desiertos o estepas de corta extensión y de forma aislada en los sectores como Guacoche (corregimiento de Valledupar) y Las Pitillas (corregimiento de San Diego). (Gobernacion Del Cesar, 2020).

- **Producción económica en el departamento del Cesar.**

Teniendo en cuenta en lo consultado en el PLAN INTEGRAL DE DESARROLLO AGROPECUARIO Y RURAL CON ENFOQUE TERRITORIAL la minería, los servicios y las actividades agropecuarias aportaron el 62% al PIB departamental en el año 2016, de tal manera que representan las actividades que generan más ingreso en el departamento.

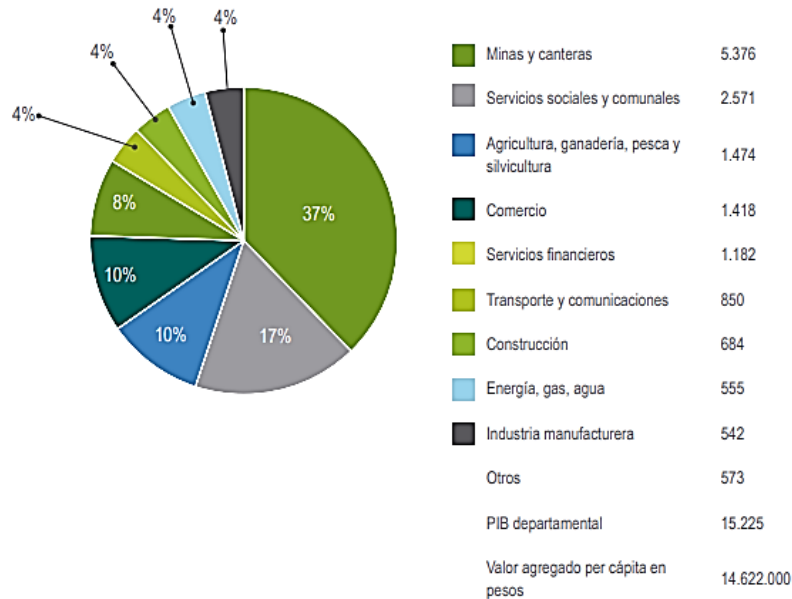


Figura 14. Actividades económicas de mayor importancia.

Fuente: PDD, 2020

Según lo establecido en plan de desarrollo departamental 2020-2023 se distingue 122 asociaciones rurales de campesinos, pequeños productores, indígenas, mujeres, afros, así como en actividades agrícolas, agropecuarias, agroindustriales, piscícolas, avícolas, ganaderas, apícolas y especies menores, distribuidas así:

Asociaciones del Sector Rural	Participación
Producción agropecuaria	48%
Pala	5%
Café tradicional y orgánico	5%
Piscícola	5%
Ganadería	4%
Cacao	4%
Frutas	4%
Ovino caprino	3%
Apícola	2%
Panela/caña panelera	2%
Arroz	2%
Producción agropecuaria	2%
Producción agroecológica	2%
Pesca	2%
Maíz	2%
Agroindustrial	2%
Porcina	1%
Avícola	1%
Agrícola, piscícola y avícola	1%
Caña panelera, café y fruta	1%
Especies menores	1%

Figura 15. Asociaciones rurales de campesinos por actividad en el departamento del Cesar.

Fuente: PDD, 2020

Actividad 1.2. Recolección de datos:

Los datos fueron proporcionados por la investigación realizada en el marco del convenio 602 de 2019 entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH – y la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, cuyo objeto es la Actualización y caracterización de inventario de puntos de agua en áreas prioritizadas en zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de exploración y producción de Hidrocarburos en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del César (CORPOCESAR), en la cuenca Cesar – Ranchería, los parámetros se determinaron in situ.

- **Identificación y localización de los puntos:**

En este ítem se presenta las coordenadas de los sitios geográficos donde se tomaron las muestras y ubicación de los puntos de muestreos. En tabla 5 y en la figura 16, se presentan los datos de la ubicación de cada uno de los puntos donde se obtuvo la muestra.

Tabla 5. Ubicación detallada de los puntos de muestreos.

VEREDA	MUNICIP IO	ID_PUN TO_H	TIPO_PUNTO	X_GRA DOS	X_MINU TOS	X_SEGU NDOS	Y_GRA DOS	Y_MINU TOS	Y_SEGU NDOS	ESTE_C AMPO	NORTE_C AMPO
LOS CALABAZOS	VALLED UPAR	VLL-1074	Pozo de agua o pozo profundo	73	16	56,5	10	14	48,9	1087113	1625041
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1078	Pozo de agua o pozo profundo	73	28	51,1	10	11	51,5	1065376	1619542
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1079	Pozo de agua o pozo profundo	73	29	0,1	10	11	57,9	1065102	1619738
VALENCIA	VALLED UPAR	VLL-1010	Pozo de agua o pozo profundo	73	23	20,3	10	10	8	1075452	1616304
CHIMILAIMA	VALLED UPAR	VLL-251	Pozo de agua o pozo profundo	73	44	53,5	10		59,9	1036106	1599478
TROCHA DEL MONO	VALLED UPAR	VLL-1075	Pozo de agua o pozo profundo	73	33	3,6	10	6	54,3	1057704	1610551
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1077	Pozo de agua o pozo profundo	73	29	48	10	12	47,1	1063642	1621248
GUARTINAJA	VALLED UPAR	VLL-135	Pozo de agua o pozo profundo	73	27	25,7	10	6	1,2	1067991	1608785
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1083	Pozo de agua o pozo profundo	73	23	43,5	10	7	52,8	1074755	1612226
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-109	Pozo de agua o pozo profundo	73	24	13,1	10	7	25,9	1073858	1611400
LOS VENADOS	VALLED UPAR	VLL-1099	Pozo de agua o pozo profundo	73	39	47,5	10		36,5	1045421	1598771
LOS VENADOS	VALLED UPAR	VLL-1106	Pozo de agua o pozo profundo	73	38	39,1	9	52	54,2	1047521	1584574
LOS VENADOS	VALLED UPAR	VLL-1107	Pozo de agua o pozo profundo	73	40	28,1	9	57	19,8	1044193	1592726
MARIANGOLA	VALLED UPAR	VLL-1014	Aljibe	73	34	52,1	10	11	37	1054389	1619078
MARIANGOLA	VALLED UPAR	VLL-1017	Aljibe	73	33	16,7	10	11	58,1	1057292	1619729
MARIANGOLA	VALLED UPAR	VLL-148	Aljibe	73	34	21,5	10	11	0,2	1055321	1617952
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1015	Aljibe	73	29	39,1	10	11	42,1	1063917	1619250
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-417	Aljibe	73	29	15,8	10	12	36,3	1064623	1620920
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1019	Aljibe	73	29	47,5	10	12	12,7	1063658	1620187
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1022	Aljibe	73	29	48,5	10	12	46,4	1063626	1621229
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-120	Aljibe	73	28	24,3	10	11	41	1066195	1619222
AGUAS BLANCAS	VALLED UPAR	VLL-1028	Aljibe	73	29	24,3	10	13	20,2	1063871	1622263
LOS VENADOS	VALLED UPAR	VLL-1101	Aljibe	73	40	24,3	10		9,8	1043433	1597946
VARAS BLANCAS	LA PAZ	LPZ-89	Pozo de agua o pozo profundo	73	8	57,2	10	25	14,9	1104649	1644316
CALLEJA	LA PAZ	LPZ-185	Pozo de agua o pozo profundo	73	11	40,4	10	23	17,1	1096692	1640682
EL PORVENIR	LA PAZ	LPZ-1004	Pozo de agua o pozo profundo	73	12	43	10	22	15	1094793	1638768
CARRILLO	LA PAZ	LPZ-114	Pozo de agua o pozo profundo	73	13	13,4	10	23	13,3	1093863	1640557

LOS TRANSFORMADOS	LA PAZ	LPZ-118	Aljibe	73	11	51,2	10	23	9,8	1096364	1640457
ORES											
VILLA LUZ HELENA	LA PAZ	LPZ-86	Aljibe	73	9	52,2	10	24	5,8	1099976	1642187
LOS MANATIALES	LA PAZ	LPZ-100	Aljibe	73	10	12,8	10	24	24,1	1099351	1642753

Fuente: autores, 2021

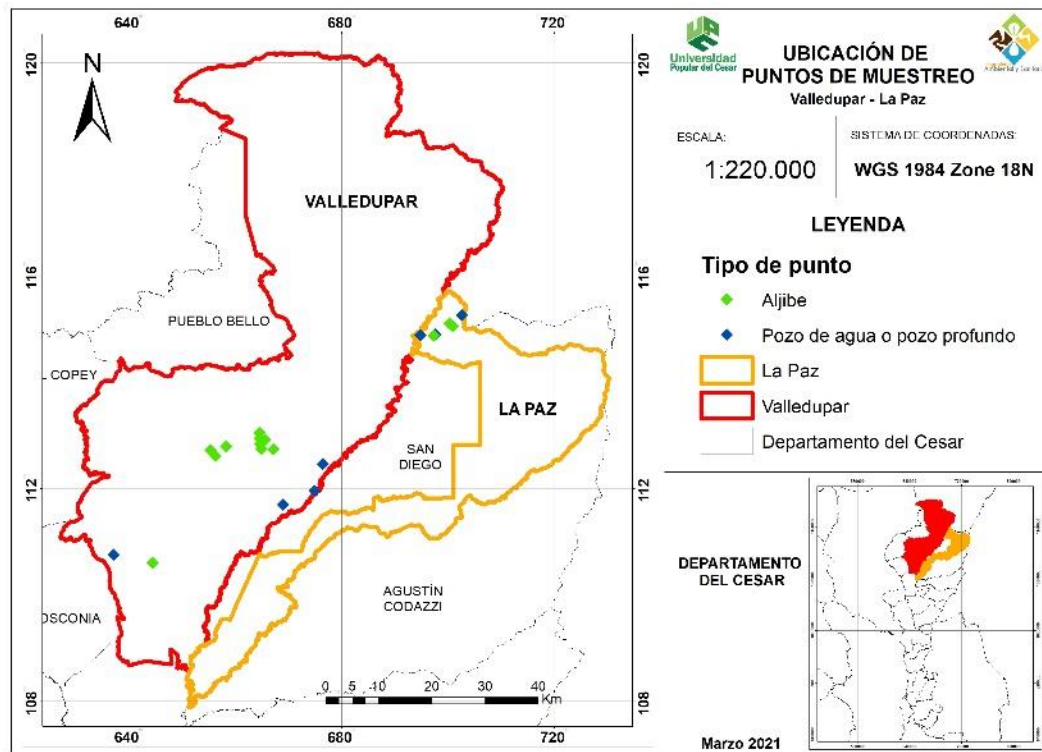


Figura 16. Ubicación de los puntos de muestreos.

Fuente: autores, 2021

- **Profundidad y tipo de punto hidrogeológico:**

En la tabla 6, se describe el tipo de materiales con los que se entubó el pozo de agua o piezómetro en el caso de aljibes, la profundidad de cada uno de los puntos muestreados.

Tabla 6. Material, tipo de pozo y profundidad de los pozos muestreados.

PUNTO	VEREDA	MUNICIPIO	ID_PUNTO_H	MATERIAL	TIPO_PUNTO	PROFUNDIDAD
1	VARAS BLANCAS	LA PAZ	LPZ-89	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	60,00
2	LOS CALABAZOS	VALLEDUPAR	VLL-1074	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	80,00
3	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1078	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	90,00
4	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1079	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	80,00
5	CALLEJA	LA PAZ	LPZ-185	Ladrillo	Aljibe	136,2
6	VALENCIA	VALLEDUPAR	VLL-1010	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	30,00
7	EL PORVENIR	LA PAZ	LPZ-1004	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	50,00
8	CARRILLO	LA PAZ	LPZ-114	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	58,00
9	CHIMILAIMA	VALLEDUPAR	VLL-251	Cemento	Pozo de agua o pozo profundo	11,30
10	TROCHA DEL MONO	VALLEDUPAR	VLL-1075	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	100,00
11	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1077	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	51,00
12	GUARTINAJA	VALLEDUPAR	VLL-135	Cemento	Pozo de agua o pozo profundo	18,00
13	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1083	Hierro Galvanizado	Pozo de agua o pozo profundo	30,00
14	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-109	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	30,00
15	LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1099	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	35,00
16	LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1106	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	15,60
17	LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1107	PVC	Pozo de agua o pozo profundo	17,36
18	LOS TRANSFORMADORES	LA PAZ	LPZ-118	Ladrillo	Aljibe	115,3
19	VILLA LUZ HELENA	LA PAZ	LPZ-86	Cemento	Aljibe	14,50
20	LOS MANATIALES	LA PAZ	LPZ-100	Cemento	Aljibe	23,00
21	MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-1014	Cemento	Aljibe	13,60
22	MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-1017	Cemento	Aljibe	10,00
23	MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-148	Cemento	Aljibe	9,80
24	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1015	Cemento	Aljibe	10,90
25	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-417	Ladrillo	Aljibe	10,70
26	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1019	Cemento	Aljibe	9,50
27	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1022	Ladrillo	Aljibe	10,50
28	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-120	Cemento	Aljibe	12,28
29	AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1028	Cemento	Aljibe	13,50
30	LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1101	Cemento	Aljibe	14,00

Fuente: Autores, 2021



- **Parámetros físico-químicos.**

Los parámetros (pH, Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos, Salinidad, Resistividad, Temperatura, DBO y Profundidad) fueron medidos por una sonda multiparamétrica mg/L de modelo Hach HQ40D, debidamente calibrado, se introdujo la sonda en el recipiente con el agua recogida del pozo lo más rápido posible y se guardó los datos registrados por el equipo, los resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de cada punto.

