

**LINEAMIENTOS DE GESTIÓN PARA GARANTIZAR EL BUEN USO DEL ACUÍFERO
COSTERO MORROSQUILLO COMO FUENTE DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO, A
PARTIR DE LAS POSICIONES DE LOS ACTORES, EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE
TOLÚ, DEPARTAMENTO DE SUCRE, COLOMBIA.**



ABOGADA. INGRY JOHANA SALCEDO MANRIQUE
INGENIERA CIVIL. SHIRLEY ANDREA SALCEDO MANRIQUE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

2018

**LINEAMIENTOS DE GESTIÓN PARA GARANTIZAR EL BUEN USO DEL ACUÍFERO
COSTERO MORROSQUILLO COMO FUENTE DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO, A
PARTIR DE LAS POSICIONES DE LOS ACTORES, EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE
TOLÚ, DEPARTAMENTO DE SUCRE, COLOMBIA.**

**ABOGADA. INGRY JOHANA SALCEDO MANRIQUE
INGENIERA CIVIL. SHIRLEY ANDREA SALCEDO MANRIQUE**

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar por el título de

Magister en Gestión Ambiental



INGENIERO CIVIL. GUILLERMO GUTIERREZ RIBON

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

2018

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Dios, Rey Altísimo, por permitirnos realizar este Trabajo de Investigación, con entusiasmo, responsabilidad y entrega, llenándonos de muchas satisfacciones profesionales y personales.

Guillermo Gutiérrez Ribón, Ingeniero Civil, Magíster en ingeniería Ambiental. Docente de la Universidad de Sucre. Director de este Proyecto, por ser ese ángel que Dios puso en nuestro camino, para guiarnos con sus sabios conocimientos y consejos como un padre. Gracias ingeniero, por compartirnos sus experiencias en el tema, por haber depositado su confianza en nosotras y por haber dado lo mejor en la realización de este trabajo. Dios lo bendiga siempre.

Alcaldía del municipio de Santiago de Tolú, por su acogida durante el proceso y suministro de documentos que aportaron al libro.

Empresa de acueducto aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P, por suministrar información valiosa para el desarrollo del proyecto, en especial al técnico **Ali José Julio** por la disponibilidad inmediata para hacer acompañamiento en las visitas realizadas al municipio, brindarnos su apoyo con sus conocimientos.

Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE, por haber facilitado el material para hacer posible esta investigación.

Secretaría de salud departamental - DASALUD, por suministrar información valiosa para llevar a cabo la investigación.

Plan Departamental de Aguas, por brindar la información oportuna que les fue posible proporcionar y a todos sus funcionarios por la amabilidad durante el proceso.

A la comunidad de Santiago de Tolú, por su hospitalidad y colaboración.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedicamos principalmente a Dios el creador de todas las cosas, por darnos capacidad intelectual, sabiduría, fuerzas, salud y disponibilidad; regalándonos su Espíritu Santo y colocando ángeles en nuestro camino. Por ser nuestra fortaleza en las debilidades y darnos la oportunidad de vivir experiencias maravillosas. Le agradecemos por habernos llevado de su mano durante toda nuestra vida y en especial a lo largo de la maestría.

A la Virgen, por interceder por nosotras ante su hijo y habernos acompañado; y permitirnos tomarla como ejemplo de vida, dándonos fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las adversidades.

A nuestros padres Everlides Manrique Jaraba e Ignacio Salcedo Tuiran, por darnos la vida y brindarnos su apoyo.

A nuestra madre Everlides y a nuestra tía Yuly Manrique, nuestra bendición, por ser pilar fundamental en nuestra vida personal y profesional sentando las bases de responsabilidad, deseo de superación, sus grandes corazones que cada día admiramos más. Por su comprensión, amor y consejos en los momentos difíciles. Las amamos, este trabajo es fruto de toda su dedicación y esfuerzos.

A nuestro hermano Leonardo Salcedo Manrique y nuestros sobrinos Leonardo Isaías y Elena, por estar pendiente de nosotras, gracias por su apoyo.

A nuestro primo Jairo Garay Manrique, por acogernos en el inicio de este proceso, por su hospitalidad y apoyo.

A Luis Fernando Manrique, María Gómez, Angelica Contreras y Frank Fuentes, por su apoyo incondicional en toda esta etapa, por brindar lo mejor de ellos para que esta investigación se diera.

A Alfonso Alcides Manrique e Inés María Tuiran, quienes durante el proceso de la maestría

partieron a un mejor lugar, QPD, quienes desde lo alto estamos seguras que nos acompañan.

A nuestros abuelos, tíos, primos y demás personas, que de una forma u otra nos brindaron apoyo y colaboración, en especial tío Alfonso Manrique Jaraba.

A nuestros profesores y cuerpo administrativo de la universidad, por transmitirnos sus conocimientos, enseñanzas de vida y aportar en nuestro crecimiento académico y personal.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
JUSTIFICACIÓN	19
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
ANTECEDENTES.....	21
1. ESCENARIO DE REFERENCIA	23
1.1. Santiago de Tolú.....	23
1.1.1. Demografía.....	25
1.1.2. Actividades económicas.....	26
1.1.3. Clima.....	27
1.1.4. Relieve y suelo	27
1.2. Acuífero Costero Morrosquillo	28
2. MARCO DE REFERENCIA	30
2.1. Marco teórico.....	30
2.1.1. Sistema de acueducto	30
2.1.2. Índice de riesgo de calidad de agua para el consumo humano - IRCA.....	40
2.2. Marco legal.....	44
3. METODOLOGÍA	45

3.1. Fases	46
3.1.1. Revisión de información secundaria	47
3.1.2. Realización e implementación de encuesta.....	47
3.1.3. Recolección de datos de diferentes entidades y generación de base de datos.....	47
3.1.4. Elaboración de mapas.....	48
3.1.5. Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero.....	48
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4.1. Resultados.....	49
4.1.1. Encuesta	49
4.1.2. Caracterización de las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.....	57
4.1.3. Índice de riesgo de calidad de agua – IRCA.....	61
4.1.3.1. Zonificación de abastecimiento de agua.....	70
4.1.4. Acciones de las instituciones.....	76
4.1.5. Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero.....	77
4.2. Análisis de resultados	81
4.2.1. Encuesta	81
4.2.2. Caracterización de las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.....	82

4.2.3.	Índice de riesgo de calidad de agua – IRCA	84
4.2.4.	Acciones de las instituciones.....	86
4.2.5.	Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero.....	86
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1.	Conclusiones.....	92
5.2.	Recomendaciones	95
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	97

FIGURAS

Figura 1 Localización zona de estudio.....	24
Figura 2 Área urbana Municipio Santiago de Tolú.....	26
Figura 3 Mapa hidrogeológico de Sucre con delimitación del acuífero de Morrosquillo.....	29
Figura 4 Pozo Guerrero.....	30
Figura 5 Pozo San Silvestre.....	31
Figura 6 Pozo Rancho Alegre.....	32
Figura 7 Pozo Don Antonio.....	32
Figura 8 Pozo Pradera.....	33
Figura 9 Pozo Pasa Tiempo.....	34
Figura 10 Pozo Tolú Nuevo.....	34
Figura 11 Ubicación tanques de almacenamiento.....	35
Figura 12 Tanques elevado norte y centro y tanque semienterrado zona norte.....	36
Figura 13 Esquema del sistema zona norte.....	38
Figura 14 Esquema del sistema zona centro.....	38
Figura 15 Esquema del sistema zona sur.....	39
Figura 16 Esquema de fases metodológicas.....	46
Figura 17 Encuesta zonificación en sectores de distribución – calidad.....	55
Figura 18 Encuesta zonificación en sectores de distribución – usos.....	56
Figura 19 Localización de puntos de muestreos en zonas de distribución.....	62
Figura 20 Puntos de muestreos IRCA 2016.....	68
Figura 21 Puntos de muestreo IRCA 2017.....	69
Figura 22 Zonificación de abastecimiento de agua.....	70

Figura 23 Zonificación de abastecimiento de agua zona norte	71
Figura 24 Zonificación de abastecimiento de agua zona centro	72
Figura 25 Zonificación de abastecimiento de agua zona sur	73
Figura 26 IRCA pozos	75
Figura 27 Zonificación calidad el agua Vs DASSALUD	87
Figura 28 Zonificación usos el agua Vs DASSALUD.....	89
Figura 29 Paralelo calidad de agua captada de pozos y distribución.....	90

GRAFICAS

Grafica 1 Fuente de captación	50
Grafica 2 Fuente de captación	51
Grafica 3 Abastecimiento del acueducto.....	51
Grafica 4 Usos del agua	52
Grafica 5 Medio de almacenamiento	52
Grafica 6 Calidad de agua	53
Grafica 7 Frecuencia del agua.....	53
Grafica 8 Conocimiento de legislación	54
Grafica 9 IRCA promedio Tolcemento.....	63
Grafica 10 IRCA promedio estadio de softbol.....	64
Grafica 11 IRCA promedio parque principal.....	64
Grafica 12 IRCA promedio caseta principal.....	65
Grafica 13 IRCA promedio Coatrafa	65
Grafica 14 IRCA promedio Urbanización Betania	66
Grafica 15 IRCA promedio Fátima.....	66
Grafica 16 IRCA promedio centro de salud Playa Hermosa	67

TABLAS

Tabla 1 Especificaciones de pozos.....	37
Tabla 2 Puntaje de riesgo	41
Tabla 3 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse	43
Tabla 4 Diez primeras causas de morbilidad - año 2007	57
Tabla 5 Enfermedades municipio de Santiago de Tolú - año 2017	58
Tabla 6 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.....	77
Tabla 7 Características de los pozos	80

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación realizado en el núcleo urbano del municipio de Santiago de Tolú, se escogió como objetivo general establecer lineamientos de gestión para garantizar el buen uso del Acuífero Costero Morrosquillo como fuente de abastecimiento de esta población, así como de los municipios San Onofre, Coveñas y San Antonio de Palmito, con el fin de identificar la percepción de los actores, evaluar la caracterización de la calidad de agua suministrada y la sobreexplotación de la fuente subterránea con base en la infraestructura y operación del sistema de acueducto.

Para hacer efectivo este proceso, se partió de información de campo recaudada mediante el diseño y aplicación de una encuesta a los usuarios, el estudio de información secundaria formalmente suministrada por las entidades CARSUCRE, DASSALUD, alcaldía municipal, plan departamental de aguas y la empresa Aguas de Morrosquillo S.A E.S.P. De igual modo, se estudiaron las investigaciones antecedentes realizadas por las Universidades de Sucre, de Antioquia y la Nacional de Colombia. Las autoras recorrieron, con acompañamiento del operador, todos los componentes del sistema de acueducto.

Con el presente trabajo, se pudo determinar que en las tres zonas del área de investigación que el sistema de acueducto no suministra la suficiente cantidad de agua, ni con la calidad apta para el consumo humano, acorde con la normatividad colombiana vigente (Resoluciones No. 0330 de 2017 y No. 2115 de 2007). Actualmente el sistema tiene un déficit de 30.0 lps en abastecimiento, pérdidas del 50% en el sistema en general y la calidad de agua calificada por los actores, por las características fisicoquímicas y bacteriológicas, estriba entre regular, mala y deficiente, en su mayoría. El índice IRCA tanto en las aguas captadas como en las aguas mezcladas en la red de distribución tiene un valor entre medio, alto e inviable sanitariamente.

Los principales lineamientos de gestión para proteger la fuente única de abastecimiento regional y rehabilitar el sistema de acueducto consisten en construir más fuentes de abastecimiento, por fuera de la zona costera legalmente señalada, eliminar la sobreexplotación del acuífero, disminuir ostensiblemente las fugas en las instalaciones del sistema y potabilizar las aguas explotadas en el presente y las futuras, para garantizar a los usuarios el consumo de agua potable y la erradicación de las enfermedades que los afectan hoy consecucionalmente.

Palabras claves: Acuífero costero, acueducto, recarga, IRCA, sobreexplotación, potable.

ABSTRACT

In this research work carried out in the densely populated urban area of the municipality of Santiago de Tolú, the general objective was to establish management guidelines to protect the proper use of the Morrosquillo Coastal Aquifer as a source of supply for this population, as well as the municipalities San Onofre, Coveñas and San Antonio de Palmito, in order to identify the perception of the actors, evaluate the characterization of the quality of water supplied and the overexploitation of the underground source based on the infrastructure and operation of the aqueduct system.

To make this process effective, we started with field information collected through the design and application of a survey to users, secondary information study formally provided by the entities CARSUCRE, DASSALUD, alcaldía municipal, Plan departamental de aguas and the company aguas de Morrosquillo SA ESP. In the same way, the investigations carried out by the Universities of Sucre, Antioquia and the National University of Colombia were studied. The authors toured, with the accompaniment of the operator, all the components of the aqueduct system.

With the present work, it was possible to determine that in the three zones of the research area the aqueduct system does not supply enough water, without the quality suitable for human consumption, in accordance with the Colombian regulations in force (Resolutions No. 0330 of 2017 and No. 2115 of 2007). Currently the system has a deficit of 30.0 lps in supply, losses of 50% in the system in general and the quality of water qualified by the actors, for the physicochemical and bacteriological characteristics, considered between regular, bad and deficient, in its majority. The IRCA index in both the water collected and in the mixed water in the distribution network has a value between medium, high and sanitary inviable.

The main management guidelines to protect the single source of regional supply and rehabilitate the aqueduct system consist of constructing more sources of supply, outside the legally indicated coastal zone, eliminate overexploitation of the aquifer, ostensibly reduce leaks in the facilities of the system and purify the water exploited in the present and the future, to guarantee users the consumption of drinking water and the eradication of the diseases that affect them consequently.

Keywords: Coastal aquifer, aqueduct, recharge, IRCA, overexploitation, drinking.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, el deterioro acelerado del medio ambiente ha generado gran preocupación en los sectores consientes de la problemática en la población mundial y se ha convertido en un elemento de primer orden en los debates ecológicos, sociales y políticos. Esta problemática se ha agudizado en este siglo, toda vez que en él se ha vivido con mayor intensidad el impacto de la técnica contra la naturaleza. Paradójicamente, este inicio de siglo ha permitido también una mayor información y asimilación de los valores ambientales, difundidos por los medios de comunicación y la educación universalizada. Estos cambios han surgido en gran parte, debido a que los tipos y ritmos actuales de desarrollo económico no puedan sostenerse sin agotar paulatinamente la biodiversidad y la vida como se disfruta en la actualidad (Lazaro, Rivera, & Salcedo, 2015).

Dentro de los recursos naturales esenciales para el mantenimiento de todas las formas de vida existentes en nuestro planeta se encuentra el agua, que es fundamental para la supervivencia y el sostenimiento del desarrollo de la humanidad. Es precisamente alrededor de la protección efectiva de este recurso, que gira la presente investigación.

Inicialmente, con el trabajo se buscó establecer lineamientos de gestión para garantizar el buen uso del Acuífero Costero Morrosquillo (en adelante ACM), jurisdicción del municipio de Santiago de Tolú, como fuente de abastecimiento del sistema de acueducto. Así, la investigación aporta conocimiento científico a las ciencias ambientales, debido a que aporta información valiosa de cada uno de los pozos que abastecen este sistema, y las percepciones de los pobladores respecto a la calidad del agua suministrada por la empresa concesionaria.

A lo largo de este documento se hace una descripción a partir de la presentación del problema, sus antecedentes y los objetivos a cumplir. A su vez, se indica geográficamente el área de investigación, el territorio, el clima y los aspectos demográficos.

Posteriormente se definen, el marco legal y el marco teórico, desarrollados para la realización de la investigación, donde se detallan las leyes, decretos y acuerdos que rigen la materia. Se prosigue explicando la metodología diseñada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

Finalmente, se exponen los resultados obtenidos considerando los parámetros técnicos de la calidad de agua consumida por los usuarios y simultáneamente considerando su percepción acerca de ello, así como de las afectaciones a su estado de salud, y la propuesta de proyectos de rehabilitación de la infraestructura y procesos sanitarios y ambientales para la producción y suministro de agua potable a la población (las autoras).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, gozamos del recurso hídrico de diferentes formas superficiales (lagos, ríos, entre otros) y subterráneos (acuíferos). En algunas zonas costeras el abastecimiento de agua potable se da a través de aguas subterráneas, enfocando especial interés por ser la única fuente generadora de aguas aptas para el consumo humano. Cabe resaltar que cerca del 95% del agua dulce que existe en el planeta proviene de las aguas subterráneas, solo el 5% se encuentra en ríos y lagos (superficiales), las poblaciones que hacen uso de estas son asentamientos pequeños o poblaciones rurales (Silva, 1986).

En el municipio de Santiago de Tolú, departamento de Sucre, la fuente de abastecimiento es el ACM. En la actualidad se ha venido evidenciando un detrimento de este acuífero por el régimen de bombeo excesivo al que se encuentra expuesto, enfocando la mayor afectación en el núcleo urbano densamente poblado y perjudicando de manera directa el recurso suministrado a los habitantes, acarreado consigo la proliferación de patologías provenientes de vectores que se encuentran en el agua consumida.

El acueducto municipal de Santiago de Tolú, se abastece del ACM, mediante de siete (7) pozos profundos, ubicados, tres (3) en la zona centro del núcleo urbano, tres (3) en la zona norte y uno (1) en la zona sur. Debido a las ubicaciones de estos, por encontrarse a menos de tres (3) kilómetros de la franja costera, se suministra agua que no cumple con la norma de tratamiento de agua, abasteciendo – en su mayoría- de manera directa a la red sin ningún tipo de tratamiento. Adicionalmente, se encuentran fallas por tuberías obsoleta ocasionando una en promedio del 50% de agua extraída de los pozos; obligando a un régimen de bombeo excesivo para tratar de proveer la demanda del municipio.

Así las cosas, la pregunta que direccionó la presente investigación fue ¿Qué lineamientos de gestión deben formularse para garantizar el buen uso del Acuífero Costero Morrosquillo como fuente de abastecimiento de agua potable de los habitantes del municipio de Santiago de Tolú?

JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones abordadas en Colombia referentes a aguas subterráneas se han venido incrementando a través del tiempo, incluyendo algunas sobre la caracterización fisicoquímica de las aguas del ACM, indicando un evidente proceso de salinización que ha vulnerado y afectado al acuífero, desde hace tres décadas (Gutierrez, 2004), debido al uso indiscriminado que se ha dado a este cuerpo de agua, se ha generado una contaminación que cada vez crea más incertidumbre ante la población local y regional.

Este proceso de contaminación se profundiza diariamente -sin dejar de lado otros tipos de contaminaciones que se presentan por efecto antrópico- debido a dos motivos principalmente, como lo son, la vulnerabilidad por intrusión marina que en la zona norte del municipio de Santiago de Tolú es generalmente muy baja, mientras que en los pozos ubicados en la zona sur, es moderada

(casco urbano) (Madera & Valderrama, 2014) y la contaminación generada por aguas residuales y el mal manejo que se da a pozas sépticas abandonadas sin cierre sanitario (Arroyo & Gutierrez P, 2004).

Así pues, resultaba necesario realizar una investigación cualitativa para analizar la percepción de los actores involucrados, pobladores, turistas y empresas prestadoras del servicio de agua potable, en torno a la calidad del agua que consumen proveniente del ACM y la necesidad de proteger el mismo.

A partir de este trabajo investigativo se conocieron las opiniones que tienen los actores frente a la calidad y el uso del agua, en consonancia con los resultados de calidad de agua que presentan la entidad DASSALUD y el concesionario Aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P. De esta manera, la investigación hace un aporte académico significativo, al crear lineamientos de gestión que puedan mejorar las condiciones de la calidad del agua suministrada a la población beneficio y asimismo para la protección al ACM.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer lineamientos generales de gestión para garantizar el buen uso del Acuífero Costero Morrosquillo como fuente del sistema de acueducto, a partir de las posiciones de los actores en el municipio de Santiago de Tolú, Departamento de Sucre, Colombia.