VEREDA	MUNICIPIO	ID PUNTO H	PH	CONDUCTIVIDAD AD ELECTRICA	TEMPERAT URA	SOLIDO DISUELTOS TOTALES	OXIGENO DISUELTO	SALINI DAD	RESISTIVI DAD
VARAS BLANCAS	LA PAZ	LPZ-89	7,24	476	27,8	230	6,22	0,23	2091
LOS CALABAZOS	VALLEDUP AR	VLL-1074	7,44	4500	29,4	2350	1,94	2,4	221
AGUAS BLANCAS	VALLEDUP AR	VLL-1078	7,7	3490	28,4	1802	4,76	1,83	286
AGUAS BLANCAS	VALLEDUP AR	VLL-1079	7,74	3280	27,8	1686	4,45	1,71	305
CALLEJA	LA PAZ	LPZ-185	7,42	1010	33	448	3,42	0,5	989
VALENCIA	VALLEDUP AR	VLL-1010	7,86	3440	30,5	1194	3,26	1,8	290
EL PORVENIR	LA PAZ	LPZ-1004	7,19	528	29,5	255	4,65	0,25	1897
CARRILLO	LA PAZ	LPZ-114	7,09	1085	34,4	538	2,17	0,54	919
CHIMILAIMA	VALLEDUP AR	VLL-251	7,54	8550	30,2	4620	6,9	4,75	117,3
TROCHA DEL MONO	VALLEDUP AR	VLL-1075	7,41	5660	31	3000	8,41	3,07	176,1
AGUAS BLANCAS	VALLEDUP AR	VLL-1077	7,69	5090	30,4	2680	6,99	2,73	196,3
GUARTINAJA	VALLEDUP AR	VLL-135	7,93	5520	30,09	2910	1,76	2,97	181,3
AGUAS BLANCAS	VALLEDUP AR	VLL-1083	7,22	13120	30,9	7280	1,42	7,54	76,2
AGUAS BLANCAS	VALLEDUP AR	VLL-109	8	4880	29,8	2560	6,23	2,61	204,9
LOS VENADOS	VALLEDUP AR	VLL-1099	7,38	4340	28	1260	7,05	2,3	231
LOS VENADOS	VALLEDUP AR	VLL-1106	7,75	701	30,4	342	2,44	0,34	1425
LOS VENADOS	VALLEDUP AR	VLL-1107	7,61	479	30,6	231	6,31	0,23	2091
LOS TRANSFORMADOR ES	LA PAZ	LPZ-118	7,28	1084	31,3	534	2,51	0,53	926
VILLA LUZ HELENA	LA PAZ	LPZ-86	7,75	641	29,9	312	6,95	0,31	1559
LOS MANATIALES	LA PAZ	LPZ-100	7	633	34	308	5,12	0,31	1575
MARIANGOLA	VALLEDUP AR	VLL-1014	7,38	6670	31,1	3560	3,66	3,65	150
MARIANGOLA	VALLEDUP AR	VLL-1017	7,28	2690	32,9	1372	5,64	1,39	372
MARIANGOLA	VALLEDUP AR	VLL-148	7,46	5530	27,3	2920	5,1	2,99	190,7

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS

AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1015	7,34	7590	31	4070	4,37	4,18	131,7
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-417	7,8	5270	28,9	2770	7,09	2,83	190
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1019	7,28	16210	30,1	9150	3,45	9,47	61,7
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1022	7,67	4500	30,6	2350	4,83	2,4	222
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-120	6,99	16060	30,6	9060	2,37	9,38	62,13
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1028	8,27	3100	29,8	1590	7,1	1,61	323
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1101	8,15	654	27,9	318	6,43	2,32	152,9

Fuente: Autores, 2021.

- **Aprovechamiento, método de explotación y condición actual en los pozos.**

Los datos obtenidos de las consultas y la observación realizada a la persona encargada de cada punto se tabulan en la tabla 8.

Tabla 8. Aprovechamiento, método de explotación y condición actual en los pozos.

VEREDA	MUNICIPIO	ID PUNTO	MET EXPLOT	TIPO DE ENERGIA	CONDICIONES DEL PUNTO	APROVECHAMIENTO
VARAS BLANCAS	LA PAZ	LPZ-89	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Abastecimiento público
LOS CALABAZOS	VALLEDUPAR	VLL-1074	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Abastecimiento público
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1078	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Abastecimiento público
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1079	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Abastecimiento público
CALLEJA	LA PAZ	LPZ-185	Motobomba	Eléctrica	En uso	Agrícola Pecuario
VALENCIA	VALLEDUPAR	VLL-1010	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Pecuario
EL PORVENIR	LA PAZ	LPZ-1004	Motobomba	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
CARRILLO	LA PAZ	LPZ-114	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
CHIMILAIMA	VALLEDUPAR	VLL-251	Motobomba	Combustible	En uso	Uso Domestico Agrícola
TROCHA DEL MONO	VALLEDUPAR	VLL-1075	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1077	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
GUARTINAJA	VALLEDUPAR	VLL-135	Motobomba	Combustible	En uso	Uso Domestico Agrícola
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1083	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-109	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1099	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1106	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Pecuario
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1107	Motobomba	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Pecuario
LOS TRANSFORMADORES	LA PAZ	LPZ-118	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico
VILLA LUZ HELENA	LA PAZ	LPZ-86	Motobomba	Eléctrica	En uso	Uso Domestico Agrícola



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS

LOS MANATIALES	LA PAZ	LPZ-100	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	Agrícola
MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-1014	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	Pecuario
MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-1017	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	Agrícola
MARIANGOLA	VALLEDUPAR	VLL-148	Motobomba	Combustible	En uso	Uso Domestico	Pecuario
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1015	Baldeo o Manual	Manual	En uso	Uso Domestico	
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-417	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	Agrícola
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1019	Baldeo o Manual	Manual	En uso	Uso Domestico	
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1022	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-120	Motobomba	Combustible	En uso	Uso Domestico	Pecuario
AGUAS BLANCAS	VALLEDUPAR	VLL-1028	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	
LOS VENADOS	VALLEDUPAR	VLL-1101	Bomba sumergible	Eléctrica	En uso	Uso Domestico	Agrícola

Fuente: Autores, 2021

Etapa 2: Analizar los resultados obtenidos y comparar con la normatividad vigente.

Teniendo en cuenta las condiciones actuales de cada punto, se realizó un modelamiento en el software ARCGIS y posterior a esto se realizó un análisis de cada uno de los parámetros, finalmente se comparó los resultados obtenidos con la Decreto 2115 del 2007, Resolución 1096 del 2000 y el Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud de Costa Rica:



CO-SC-CER518726

Actividad 2.1. Modelamiento de los datos mediante Software ArcGIS:

- **Isolíneas del pH en Valledupar y La paz, Cesar.**

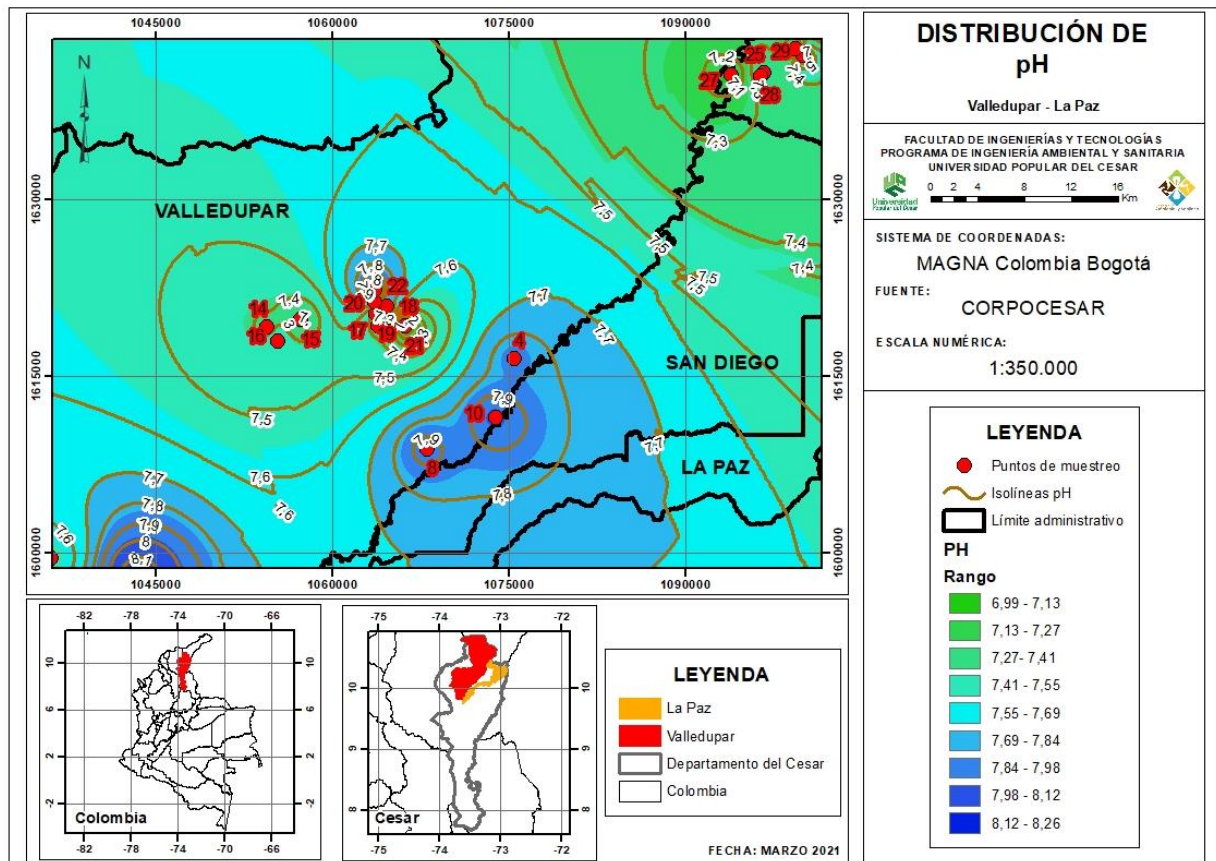


Figura 17. Isolíneas del Ph en Valledupar y La paz, Cesar

Fuente: Autores, 2021

En la figura 17, se observa la representación bidimensional del pH donde podemos notar el comportamiento de dicho parametro en el agua de los puntos muestreados, los valores varían entre 6,99 y 8,25 unidades de pH, en la zona noreste se encuentra la única muestra de agua ligeramente ácida que se presentó en todas las muestras y en la zona sureste del mapa se encontró la muestra de agua ligeramente alcalina, teniendo en cuenta la clasificación del pH. En general las muestras de agua resultaron ser ni muy alcalinas, ni muy ácidas, pero requiere de monitoreo periódico ya que las actividades agrarias a través de los usos frecuentes

de agroquímicos como, insecticidas, herbicidas y plaguicidas ocasionan incremento del pH. (Aguilar & Navarro, 2018).

- **Isolíneas de la Conductividad Eléctrica en Valledupar y La paz, Cesar.**

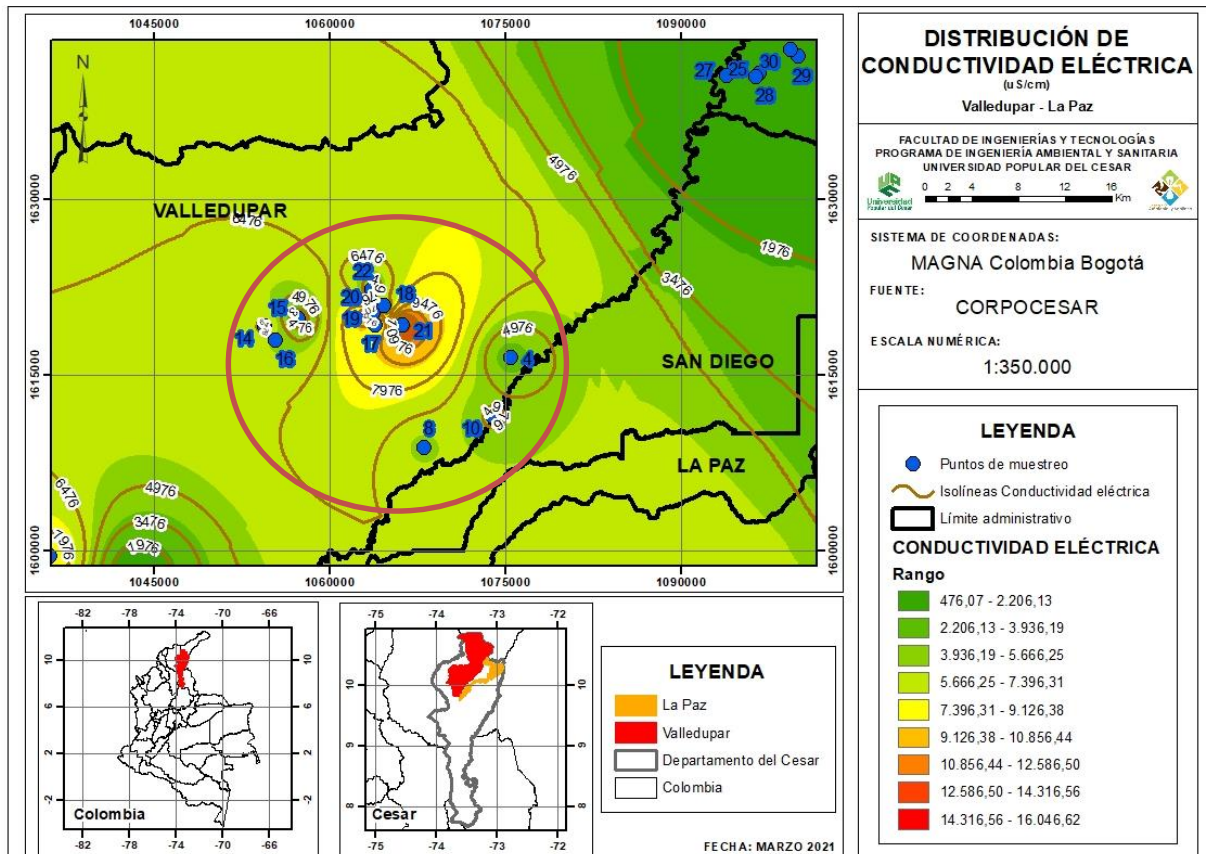


Figura 18. Isolíneas de la Conductividad Eléctrica en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

Se observa en la figura 18, la conductividad eléctrica de las muestras analizada en esta zona, las cuales estuvieron en un rango entre 476 y 16046 ($\mu\text{S/cm}$), se pudo evidenciar que el comportamiento de las muestras, las cuales se agrupan más en la parte central del mapa, con concentraciones por encima de 5000 ($\mu\text{S/cm}$) y la más alta que se presentó en total a todas las muestras del perfil, en la parte este se encuentra concentraciones por debajo de 4976 ($\mu\text{S/cm}$), el comportamiento de la muestra en la parte suroeste, fue muy variado, se encontró concentración en un rango de 476 ($\mu\text{S/cm}$), a 16047 ($\mu\text{S/cm}$).

Teniendo en cuenta las actividades desarrolladas en la zona y los valores elevados de CE es el resultado de los agroquímicos utilizados anteriormente, además que la zona norte del Cesar es destinadas a satisfacer la demanda de industrias e históricamente se caracterizó por ser productores de Algodón, Palma de aceite, frutales, arroz riego, entre otros productos, en los puntos en donde se presentaron los valores altos, no se recomienda utilizar para irrigación ya que se puede ver afectado las actividades agrícolas, los usos frecuentes de agroquímicos como, insecticidas, herbicidas y plaguicidas en todas las actividades agrícolas estos elementos aumentan las sales en el suelo ocasionando problemas de desertificación en los terrenos ocasionados por el incremento del pH y los contenido del compuesto químico del bicarbonato disminuyan y aumenten la salinización de los suelos. (Aguilar & Navarro, 2018)

- **Isolíneas de la temperatura en Valledupar y La paz, Cesar.**

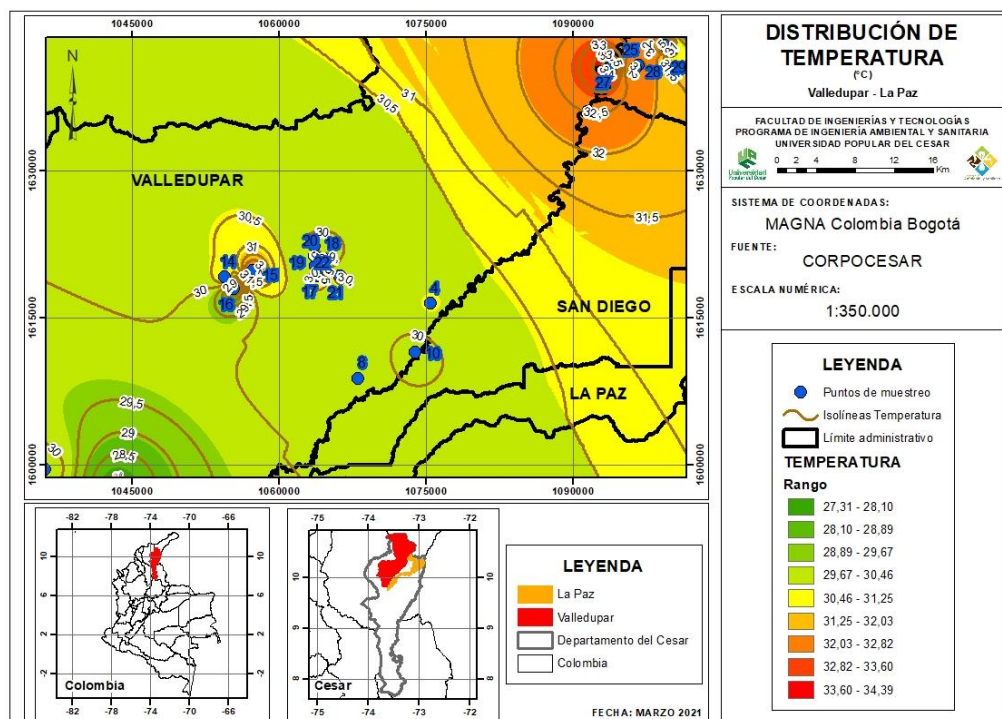


Figura 19. Isolíneas de la temperatura en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

En la figura 19 se observa la distribución de la temperatura que fue muy variada en esta zona, las

temperaturas más altas de todas las muestras se concentran en la parte noreste, pero se evidencian puntos con temperaturas elevadas en la parte central, por otra parte en la zona sur oeste se presentaron las temperaturas más bajas de todas las muestras evaluadas, el rango se mantuvo entre 27,3 °C y 34,3°C. En general las muestras analizadas tienen temperaturas normales, teniendo en cuenta la temperatura de la zona en donde se tomaron las muestras, de igual manera se recomienda monitoreo.

- **Isolíneas del Oxígeno Disuelto en Valledupar y La paz, Cesar.**

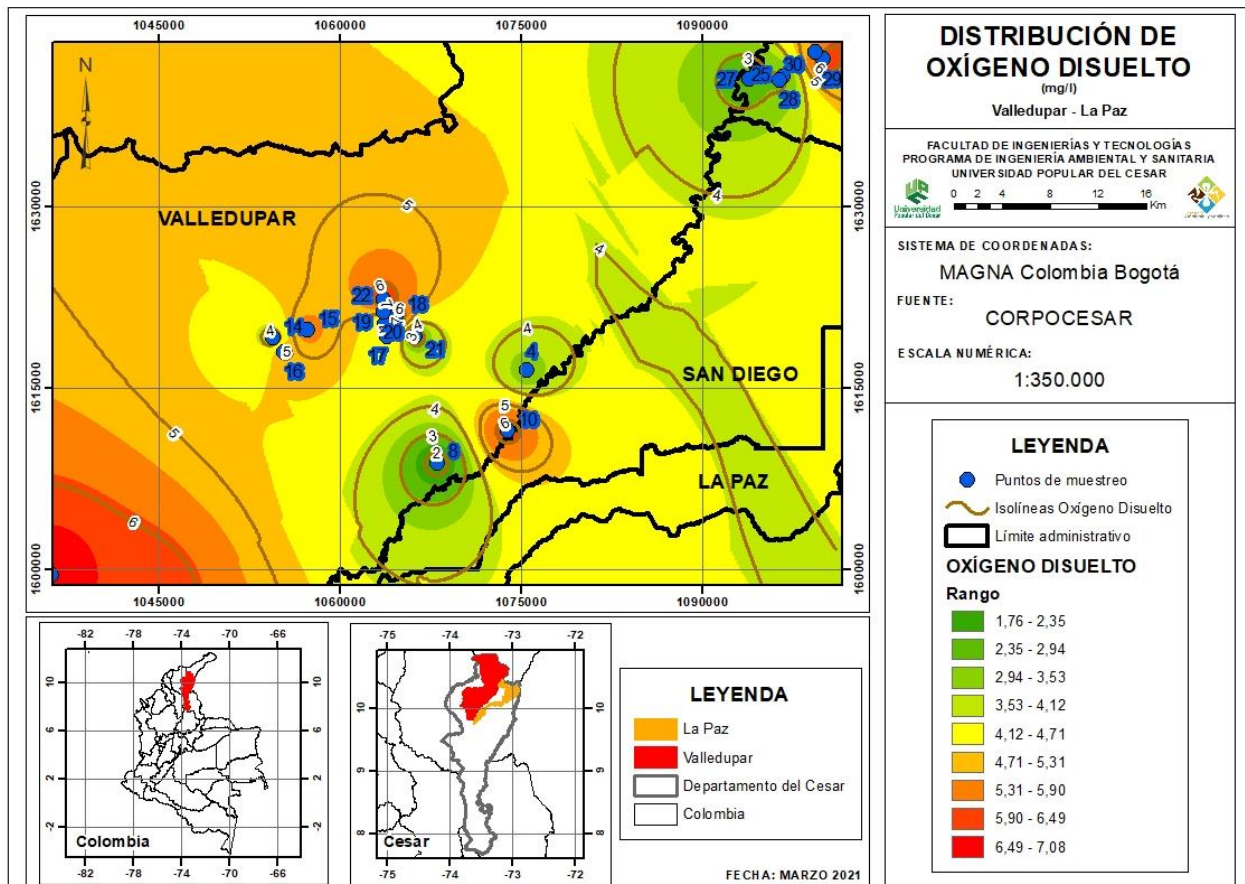


Figura 20. Isolíneas del Oxígeno Disuelto en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

El oxígeno disuelto de las muestras tomadas se mantuvo en un rango entre 1,76 y 7,08 mg/L. La distribución de este parámetro fue muy variado se registró mayores concentraciones de OD en la parte sur este y en la zona central. El oxígeno disuelto se puede afectar por muchos factores, en este caso los valores altos de

este parámetro son favorables hasta cierto punto, las fuentes de los valores altos de este parámetro puede ser la oxigenación producida por el movimiento de las aguas sobre las rocas y la fotosíntesis de las plantas ya que en esta zona se desarrollan actividades agrícolas.

- **Isolíneas de la Resistividad en Valledupar y La paz, Cesar.**

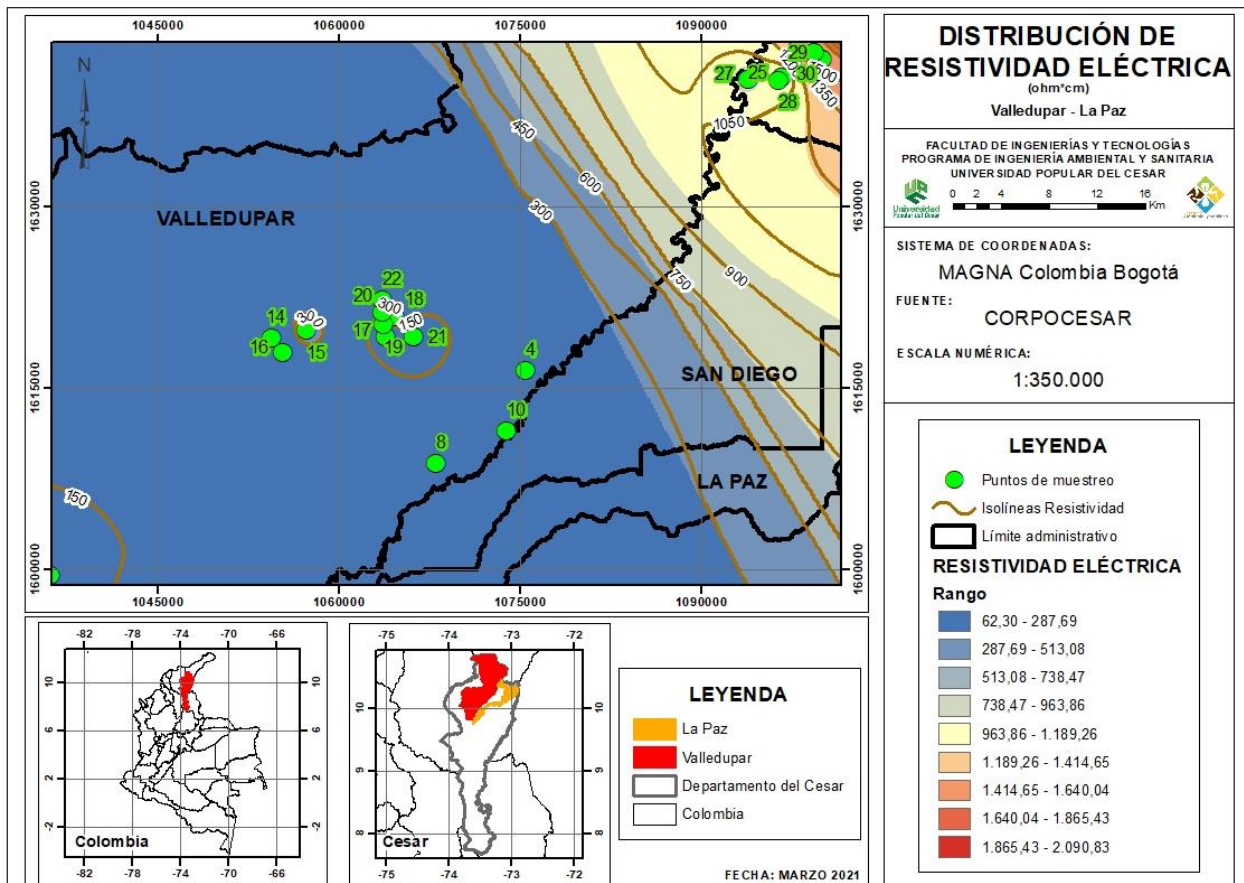


Figura 21. Isolíneas de la Resistividad en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

El modelamiento nos señala el comportamiento de la resistividad en esta zona, su rango se encuentra entre 62,3 y 2.090,8 ($\Omega \cdot m$), su conducta fue muy versátil, este parámetro nos describe en la zona noreste del mapa que fue donde se presentaron los valores más altos de resistividad que esta se comporta como aislante mientras que en la zona central y en el sur donde se presentaron los valores bajos indica que el agua es un

buen conductor de corriente eléctrica y de igual manera nos está indicando en el caso de los valores altos que se encuentran materiales que está influenciando para aumentar su resistividad y que requiere atención.

- **Isolíneas de Sólidos Disueltos Totales en Valledupar y La paz, Cesar.**

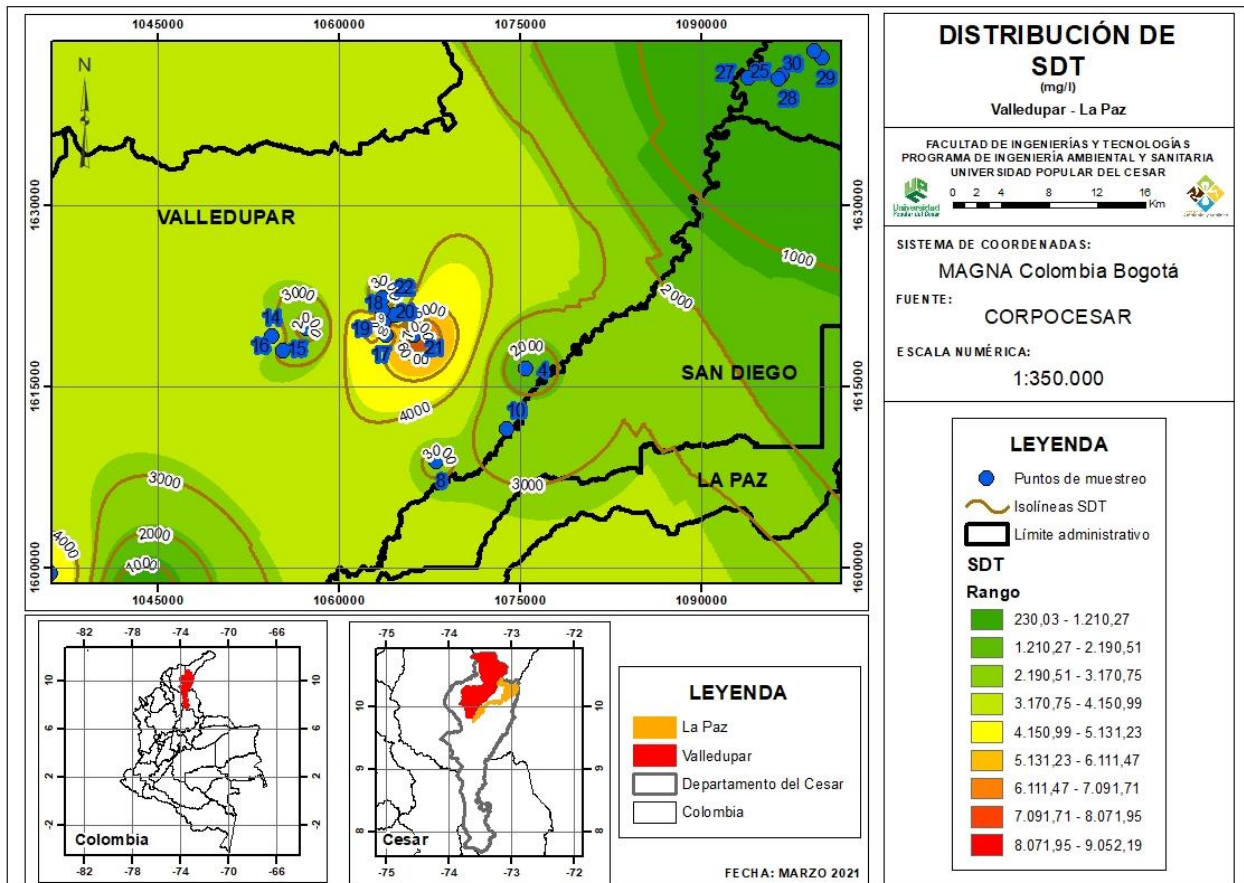


Figura 22. Isolíneas de Sólidos Disueltos Totales en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

El comportamiento de los valores de este parámetro fue muy variado las concentraciones para este parámetro se mantuvieron entre 230 y 9150 (mg/L), se registraron concentraciones relativamente bajas, medias y altas, en la zona media se concentró los valores más altos a excepción del registrado en la zona suroeste, por otra parte los valores bajos se agruparon en la zona suroeste y este.