Objetivos específicos

- Identificar la percepción de los actores frente al suministro del recurso hídrico en el municipio de Santiago de Tolú.

- Caracterizar las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.
- Realizar un comparativo de la calidad del agua suministrada por el sistema de acueducto de Santiago de Tolú frente a la calidad de agua potable que fija la legislación colombiana vigente.
- Identificar las acciones realizadas por la Corporación Autónoma Regional CARSUCRE, DASSALUD, Alcandía Municipal, Plan Departamental de Aguas y la empresa concesionaria municipal Aguas de Morrosquillo para dar solución a la problemática existente.
- Seleccionar lineamientos de gestión sanitaria y ambiental requeridos por el estado actual del sistema de acueducto de Santiago de Tolú para proteger el Acuífero Costero Morrosquillo.

ANTECEDENTES

En Colombia, gran parte del abastecimiento de agua para los habitantes se da a partir de aguas subterráneas. El departamento de Sucre es una de las regiones en donde este sistema se utiliza mayormente, captándose el agua por medio de pozos profundos tecnificados, pozos artesanales y manantiales.

El ACM atañe a una unidad geológica de origen aluvial y fluvial, formada por depósitos cuaternarios, siendo su comportamiento el de un acuífero confinado en el que el agua subterránea fluye perpendicularmente hacia la orilla del mar (CARSUCRE, 2012). Para él, se han diseñado planes puntuales en el manejo del agua, buscando minimizar la problemática de sobre explotación y contaminación por la cual atraviesa la única fuente de abastecimiento de la cual gozan los habitantes de la zona, por parte la Corporación Autónoma Regional de Sucre, “CARSUCRE”.

Movidos por la problemática presente, en el año 2013 la Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales, Estado Portuguesa, Venezuela, asociada a la autoridad ambiental

CARSUCRE, partiendo de la información suministrada por Martínez en el 2009, quien realiza una evaluación y modelación hidrogeoquímica del ACM, determinando las direcciones de flujo y las facies, comprendiendo así las relaciones entre el acuífero y las rocas, y las modificaciones generadas por los movimientos del agua a través de la zona¹, demostrando que existen facies cloruradas relacionadas a la intrusión salina, pero sin tener claridad si es por intrusión marina o por aguas fósiles, quisieron conocer qué tipo de reacción química ocurría en estas aguas, para esclarecer el origen de la intrusión salina en los procesos de contaminación por intrusión marina que evidenciaban relación con las aguas fósiles, y que sus inicios están ubicados en la zona centro-sur de Tolú y norte de Coveñas (Carrillo, Jhessenia; Velazco, Claudia; Herrera, Hector Mario, 2013).

El ingeniero Guillermo Gutiérrez elaboró entonces un diagnóstico ambiental en el ACM Zona Litoral Tolú – Coveñas, considerando aspectos geológicos, hidrogeológicos y geofísicos e hidroquímicos para así determinar las variaciones de las aguas por medio de cortes geoelectricos y sondeos eléctricos verticales ubicados estratégicamente². Además, se determinó el balance hídrico y la relación de extracciones vs recarga, mediante ensayos de laboratorio obteniéndose la caracterización fisicoquímica y clasificación de las aguas, con ayuda de la Universidad de Córdoba, Universidad de Sucre y DASSALUD. Adicionalmente afirmó que las principales facies del acuífero son clorurada-bicarbonatadas y clorurada complementando lo expuesto por Martínez en su anterior investigación (2009). Integrando lo anterior se concluye que, debido a la presencia de aguas cloruradas, no son aptas para el consumo humano teniendo en cuenta la normativa colombiana (Montesino , Gutierrez Ribon, & Monroy , 2014).

¹ (Martinez, D, 2009)

² (Gutierrez, 2004)

Incentivados por los avances generados por Martínez y Gutiérrez, y buscando ampliar significativamente el panorama de la contaminación, se realizó un análisis de la vulnerabilidad por intrusión marina mediante el método de GALDIT para identificar las zonas más frágiles a ser modificadas³.

Basado en los hechos esbozados anteriormente como problemáticas presentes en la zona, en la que se observan intrusión marina ya sea por avance del agua salada al acuífero o por aguas fósiles (espacios en los cuales quedaron secciones del mar y por movimientos telúricos se encuentran aisladas) por más de tres décadas, generación de lixiviados por pozas sépticas por falta de sello ambiental que están llegando al acuífero, por sobreexplotación del recurso, entre otras, se realizó una investigación en la cual se determinó el perímetro de protección del ACM concluyendo que la delimitación del área en mención es de 5.0 km en el sentido Oriente-Occidente, transversal a la línea de costa, y de 7.0 km en el sentido Sur-Norte, según la línea costera, para un total de 35.0 km² o sea 35000 ha, resaltando que la zona central en donde están localizados los pozos del sistema de abastecimiento del acueducto, la vulnerabilidad es más crítica (Lazaro, Rivera, & Salcedo, 2015).

1. ESCENARIO DE REFERENCIA

1.1. Santiago de Tolú

La Villa de Santiago de Tolú, también conocido comúnmente como Tolú, es considerada como uno de los centros urbanos más antiguos de Colombia. Se encuentra ubicada en la parte septentrional del Golfo de Morrosquillo, en el departamento de Sucre, y se localiza entre las

³ (Madera & Valderrama, 2014)

siguientes coordenadas 09°21'00" a 09°40'00" Latitud norte y 75°26'00" a 75°44'10" Longitud este, a 3 m.s.n.m (Plan de desarrollo municipal, 2016,p.22).

Tiene una extensión de 30.122 hectáreas, de los cuales 16.5 km son de costas, correspondiendo al núcleo densamente poblado, un área aproximada de 3.655 hectáreas lo que sería un 12,13% del área total del municipio y unas 26.467 hectáreas que corresponde a un 87,86% a las áreas del sector rural, como lo son áreas de vocación agropecuaria, de reserva ecológica, forestal y asentamientos poblacionales menores (Alcaldía de Tolú, 2017).

Santiago de Tolú, es uno de los municipios que conforman la Subregión Morrosquillo dentro del departamento de Sucre, al igual que: Coveñas, Toluviejo, San Antonio de Palmito y San Onofre.

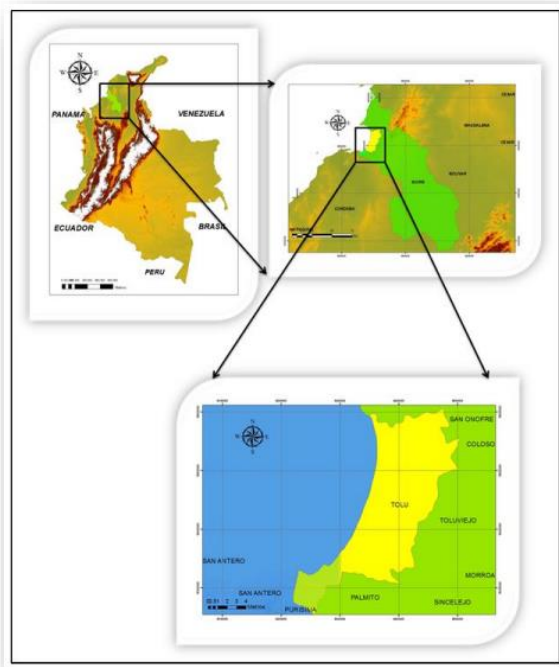


Figura 1 Localización zona de estudio

Fuente. Alcaldía de Santiago de Tolú- Plan de desarrollo 2016-2019.

1.1.1. Demografía

La población del Municipio de Santiago de Tolú presenta características étnicas similares a todas las zonas de la región Caribe. Entre la población predomina el mulato, pero actualmente debido al desplazamiento desde las diferentes zonas del País, atraídos por el turismo y otras actividades económicas desarrolladas entorno al Golfo de Morrosquillo, se configuró un grupo étnico que se alejó del patrón propio de la zona.

La población del municipio de Santiago de Tolú proyectada por el DANE al año 2015, es de 33.296 habitantes. De esta población 16.579 son hombres (49,79%) y 16.717 son mujeres (50,21%). Asimismo, la población que se encuentra localizada en la zona urbana, es de alrededor de 27.290 habitantes (81,96%) y en la zona rural aproximadamente de 6.006 habitantes (18,04%).

El núcleo densamente poblado del municipio de Santiago de Tolú se encuentra localizado entre los arroyos Pechilín (Sureste) y El Guainí (Noreste), en el centro del Golfo de Morrosquillo como la zona costera⁴. En la figura 2, se observa, el núcleo densamente poblado siendo este lugar la zona de estudio de esta investigación.

⁴ (Alcaldía de Santiago de Tolú, 2000)

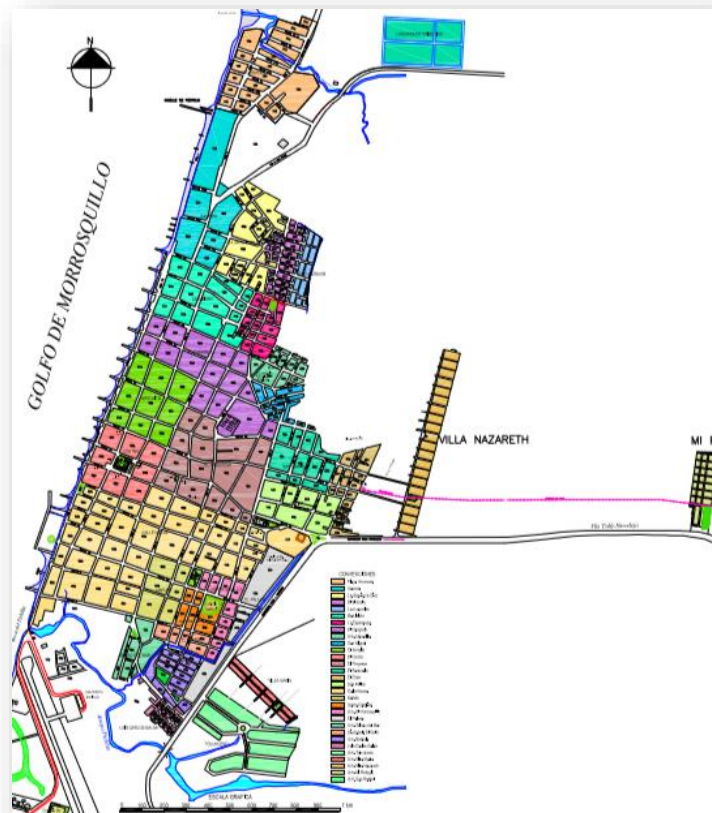


Figura 2 Área urbana Municipio Santiago de Tolú

Fuente. P.O.T 2000 Actualizado.

1.1.2. Actividades económicas

Las actividades económicas que se desarrollan en el municipio de Santiago de Tolú son: la producción ganadera, la producción agrícola, la producción agroindustrial, la acuicultura, la pesca y la actividad de mayor relevancia es el turismo de sol y playa, que trae consigo actividades económicas derivadas.

La acuicultura y la pesca se desarrollan de manera artesanal, existiendo algunas cooperativas de pescadores y empresas de nivel industrial como la camaronera Agrosiedad en la Bahía de Cispatá y la Empresa de pesca semi-industrial Pestolú en el municipio de Santiago de Tolú.

1.1.3. Clima

Se define por diversos factores, entre ellos: la ubicación en la franja de bajas presiones ecuatoriales, la presencia de vientos desde el norte hacia el nororiente, la influencia de corrientes marinas y la ausencia de sistemas montañosos que genera un ambiente árido, resultando, que se clasifica típicamente como tropical, con influencia de los vientos Alisios que predominan durante algunos meses del año en la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), los cuales determinan variaciones en humedad relativa y precipitaciones, determinando las condiciones climáticas prevalecientes a lo largo del año⁵. Se tiene un valor medio constante de temperatura durante todo el año de 28° C. (Plan de desarrollo municipal, 2016).

1.1.4. Relieve y suelo

El municipio presenta algunas variaciones de la región; en zonas costeras se encuentran llanuras con alturas muy cercanas al nivel del mar y la presencia de manglares en la Ciénaga de la Caimanera, en la Ciénagas de la leche y Trementino al sur y norte del municipio respectivamente. Al oriente se observan ondulaciones mostrando una topografía de colinas, conforme a la presencia de las serranías de los Montes de María, lo que produce la proliferación de corrientes transitorias de agua, las cuales existen en época de lluvia y desaparecen en tiempos de sequía, con cursos cortos y de pendientes suaves. Debido a la ubicación del Golfo de Morrosquillo en la llanura

⁵ (Plan de desarrollo municipal, 2016, P. 25)

aluvial, se consideran suelos jóvenes. Se encuentra una estratigrafía arenoso-fangosa, de formación sedimentaria, que abarca toda su extensión⁶.

1.2. Acuífero Costero Morrosquillo

Se localiza en el sector noroccidental del departamento de Sucre, abarca los municipios de Santiago de Tolú, Coveñas, San Antonio de Palmitos, Tolúviejo y San Onofre, tiene un área aproximadamente de 700 km², dentro de las coordenadas geográficas Y1=1.523.418, Y2=1.572.712, X1=821.289 y X2=855.59 (CARSUCRE, 2012).

El acuífero en mención es de tipo libre a confinado, abierto al mar. Se compone de un relleno litoral y fluvial en paleocauces, constituido por arenas cuarzosas finas, gravas y guijarros con interacciones de arcilla depositadas discordantemente sobre las formaciones Carmen y San Cayetano. El ACM presenta sus mayores profundidades hacia el Centro (60-80 metros) y el Sur (80-100 metros); por su parte, los valores de resistividad para los niveles acuíferos se presentan generalmente entre 8 y 30 Ohm.m (INGEOMINAS, 2002).

⁶ (Plan de desarrollo municipal, 2016, P. 26-27)

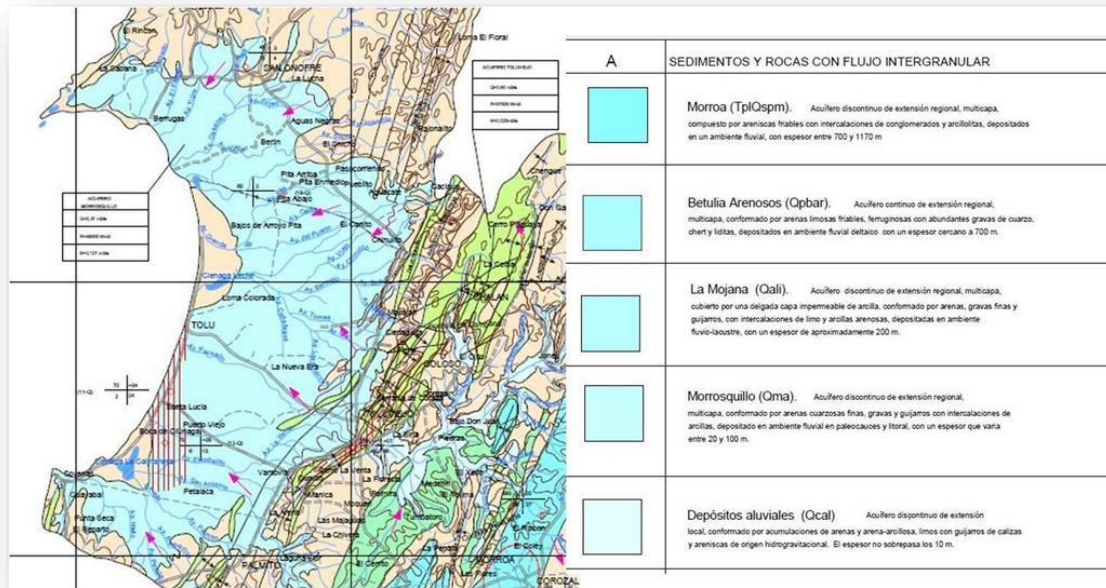


Figura 3 Mapa hidrogeológico de Sucre con delimitación del acuífero de Morrosquillo

Fuente. Ministerio de Minas y Energía, 2012.

El acuífero Morrosquillo es multicapas y está conformado por tres niveles que se describen a continuación:

NIVEL 1: Se observa una profundidad de 25 m, con capas de arcilla fina a gruesa y grava fina, con espesores menores a 6m. Es considerado como acuífero libre de extensión local. La explotación es por pozos artesanos en su gran mayoría, para aprovechamiento doméstico, turístico y agropecuario. La calidad del agua se considera salobre.

NIVEL 2: Se encuentra a profundidades de 26 – 50m, constituido por lentes y capas de arena gruesa y grava fina. El acuífero es semiconfinado, y se encuentran aguas duras con valores tolerables de cloruro y altos contenidos de calcio.

NIVEL 3: Se encuentran a profundidades mayores a 50 m. Es un acuífero de tipo confinado. La calidad del agua tiene características similares al nivel 2 (Hector & Puentes, 1997).55

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Sistema de acueducto

El sistema de acueducto del municipio de Santiago de Tolú se abastece del ACM, el cual se encuentra ubicado en la zona noroccidental del departamento de Sucre y, como se ha dicho, es de tipo libre a confinado. Consta de siete (7) pozos, los cuales se indican según la información suministrada por el Plan Departamental de Aguas⁷ y el concesionario operador empresa Aguas de Morrosquillo S.A. E.S.P.:

- Pozo Guerrero



Figura 4 Pozo Guerrero

Fuente. Las autoras.

⁷ (Plan departamental de aguas PDA, 2012)

Construido en el año 2010, se encuentra localizado en las coordenadas X: 835816, Y=1548582, ubicado en la zona norte del municipio de Santiago de Tolú. Con un caudal de 10 lps a una profundidad de 100m. El cuerpo del pozo tiene un diámetro de 6" y un nivel dinámico de 20m.

- Pozo San Silvestre



Figura 5 Pozo San Silvestre

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 2010, se encuentra localizado en las coordenadas X: 836872, Y=1547100, ubicado en la vía al corregimiento de Pita. Tiene un caudal de 9 lps a una profundidad de 110m, el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 6" y un nivel dinámico de 20m.

- Pozo Rancho Alegre



Figura 6 Pozo Rancho Alegre

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 1997 y se encuentra localizado en las coordenadas X: 836798, Y=1545930, ubicado en el margen izquierdo de la vía Tolú-Sincelejo. Cuenta con un caudal de 11 lps a una profundidad de 84m, y el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 10” con un nivel dinámico de 26m.

- Pozo Don Antonio



Figura 7 Pozo Don Antonio

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 1997 y se encuentra localizado en las coordenadas X: 837717, Y=1545352, ubicado en la finca Don Antonio, en el margen izquierdo de la vía Tolú – Sincelejo. Cuenta con un caudal de 20 lps a una profundidad de 91m y el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 8” con un nivel dinámico de 15m.

- Pozo Pradera



Figura 8 Pozo Pradera

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 1991, se encuentra localizado en las coordenadas X: 837664, Y=1544760; Ubicada en la finca Pradera, en el margen derecho de la vía Tolú – Sincelejo. Con un caudal de 11 lps a una profundidad de 100m, el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 8” y un nivel dinámico de 15m.

- Pozo Pasa Tiempo



Figura 9 Pozo Pasa Tiempo

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 1991 y se encuentra localizado en las coordenadas X: 836253, Y=1544786, ubicado en la finca Pasa Tiempo propiedad del señor Sergio Patrón. Cuenta con un caudal de 10 lps a una profundidad de 95 m y el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 6” con un nivel dinámico de 26m.

- Pozo Tolú Nuevo



Figura 10 Pozo Tolú Nuevo

Fuente. Las autoras.

Construido en el año 2001 y se encuentra localizado en las coordenadas X: 835541, Y=1543554, ubicado en la zona sur del municipio de Santiago de Tolú, a orillas del arroyo Pechilín. Cuenta con un caudal de 11 lps a una profundidad de 98 m, el cuerpo del pozo tiene un diámetro de 4 y 6” y un nivel dinámico de 26m.