Los sólidos totales, la salinidad y la conductividad eléctrica son parámetros que nos indica la concentración

y composición de las sales disueltas y que en altas concentraciones traerá como consecuencia una disminución de rendimiento. Los valores altos reflejados en este parámetro son consecuente del retorno del regadío, este produce una salinización, además de la utilización de los fertilizantes y pesticidas, siendo Colombia el país que mayor consumo de fertilizantes reporta por hectárea cultivable en Suramérica (FAO, 1997)

- **Isolíneas de salinidad en Valledupar y La paz, Cesar.**

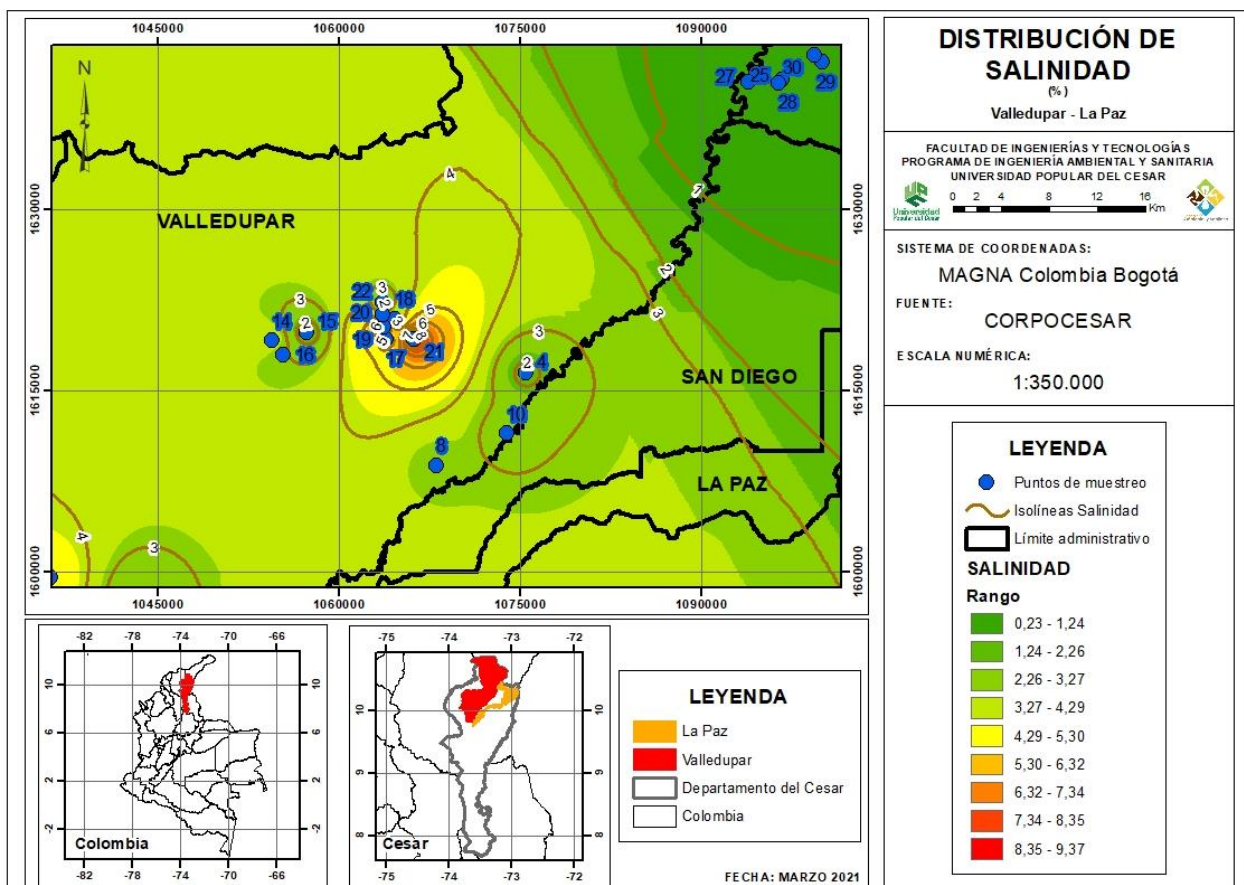


Figura 23. Isolíneas de salinidad en Valledupar y La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021.

El comportamiento de la salinidad fue muy variado, se puede observar que las concentraciones altas se

agrupan en la zona central, las concentraciones de salinidad de los puntos muestreados estuvieron en un rango entre 0,23 mg/lit y 9,37 mg/lit. Las altas concentraciones de salinidad al igual que la conductividad eléctrica son producto de las actividades que se realizan en la zona, como anteriormente se mencionaba, el norte del Cesar es caracterizado por sus actividades agrícolas, el crecimiento de las plantas puede verse afectado por las altas concentraciones del este parámetro limitando la absorción del agua y de igual manera llega a incrementar las concentraciones de elementos tóxicos en el agua. (Brassington, 1998)

Actividad 2.2. Comparación de los parámetros con la normatividad.

Una vez realizado el modelamiento de los datos, se procedió a realizar una comparación de cada uno de los parámetros con la Resolución 2115 del 2007, Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud de Costa Rica, el decreto 475 de 1998 y la Resolución 1096 del 2000, los resultados de dicha comparación se presentan a continuación.

- **Resultados del pH en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

Las figuras 24 y 25 muestran la variación del pH del agua de los pozos muestreados en la zona de Valledupar y la paz Cesar.

- ✓ **Resultados del pH en los puntos de Valledupar, Cesar.**

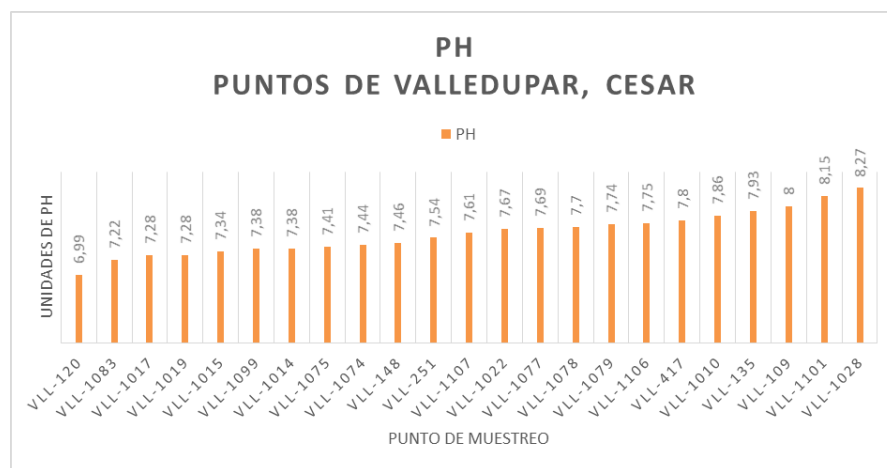


Figura 24. Resultados del pH medido en los puntos de Valledupar, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

En la figura 24 se observa el comportamiento de Ph en los puntos de Valledupar las cuales presentaron una intensidad de acidez de 8,27 unidades de pH, siendo el punto VLL 1028 el valor mayor de este parámetro en comparación de los otros, en el punto VLL-120 se presentó el valor más bajo con 6,99 unidades de pH, el 95,7% de las muestras se encuentra con un valor igual o mayor a 7 unidades de pH y alrededor del 4,3% de las muestras presentan valores por debajo de 7. PH menor de 7.0 indica acidez, cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas, finalmente un pH por encima de 7.0 indica condiciones básicas en el agua. (Carrasco, 2014).

El valor establecido para este parámetro en la Resolución 2115 del 2007 está entre 6.5 - 9.0, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua del consumo humano, todas las muestras analizadas en este estudio cumplen con este valor.

✓ **Resultados del pH en los puntos de la Paz, Cesar.**

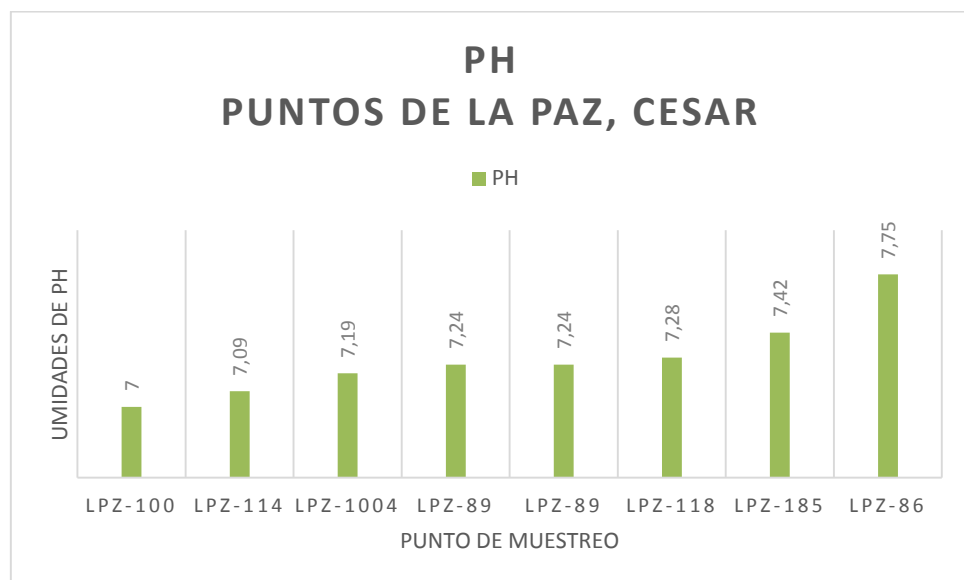


Figura 25. Resultados del pH medido en los puntos de La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021.

En el caso de las muestras de los puntos de La paz, Cesar, se puede evidenciar en la figura 25 que el pH más alto se presentó en el punto LPZ-86 con 7,75 unidades de pH, el menor se presentó en el punto LPZ-100 con 7 unidades de pH, como se observa en la figura 23 el 90% de las muestras analizadas en la zona de La paz, Cesar se encuentran por encima de 7 unidades de pH, estos valores están dentro del valor máximo permisible establecido en el marco legal. En general el pH del agua de los pozos en la zona de Valledupar y La paz, Cesar, presentaron un valor normal para aguas subterráneas, es decir el agua de estos puntos no es ni muy ácida, ni muy alcalina. (Carrasco, 2014).

- **Resultados de la Conductividad eléctrica en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

Se aprecia en las figuras 26 y 27, la variación de la conductividad eléctrica del agua de los pozos muestreados en la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.

✓ **Resultados de la Conductividad eléctrica en los puntos de Valledupar, Cesar.**

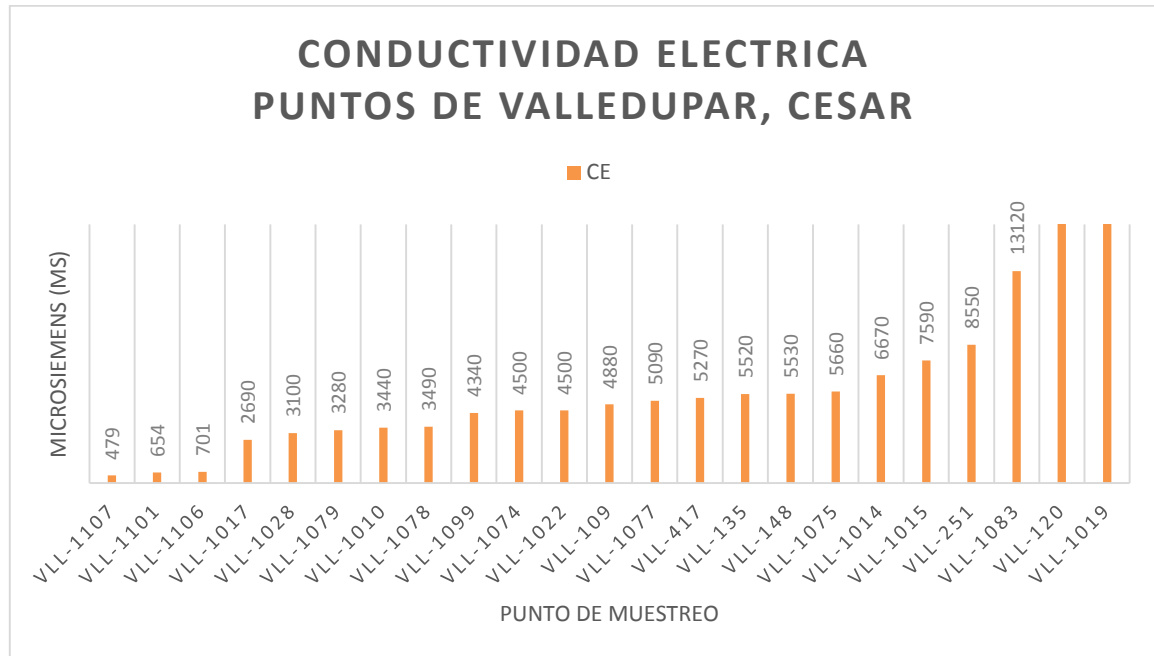


Figura 26. Resultados de la Conductividad Eléctrica medida en los puntos de Valledupar, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

Como se observa en la figura 26 el valor de este parámetro supera el valor máximo admisible en un 87% para las muestras analizadas en los puntos de Valledupar, los rangos se encontraban entre 469 y 16210 microsiemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$), para el caso del punto VLL-1019 se encuentra el valor más elevados de este parámetro con 16210 microsiemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$), y solo el 13% de las muestras presentan valores por debajo de los límites. El valor admisible para este parámetro en la normatividad es 1000 microsiemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$), establecido por la Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua del consumo humano. Los valores elevados de este parámetro nos indica que existe impurezas indeseables en las muestras de agua (González, 2018).

Teniendo en cuenta los valores altos, que se presentaron en los puntos VLL-1019, se puede indicar que no pueden ser utilizados para riego, ya que puede afectar la productividad de los cultivos por la alta concentración de sales en las raíces (Romero 2002).

✓ **Resultados de la conductividad eléctrica en los puntos de La paz, Cesar.**

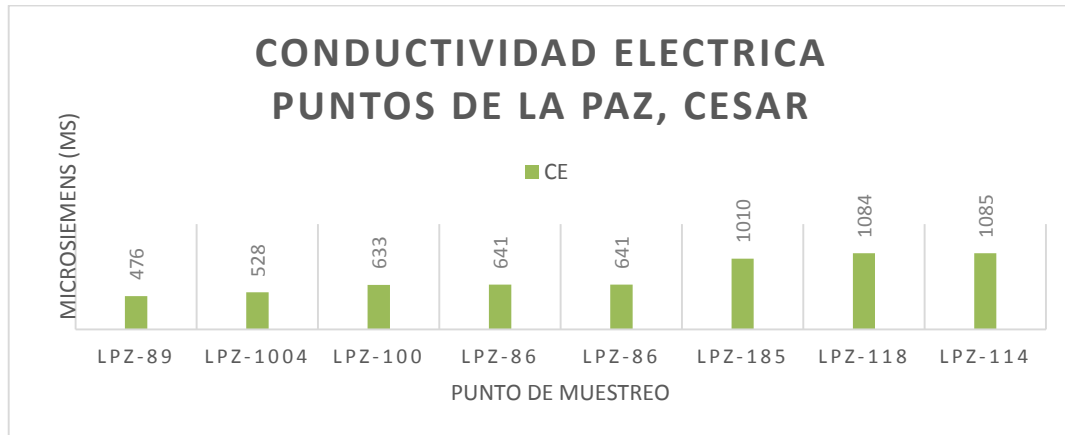


Figura 27. Resultados de la Conductividad Eléctrica en los puntos de La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

El comportamiento de la conductiva eléctrica en los puntos tomados en La Paz, Cesar fue muy variable, los valores estuvieron en un rango entre 476 y 1085 microsiemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$), en el punto LPZ-114 se presentó el valor más alto en comparación a toda las muestras de esta zona, según los datos obtenidos, se presentaron valores superiores a lo permitido por la normatividad en un 42,9% de las muestras, teniendo en cuenta podemos indicar que esta agua no puede ser consumida por humanos, el 57,1% de las muestras analizada en los puntos de la paz se registraron valores por debajo de lo permitido por la normatividad antes mencionada.

- **Resultados de la resistividad en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

Se apreciar en las figuras 28 y 29, la variación de la conductividad eléctrica del agua de los pozos muestreados en la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.