Desde el año 2008 la empresa Aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P opera el sistema de acueducto y alcantarillado urbano por concesión del municipio.

2.1.1.1. Almacenamiento

En la actualidad el municipio cuenta con dos zonas de almacenamiento ubicadas en la zona norte y centro, cada una dotada de un tanque semienterrado de 1000 m³ y un tanque elevado en concreto reforzado de 500 m³ (Plan departamental de aguas PDA, 2012).

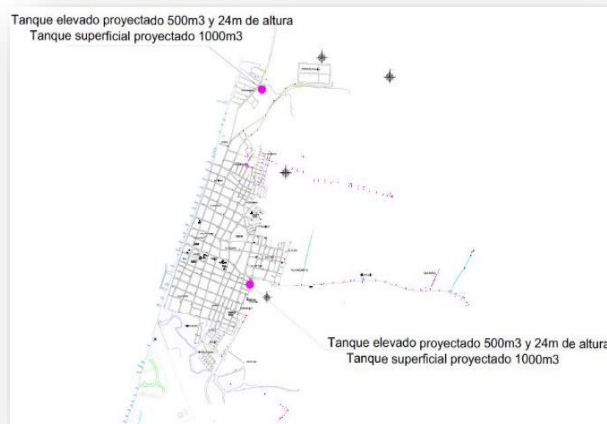


Figura 11 Ubicación tanques de almacenamiento

Fuente. PDA



Figura 12 Tanques elevado norte y centro y tanque semienterrado zona norte.

Fuente. Las autoras.

2.1.1.2. Subsistema de distribución

El sistema de acueducto en la cabecera municipal se divide en tres subsistemas: zona norte, zona centro y zona sur. La tabla 1 muestra las especificaciones de los pozos y la consolidación por cada zona.

Tabla 1 Especificaciones de pozos

Zona	Nombre	Capacidad	Profundidad	Diámetro	Nivel
que		de	m	Pulgadas	dinámico
atiende		producción			
		lps			
Zona	Pozo Guerrero	10	110	6	20
norte	Pozo San Silvestre	9	110	6	20
	Rancho alegre	11	84	10	26
	Zona	Pozo Don Antonio	20	91	8
Centro	Pozo Pradera	11	100	8	15
	Pasa Tiempo	10	95	6	26
Zona	Pozo Tolú	11	98	4 y 6	26
sur	Nuevo				
	Total	82			

Fuente. PDA⁸

Los siguientes esquemas presentan la forma de distribución de cada zona, así como el punto de recolección y de acopio de cada pozo:

⁸ (Plan departamental de aguas PDA, 2012)

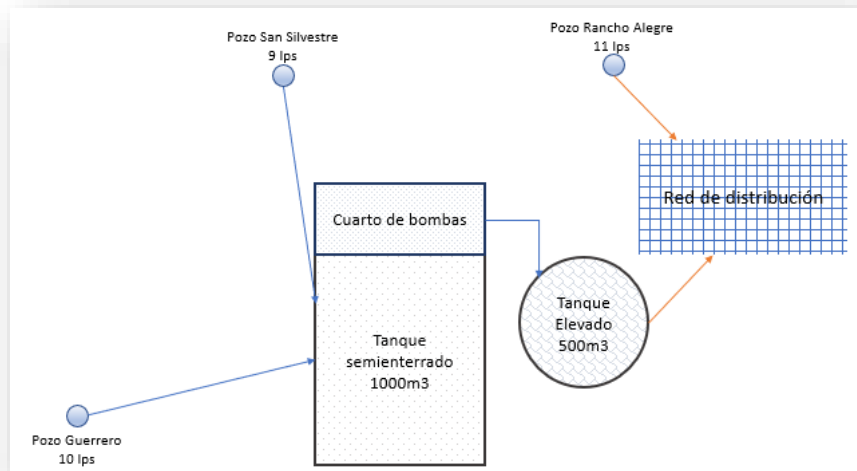


Figura 13 Esquema del sistema zona norte

Fuente: Autoras

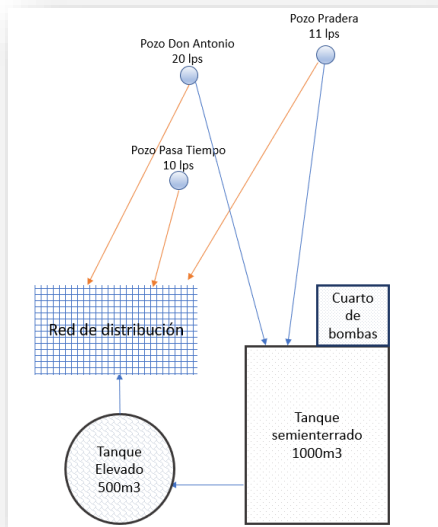


Figura 14 Esquema del sistema zona centro

Fuente: Autoras

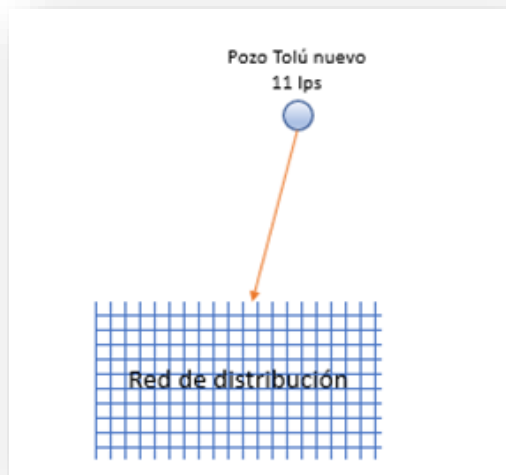


Figura 15 Esquema del sistema zona sur

Fuente: Autoras

2.1.1.3. Redes de distribución

El sistema de acueducto del municipio cuenta con un par de conjuntos de tanques de almacenamiento, superficial y elevado, como ya se informó, siendo ello un equipamiento necesario para almacenar el agua abastecida. Sin embargo, se hace bombeo directo a la red de distribución desde 5 de los 7 pozos de captación, incumpliendo con ello la normativa vigente⁹ y ocasionando tropiezos para realizar los monitoreos de control de la calidad de agua suministrada a los usuarios.

El sistema de distribución es por redes y está conformado por 45.140 metros lineales de tubería de 3", 6" y 8", tanto de asbesto-cemento como de PVC. De acuerdo con la información del concesionario operador del sistema en el área urbana municipal, Aguas de Morrosquillo S.A E.S.P,

⁹ (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

la composición por material de las tuberías de las redes, en asbesto-cemento y en PVC, por zona, respectivamente es de: centro: 15% y 85%; norte: 50% y 50%, y en la zona sur: 30% y 70%.

El agua distribuida a los usuarios tiene una calidad que es resultado de la mezcla de aguas de varios pozos, con calidades de aguas diferentes. Por ejemplo, para la zona norte como para la zona centro, por falta de sectorización técnica con válvulas específicas, el flujo en el sistema de aducción y de distribución se produce, tanto por las presiones provenientes de la energía por bombeo que lo impulsa desde los pozos, como por las diferencias topográficas leves entre los nudos y tramos correspondientes a las líneas y a las redes del sistema. En la zona sur la aducción bombeada es entregada directamente a la red de distribución desde el Pozo *Tolú Nuevo*, el cual tiene aguas de calidad distinta a la de los otros 6 pozos. También por aducción bombeada directamente del pozo se distribuye agua captada desde el pozo *Rancho Alegre*, al sector entre la zona centro y la zona norte. Por aducción bombeada directamente a red desde el pozo *Pasa tiempo*, y parcialmente desde los dos pozos *Don Antonio* y *Pradera*, se distribuyen aguas subterráneas mezcladas a los usuarios.

2.1.2. Índice de riesgo de calidad de agua para el consumo humano - IRCA

Se entiende por IRCA “*el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano*” (Ministerio de la protección social, 2007,p.8), donde se asignan puntajes a cada característica por el no cumplimiento de los valores aceptables, como se ilustra en la tabla 2. La sumatoria de estos puntajes registra un 100%.

Tabla 2 Puntaje de riesgo

Características	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al³⁺)	3
Fluoruros	1

COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntaje asignado	100

Fuente. Ministerio de protección social y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Cuando registra un valor de cero (0) puntos significa que cumple con los valores más adecuados y por el contrario cuando registra un valor de (100) significa el más alto riesgo, es decir, que no cumple con los parámetros establecidos por la norma.

Para el cálculo del índice de riesgo de la calidad de agua para el consumo humano, se hace uso de la siguiente formula:

El IRCA por muestra:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

2.1.2.1. Clasificación del nivel de riesgo

Partiendo de los resultados obtenidos a través de la fórmula enunciada anteriormente, se define la clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para las personas de acuerdo con los rangos asignados en la norma, señalando consecuentemente las acciones que debe implementar la autoridad sanitaria competente¹⁰, como se muestra en la tabla 3:

¹⁰ (Ministerio de la protección social; Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007,p.8)

Tabla 3 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)
80.1-100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.
35.1-80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD.
14.1-35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y Gobernador.
5.1-14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.
0-5	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia.

Fuente. Ministerio de protección social y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

2.2. Marco legal

Un acuífero se entiende como una unidad de roca o sedimento capaz de almacenar y transmitir agua. Es un sistema que involucra las zonas de recarga, tránsito y descarga de agua, así como sus interacciones con otros acuíferos, con las aguas superficiales y con las aguas marinas (Ministerio de Medio Ambiente, 2002). La Constitución Política Colombiana de 1991, marcó una nueva época para la Sociedad Colombiana, al establecer en sus artículos 79 y 80, que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y es deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución¹¹.

El Ministerio de Medio Ambiente, creado mediante la Ley 99 de 1993, consagra entre sus lineamientos que abastecer de agua potable a una comunidad es una actividad productiva y al realizarse en una franja costera, esta actividad debe desarrollarse en el marco de unos lineamientos ambientales que estén sujetos a la Política Nacional del Manejo Integral de las Zonas Costeras.

La Resolución 0279 del 06 de abril de 2001, establece los parámetros para la legalización de las técnicas de aprovechamiento de las aguas subterráneas, como un principio de establecer su uso sostenible¹². Además, el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, (RAS-2017) representa la norma técnica para recomendar cumplimiento de requisitos, parámetros y procedimientos técnicos a seguir para la concepción, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de acueductos y potabilización de aguas con tal de garantizar su seguridad, durabilidad y funcionalidad¹³. El decreto 605 de 1996

¹¹ (Constitucion politica de Colombia, 1991)

¹² (CARSUCRE, 2001)

¹³ (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

al igual que el decreto 1700 de 1989 establecen la potabilización y suministro de agua para consumo humano y crea la comisión de agua potable para estudiar los parámetros.

El agua es un compuesto vital para la subsistencia humana y por lo tanto debe cumplir con todas las disposiciones legales existentes antes de ser suministrada a la población. En este sentido el decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 determina las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Uno de los objetivos específicos de la investigación fue identificar a partir de los actores y la información suministrada por las autoridades, si se cumple con los estándares que la norma señala para el tratamiento y suministro del agua en el núcleo densamente poblado del municipio de Santiago de Tolú.

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo se enmarca en la línea de investigación acción colectiva para el manejo de recursos naturales de la maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Javeriana. Se busca identificar la percepción de los diferentes actores en el municipio de Santiago de Tolú frente al suministro y calidad del agua potable, y los datos obtenidos a través de los entes de control, para establecer lineamientos que garanticen el buen uso del ACM. El desarrollo del trabajo de grado se encuentra enmarcado en el concepto de investigación de carácter cualitativo y documental.

La metodología utilizada incluyó: el diseño y la aplicación de una encuesta a los usuarios del sistema de acueducto del municipio, asentados en el núcleo urbano densamente poblado, así como la revisión de fuentes secundarias, la evaluación de los resultados de calidad del agua abastecida y distribuida, la evaluación de riesgos a la salud por el consumo del agua, el cálculo del Índice de Riesgo IRCA, la elaboración de resultados de las encuestas, la elaboración de los mapas de

zonificación de resultados de calidad de agua presente en los componentes del sistema de acueducto: pozos - fuente de abastecimiento, redes de distribución y viviendas, la elaboración de mapa de zonificación de uso y calidad del recurso agua, la compilación y análisis de resultados y finalmente la construcción de conclusiones y recomendaciones.

3.1. Fases

La investigación se llevó a cabo mediante las siguientes fases:

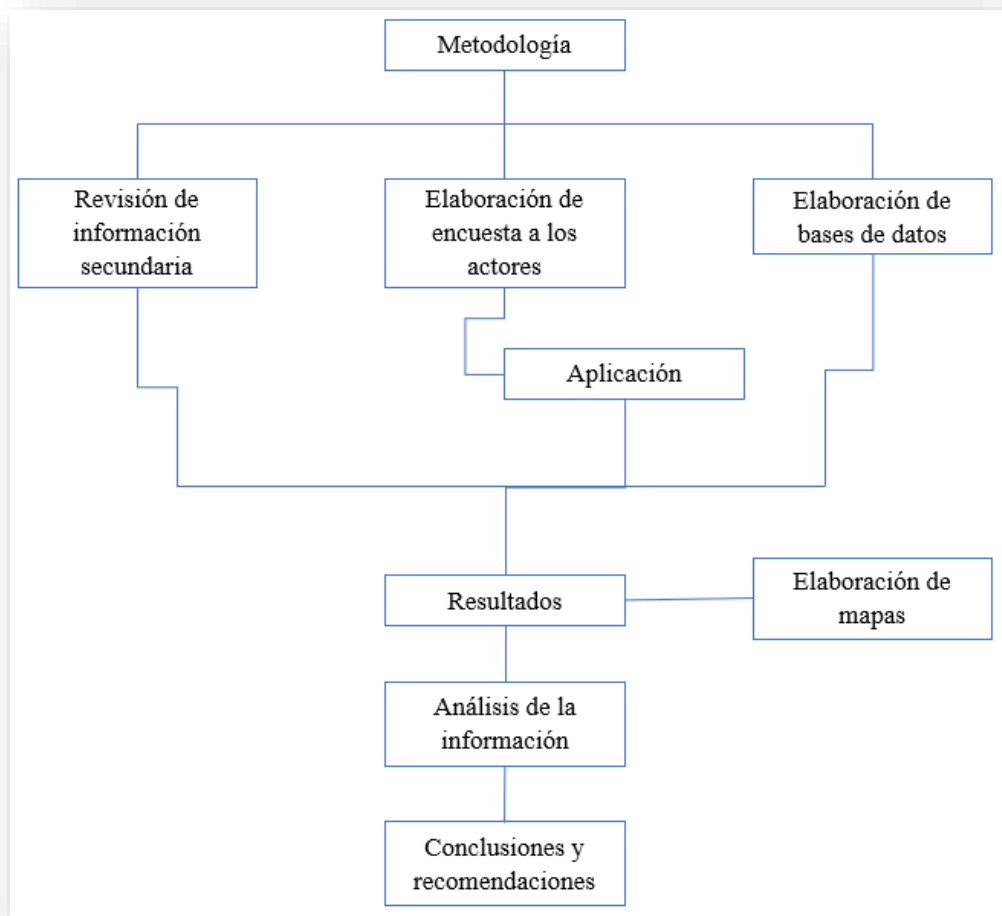


Figura 16 Esquema de fases metodológicas

3.1.1. Revisión de información secundaria

Se realizó una revisión exhaustiva de los antecedentes y fundamentos de la temática del marco conceptual y legal para iniciar la redacción del estado del arte y del diseño metodológico.

3.1.2. Realización e implementación de encuesta

Se efectuó una encuesta para evidenciar la percepción de los actores, su conocimiento sobre el suministro recibido, la frecuencia, los usos, la calidad, la cantidad, los puntos de extracción o pozos y la normativa vigente.

El tamaño de la muestra poblacional de usuarios a encuestar se determinó mediante la aplicación del método muestreo aleatorio simple, aplicado en el área del núcleo urbano densamente poblado. Se partió de la densidad poblacional identificada por los censos DANE como 5.5 hab./vivienda en este municipio, tomando una vivienda como unidad de usuario del sistema de acueducto. El método se aplicó con las características particulares siguientes: margen de error 2% (asumido), nivel de confianza 90%. Se trató de determinar qué rango de la población consume agua potable de calidad, y por ello la hipótesis planteada en la investigación es que se desconoce esa cobertura. Así el método se aplica para probabilidades de 50% en los dos escenarios de ocurrencia ($p=0.5$; $q=0.5$).

3.1.3. Recolección de datos de diferentes entidades y generación de base de datos

Se envió un comunicado a todas las entidades del sector público y/o privado, CARSUCRE, DASSALUD, Aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P, alcaldía municipal, Plan Departamental de Aguas y demás entes pertinentes, solicitando documentos referentes a la calidad de agua, información y distribución de los pozos que abastecen al acueducto, y sobre el estado de operación de este sistema.

Una vez entregada la información por parte de DASSALUD sobre los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua en los diferentes puntos de muestreo del área de investigación, se hace uso del paquete de Microsoft Office (Excel), para realizar la clasificación según las zonas de muestreos y se toman aquellos ensayos que tengan más de nueve (9) parámetros evaluados para calcular el índice IRCA. Este ejercicio se realiza para los años desde 2011 a 2017, para establecer un récord de registros a lo largo del tiempo, tratando de evaluar la evolución temporo-espacial. Al igual que los datos entregados de las diferentes enfermedades y patologías que se han presentado el núcleo densamente poblado a raíz del suministro.

3.1.4. Elaboración de mapas

Al organizar y recopilar la información se hizo uso del programa de georreferenciación ArcGIS para la construcción de mapas de zonificación de las fuentes de abastecimiento, zonificación de la calidad de agua y localización de los puntos de muestreo. Además, se construyeron mapas de la zonificación de los resultados de la encuesta, referentes al uso y calidad del agua distribuida por el sistema de acueducto.

3.1.5. Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero

Para establecer los lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto se consideraron los escenarios de cantidad de agua y de calidad de agua, en los componentes básicos de la fuente de abastecimiento por captación mediante pozos profundos, aducción o conducción, almacenamiento mediante tanques superficiales y bombeo a tanques elevados y red de distribución.

3.1.5.1. Cantidad de Agua en el sistema de acueducto.

Este procedimiento se estableció en cumplimiento del reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, vigente (RAS 2017 Resolución 0330 de junio 08 de 2017 MVCyT), específicamente, en su Secciones 1 a 5, sobre los sistemas de abastecimiento, captación, de transporte y distribución, de estructuras complementarias y de puesta en marcha, operación y mantenimiento de acueductos en Colombia.

Se ha procedido aplicando las recomendaciones técnicas establecidas en los artículos 40, 43, 51, 52,56, 57, 58, 59, 60, 61,62, 63, 64, 73, 75,76, 78,79,80, 83 ,85, 86 y 90 de dicha norma.

3.1.5.2. Calidad de Agua en el sistema de acueducto.

Se ha procedido acogiendo los señalamientos establecidos en la resolución 2115, vigente, de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, año 2007, en sus capítulos I a IV fundamentalmente.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Encuesta

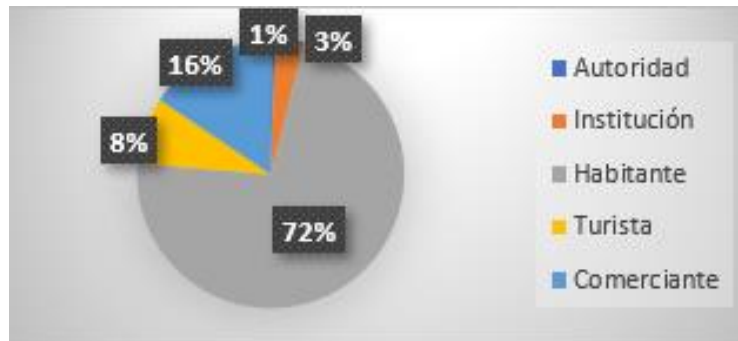
Para la realización de la encuesta se utilizó el método aleatorio simple. La aplicación del método determinó un tamaño muestral de 346 usuarios, conformados por 250 viviendas (usuarios domésticos), 12 institucionales, 2 autoridades locales, 28 turistas (población flotante) y 54 usuarios comerciales. La ecuación del método seleccionado es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 p q}{E^2} = 1691 \text{ personas}$$

En el área de investigación la densidad poblacional, con base en censos DANE en el municipio, se estima entre 4.8 y 5.0 habitantes /vivienda. Por lo tanto, el resultado de usuarios a encuestar es de trescientos cuarenta y seis (346).

$$\frac{1691}{4.9} = 346 \text{ usuarios}$$

En ella se realizaron un total de ocho (8) preguntas, donde la primera pregunta se enfocó en determinar qué tipo de usuario se estaba encuestando. El resultado arrojado en la encuesta se representa en la siguiente gráfica:

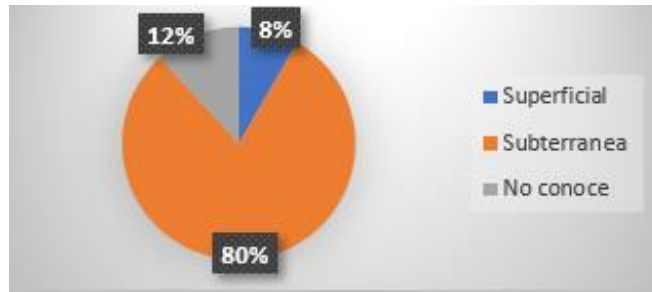


Gráfica 1 Fuente de captación

Estos resultados permitieron determinar que el 72% de la población encuestada fueron habitantes; un 16% correspondió a comerciantes; un porcentaje del 8% correspondió a turistas; un 3% correspondió a instituciones y finalmente un 1% a autoridades.

Para el caso de la segunda pregunta se buscó saber si la población conocía la fuente de captación de agua del municipio, donde se reflejaron las siguientes respuestas presentadas por la gráfica No.

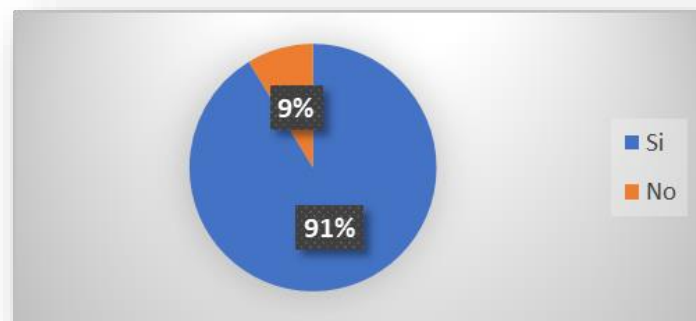
2:



Grafica 2 Fuente de captación

Así pues, un 80% tiene claro que la fuente de captación de agua potable del municipio proviene de agua subterránea, un 12% no tiene conocimiento de donde proviene y un 8% presume que proviene de agua superficial.

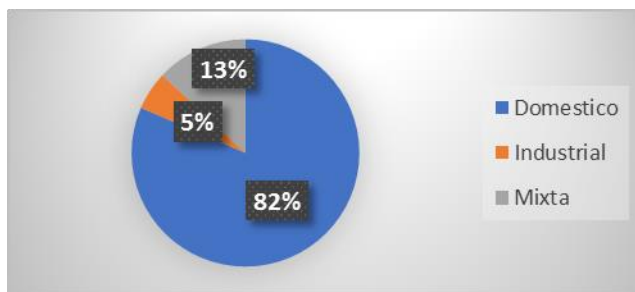
En la tercera pregunta se pretendió identificar si la persona encuestada se abastecía del suministro de agua potable del municipio, donde se evidenció que:



Grafica 3 Abastecimiento del acueducto

El 91% de la población encuestada que se encuentra en la zona urbana densamente poblada se abastecen del sistema de acueducto municipal y un 9% restante de los encuestados no se abastecen de este.

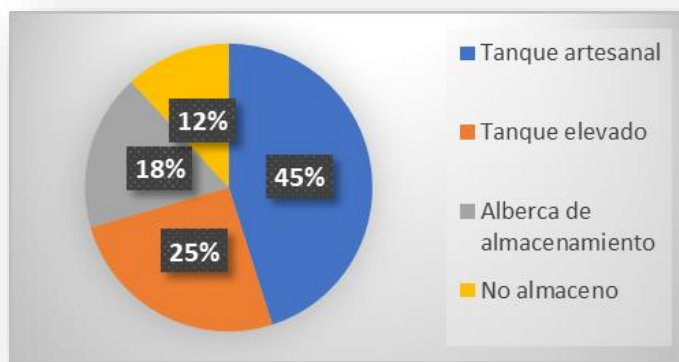
En la cuarta pregunta se buscó conocer los usos del agua suministrada.



Grafica 4 Usos del agua

Esta grafica refleja que el 82% de la población encuestada utiliza el agua para uso doméstico, un 5% industrial y el 13% restante, le da un uso mixto.

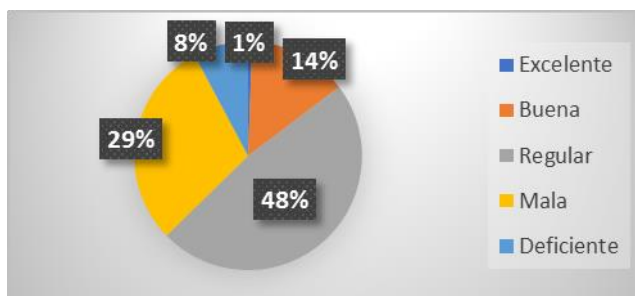
En la siguiente pregunta se buscó conocer el esquema de almacenamiento, donde se reflejó:



Grafica 5 Medio de almacenamiento

Que un 45% almacena en tanques artesanales, un 25% en tanques elevados, un 18% en albercas de almacenamiento y un 12% no almacena.

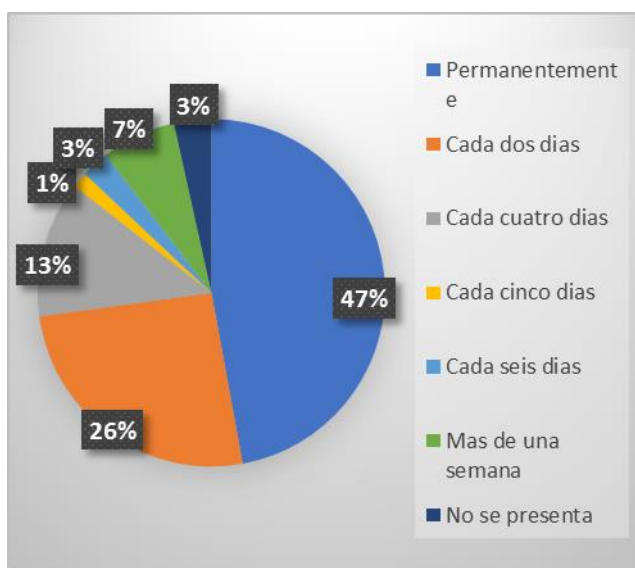
Para la sexta pregunta se buscó conocer como evaluaban la calidad del agua



Grafica 6 Calidad de agua

El 48% de los encuestados coincidieron en que la calidad del agua suministrada por el sistema de acueducto municipal es regular, el 29% consideran que es mala, el 14% la califica como buena, el 8% de los encuestados considera la calidad del agua como deficiente y el 1% restante la considera excelente.

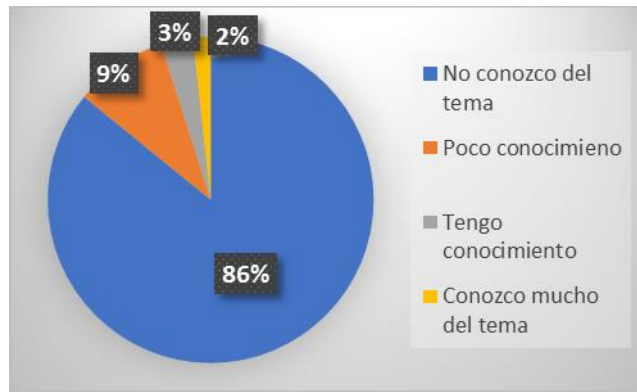
Para la séptima pregunta se buscaba conocer la frecuencia del servicio, lo cual arrojó:



Grafica 7 Frecuencia del agua

El 47% de los encuestados gozan del servicio de manera permanente, el 26% cada dos días, el 13% cada cuatro días, el 7% de los encuestados tarda en llegar el servicio más de una semana, un 3% les llega cada cinco días y al 3% restante no le prestan el servicio.

En la última pregunta se buscó determinar que tanto conocimiento tiene la población sobre lo establecido en la legislación colombiana vigente sobre el suministro de agua potable.



Grafica 8 Conocimiento de legislación

Se evidencia que el 86% de los encuestados tiene completo desconocimiento de lo que establece la legislación colombiana en materia de agua potable, que un 9% considera tener poco conocimiento del tema, un 3% manifiesta tener conocimiento y un 2% considera conocer mucho del tema.

A partir de estos datos, se zonifican los resultados de las encuestas referentes a la calidad y usos del agua en el núcleo densamente poblado del municipio.

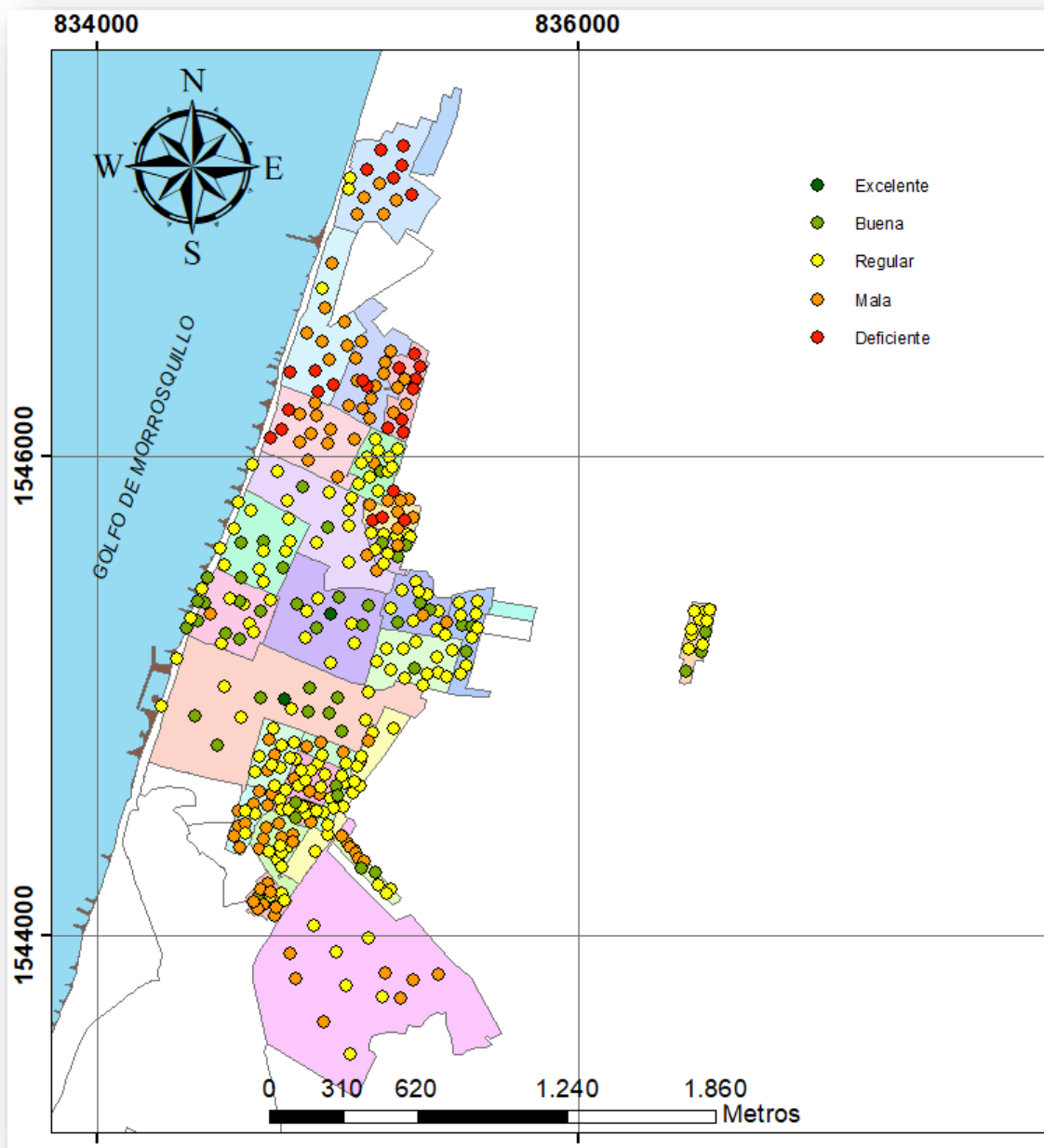


Figura 17 Encuesta zonificación en sectores de distribución – calidad

Se observa la distribución geográfica de los resultados obtenidos durante la aplicación de la encuesta, identificando en un mayor porcentaje puntos amarillos que corresponde a los habitantes que respondieron que la calidad de agua suministrada es regular, continuando con los puntos de

color rojo y naranja, reflejando una calidad deficiente y mala respectivamente, y por último se categorizan los resultados buenos expuesto por los habitantes.

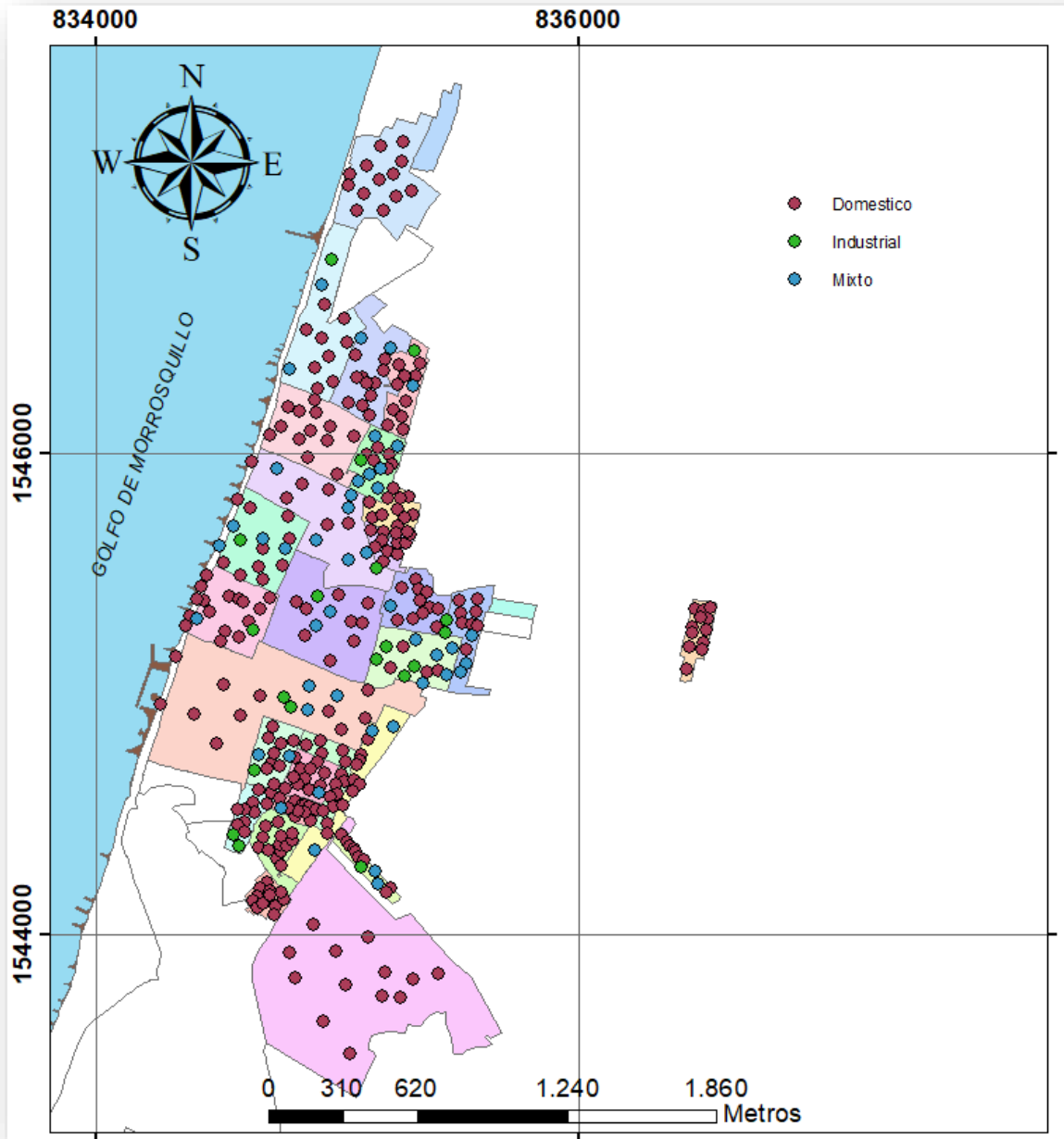


Figura 18 Encuesta zonificación en sectores de distribución – usos

En la Figura 18 se observa el uso que le dan los habitantes al agua suministrada, reflejando en su mayoría que el uso primordial es domestico identificado con el color rojizo.

4.1.2. Caracterización de las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.

Dentro de las principales causas de morbilidad que mayor incidencia han tenido sobre la población del municipio, se encuentran las enfermedades respiratorias agudas -IRA y las enfermedades diarreicas agudas -EDA, debido al agua suministrada por el acueducto. Se puede observar en la tabla 4 las principales causas de morbilidad (Alcaldia de Santiago de Tolú, 2008).

Tabla 4 Diez primeras causas de morbilidad - año 2007

Diez primeras causas de morbilidad - año 2007		
Eventos	Numero	%
Infecciones respiratorias agudas	6938	34,16%
Enfermedades diarreicas	2104	10,36%
Enfermedades del sistema urinario	3149	15,50%
Parasitosis	2210	10,88%
Caries dental	1602	7,89%
Cefalea	1276	6,28%
Hipertensión	914	4,50%
Síndrome febril	786	3,87%
Dolor en articulaciones	754	3,71%
Amebiasis	580	2,86%

Total	20313	100,00%
--------------	--------------	----------------

Fuente. ESE Hospital 1° nivel¹⁴.