✓ **Resultados de la Resistividad puntos de Valledupar y La Paz, Cesar.**

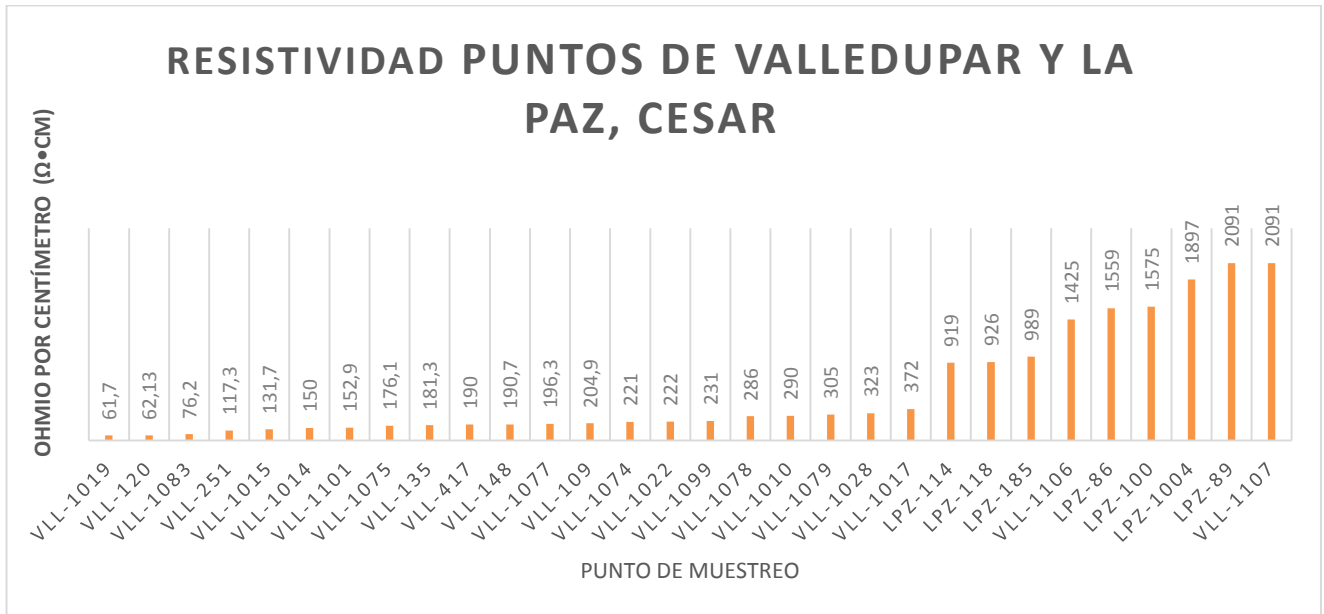


Figura 28. Resultados de la Resistividad medida en los puntos de Valledupar y La Paz, Cesar

Fuente: Autores, 2021

Tabla 9. Comparación de la conductividad eléctrica y la resistividad en los puntos muestreados.

PARAMETROS	PUNTO DE MUESTREO																													
	VLL-1074	VLL-1078	VLL-1079	VLL-1010	VLL-251	VLL-1075	VLL-1077	VLL-135	VLL-1083	VLL-109	VLL-1099	VLL-1106	VLL-1107	VLL-1014	VLL-1017	VLL-148	VLL-1015	VLL-417	VLL-1019	VLL-1022	VLL-120	VLL-1028	VLL-1101	LPZ-89	LPZ-185	LPZ-1004	LPZ-114	LPZ-118	LPZ-86	LPZ-100
CONDUC. ELEC	4500	3490	3280	3440	8550	5660	5090	5520	13120	4880	4340	701	479	6670	2690	5530	7590	5270	16210	4500	16060	3100	654	476	1010	528	1085	1084	641	633
RESISTIVIDAD	221	286	305	290	117	176	196	181,3	76,2	205	231	1425	2091	150	372	191	132	190	61,7	222	62,13	323	153	2091	989	1897	919	926	1559	1575

Concentraciones en menores cantidades.

Concentraciones en mayores cantidades.

Fuente: Autores, 2021

En los resultados de la conductividad eléctrica y la resistividad, se afirma que la CE es el inverso de la resistividad lo cual ya se había planteado en la investigación realizada por (Landauer, 1952), se puede notar en la tabla 9 el comportamiento en los puntos donde la conductividad arrojaba resultados altos, la resistividad daba valores bajos en comparación al total de las muestras tomadas los pozos. En el punto VLL-1019 se presentó la conductividad más alta y su resistividad más baja en comparación a la resistividad de todos los puntos muestreados.

Teniendo en cuenta que este parámetro no está establecido en la normatividad de calidad de agua para consumo humano, pero por los resultados obtenido en la comparación del parámetro de la conductividad eléctrica y la resistividad se decidió tener en cuenta al momento de la comparación solamente los valores obtenidos en el parámetro del conductividad eléctrica para cada una de las muestras.

✓ **Resultados de la Salinidad en los puntos de Valledupar y La paz, Cesar.**

Tabla 10. Relación de la conductividad eléctrica, salinidad y solidos disueltos totales.

PARAMETROS	PUNTO DE MUESTREO																													
	VLL-1074	VLL-1078	VLL-1079	VLL-1010	VLL-251	VLL-1075	VLL-1077	VLL-135	VLL-1083	VLL-108	VLL-1089	VLL-1106	VLL-1107	VLL-1014	VLL-1017	VLL-148	VLL-1015	VLL-417	VLL-1019	VLL-1022	VLL-120	VLL-1028	VLL-1101	LPZ-89	LPZ-185	LPZ-1004	LPZ-114	LPZ-118	LPZ-86	LPZ-100
CE	4500	3490	3280	3440	8550	5660	5090	5520	13120	4880	4340	701	479	6670	2690	5530	7590	5270	16210	4500	16060	3100	654	476	1010	528	1085	1084	641	633
SALINIDAD	2.4	1.83	1.71	1.8	4.75	3.07	2.73	2.97	7.54	2.61	2.3	0.34	0.23	3.65	1.39	2.99	4.18	2.83	9.47	2.4	9.38	1.61	2.32	0.23	0.5	0.25	0.54	0.53	0.31	0.3
SDT	2350	1802	1686	1194	4620	3000	2680	2910	7280	2560	1260	342	231	3560	1372	2920	4070	2770	9150	2350	9060	1590	318	230	448	255	538	534	312	308

Concentraciones en menores cantidades.
 Concentraciones en mayores cantidades.

Fuente: Autores, 2021

En el punto VLL-1019, se presentó el valor más elevado de CE y en ese mismo punto se evidencio las concentraciones de salinidad y SDT más altas, por otra parte, el punto VLL-1107 presento los valores de CE más bajos en comparación a todas las muestras, pero de igual manera se presentó el nivel más bajo de salinidad y SDT en ese mismo punto, esto es el resultado de las escorrentías de sales producido en la actividad agrícola, además la contribución de metales pesados puede verse relacionado con el estiércol del ganado (Agudelo et al., 2012), para esta investigación no se realizó un análisis de metales pesado pero se recomienda hacer una evaluación de estos, ya que en esta zona se dedican a desarrollar actividades

pecuarias.

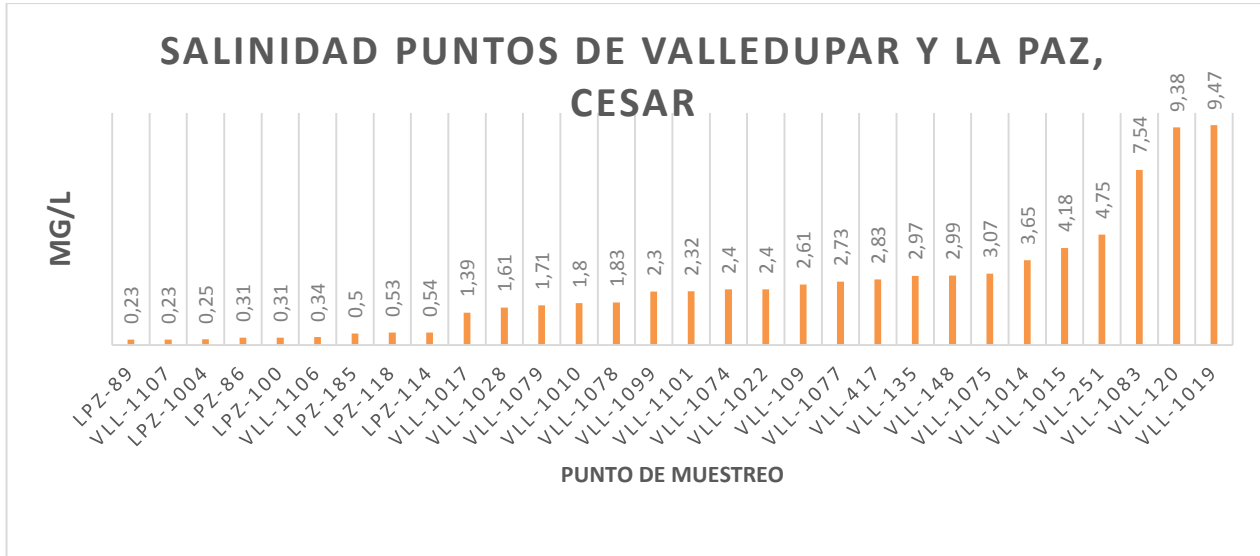


Figura 29. Resultados de la Salinidad medida en los puntos de Valledupar y La Paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

Teniendo en cuenta que la salinidad se define como los sólidos totales en el agua (Romero, 1996) y que por el momento no existe una normatividad que reglamente los límites permisibles para el parámetro de la salinidad, no se tuvo en cuenta este parámetro para la confrontación con la normatividad.

- **Resultados de las temperaturas en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

Se apreciar en las figuras 30 y 31, la variación de la temperatura del agua de los pozos muestreados en la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.

✓ **Temperatura en los puntos de La paz, Cesar.**

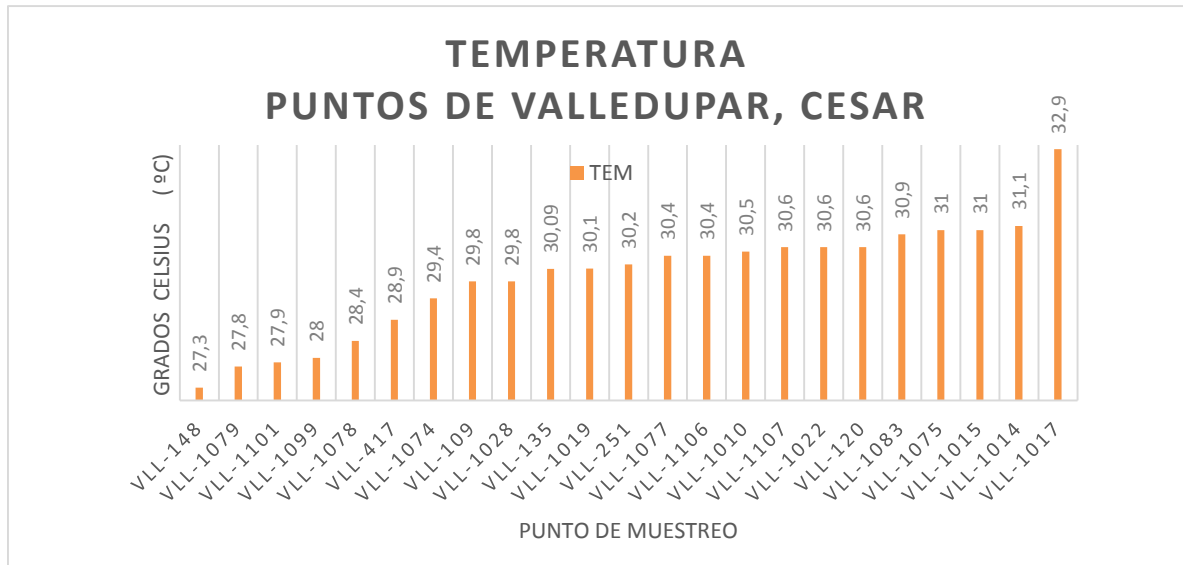


Figura 30. Resultados de la Temperatura en los puntos de Valledupar, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

En la figura 30 se evidencia el efecto del comportamiento de la temperatura, se presentaron valores muy variados en todo los puntos, se pudo observar que se mantuvo un rango entre 27,3 y 32,9 °C, en el punto VLL-1017 se presentó la temperatura más alta, el 39,1% de las muestra de esta zona presentaron temperaturas por debajo de 30 °C. La temperatura de las aguas subterráneas depende de las características del terreno que drenan, pudiendo ser influenciada, entre otras causas, por la naturaleza de las rocas, siendo además función de la profundidad. (Lafuente, 1969)

El 60,9% de las muestras de la zona de Valledupar sobrepasan los límites recomendados de la temperatura, según el Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud de Costa Rica, el cual establece un valor recomendado de 18°C y un máximo admisible de 30°C.

✓ **Resultados de las temperaturas en los puntos de La paz, Cesar.**

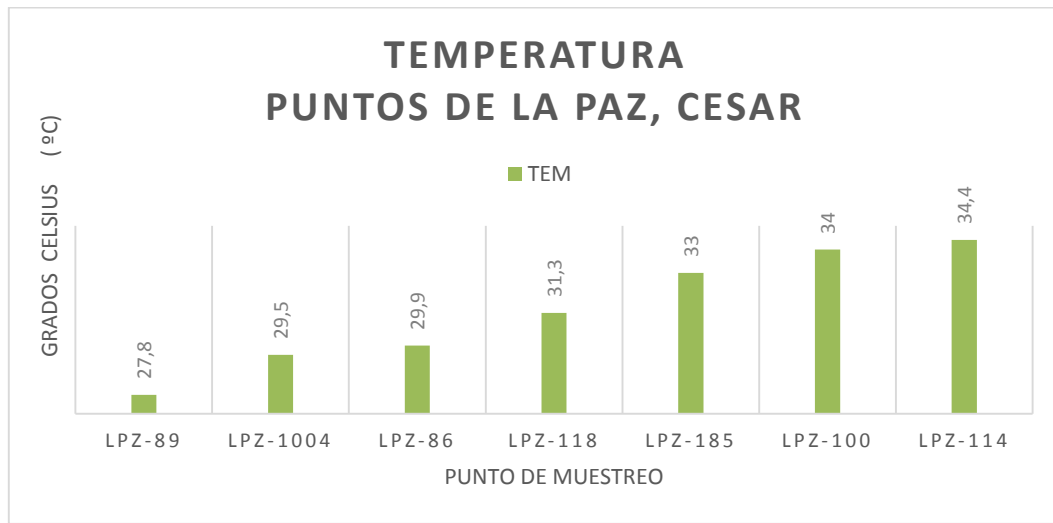


Figura 31. Resultados de las temperaturas en los puntos de La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

En el punto LPZ-114 se registró la temperatura más alta en comparación a todas las muestras de la zona de la paz, Cesar, con un valor de 34,4 °C, el punto que presento la temperatura más baja fue el LPZ-89 con 27,8 °C menos que en el punto LPZ-114, el 42,8% de las muestras presentaron valores por encima de lo establecido en la normatividad antes mencionada posee un comportamiento estable a los valores de temperatura ambiente de las zonas tropicales, la temperatura promedio es de 28.4°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 33 y 36°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 23 y 24°C. El sol brilla cerca de 6 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación llega a 9 horas/día. (IDEAM, s.f.). Las variaciones de temperatura se pueden considerar normales por el clima de la región, debido principalmente por la latitud, altitud, variaciones climáticas, hora del día, circulación del aire, nubosidad, profundidad del cuerpo de agua entre otras variables. (Carrasco, 2014)

- **Resultados de Solidos Disueltos Totales en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

En las figuras 32 y 33 se observa la variación de los SDT del agua de los pozos muestreados en la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.

✓ **Resultados de los SDT en los puntos de Valledupar, Cesar.**

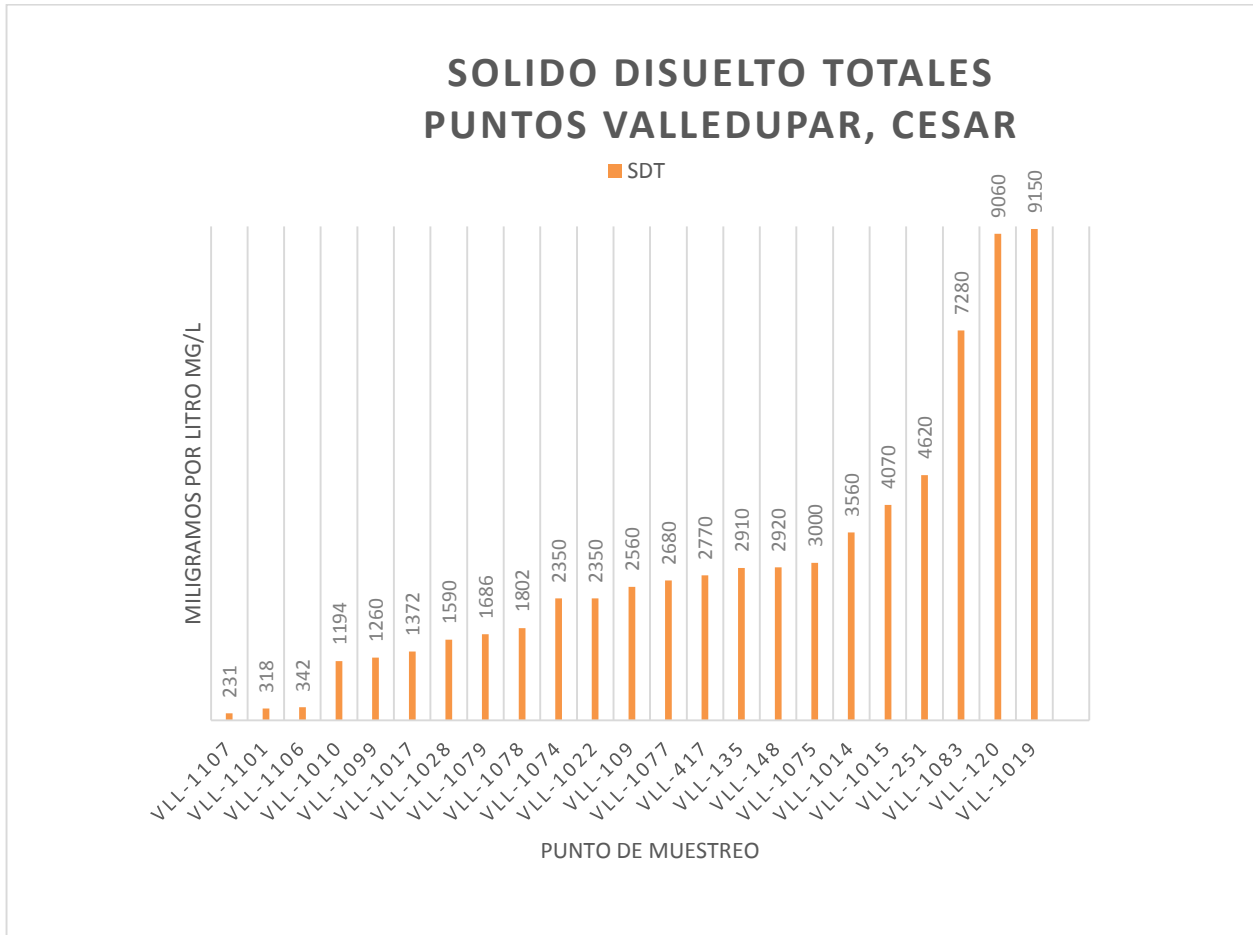


Figura 32. Resultados de los Solidos disueltos totales en los puntos de Valledupar, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

El 13% de las muestras en los puntos de Valledupar presentan concentraciones menores a 1000 mg/L, el punto VLL-1019 y VLL-120 presentaron las concentraciones más elevada con 9150 mg/L y 9060mg/L, se registró una mínima concentración con 231 mg/L en el punto VLL-1107, el 26% de las muestras presentaron valores por encima de 3000mg/L.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

Se observó que el 87% de las muestras presentaron concentraciones por encima de los valores admisibles en el decreto 475 de 1998 y de la norma OMS. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos. (OMS, 2011)

Según el decreto 475 de 1998, los sólidos disueltos totales deben ser menores a 500 mg/lit, y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lit, de igual manera la norma internacional OMS que rige las aguas superficiales, recomienda valores aceptables en la guía para la calidad del agua de consumo humano por debajo de (600 mg L⁻¹), estipulan que las concentraciones mayores a aproximadamente 1000 mg/l, disminuye significativa y progresivamente la aceptabilidad del sabor del agua para consumo.

Teniendo en cuenta que la zona de estudio se caracteriza por dedicarse a actividades agropecuarias, podemos inferir que los valores altos en los puntos muestreados se debe posiblemente a hojas vegetales, sedimentos, plancton, fertilizantes y pesticidas, como también de materiales inorgánicos tales como rocas y de gases en el agua ya que pueden contener bicarbonato de calcio, de nitrógeno, de fósforo de hierro, azufre, y otros minerales (Panachlor, 2014).

✓ Resultados de Sólidos Disueltos Totales en los puntos de La paz, Cesar.

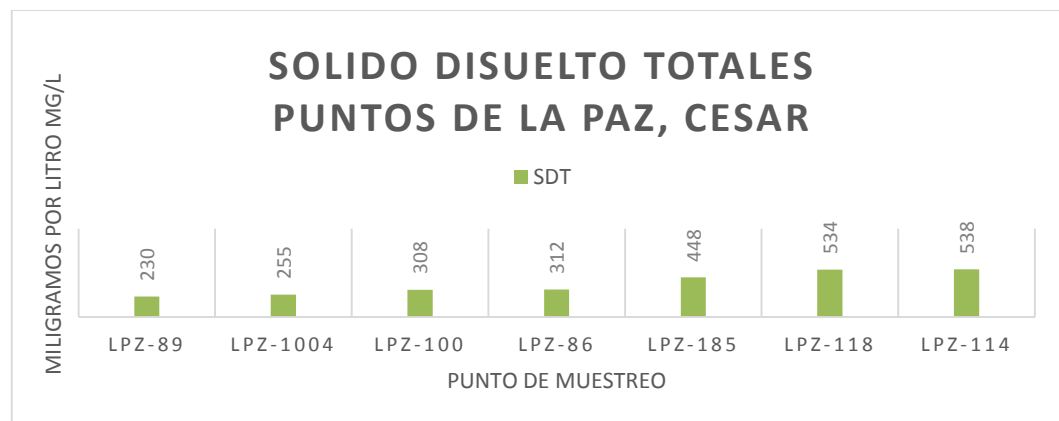


Figura 33. Resultados de los Sólidos disueltos totales en los puntos de La paz, Cesar
Fuente: Autores, 2021

Las muestras en la zona de la paz presentaron concentraciones de SDT aceptable del recurso hídrico para

consumo humano, según la guía antes mencionada emitida por la OMS, se encontró valores entre 230 mg/L presentado en el punto LPZ-89 Y 538 mg/L siendo el máximo, en el punto LPZ-114. Los (SDT) están relacionados con las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. (OMS, 2005).

En general los resultados del parámetro de SDT están por encima del valor admisible en las muestras tomadas en Valledupar, en las muestras tomadas en la Paz, Cesar, los valores estuvieron por debajo del límite permisible.

- **Resultados de Oxígeno Disuelto en los pozos de la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.**

En las figuras 34 y 35 se observa la variación del oxígeno disuelto del agua de los pozos muestreados en la zona norte de Valledupar y la paz, Cesar.

✓ **Resultados del OD en los puntos de Valledupar, Cesar.**

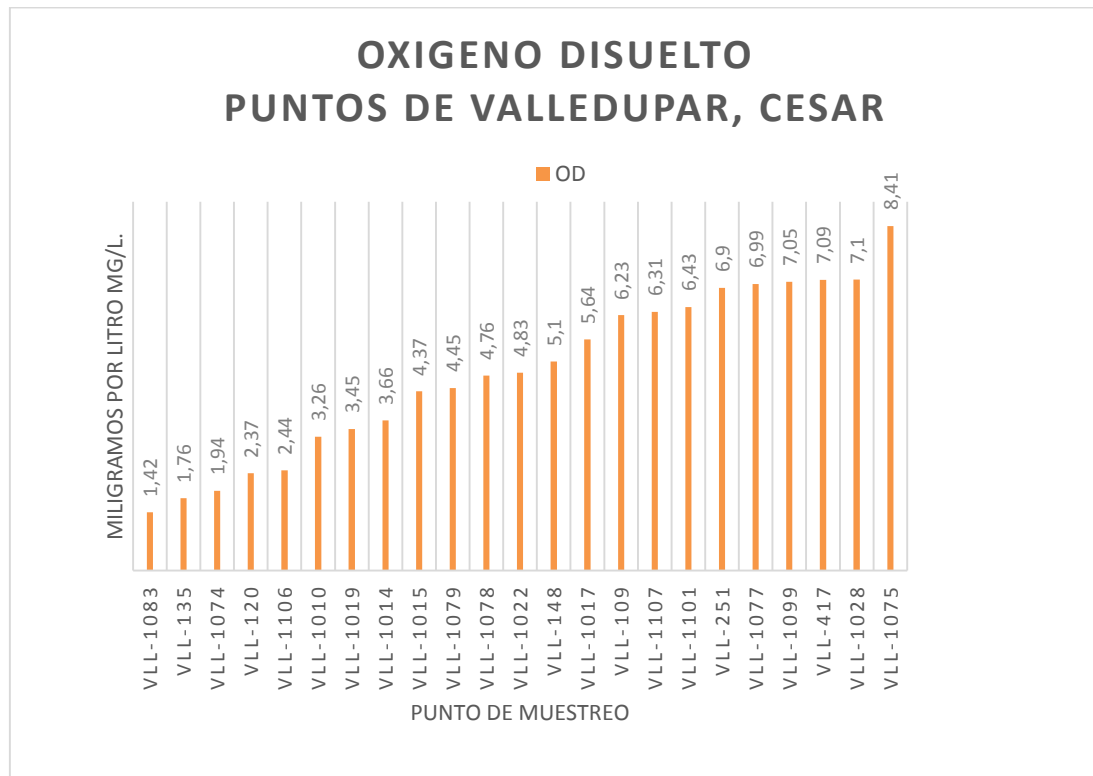


Figura 34. Resultados del Oxígeno Disuelto en los puntos de Valledupar, Cesar.

Fuente: Autores, 2021

La figura 34, muestra la variación de las concentraciones de oxígeno disuelto en las muestras tomadas en la zona de Valledupar, el OD varío entre 1,42 y 8,41 mg/L, donde el punto de muestreo con mayor concentración se presentó en el punto el VLL-1075, siendo 8,41 mg/L. La formación del Oxígeno Disuelto depende de la fotosíntesis y la aireación, es un elemento indispensable para la vida en el agua. Para garantizar la vida acuática es necesario tener mínimo 5 mg/l de oxígeno disuelto en el agua. (Carrasco, 2014)

La Resolución 1096 del 2000, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, establece un valor aceptable en función de la calidad del agua, para el oxígeno disuelto de ≥ 4 mg/L.

El 60,8% de las muestras analizadas presentan valores inferiores a lo recomendado por carrasco y el 34,7% de las muestras sobre pasa los limites admisibles en la Resolución 1096 del 2000.

Solo el 33,3% de las muestras presentan condiciones aceptables para la vida de organismos y animales acuáticos

✓ **Resultados del OD en los puntos de La paz, Cesar.**

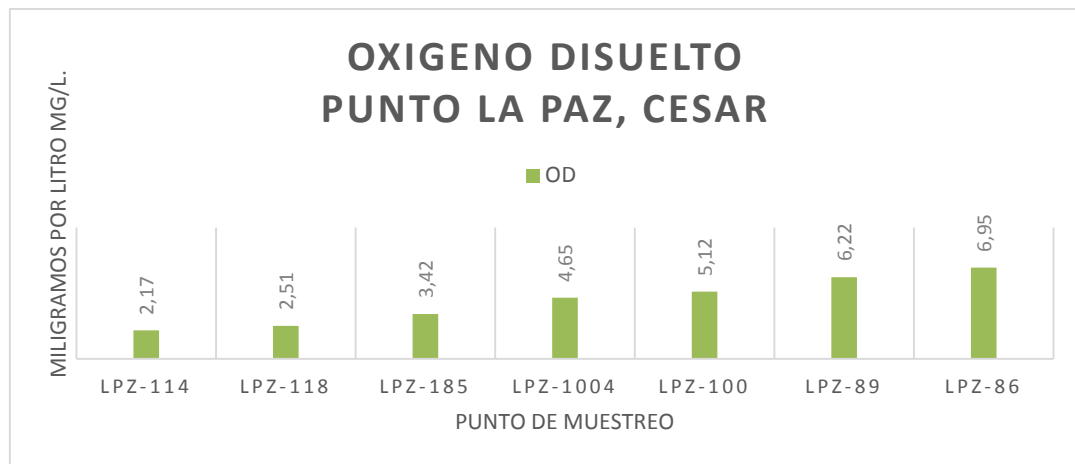


Figura 35. Resultados del Oxígeno Disuelto en los puntos de La paz, Cesar.

Fuente: Autores, 2020

Las muestras tomadas en los punto de la Paz, Cesar, arrojaron como resultado concentraciones muy variables, los rangos estuvieron entre 6,95 que fue el punto LPZ-86 con mayor concentración de este grupo y 2,17 la concentración más baja encontrado en el punto LPZ-114. El 57,1% de las muestras arrojaron resultados por encima de la normatividad.

Un alto nivel de oxígeno disuelto en una comunidad de suministro de agua es bueno porque esto hace que el gusto del agua sea mejor. Sin embargo, los niveles altos de oxígeno disuelto aumentan la velocidad de corrosión en las tuberías de agua. Por esta razón, las industrias usan agua con la mínima cantidad posible de oxígeno disuelto. (lenntech, s.f.). En general las muestras tienen concentraciones por encima de lo permitido en ambas normas, salvo que para el cumplimiento de la resolución 1096/2000 se debe de tomar muestras en el ciclo de lluvias y ciclo seco que para el desarrollo de nuestro proyecto no fue necesario dado

la finalidad de este, pero se tiene en cuenta los resultados de este parámetro.

Etapas 3: Plantear un plan de alternativas de manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo proveniente de los pozos ubicados en la zona norte de Valledupar y La paz - Cesar.

Teniendo en cuenta los resultados de cada uno de los parámetros, se realizan las siguientes actividades.

Actividad 3.1. Establecimiento de medidas preventivas, correctivas y de cuidado de agua subterránea y métodos de conservación:

PLAN DE MANEJO DE LOS POZOS UBICADOS EN LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ - CESAR.