Con base en las enfermedades o patologías endémicas reportadas por DASSALUD para el año 2017, relacionadas directamente con el consumo histórico de agua no potable suministrada por el sistema de acueducto municipal, se pudo consolidar la información sobre los principales motivos de consultas médicas de la población, así como ingresos por urgencias y motivo de hospitalizaciones, lo cual se expresó en la siguiente tabla:

Tabla 5 Enfermedades municipio de Santiago de Tolú - año 2017

	Número	Porcentaje
	Personas	
	Atendidas	
Consultas		
Total, consultas		
a061 - amebiasis intestinal crónica	8	0,14%
a067 - amebiasis cutánea	1	0,02%
a069 - amebiasis, no especificada	19	0,34%
a09x - diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	411	7,32%
b54x - paludismo [malaria] no especificado	1	0,02%
b829 - parasitosis intestinal, sin otra especificación	494	8,80%
g441 - cefalea vascular, ncop	7	0,12%
g442 - cefalea debida a tensión	59	1,05%

¹⁴ (Alcaldia de Santiago de Tolú, 2008)

g443 - cefalea postraumática crónica	17	0,30%
g448 - otros síndromes de cefalea especificados	27	0,48%
i10x - hipertensión esencial (primaria)	1.751	31,20%
i150 - hipertensión renovascular	1	0,02%
i158 - otros tipos de hipertensión secundaria	2	0,04%
i159 - hipertensión secundaria, no especificada	2	0,04%
i270 - hipertensión pulmonar primaria	4	0,07%
k028 - otras caries dentales	7	0,12%
k029 - caries dental, no especificada	511	9,10%
k580 - síndrome del colon irritable con diarrea	13	0,23%
k589 - síndrome del colon irritable sin diarrea	115	2,05%
k591 - diarrea funcional	88	1,57%
n220 - litiasis urinaria en esquistosomiasis [bilharziasis] (b65.- †)	2	0,04%
r030 - lectura elevada de la presión sanguínea, sin diagnóstico de hipertensión	38	0,68%
r509 - fiebre, no especificada	1.210	21,56%
r51x – cefalea	825	14,70%
Total, consultas	5.613	
Urgencias		
a069 - amebiasis, no especificada	1	0,04%
a09x - diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	499	18,57%
b829 - parasitosis intestinal, sin otra especificación	1	0,04%

g442 - cefalea debida a tensión	17	0,63%
g443 - cefalea postraumática crónica	1	0,04%
g448 - otros síndromes de cefalea especificados	2	0,07%
i10x - hipertensión esencial (primaria)	330	12,28%
i158 - otros tipos de hipertensión secundaria	1	0,04%
i159 - hipertensión secundaria, no especificada	1	0,04%
i270 - hipertensión pulmonar primaria	1	0,04%
k589 - síndrome del colon irritable sin diarrea	10	0,37%
k591 - diarrea funcional	31	1,15%
n220 - litiasis urinaria en esquistosomiasis [bilharziasis] (b65.-	1	0,04%
†)		
r030 - lectura elevada de la presión sanguínea, sin diagnóstico	1	0,04%
de hipertensión		
r509 - fiebre, no especificada	1.353	50,35%
r51x – cefalea	437	16,26%
Total, urgencias	2.687	

Hospitalizaciones

a09x - diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	6	1,25%
g442 - cefalea debida a tensión	2	0,42%
i10x - hipertensión esencial (primaria)	18	3,76%
i150 - hipertensión renovascular	1	0,21%
i159 - hipertensión secundaria, no especificada	2	0,42%
r509 - fiebre, no especificada	444	92,69%

r51x – cefalea	6	1,25%
Total, hospitalizaciones	479	
Total, general	8.779	

Fuente. DASSALUD

4.1.3. Índice de riesgo de calidad de agua – IRCA

En el casco urbano densamente poblado del municipio, la secretaria de salud departamental de Sucre (DASSALUD) ha establecido unos puntos de muestreo para determinar la calidad del agua suministrada a la población. Para la investigación se tomaron ocho (8) de ellos para obtener el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), seleccionándose muestras desde el año 2011 hasta el año 2017, en los cuales se identificaron los siguientes índices por punto:

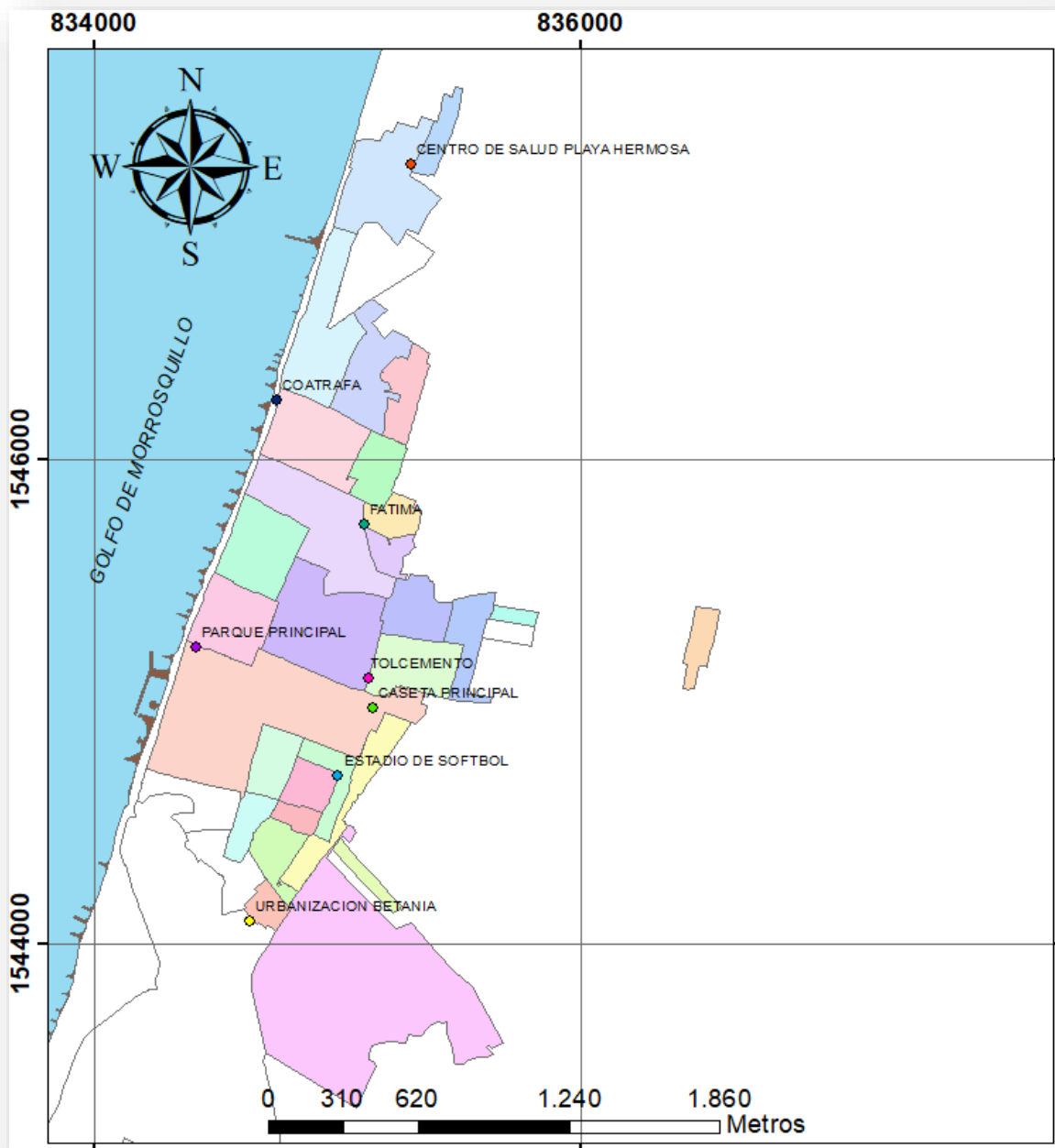
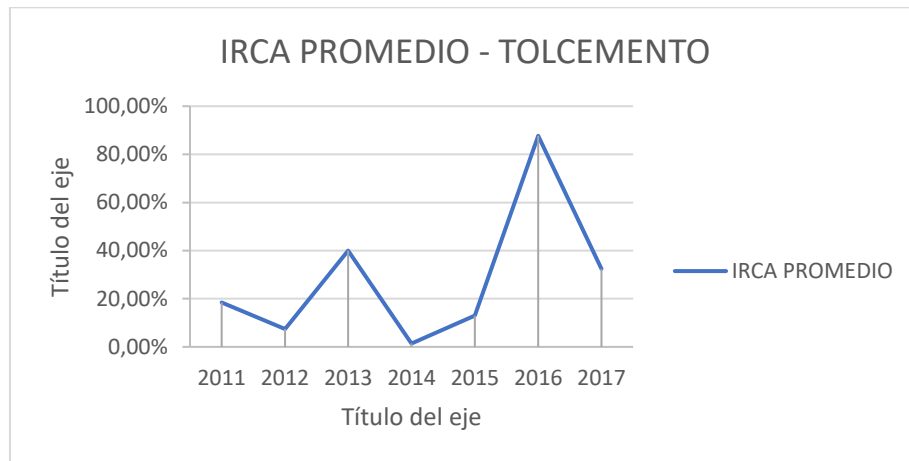


Figura 19 Localización de puntos de muestreos en zonas de distribución

En el punto de muestreo ubicado en la carrera 9 con calle 16 esquina, llamado Tolcemento se determinó que para el año 2011 el IRCA promedio fue del 18.43% equivalente a un nivel de riesgo medio. Para el año 2012 el IRCA promedio se evaluó en 7.41% equivalente a un nivel de riesgo

bajo; en el año 2013 el IRCA promedio de 40.00% indicando un nivel de riesgo alto; para el año 2014 se registró un promedio de 1.40% dando como resultado un nivel sin riesgo. El año 2015 arrojó un promedio del IRCA de 13.02% indicando un riesgo medio; el año 2016, da un promedio de 87.02% del IRCA, clasificándolo como inviable sanitariamente, y para el año 2017 arrojó un promedio de 34.40% indicando un nivel de riesgo medio.



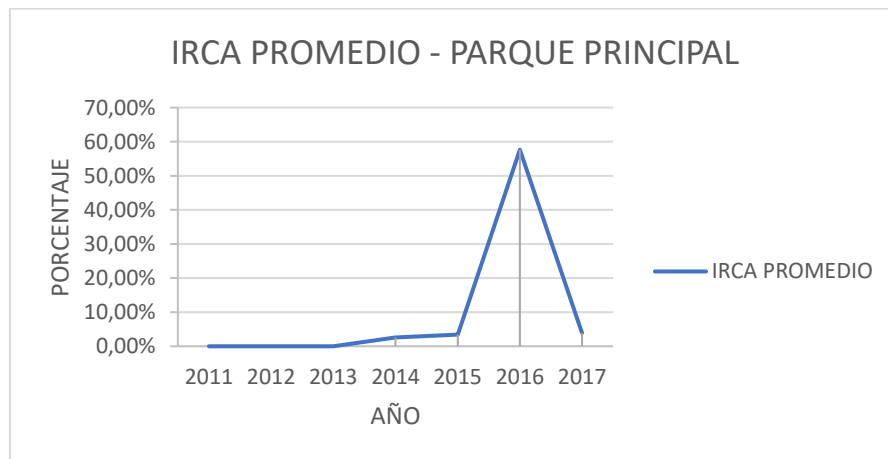
Grafica 9 IRCA promedio Tolcemento

En el punto ubicado en la calle 10 con carrera 9 esquina llamado estadio de softbol, se determinaron como resultados los siguientes datos: en el año 2011, un IRCA promedio de 8.24% con un nivel de riesgo bajo; en el año 2012 un IRCA promedio de 0.00% dando como resultado sin de riesgo. Para el año 2013 da un IRCA promedio de 66.67%, dando como resultado un nivel de riesgo alto; en los años 2014 y 2015 se determina un IRCA promedio de 16.59% y 18.36 respectivamente, determinando un nivel de riesgo medio; en el año 2016 el IRCA arroja un resultado 41.16% indicando un riesgo alto.



Grafica 10 IRCA promedio estadio de softbol

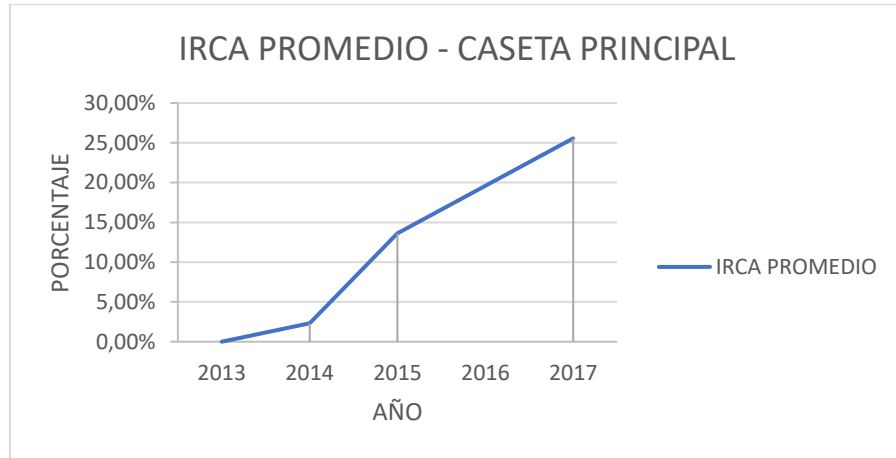
En el punto ubicado en la calle 14 entre carrera 1 y 2, llamado parque principal, arrojó como resultado en los años 2011, 2012, y 2013 un IRCA promedio de 0.00% lo que significa que no hubo riesgos; para los años 2014, 2015 y 2017 el IRCA promedio se evaluó en un porcentaje de 2.62%, 3.46% y 3.88% respectivamente, equivalente de igual forma a no encontrarse riesgo. Y para el año 2016 el IRCA promedio dio un porcentaje de 57.64% con un nivel de riesgo alto.



Grafica 11 IRCA promedio parque principal

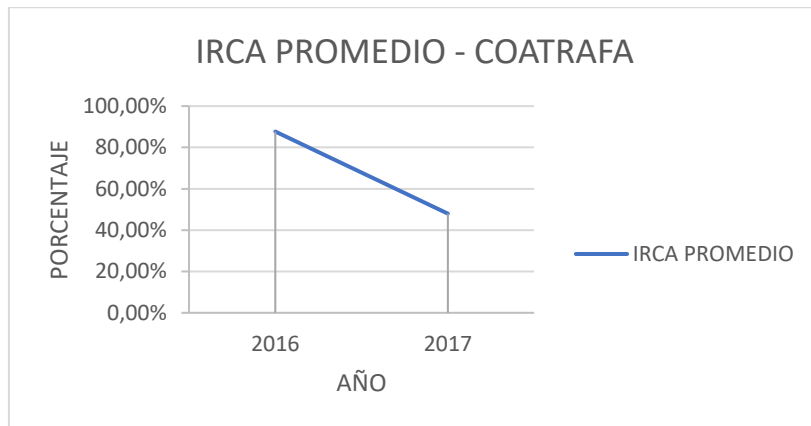
Para el punto de muestreo ubicado en la calle 14 entre carrera 9 y 10 denominado caseta principal, el IRCA promedio para el año 2013 indico un 0.00% y para el 2014 un porcentaje de

2.31%, indicando que no existe riesgos para esos años. En 2015 el IRCA promedio se registró en 13.63%, indicando nivel de riesgo bajo y el año 2017 un porcentaje de 25.56% con un nivel de riesgo medio.



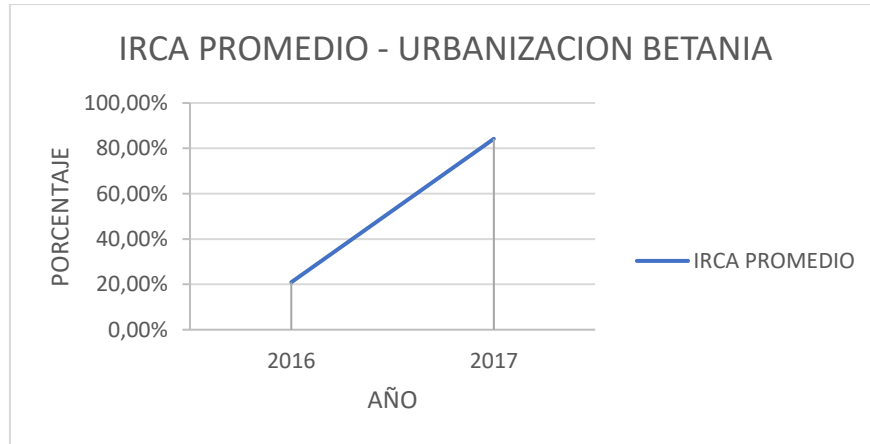
Grafica 12 IRCA promedio caseta principal

En el punto de muestreo ubicado en la carrera 1° entre calle 24 y 25, conocido con el nombre de Coatrafa, se obtuvo información de dos años: 2016, indicando en el IRCA promedio un porcentaje de 87.69% con un nivel de riesgo inviable sanitariamente y para el 2017 un promedio de 47.99%, indicando un nivel de riesgo alto



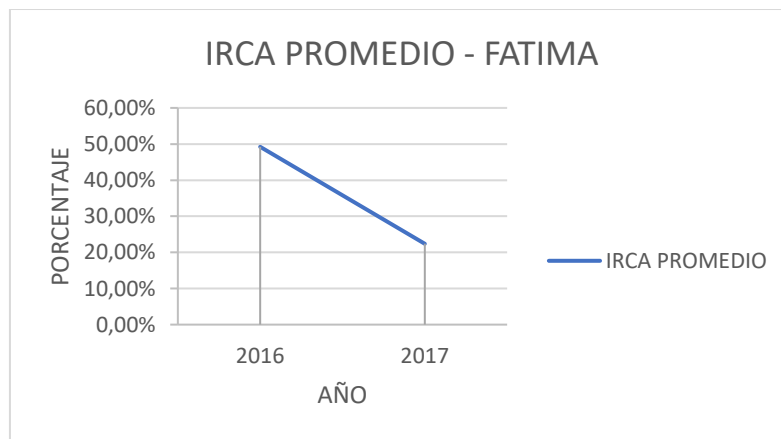
Grafica 13 IRCA promedio Coatrafa

En el punto de muestreo de la carrera 9 con calle 3, nombrado, Urbanización Betania, el año 2016 revelo un IRCA de 20.93% con un índice de riesgo medio y el año 2017 un porcentaje de 84.21% demostrando un nivel de riesgo inviable sanitariamente.



Grafica 14 IRCA promedio Urbanización Betania

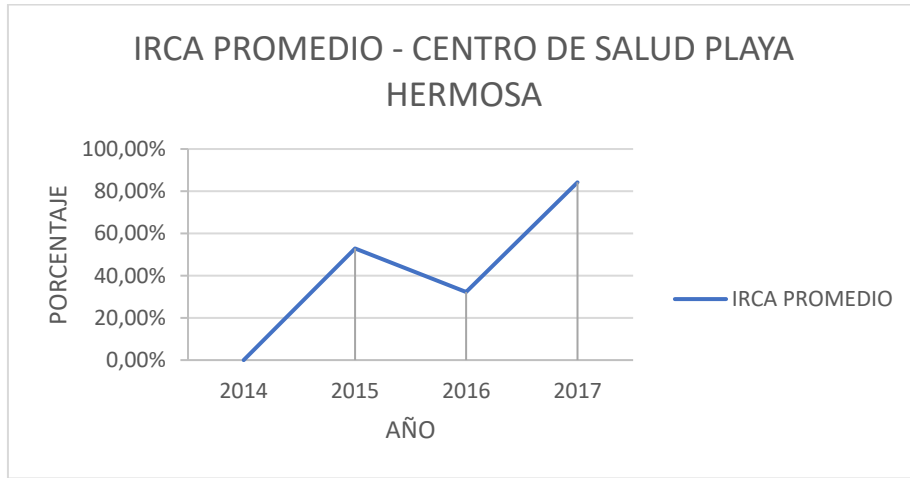
Para el punto de la carrera 6 entre calles 21 y 22, identificado como Fátima, el año 2016 y 2017 muestran un IRCA promedio de 49.23% y 22.38% respectivamente, con un nivel de riesgo alto.



Grafica 15 IRCA promedio Fátima

Finalmente, el punto de muestreo de la calle 32 con carrera 2ª vía al francés, centro de salud Playa Hermosa, presentó para el año 2014 un porcentaje del IRCA en 0.00% sin nivel de riesgo.

El 2015 un IRCA promedio de 52.88% con un alto de riesgo. El 2016 un IRCA de 32.27% con un riesgo medio y el 2017 un 84.21% de IRCA promedio, con riesgo inviable sanitariamente.



Grafica 16 IRCA promedio centro de salud Playa Hermosa

Habiéndose obtenido de esta manera un registro histórico en los puntos de muestreo por parte de DASSALUD desde el año 2011 a 2017, se procedió a realizar mapas de distribución de los puntos, pero se hace evidente dentro de los años 2011 a 2015 poca información. Los mapas resultados de estos se pueden ver en los Anexos 32 a 36. En el año 2016 y 2017 se encuentra la mayor cantidad de zonas muestreadas por lo cual se presenta un paralelo de estos años, las figuras 20 y 21.

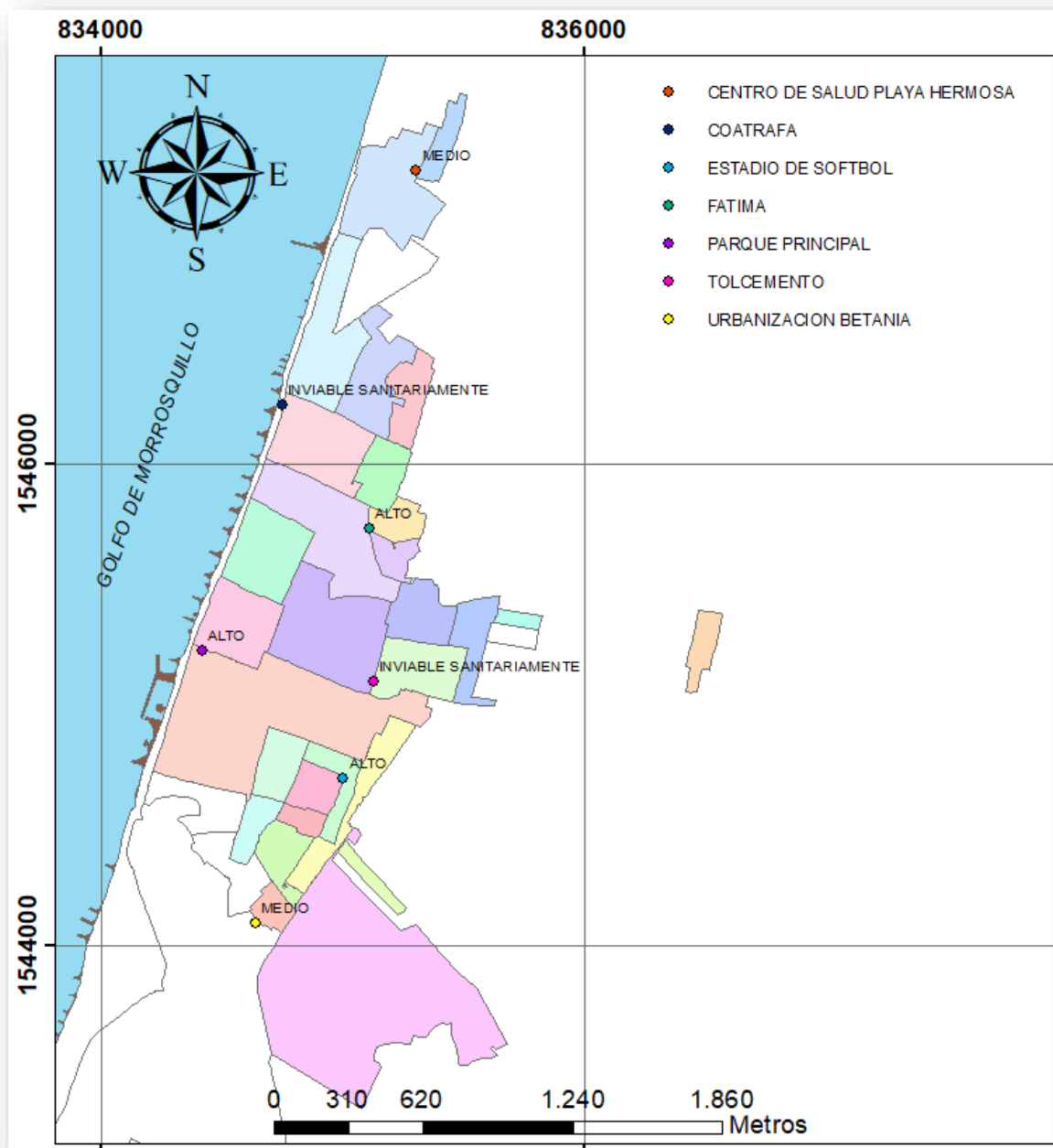


Figura 20 Puntos de muestreos IRCA 2016

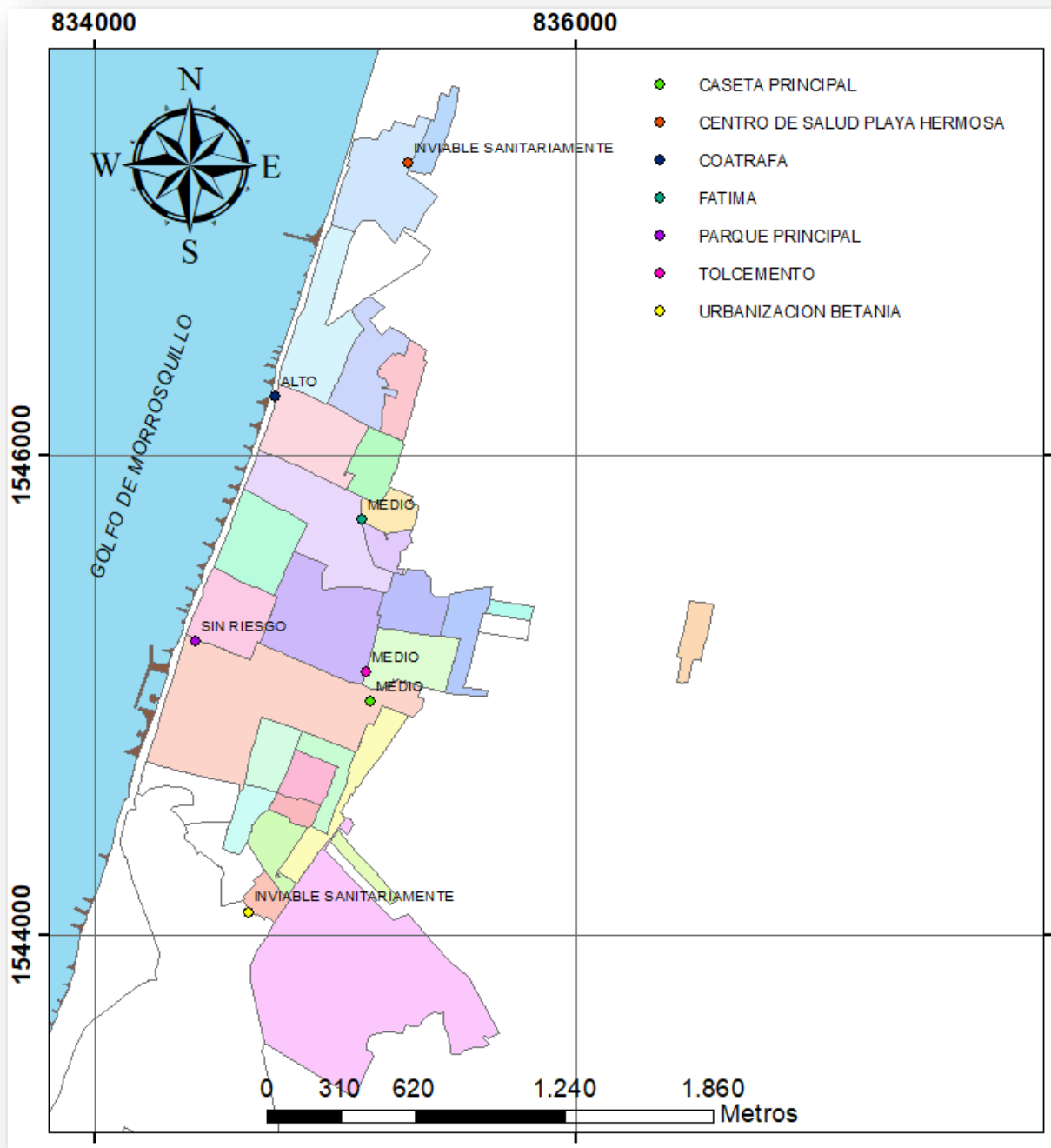


Figura 21 Puntos de muestreo IRCA 2017

4.1.3.1. Zonificación de abastecimiento de agua

Una vez realizadas las visitas al municipio de Santiago de Tolú se observó la ausencia de un mapa de zonificación de la distribución del suministro de agua de cada pozo por barrios, y se establece la necesidad de crearlo con ayuda de funcionarios de la empresa Aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P. como se observa en la siguiente figura.

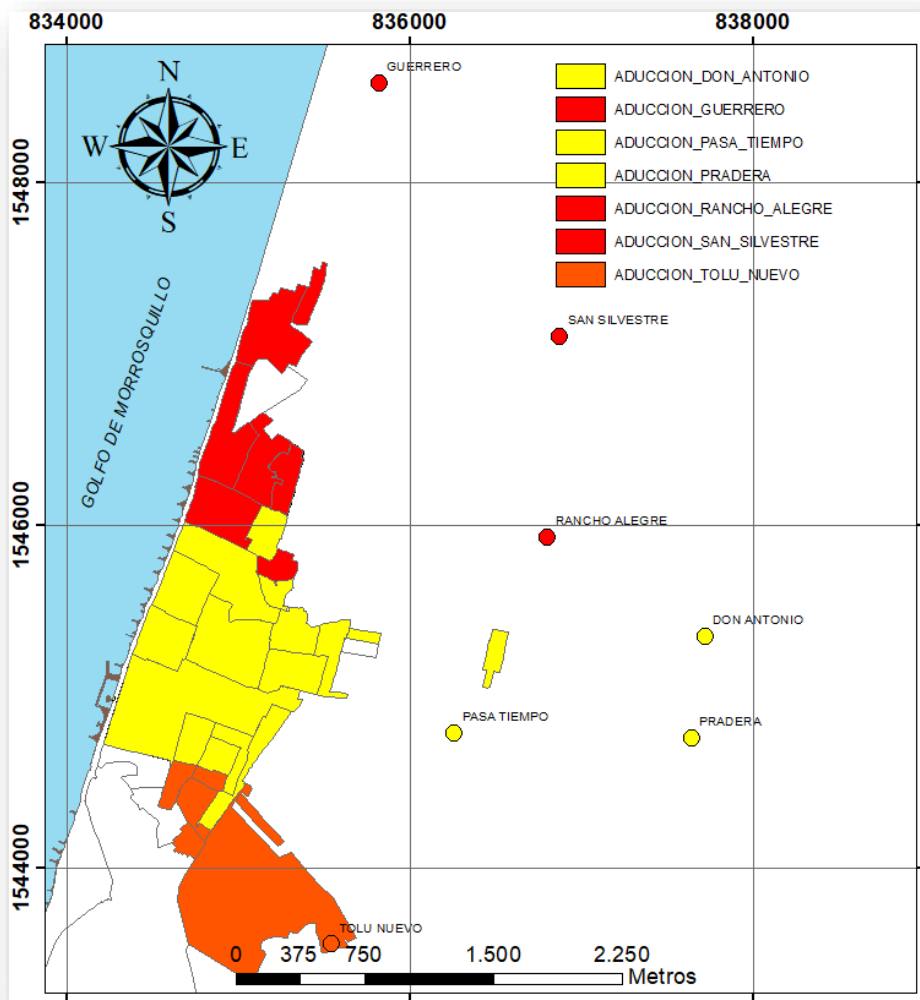


Figura 22 Zonificación de abastecimiento de agua

Para mejores especificaciones de los sectores que abastecen cada pozo se desglosa el plano anterior.

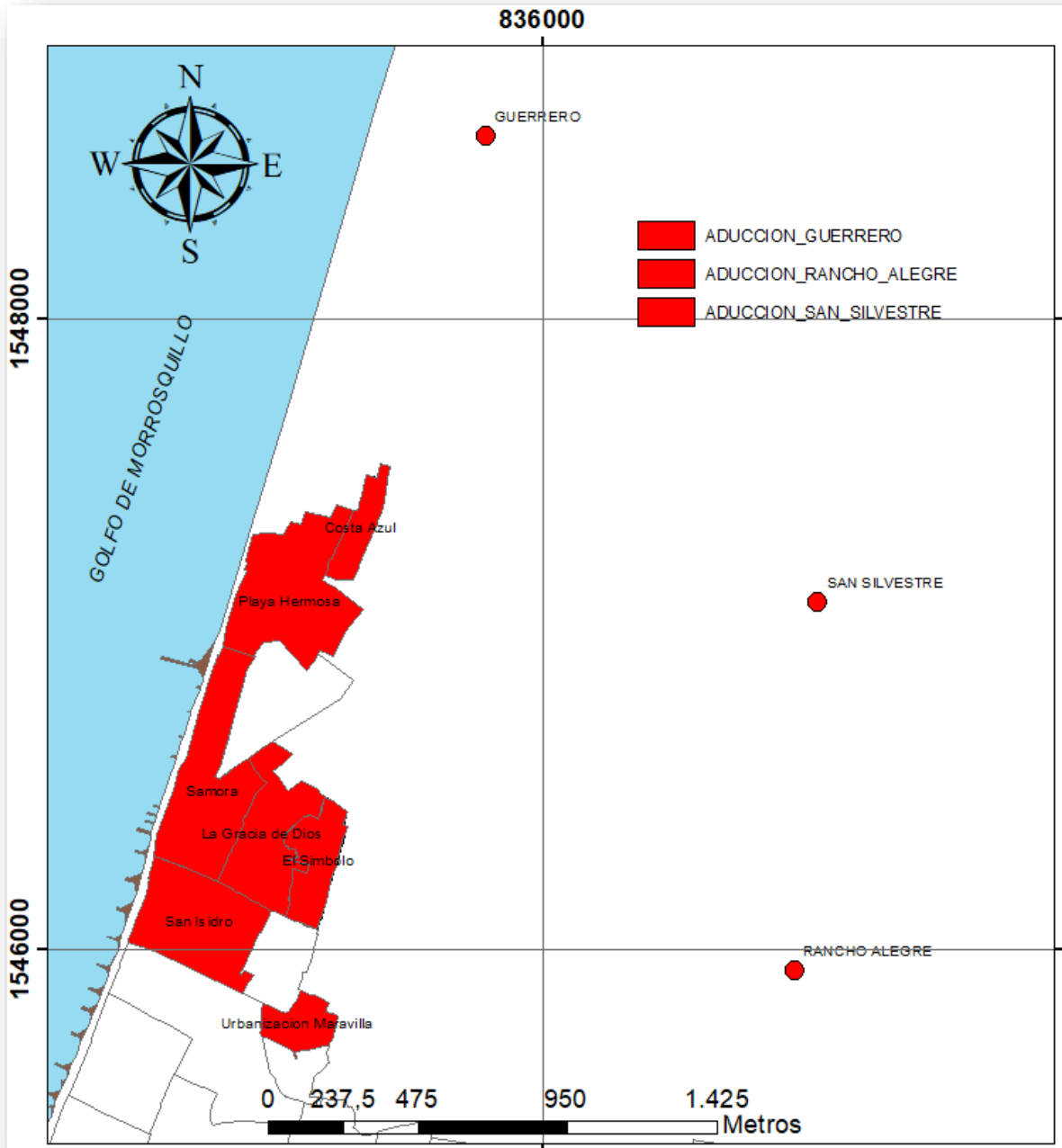


Figura 23 Zonificación de abastecimiento de agua zona norte

La zona norte se abastece por los pozos Guerrero, San Silvestre y Rancho Alegre, comprendiendo los barrios Costa Azul, Playa Hermosa, Samora, La Gracia de Dios, El Símbolo, San Isidro y Urbanización Maravilla.

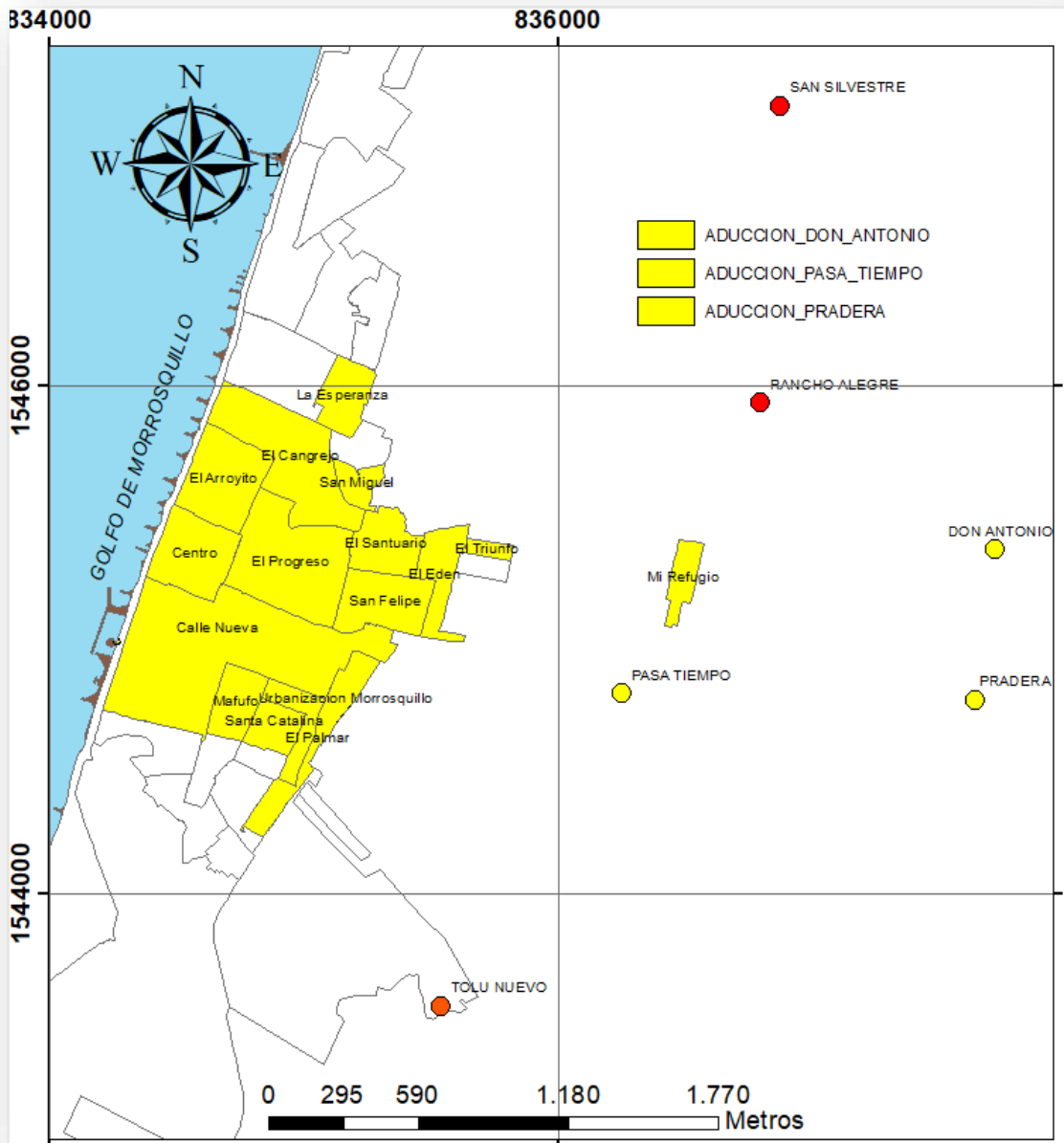


Figura 24 Zonificación de abastecimiento de agua zona centro

La zona centro es abastecida por los pozos Don Antonio, Pradera y Pasa Tiempo, abarcando los barrios La Esperanza, El Cangrejo, El Arroyito, Centro, Calle Nueva, Mafufo, Santa Catalina, Urbanización Morrosquillo, El Progreso, San Felipe, El Edén, El Santuario, El Palmar, Mi refugio y El Triunfo.