INTRODUCCIÓN

Debemos cambiar la manera en que nos relacionamos con el medio ambiente, la calidad del agua subterránea requiere de una protección y conservación que involucre no solo a las corporaciones, sino también a los que se benefician del preciado recurso. Las aguas subterráneas se pueden contaminar de diversas actividades, por ese motivo es necesario de un plan para el manejo de este recurso.

Para alcanzar lo anteriormente dicho se planteó el presente documento que contiene el Plan de Manejo Ambiental – PMA para los pozos de la zona Norte de Valledupar y La Paz, Cesar. Con el Plan de Manejo Ambiental, se busca prevenir, mitigar, controlar y compensar los impactos ambientales que se generen por las diversas actividades que se realicen en la zona y por el mal uso, cumpliendo con la normatividad vigente e implementando las medidas de manejo necesarias por las partes interesadas.

1. GENERALIDADES

1.1. Objetivo general

- Diseñar medidas de manejo para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos generados por las actividades realizadas en la zona de Valledupar y la Paz, Cesar.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar los posibles contaminantes del agua subterránea proveniente de las actividades que se realicen en la zona, mediante inspecciones.
 - Formular lineamientos de planificación para la buena gestión del agua de los pozos.
 - Reducir los impactos negativos a los pozos por mal uso del recurso hídrico.
 - Establecer un instrumento que genere la conservación, uso eficiente y sostenible del recurso hídrico en la zona norte de Valledupar Y La Paz, Cesar.
-

1.3. Alcance

El PMA es el conjunto detallado de actividades que están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de actividades. Dentro de este plan se dará la solución de la problemática de contaminación que tienen las aguas subterráneas cercanas al desarrollo de actividades agropecuarias y de la misma manera se establecerán actividades que conserven los acuíferos y lograr una mejoría en la calidad de estos por el mal uso y utilización de agroquímico. En este mismo sentido el plan estipula monitoreo de la calidad del agua para verificar que las aguas utilizada no tengan concentraciones que afecten su uso sostenible.

MARCO LEGAL

- Decreto Ley 2811 de 1974: Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, que regula integralmente la gestión ambiental y el manejo de los recursos naturales renovables (aguas, bosques, suelos, fauna etc.).
- Ley 99 de 1993: Reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Otorga a las autoridades ambientales regionales, en su calidad de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción, la facultad de ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental del uso del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables.
- Ley 373 de 1997: establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, busca preservar la oferta hídrica a partir de la formulación de proyectos y acciones que deben adoptar los usuarios.
- Resolución 815 de 1997: Por medio del cual en la que se obliga a implementar un sistema de medición para la explotación del RHS.
- Resolución 2115 del 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

2. PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL

A continuación, se muestran el PMA de los pozos de zona norte de Valledupar Y La Paz, Cesar; propuestos para controlar, mitigar, prevenir y/o compensar los diferentes impactos identificados que se presentarían con la ejecución de las actividades agropecuarias realizadas en esta zona. Los proyectos se presentan agrupados por programas, como se establece a continuación.

Tabla 11. Programas de PMA en la zona norte de Valledupar, Cesar.

PROGRAMAS		ACTIVIDADES
1	Educación y capacitación ambiental	1.1. Reconocimiento y sensibilización frente a las amenazas que tiene el recurso hídrico en la zona.
		1.2. Prevenir la contaminación por desconocimiento de información.
2	Monitoreo de la calidad del agua	2.1. Evaluación de la calidad física y química del agua de los pozos periódicamente, para detectar cualquier inicio de contaminación.
		2.2. Identificar los impactos generados por la extracción del agua y las actividades agropecuarias.
3	Producción más limpia en actividades agropecuarias	3.1. Regulación del uso de fertilizantes y pesticidas, dando un manejo sostenible en la producción de cultivos para la protección del recurso hídrico subterráneo.
		3.2. Prever la posibilidad de que se produzcan efectos adversos en las aguas subterráneas por el uso de fármacos veterinarios.
4	Conservación y manejo de los pozos.	4.1. Orientar a la comunidad a la conservación y mantenimiento del pozo por medio de charlas.
		4.2. Evitar efectos negativos en las aguas subterráneas por contaminación microbiana.

Fuente: Autores, 2021

3.1. Programa - 1. Educación y capacitación de Aguas Subterráneas.



PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS POZOS DE LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ, CESAR.			
PROGRAMA	Educación y capacitación de Aguas Subterráneas.	CODIGO	PECAS -1
1. JUSTIFICACION			
La falta de conocimiento nos lleva a cometer errores que pueden ser catastrófico para el medio ambiente, en este sentido es de gran importancia tener los conocimientos adecuados y por esta razón es fundamental fortalecer los procesos educativos a los actores principales que se encuentra en la zona y hacen uso de las aguas subterráneas.			
2. OBJETIVOS			
<p>OBJETIVO GENERAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar capacitación a la comunidad para la buena gestión del agua subterránea. <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Reconocimiento y sensibilización frente a las amenazas que tiene el recurso hídrico en la zona. ✓ Prevenir la contaminación por desconocimiento de información. 			
3. METAS			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacitar al personal encargado del mantenimiento de los pozos o propietarios acerca de los factores contaminantes de las aguas subterráneas. ✓ Socializar a la comunidad de la zona sobre prácticas agropecuarias y pecuarias y evitar el exceso de fertilizantes y pesticidas en la zona. 			
4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR			

Educación y capacitación de Aguas Subterráneas.				
1. Reconocimiento y sensibilización frente a las amenazas que tiene el recurso hídrico en la zona.	1.1. Ejecutar talleres participativos para la divulgación del conocimiento, el cual abarque la siguiente temática:			Con base a la estrategia de participación se implementaran talleres como primera instancia para que los actores se enriquezcas de temáticas con respecto al uso adecuado de las aguas subterráneas y puedan identificar los posibles riegos en que se encuentre el acuífero y su fuente de contaminación.
	A) Buenas Prácticas Agropecuarias.	B) Generalidades de las aguas subterráneas y su Contaminación.	C) Usos sostenibles del recurso hídrico.	

<p>2. Prevenir la contaminación por desconocimiento</p>	<p>2.1. Publicar información relacionada con noticias, estudios, y artículos relacionados al agua subterránea de la zona y el suelo.</p>	<p>Se realizará una recolección de investigaciones realizadas a las aguas subterráneas que puedan ser aprovechadas por los actores y de igual manera se realizara la publicación de la información.</p>
	<p>2.3. Realizar visitas por parte de las autoridades competentes para instruir en el uso sostenible de los acuíferos.</p>	<p>En conjunto con los profesionales se programara visitas a las zonas en donde se requiera instruir a cerca del aprovechamiento sostenible del recurso y evitar la contaminación generada por las malas prácticas.</p>

3.2. Programa - 2. Monitoreo de la calidad del agua

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS POZOS DE LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ, CESAR.		
PROGRAMA	Monitoreo de la calidad del agua	CODIGO PECAS -2
1. JUSTIFICACION		
<p>Las fuentes de aguas son muy vulnerables a ser contaminada por múltiples factores, por eso es muy necesario realizar un monitoreo para determinar el cambio y la calidad de las aguas subterráneas, por eso se plantea la necesidad de un programa de monitoreo que incluya la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.</p>		
2. OBJETIVOS		
<p>OBJETIVO GENERAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar monitoreo de la calidad del agua de los pozos <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua de los pozos periódicamente, para detectar cualquier inicio de contaminación. ✓ Identificar los impactos generados por la extracción del agua y las actividades agropecuarias. 		
3. METAS		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Asegurar que se implementen mediciones periódicamente y determinar la calidad del agua de los pozos. ✓ Establecer las condiciones en la que se encuentra el agua de los pozos. 		
4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR		
Monitoreo de la calidad del agua subterránea.		
<p>1. Evaluación de la calidad física y química del agua de los pozos periódicamente, para detectar cualquier</p>	<p>1.1 Capacitación de metodologías de calidad de aguas subterráneas</p>	<p>En primera instancia se realizarán socializaciones previas a las comunidades que hagan uso de los acuíferos sobre la toma de muestras, se contemplaran las mediciones in situ y en laboratorio como temáticas de la socialización.</p>

inicio de contaminación.	1.2. Mediciones en campo.	<p>En campo se medirá el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica y la temperatura. La medición en campo se realiza con equipos portátiles, se realiza mediciones de nivel (estático, dinámico), según la metodología establecida en la "GUÍA PARA EL MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS" de la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CESAR. La determinación de las mediciones in situ se realizarán en lo estipulado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la toma de muestras</p>
	1.3. Mediciones en laboratorio.	<p>En laboratorio se determina los siguientes parámetros según Decreto 1575/2007 el cual señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alcalinidad, dureza total, hierro total, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos. ➤ Escherichia Coli Y Coliformes Totales <p>Para las muestras que se evaluarán en el laboratorio, se usará un recipiente de vidrio esterilizado o plástico limpio, teniendo en cuenta las precauciones para no contaminar la muestra y se lleva debidamente preservada al laboratorio. Se verificará anticipadamente los requerimientos de conservación y tiempo de recepción de las muestras para la</p>

		<p>evaluación de cada uno de los parámetros.</p>
	<p>1.4. Análisis, resultados y publicación.</p>	<p>Después de determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de los pozos, se analizarán los resultados de cada uno de los parámetros y estos se publicarán por medio de un documento.</p>
<p>2. Identificar los impactos generados por la extracción del agua y las actividades agropecuarias.</p>	<p>2.1. Desarrollar el inventario detallado de fuentes potenciales de contaminación</p>	<p>Recopilar la información de las actividades realizadas en la zona mediante inspecciones e identificar las fuentes posibles de contaminación que se encuentren cercana a la zona de los acuíferos. Se tendrá en cuenta las siguientes variables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Condición en la que se encuentra el acuífero. (Color, olor, temperatura y pH). ○ Cantidad de recurso aprovechado en el sector (caudal). ○ Periodo en el cual se realiza la inspección. ○ Nivel del acuífero. ○ Actividades que se realizan en la zona. <p>Se elegirán las fuentes que generen un mayor impacto sobre el recurso hídrico subterráneo, para esto se tendrán en cuenta el uso y tiempo de exposición y posterior a esto se implementarán medidas de control de la contaminación del agua subterránea en la zona donde se han identificado las fuentes potencialmente contaminantes.</p>

3.3 Programa - 3. Producción más limpia en actividades agropecuarias

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS POZOS DE LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ, CESAR.			
PROGRAMA	Producción más limpia en actividades agropecuarias	CODIGO	PPMLAA-3
1. JUSTIFICACION			
El uso de los agroquímicos es muy necesario para las actividades agropecuarias, pero de igual manera afectan los acuíferos si se realizan malas prácticas. Por eso es necesario realizar un programa de producción más limpia y prevenir riesgo relevante a los acuíferos y la salud humana. Las buenas prácticas agrícolas permiten al productor destacar su producto de los demás, en cuanto a calidad, economía y sobre todo una sustentabilidad ambiental.			
2. OBJETIVOS			
<p>OBJETIVO GENERAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementar prácticas que prevengan los riesgos provenientes de las actividades agropecuarias. <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Regulación del uso de fertilizantes y pesticidas, dando un manejo sostenible en la producción de cultivos para la protección del recurso hídrico subterráneo. ✓ Prever la posibilidad de que se produzcan efectos adversos en las aguas subterráneas por el uso de fármacos veterinarios y alimento para animales. 			
3. METAS			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar que los actores principales, establezcan buenas prácticas agropecuarias para prevenir el riesgo de contaminación por residuos agropecuarios. ✓ Prevenir los efectos adversos que producen las malas prácticas agropecuarias en la reserva de agua subterránea. 			
4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR			
Producción más limpia en actividades agropecuarias			
1. Regulación del uso de fertilizantes y pesticidas, dando un manejo sostenible en la producción	1.1. Capacitación a los productores y ganaderos	Transferir conocimiento por medio de visitas a ganaderos y agricultores de las siguientes temáticas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Contaminación de los acuíferos por prácticas agropecuarias. ○ Buenas Prácticas agrícolas y pecuarias. ○ Dosificación recomendada de fertilizantes. 	

de cultivos, para la protección del recurso hídrico subterráneo.	1.2. Análisis de suelo.	<p>Seleccionar las prácticas más adecuadas en la zona de dicha actividad, teniendo en cuenta la identificación de las características del suelo, su disponibilidad de nutrientes y la demanda de la producción deseada, en ese sentido se diseña un plan que permita la producción de manera que el recurso hídrico no se vea afectado por agroquímicos.</p> <p>Depositar los restos vegetales que no se puedan reciclar en contenedores y enviarlo a un relleno sanitario o vertedero autorizado</p>
	1.3. Manejo adecuado de agroquímicos	<p>Teniendo en cuenta las características del suelo, utilizar los fertilizantes necesarios y la dosificación estipulada en la normatividad vigente y en caso de que no se encuentre en la norma, consultar los efectos adversos que puede ocasionar su uso y la dosificación recomendada según los requerimientos del cultivo. El agricultor debe darle un buen manejo a los sobrantes líquidos y sólidos de agroquímicos, identificar las zonas donde los residuos de los agroquímicos puedan entrar en contacto con el recurso hídrico y señalar que no se asperja ningún tipo de agroquímico en esa zona.</p>
2. Prever la posibilidad de que se produzcan efectos adversos en las aguas subterráneas por el uso de fármacos veterinarios.	2.1 manejo adecuado de productos veterinarios.	<p>Se debe socializar a los ganaderos el manejo adecuado de los productos veterinarios y además informar los riesgos que tienen las aguas subterráneas y promocionar la normatividad existente de los fármacos establecidos para las enfermedades y su dosis.</p>
	2.2 Manejo de Residuos pecuarios.	<p>Se evitara acumulación de estiércol lo cuales contienen grandes cantidades de residuos de fármacos y así prevenir la infiltración a los cuerpo de agua subterránea, además se debe de mantener en una área cubierta y alejada del recurso hídrico.</p>

Teniendo en cuenta las actividades planteadas se realizara una supervisión de las practicas buenas agropecuarias y manejo de los residuos provenientes de las actividades agropecuarias y verificar que se estén cumpliendo.

3.4 Programa 4 - Conservación y mantenimiento del pozo de agua.

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS POZOS DE LA ZONA NORTE DE VALLEDUPAR Y LA PAZ, CESAR.

PROGRAMA

Conservación y mantenimiento del pozo de agua.

CODIGO

PPMLAA
-3

1. JUSTIFICACION

Las aguas subterráneas son ampliamente utilizadas como fuentes de abastecimiento público en Colombia y el mundo entero, por lo tanto, es de mucha importancia que la conservación y mantenimiento de los pozos sea adecuada y eficiente para garantizar un suministro de agua confiable en cantidad y calidad.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Proporcionar métodos de conservación y mantenimientos de pozos de agua.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✓ Orientar a la comunidad a la conservación y mantenimiento del pozo por medio de charlas.
- ✓ Evitar efectos negativos a las aguas subterráneas por contaminación microbiana.

3. METAS

- ✓ Asegurar que se ponga en marcha estrategias para la conservación y el mantenimiento adecuado de los pozos de agua.
- ✓ Mantener en óptimas condiciones los pozos y garantizar el suministro de agua de forma confiable y segura para la cantidad.