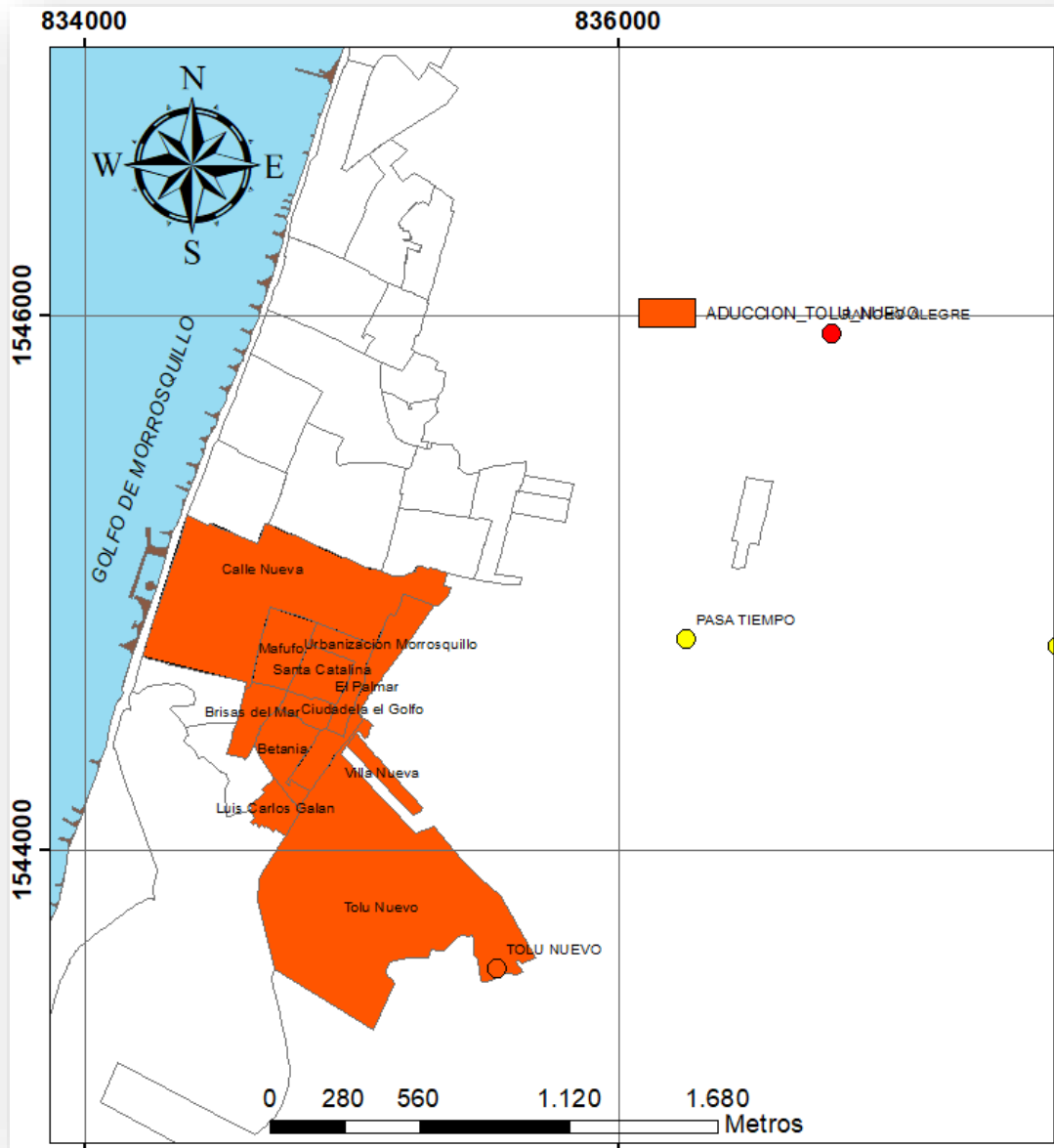


Figura 25 Zonificación de abastecimiento de agua zona sur

La zona sur es abastecida por el pozo Tolú Nuevo, incluyendo los barrios Tolú Nuevo, Brisas del Mar, Luis Carlos Galán, Urbanización Betania, Villa Nueva, Calle Nueva, Mafufo, Santa Catalina, Urbanización Morrosquillo, Ciudadela el Golfo y El Palmar.

La figura 26, ilustra los resultados obtenidos del cálculo del IRCA de cada uno de los pozos, Ver Anexos 17 al 23 proceso del cálculo.

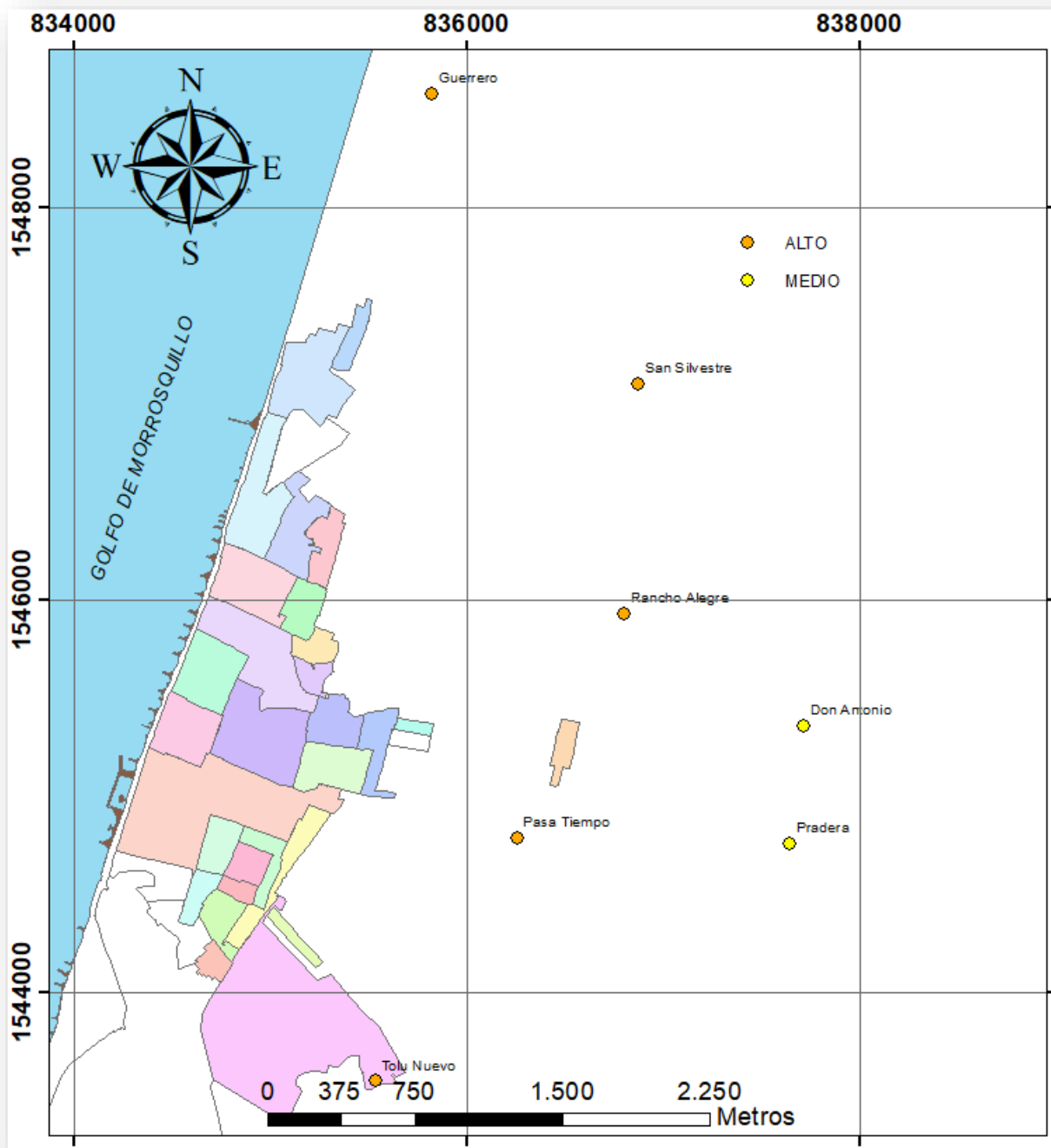


Figura 26 IRCA pozos

4.1.4. Acciones de las instituciones

Para la construcción de esta investigación, se hizo necesario la solicitud de información por parte de las distintas entidades en el departamento de Sucre. Como fruto de esta gestión investigativa se establecieron algunas acciones realizadas por parte de cada una de las entidades involucradas en el proceso de protección del ACM, como son:

CARSUCRE: Desarrolla un gran programa internacional, financiado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) denominado Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS) – acuífero Morrosquillo – (CARSUCRE, 2012), implementa dos veces al año seguimiento, monitoreo y control en cada una de las captaciones que incluyen chequeo de los niveles estáticos y dinámicos así como de caracterización fisicoquímica de la calidad de agua insitu; apoyo a investigaciones académicas principalmente en los últimos 10 (Universidad de Sucre, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Llanos – Venezuela).

DASSALUD: Realiza seguimiento y control por muestreo y ensayos en laboratorio, de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en puntos del núcleo urbano densamente poblado de Tolú, una vez por mes y realiza informes de las enfermedades registradas por afectación a los usuarios.

ALCALDIA MUNICIPAL: Realiza gestión de inversiones en la infraestructura del sistema de acueducto en pozos, almacenamiento y redes. Supervisa la labor administrativa y operativa del concesionario Aguas del Morrosquillo S.A. E.S.P. en la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.

PLAN DEPARTAMENTAL DE AGUAS (PDA): Requiere a la alcaldía municipal para que dé cumplimiento a las disposiciones de CARSUCRE sobre el manejo del acuífero. Gestión y construcción de dos (2) plantas de tratamiento de agua potable a partir de 2018, con el fin de establecer un consumo apto de acuerdo a normas.

AGUAS DE MORROSQUILLO S.A E.S.P.: Opera los sistemas de acueducto y alcantarillado del municipio desde el 2008, realizando inspecciones, reparaciones y monitoreo. Desde el año 2016 examina la calidad del agua suministrada a la población por regulación normativa, para comparar con resultados de DASSALUD quien realiza inspecciones periódicas.

4.1.5. Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero

4.1.5.1. Cantidad de agua

En cumplimiento del artículo 40 del RAS-2017 el periodo de diseño para los sistemas de acueducto es de 25 años y por ende la investigación se proyecta al año 2.043. El municipio de Santiago de Tolú está ubicado a orillas del mar caribe, clima cálido y por tanto la dotación neta es 140 l/Hab*día y se toma el valor máximo porque en el año se presenta población flotante en cuatro (4) temporadas de turismo.

Tabla 6 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab*Dia)
>2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130

Fuente. RAS 2017

Aunque el RAS establece en su artículo 44 que las pérdidas en el sistema no deberán superar el 25%¹⁵, en este caso particular, se tiene un municipio con un sistema de acueducto en operación y, por tanto, en la investigación se tienen en cuenta pérdidas promedios del 50% en el sistema general, según la información del concesionario.

La información del Dane sobre resultados de censos en el municipio desde el año 1985 la tasa de crecimiento es de 1.73% por año hasta el año 2.017, en la investigación la proyección se hace con una tasa de 1.75% anual. En el año 2.018, la población en el área de investigación se estima en 28.766 habitantes (a la fecha no se conoce el resultado censo Dane 2.018).

Con los datos anteriores de dotación neta, porcentajes (%) de pérdidas, población presente, y tasa de crecimiento anual asumida, el consumo medio diario (CMD) es de 92.2 lps. El abastecimiento actual al sistema de acueducto aporta 82 lps.

Teniendo en cuenta lo establecido en el artículo 47 el caudal de diseño para captaciones de fuentes subterráneas debe tener un valor igual a un caudal máximo diario (QMD) y así mismo es el caudal de diseño de los componentes aducción y/o conducción, almacenamiento y planta de tratamiento de agua potable (PTAP), por su parte el caudal de diseño de la red de distribución debe tener un valor igual al caudal máximo horario (QMH) del municipio¹⁶.

¹⁵ (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017,p.31-36)

¹⁶ (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017,p.34 y 57)

Para el año 2.018 la población de Santiago de Tolú es superior a 12.500 habitantes, por lo tanto, los factores de mayoración k_1 y k_2 tiene valores de 1.2 y 1.5 respectivamente. En consecuencia, el QMD es 112 lps y el QMH es de 168 lps para el presente año.

La población de diseño para año 2.043 en la investigación será de 44.386 habitantes. Manteniendo la misma dotación neta y considerando que el porcentaje de pérdidas se disminuye al máximo admisible según la ley (25%), se tendrá un consumo medio diario de 95.9 lps, QMD un 115.1 lps y un QMH de 172 lps.

El sistema de acueducto actual, adolece de sistemas de micro y macro medición, como también de medidores de presión.

4.1.5.2. Calidad de agua

En cumplimiento de los artículos 2 al 11 de la resolución 2115 de 2007 y con base en los resultados de caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas captadas y abastecidas por el sistema de acueducto reflejadas en los Anexos 10 al 16, de información suministrada por CARSUCRE y Aguas de Morrosquillo S.A. E.S.P., se elabora la tabla 7, en la que se muestra cada uno de los pozos y se indica con color rojo los parámetros que incumplen la norma sobre valor máximo admisible para la calidad de agua potable.

Tabla 7 Características de los pozos

Característica	Unidad	Valor máximo aceptable	Pozos						
			Rancho Alegre	Don Antonio	Pradera	Pasa Tiempo	Tolú Nuevo	San Silvestre	Guerrero
Color Aparente	UPC	15	2	2	2	2	<1,1	<1,1	<1,1
Turbiedad	UNT	2	0,12	0,11	0,14	0,08	<0,5	<0,5	<0,5
pH	pH	6,5-9	7,92	8,02	ND	7,41	6,56	6,64	6,75
Cloro residual libre	MgCl ₂ /L	0,3-2,0	ND	ND	ND	ND	<0,13	<0,13	<0,13
Alcalinidad total	MgCaCO ₃ /L	200	360	ND	384	392	334,2	341,4	385,4
Calcio	Mg/L	60	77	62	88	103	ND	ND	ND
Fosfatos	MgP/L	0,5	ND	ND	ND	ND	<0,1	<0,1	<0,1
Magnesio	Mg/L	36	19	12	22	26	ND	ND	ND
Dureza Total	Mg/L	300	270	ND	312	364	324	284	204
Sulfatos	Mg/L	250	130,2	61,4	105,1	165,1	<5,19	182,85	10,58
Hierro Total	Mg/L	0,3	ND	0,041	0,006	0,015	<0,1	<0,1	<0,1
Cloruros	Mg/L	250	105,3	420,4	77,8	96,2	ND	101,25	355,35
Nitratos	MgNO ₃ /L	10	ND	ND	ND	ND	<0,2	<0,2	<0,2
Nitritos	MgNO ₂ /L	0,1	0,024	0,015	0,011	0,017	0,01	<0,01	0,01
Fluoruros	Mg/L	1	ND	ND	ND	ND	0,44	0,5	1,04
Coliformes Totales	NMP/100ml	0	10	20	31	85	<1,0	<1,0	31
Escherichia Coli	NMP/100ml	0	0	0	0	0	<1,0	<1,0	<1,0

En resumen, en todos los pozos se encuentra exceso de alcalinidad; en los pozos más antiguos Don Antonio, Pradera, Pasa Tiempo y Rancho Alegre hay exceso de calcio. En los pozos Pradera, Pasa Tiempo y Tolú Nuevo la dureza total es excesiva. En el aspecto microbiológico todos los pozos tienen presencia de coliformes totales y *escherichia coli*.

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Encuesta

En la encuesta realizada se identificó que el 91% de los habitantes se abastecen del acueducto municipal, los habitantes en su gran mayoría conocen que el agua suministrada por el sistema proviene de fuentes subterránea y se captan mediante pozos del ACM. Así mismo, califican como regular y mala (48% y 29% respectivamente) la calidad del agua consumida. Aunque el 47% de los usuarios informan que reciben el servicio de modo permanente, el resto aduce que no es así, es decir, no reciben el servicio diariamente; aún más, existe un 3% que no la recibe. En consecuencia, los usuarios se ven obligados a realizar almacenamientos intradomiciliarios en recipientes domésticos. Las autoras, por inspección ocular han observado que estos recipientes no cumplen las especificaciones mínimas requeridas para almacenamiento sanitario, generando proliferación de vectores que atentan contra la salud. Finalmente, la encuesta permitió conocer que la inmensa mayoría de los usuarios (95%) desconoce la legislación colombiana vigente sobre la prestación del servicio de agua potable.

Los resultados arrojados por la encuesta se zonifican por medio de mapas, que se ilustran en las figuras 17 y 18.

La figura 17, expresa la zonificación de la calidad de agua distribuida en las tres zonas del núcleo urbano densamente poblado. Con base en ello la más desfavorable calidad de agua es suministrada en la zona norte, oscilando entre deficiente y mala. En el sur, la calidad del agua es

clasificada por los usuarios como mala y/o regular. Por otra parte, en la zona centro se califica por los usuarios la mejor calidad del agua (regular y buena). Se observa que dos usuarios han categorizado la calidad como excelente, lo cual llamó la atención. Hecha la indagatoria por las autoras se encontró que cuentan con instrumentos de potabilización intradomiciliaria.

La figura 18 interpreta la zonificación por usos, se observa que predomina el uso doméstico en la inmensa mayoría de la población, lo cual es característico de una población en donde hay ausencia de industrias, y el uso mixto, que muchas veces está establecido en las viviendas de los usuarios como una forma de generar ingresos.

4.2.2. Caracterización de las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.

A partir de la información obtenida de la secretaria departamental de Salud (DASSALUD) y la alcaldía municipal (secretaria de planeación) se observa que durante el periodo 2007-2017 la población asentada en la cabecera municipal padece básicamente de las siguientes enfermedades: enfermedades diarreicas agudas – EDA, amebiasis, diarreas y gastroenteritis, parasitosis, hipertensión renovascular, diarrea funcional, litiasis urinaria en esquistosomiasis, helmintiasis intestinales y paludismo (Alcaldía de Santiago de Tolú, 2008) (Documento de Excel DASSALUD Anexo 9).

La organización mundial de la salud (OMS) en el documento *Agua, saneamiento y salud* (ASS), establece que las enfermedades citadas son de origen hídrico y afectan al ser humano por el consumo de agua no potable, directamente, y otras como el paludismo y el dengue se generan por el almacenamiento sanitariamente inviable existente en las viviendas (Organización mundial de la salud, 2004).

En efecto el gobierno nacional a través del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en el año 2012 promulga el Diagnostico Nacional de Salud Ambiental que en su capítulo III establece las causas y efectos del consumo de agua no potable por los seres humanos¹⁷. En el caso particular de Santiago de Tolú los parámetros y propiedades presentes en concentraciones excesivas en el agua de consumo, alcalinidad total, calcio, dureza total, cloruros, coliformes totales y E.coli y aun el caso de fluoruros (*Pozo Guerrero*), tal como se expresa en la tabla 7 enunciada anteriormente, producen las enfermedades ya mencionadas.

EDA, gastroenteritis, amebiasis intestinal crónica y parasitosis intestinal por causa de la presencia de las bacterias coliformes totales en las aguas captadas en los pozos Rancho Alegre, Don Antonio, Pradera, Pasa Tiempo, Tolú Nuevo, Guerrero y San Silvestre, es decir en todos los pozos de abastecimiento actuales. E.coli esta presente en los tres pozos más recientes: Tolú Nuevo, Guerrero y San Silvestre. Este cuadro patológico es similar al padecido en el municipio cundinamarqués San Antonio de Tequendama, en donde consumen agua superficial cruda captada en la quebrada La Zunia (Estupiñán, Avila, Celeita, & Martínez, 2010).

En vías urinarias y sistema circulatorio, las enfermedades producidas son litiasis urinaria, afectación renal y hepática, hipertensión y descompensación metabólica, por causa de la presencia en concentración excesiva de los parámetros alcalinidad total en los pozos Rancho Alegre, Pradera, Pasa Tiempo, Tolú Nuevo, Guerrero y San Silvestre; por causa del exceso de calcio Rancho Alegre, Don Antonio, Pradera y Pasa Tiempo. Y por exceso de dureza total en las aguas captadas

¹⁷ (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

de los pozos Pradera, Pasa Tiempo y Tolú Nuevo. Este padecimiento endémico de los habitantes usuarios de Santiago de Tolú es semejante a los presentes en regiones de Chile¹⁸ y Perú¹⁹.