4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR		
Conservación y mantenimiento del pozo de agua.		
1. Orientar a la comunidad a la conservación y mantenimiento del pozo por medio de charlas.	1.1. Conservación de los pozos.	Capacitar a las comunidades que hagan uso del pozo sobre la conservación y mantenimiento adecuado de pozos de agua, además de la capacitación se deben cumplir los programas (1, 2 y 3) del presente documento.
	1.2. Sellamiento de espacios anulares.	En donde las tuberías se encuentren con espacio se evitara la contaminación por el arrastre de sustancias por escorrentías y su vertido directo al pozo de agua subterráneas, sellando los espacios anulares.
2. Evitar efectos negativos a las aguas subterráneas por contaminación microbiana.	1.3. Instalación de rejillas.	Se recomendará la instalación de rejilla cuando pueda caer con facilidad animales, con el fin de limitar el contacto con el cuerpo de agua y prevenir una contaminación sanitaria.

Actividad 3.2. Elaboración de un documento final.

El presente proyecto de grado se entrega como documento final.



7. CONCLUSIÓN

- ❖ De acuerdo con la comparación realizada de los parámetros con la normatividad, el pH de las muestras analizadas no excede los límites permisibles establecidos en la Resolución 2115 del 2007 para que pueda ser consumida en la zona, por otra parte, la conductividad de las 30 muestras tomadas mostró que solo el 23% de las muestras analizadas cumple con lo estipulado en esta misma resolución.
- ❖ Los resultados obtenidos en el parámetro de SDT exceden el límite permisible en un 67% de las muestras analizadas y que a su vez estos mismos puntos exceden los límites para el parámetro de la conductividad eléctrica. El 37% del oxígeno disuelto de las muestras se encuentran por debajo de 4 lo que nos indica que las aguas de estas muestras no son aptas para el desarrollo de la vida en el cuerpo de agua, según lo establecido en la Resolución 1096 del año 2000.
- ❖ Teniendo en cuenta la evaluación de los parámetros y los límites permisibles, se destina el uso apropiado para el agua de cada uno de los pozos. Según el resultado del pH el agua se puede destinar para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario, y fines recreativos (primario-secundario), pero según los resultados de conductividad eléctrica el 23% del agua de las muestras no son aptas para el consumo humano, teniendo en cuenta los resultados de los sólidos disueltos totales el agua de las muestras no son aptas para consumo humano en un 77%, según el OD el 63 % de las muestras demostraron niveles aptos para el desarrollo de la vida en el cuerpo de agua.
- ❖ Al comparar la calidad de agua de las 30 muestras el 100% de las muestras no cumplen la totalidad los límites permisibles en la normatividad de los parámetros evaluados, es decir, solo el 47% del agua de las muestras pueden ser utilizados para riego agrícola teniendo en cuenta los niveles de salinidad y los sólidos disueltos totales.
- ❖ De acuerdo al modelamiento realizado en ARCGIS se pudo evidenciar que de 11 muestras tomadas en diferentes puntos de la vereda Aguas Blancas, el 100% de estas arrojaron valores altos en SD y de igual manera se destacaron dos puntos, el punto VLL-1019 y el VLL-120 lo cuales presentaron los valores más altos de todas los parámetros evaluada a excepción del OD y la resistividad, estos resultados puede aludir a factores provenientes a las actividades agropecuaria

8. RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros establecemos una serie de recomendaciones para tener en cuenta con el fin de plantear posibles soluciones

- A la corporación autónoma del Cesar “CORPOCESAR” se recomienda, capacitar a los actores principales (comunidad de la zona) sobre el uso sostenible del recurso hídrico subterráneo.
- A la comunidad de la zona se le recomienda realizar una Identificación de las posibles fuentes de contaminación, mediante inspecciones en la zona de cada punto evaluado.
- A la corporación autónoma del Cesar “CORPOCESAR” se recomienda establecer estudio de la calidad del agua de los pozos en donde las concentraciones sobrepasan los límites permisibles e incluir análisis de metales pesados y microbiológicos en el estudio.
- A las autoridades competentes se le sugiere implementar un plan de monitoreo periódico de la calidad de agua, con el fin de controlar las posibles contaminaciones que se puedan derivar de las actividades desarrolladas en la zona.
- Establecer planes de manejo para controlar, mitigar, prevenir y/o compensar los diferentes impactos identificados que se presentarían con la ejecución de actividades desarrolladas en la zona.
- A la autoridad competente se le recomienda realizar capacitación de buenas prácticas agrícolas para minimizar los impactos generados por la deficiencia en las técnicas utilizadas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, O., & Navarro, B. (2018). Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la comunidad de Llañucancha del distrito de Abancay, provincia de Abancay 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de los Andes. Abancay, Perú.

Arévalo, A. (2019). Prototipo de un sistema de monitoreo de calidad del agua subterránea en instalaciones de captación de una localidad rural del municipio de Tibaná – Boyacá (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia.

Armenta, J., & Gallardo, R. (2016). Caracterización del agua subterránea en el valle superior del Río Cesar. *Revista Ingenio*, 11(1), 37-51.

Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

Barrios, D. (2015). *PH en el agua*. Materia de química general y laboratorio. Disponible en: <https://quimicageneralylaboratorio.wordpress.com/2015/11/27/ph-en-las-bebidas/>

Becerra, A. (2014). Formulación del programa de uso eficiente y ahorro del agua para el club campestre Cafam. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.

Benítez, P., & Miranda, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 7-23. Recuperado de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/41043>

Brassington, R. (1998). Alumbramiento de aguas. Guía para la construcción y mantenimiento de suministros de agua privados. Acribia. Disponible en: <https://www.editorialacribia.com/libro/alumbramiento->



[de-aguas-guia-para-la-construccion-y-mantenimiento-de-suministros-de-agua-privados_53913/](#)

Cairasco, N. (2017). Diseño de un protocolo de monitoreo en pozos de la red local, para una gestión sustentable del agua subterránea en Colombia. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/392

Calidad Microbiológica. (s.f). Análisis Microbiológico Coliformes Totales. Disponible en: <http://www.calidadmicrobiologica.com.co/microbiologia/coliformes-totales>

Cañas, H., & Armenta, J. (2007). Evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, departamento del cesar.

Carrasco, M. (2014). Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad del agua (ica brown) en la provincia de zamora chinchipe cantón paquisha. (Tesis de pregrado), Universidad Central del Ecuador.

Castellanos, J. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. INTAGRI, 2da edición. México.

Castellón, J., Bernal, R., & Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. Ingeniería, 39-50.

CORPOCESAR: Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2017). Formulación Del Plan De Manejo Ambiental De Los Acuíferos Priorizados En Jurisdicción De CORPOCESAR. Disponible en: [https://www.corpocesar.gov.co/files/Informe%20de%20priorizacion%20final%20\(1\).pdf](https://www.corpocesar.gov.co/files/Informe%20de%20priorizacion%20final%20(1).pdf)

Echeverri, A., Madera, C., & Urrutia, N. (2012). Comparación de la calidad agronómica del efluente de la ptar y el agua Subterránea con fines de uso en riego de caña de azúcar. Ingeniería de Recursos

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

Naturales y del Ambiente, (11). ISSN 1692-9918

Dominguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. Revista Cubana de Salud Pública, 33(3) Recuperado en 21 de junio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000300020&lng=es&tlng=es.PIDARET

ESRI. (s.f.). ¿Qué son los datos ráster? Obtenido de ESRI: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Burlington, Canadá.

Fernández, M. & Fernández, O. (2007). Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. Minería y Geología, volumen 23, (4). ISSN: 0258-8959

Glosario de riego. (s.f). Sobreexplotación. Disponible en: <https://www.riego.org/glosario/sobreexplotacion>

Gobernación Del Cesar. (2020). Plan de Desarrollo del Departamento del Cesar. Disponible en: http://cesar.gov.co/d/filesmain/plan_desarrollo/plan_de_desarrollo_2020_2023_lo_hacemos_mejor_act.pdf

Herrera, I., & Quintero, D. (2009). Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar-Cesar. (Tesis de pregrado), Universidad Popular Del Cesar

ICGM: Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2011). Las aguas subterráneas: Un enfoque práctico. Colombia.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Características



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). Aguas subterráneas

Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-subterranas>

Ingersia. (s.f). Estudios hidrológicos y de inundabilidad. Disponible en:

<https://estudioshidrologicos.es/para-que-sirven-los-estudios-hidrologicos-2/>

Junco, A. (2018). Prototipo de un sistema de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas e instalaciones de captación de una localidad rural del municipio de Tibaná-Boyacá. (Tesis de pregrado).

Lafuente, J. G. (1969). Química del agua. Madrid: Blume.

Landauer, R. (1952). The electrical resistance of binary metallic mixtures. Journal of Applied Physical Vol. 23, N°7; pp. 779-784.

Lenntech. (s.f). Glosario de agua. Disponible en: <https://www.lenntech.es/glosario-agua.htm>

Lenntech. (s.f.). Por qué es importante el oxígeno disuelto. Disponible en

<https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua>

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Gestión Integral del recurso hídrico.

Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos>

OMS: Organización Mundial de la Salud. (2005). Guías para la calidad del agua potable. Disponible

en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf



Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Ginebra.

Organización Mundial de la Salud. (2015). Saneamiento. Disponible en: <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>

Panachlor. (2014). water Maker LA. Obtenido de [http://panachlor.com/wpcontent/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wpcontent/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)

Petro., A., & Wees., T. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco – Bolívar, Caribe Colombiano. (Tesis de Pregado), Universidad Tecnológica De Bolívar. Cartagena De Indias.

PDM: Plan de Desarrollo Municipal. (2016-2019). Disponible en: <http://concejodevalledupar.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/PDM-Valledupar-Avanza-VERSION-DEFINITIVA-ACUERDO-001-DE-2016.pdf>

Quintana, J. & Tovar, J. (2002). Evaluación del acuífero de Lima (Perú) y medidas correctoras para contrarrestar la sobreexplotación. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 303-312. ISSN: 0366-0176

Rebollo, L. (s.f). Hidrogeología: clasificación hidrogeológica De las formaciones rocosas. Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-67044/TAB42351/T3-Clasificaci%F3n%20hidrogeol%F3gica.pdf

SDAB: Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá. (s.f). Recurso hídrico subterráneo. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>



SIAC: Sistema de Información Ambiental en Colombia. (s.f.). *El ciclo hidrológico*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/aguaques>

Team, D. (2019). Dropson. Obtenido de <https://www.dropson.es/blog-lata-filtrante/medidor-tds-que-es-y-que-mide-realmente/>

Vence, L., Rivera, M., Osorio, Y. & Castillo, A. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Volumen 3 (2), ISSN 2145-6097.

Waterboards. (s.f.). Obtenido de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf

Yuni, J., & Urbano, C.. (2014). *Técnicas para investigar: Recursos metodológico para la preparación de proyecto de investigación*. Córdoba: Brujas.



10. ANEXOS

Tabla 12. Comparación de las muestras con la norma.

MUNICIPIO	ID_PUNTO_H	PH	CE	T	SDT	OD
VALLEDUPAR	VLL-1074	7,44	4500	29,4	2350	1,94
VALLEDUPAR	VLL-1078	7,7	3490	28,4	1802	4,76
VALLEDUPAR	VLL-1079	7,74	3280	27,8	1686	4,45
VALLEDUPAR	VLL-1010	7,86	3440	30,5	1194	3,26
VALLEDUPAR	VLL-251	7,54	8550	30,2	4620	6,9
VALLEDUPAR	VLL-1075	7,41	5660	31	3000	8,41
VALLEDUPAR	VLL-1077	7,69	5090	30,4	2680	6,99
VALLEDUPAR	VLL-135	7,93	5520	30,09	2910	1,76
VALLEDUPAR	VLL-1083	7,22	13120	30,9	7280	1,42
VALLEDUPAR	VLL-109	8	4880	29,8	2560	6,23
VALLEDUPAR	VLL-1099	7,38	4340	28	1260	7,05
VALLEDUPAR	VLL-1106	7,75	701	30,4	342	2,44
VALLEDUPAR	VLL-1107	7,61	479	30,6	231	6,31
VALLEDUPAR	VLL-1014	7,38	6670	31,1	3560	3,66
VALLEDUPAR	VLL-1017	7,28	2690	32,9	1372	5,64
VALLEDUPAR	VLL-148	7,46	5530	27,3	2920	5,1
VALLEDUPAR	VLL-1015	7,34	7590	31	4070	4,37
VALLEDUPAR	VLL-417	7,8	5270	28,9	2770	7,09
VALLEDUPAR	VLL-1019	7,28	16210	30,1	9150	3,45
VALLEDUPAR	VLL-1022	7,67	4500	30,6	2350	4,83
VALLEDUPAR	VLL-120	6,99	16060	30,6	9060	2,37
VALLEDUPAR	VLL-1028	8,27	3100	29,8	1590	7,1
VALLEDUPAR	VLL-1101	8,15	654	27,9	318	6,43
LA PAZ	LPZ-89	7,24	476	27,8	230	6,22
LA PAZ	LPZ-185	7,42	1010	33	448	3,42
LA PAZ	LPZ-1004	7,19	528	29,5	255	4,65
LA PAZ	LPZ-114	7,09	1085	34,4	538	2,17
LA PAZ	LPZ-118	7,28	1084	31,3	534	2,51
LA PAZ	LPZ-86	7,75	641	29,9	312	6,95

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS

LA PAZ	LPZ-100	7	633	34	308	5,12
Sobrepasa el límite						
No exceden el límite						
LIGERAMENTE ÁCIDO						
CE: Conductividad Eléctrica; T: Temperatura; SDT: Sólidos Disueltos Totales; OD: Oxígeno Disuelto.						

Fuente: autores, 2021



Figura 36. Escala del pH

Fuente: (Barrios, 2015)

Tabla 13. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola.

Parámetro	Unidad	Grado de restricción		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
Salinidad				
Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Sólidos disueltos totales	mg.L ⁻¹	< 450	450-2000	> 2000
Salinidad efectiva	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-15.0	>15.0
Salinidad potencial	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-15.0	>15.0
Sodicidad				
Carbonato de sodio residual	me.L ⁻¹	< 1.25	1.25-2.5	>2.5
Relación de adsorción de sodio	me.L ⁻¹	< 3.0	3.0-9.0	> 9.0
Efecto de iones específicos				
Sodio	me.L ⁻¹	< 5.0	5.0-10.0	> 10.0
Bicarbonatos	me.L ⁻¹	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5
Cloruros	me.L ⁻¹	< 4.0	4.0-10.0	> 10.0
Boro	mg.L ⁻¹	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Hierro	mg.L ⁻¹	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

Fuente: Castellón et al., 2015 tomado de "Castellanos, et al. (2000)"

Tabla 14. Parametros para clasificar el agua de riego para uso agrícola de acuerdo a su nivel de Salinidad y Sodicidad

Cuadro 1. Parámetros para clasificar el agua de riego para uso agrícola de acuerdo a su nivel de salinidad y sodicidad.
Fuente: Ayers y Wescot, 1985.

Parámetro de calidad	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
Salinidad				
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	<450	450-2000	>2000
Sodicidad (Efecto sobre infiltración)				
		-----CE (dS/m)-----		
RAS= 0-3		>7.0	0.7-0.2	<0.2
RAS= 3-6		>1.2	1.2-0.3	<0.3
RAS= 6-12		>1.9	1.9-0.5	<0.5
RAS= 12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
RAS= 20-40		>5.0	5.0-2.9	<2.9

Fuente: Castellanos, 2000



Figura 37. Toma de muestra.

Fuente: CORPOCESAR, 2020



Figura 38. Toma de muestra.

Fuente: COROPCESAR, 2020