La presencia excesiva de ion cloruro en las aguas de los pozos Guerrero y Don Antonio trae consigo enfermedades diarreicas, así como también hipertensión, descompensación metabólica, hiperacidez, gastritis y eventual ulcera estomacal (BALEARS, s.f.).

Finalmente, en relación con la presencia de ion fluoruro en un valor de 1.04 mg/L, ligeramente superior a lo admisible para agua potable en el pozo Guerrero se recomienda hacer una investigación sanitaria rigurosa dentro de un plan preventivo hacia la apareciendo de fluorosis en la población (Liteplo, R.; Gomes, H, 2002).

4.2.3. Índice de riesgo de calidad de agua – IRCA

En el cumplimiento de la resolución 2115 citada anteriormente, se han calculado el índice IRCA como se muestra en las figuras 20 y 21 donde se observan los resultados de la evaluación de calidad de agua distribuida durante los años 2016 y 2017 respectivamente, muestreados en seis (6) puntos localizados dentro del área de investigación. Esto permitió no solamente evaluar el riesgo sino también observar la evolución temporo-espacial.

En la zona norte del núcleo densamente poblado se encuentran dos sitios de muestreo, en el centro de salud Playa Hermosa el riesgo se encontraba medio y evolucionó desfavorablemente a inviable sanitariamente y en el punto Coatrafa pasa de riesgo inviable sanitariamente a alto, en la zona sur se observa un riesgo medio incrementando en el año siguiente a inviable sanitariamente en el punto Urbanización Betania y en la zona centro el aguas distribuida se muestrea en tres

¹⁸ (Neira, 2006)

¹⁹ (Hanco, 2008)

puntos en el que los riesgos en el año 2016 eran altos e inviable sanitariamente y en el año 2017 se observa una evolución favorable donde pasan a riesgo medio y sin riesgo en los puntos Tolcemento, Fátima y parque principal.

El resultado de los muestreos de calidad de agua en los puntos estadio de softbol y caseta principal no se tienen en cuenta la evaluación temporo-espacial porque en ellos los eventos de caracterización han sido dispersos, y para estos años no se cumplían los dos parámetros. Los seis (6) puntos seleccionados se escogieron por reunir las condiciones de continuidad en el periodo 2016 y 2017 y porque la caracterización contuvo los parámetros suficientes para calcular el IRCA.

4.2.3.1. Zonificación de abastecimiento de agua

A partir de lo expresado en el marco conceptual, en la figura 22 se observa y analiza la incidencia de cada una de las captaciones del sistema de acueducto en el área de investigación. Es así como en la zona norte los pozos Guerrero, San Silvestre y Rancho Alegre abastecen agua de una calidad deficiente. En la zona centro los pozos Don Antonio, Pradera y Pasa Tiempo abastecen una calidad de agua entre regular y aceptable. Y finalmente en la zona sur mediante el pozo Tolú Nuevo el acueducto abastece con una calidad de agua mala.

En detalle en las figuras 23, 24 y 25, se muestra el impacto sanitario perjudicial que el tipo de agua de abastecimiento causa en los distintos barrios de cada zona del municipio, a nivel urbano.

El análisis anterior expresado en la figura 26 informa que el índice de riesgo medido como IRCA es alto en los pozos Guerrero, San Silvestre, Rancho Alegre, Pasa Tiempo y Tolú Nuevo; en los otros dos pozos este índice es medio.

4.2.4. Acciones de las instituciones

Las medidas implementadas por las autoridades citadas en el numeral de resultados han sido intencionadas para dotar de agua apta para el consumo humano a la población, pero son insuficientes para lograr tan preciada meta a lo largo de los años. Es el caso ejemplar de un abastecimiento insuficiente en caudales, de una inadecuada calidad de agua y de una operación en la red de distribución con ausencia de accesorios de regulación, aun con existencia de tuberías obsoletas.

4.2.5. Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero

4.2.5.1. Cantidad de agua

Actualmente el sistema de abastecimiento tiene un déficit de 30 lps, lo cual impide la prestación del servicio con los consumos medios diarios normales, puesto que no es suficiente para el abastecimiento de la cobertura del acueducto. En la presente investigación no se puede evaluar si la infraestructura de almacenamiento instalada y descrita anteriormente es suficiente porque el sistema adolece de elementos de aforo para establecer las curvas de consumo diario.

4.2.5.2. Calidad de agua

La presencia de concentraciones excesivas de algunos de los parámetros tales como alcalinidad total, iones de calcio, dureza total y coliformes totales en todos los pozos hacen inviable sanitariamente el agua abastecida para consumo humano.

Los resultados que soportan el anterior análisis fundamentan a su vez los resultados obtenidos a través de la aplicación de la encuesta, de los ensayos de laboratorio y del cálculo del índice IRCA. En las figuras que a continuación se observa la relación entre IRCA en puntos de muestreos Vs

Encuesta calidad de agua; IRCA en puntos de muestreos Vs Encuesta usos de agua e IRCA en puntos de muestreos Vs IRCA en los pozos de abastecimiento.

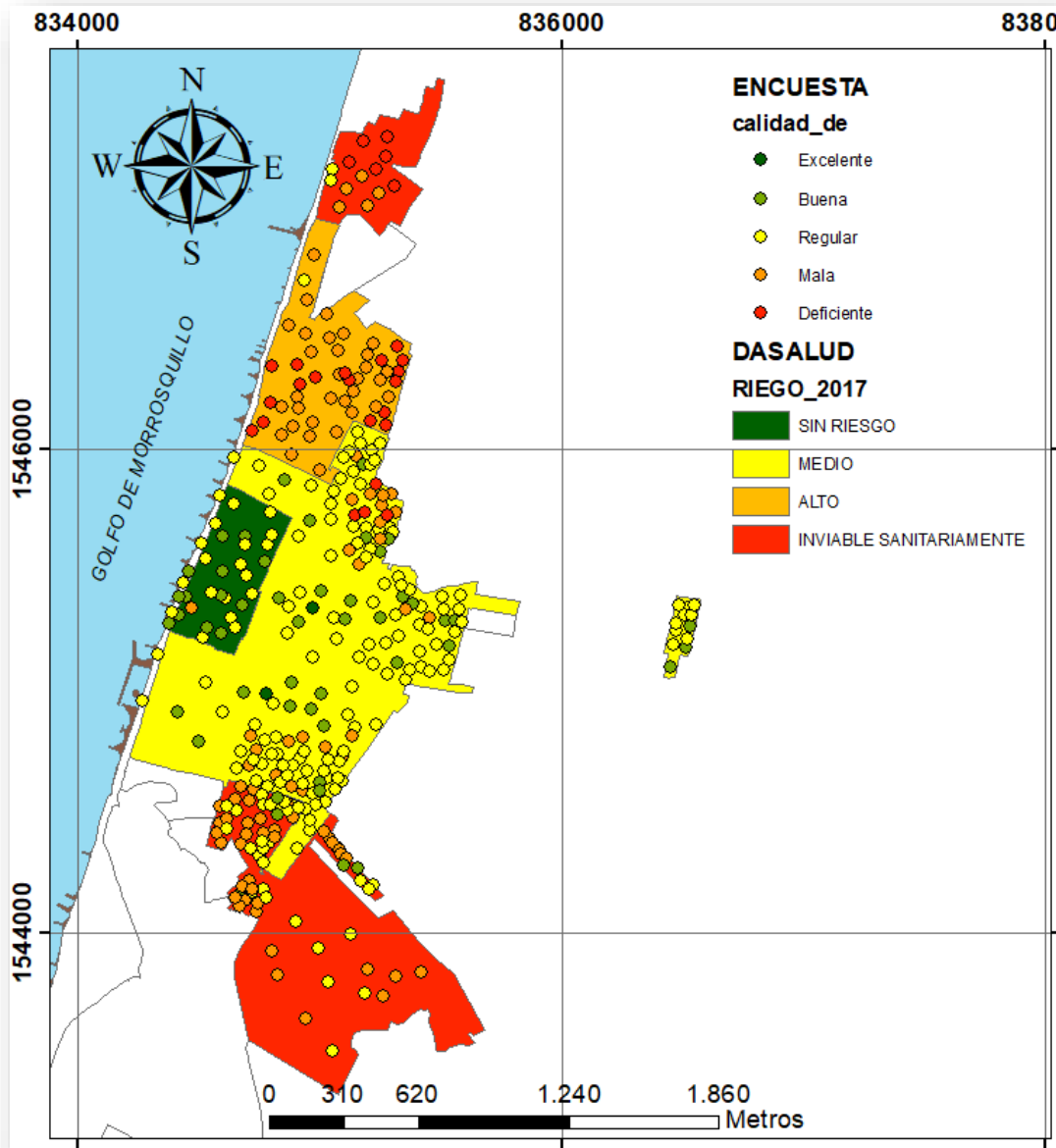


Figura 27 Zonificación calidad el agua Vs DASSALUD

En la figura 27, se observa la comparación entre los resultados obtenidos por encuesta que identifica la percepción de los usuarios frente a la calidad del agua vs zonificación del IRCA 2017

que identifica las zonas que atañen cada punto de muestreo. Se evidencia una gran relación entre los resultados arrojados por las dos partes; en la zona norte se refleja coherencia en que la calidad de agua no es apta para el consumo humano; en la zona sur existe discrepancia en el resultado arrojado por DASSALUD y la encuesta, pero a su vez las dos definen la mala calidad del agua, y por último, en la zona centro coinciden las partes en que se distribuye agua de mejor calidad, clasificada como regular frente a las otras dos zonas, que son más vulnerables socioeconómicamente.

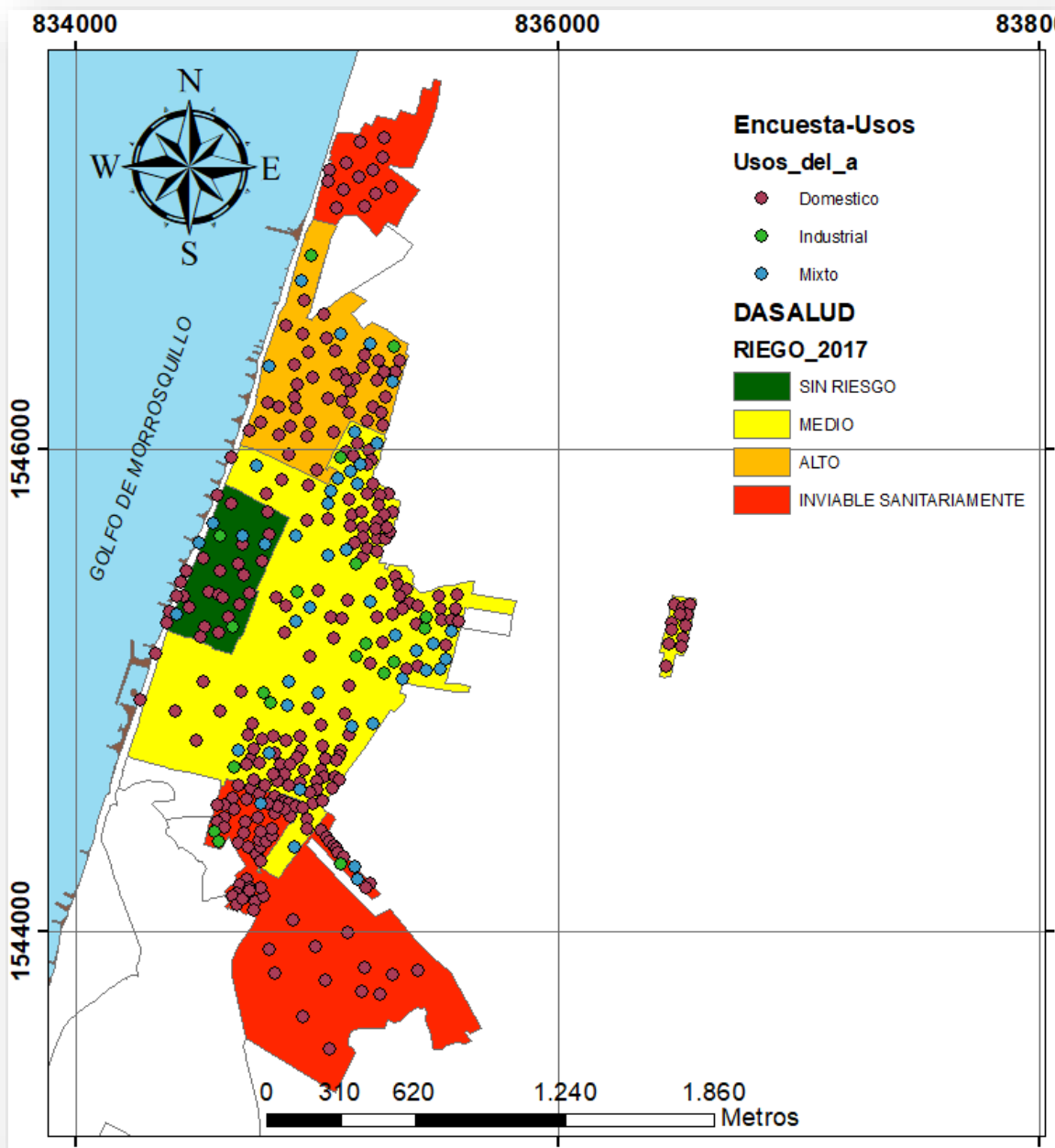


Figura 28 Zonificación usos el agua Vs DASSALUD

La figura 28 de zonificación de usos vs IRCA 2017 DASSALUD, muestra que el mayor uso es el doméstico y a su vez coincide con los puntos en donde el IRCA indica aguas no aptas para el

consumo humano, lo que ocasiona las patologías mencionadas anteriormente. En las zonas de riesgo medio se observa los usos domésticos, industriales y mixtos.

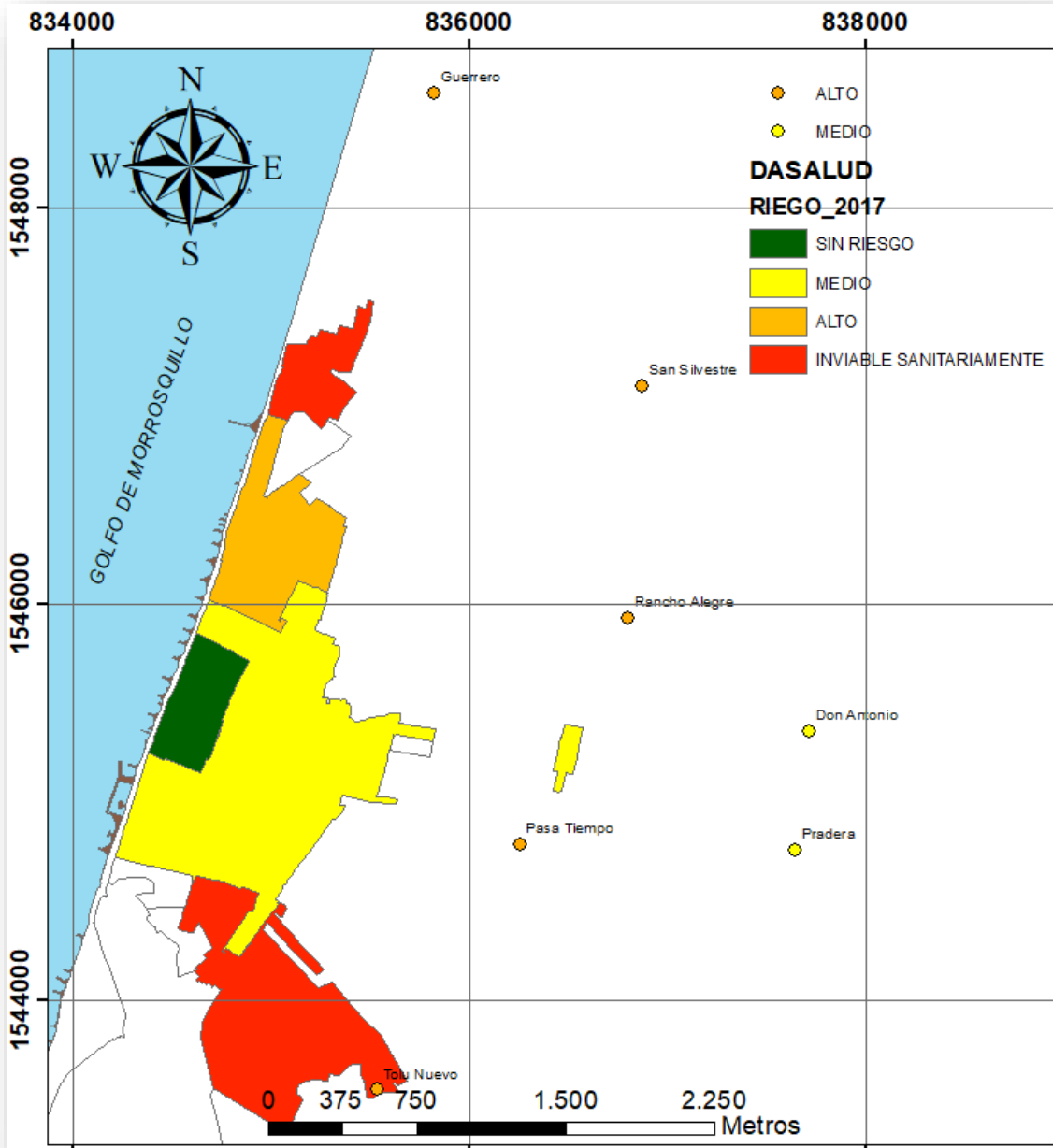


Figura 29 Paralelo calidad de agua captada de pozos y distribución

El análisis con la figura 29 se hace por las zonas de distribución; la zona norte es abastecida por los pozos, Guerrero, San Silvestre y Rancho Alegre, tiene un IRCA alto demostrando coherencia con lo obtenido en los puntos de muestreo que reflejan para esa zona riesgo alto e inviable sanitariamente; para la zona sur el IRCA del pozo indica riesgo alto y en los barrios se tiene un IRCA inviable sanitariamente, y finalmente para la zona centro, los pozos Don Antonio y Pradera tienen un IRCA medio y Pasa Tiempo, alto, mientras que en esta zona de distribución el IRCA medio y sin riesgo respectivamente.

Teniendo en cuenta los resultados y análisis de resultados en los escenarios de calidad y cantidad de agua que caracterizan al sistema de acueducto municipal en investigación, se establecen y proponen los siguientes lineamientos de gestión sanitaria y ambiental, orientados a garantizar el buen uso del ACM, que es su fuente de abastecimiento (Título I, RAS-2017):

- Etapa de planeación: Generar nuevas fuentes de abastecimiento para subsanar el déficit hídrico en el sistema de acueducto y para aumentar la recarga en el acuífero y el mejoramiento de la infraestructura de los pozos existentes.

- Etapa de diseño: Diseñar las nuevas obras de captación según el tipo de fuentes de abastecimiento complementarias a las actuales e infraestructuras de pozos antiguos.

- Etapa de construcción: Dotar de casetas e instrumentos de mediciones a los actuales pozos de abastecimiento, reemplazar las tuberías obsoletas como las de asbesto-cemento y dotar de válvulas reguladoras de caudal y de presión a los componentes del sistema, así como las nuevas fuentes de abastecimiento.

- Etapa de puesta en marcha: Conducir todos los caudales de los pozos a los tanques de almacenamiento, eliminando todos los bombeos directos a la red de distribución.

- Etapa de operación: Disminuir el periodo de bombeo de agua en los pozos al número de horas establecido por la autoridad ambiental CARSUCRE, lo cual disminuye el riesgo de deterioro en las instalaciones del acueducto más cercanas a los pozos y principalmente mitiga la sobreexplotación del acuífero acompañada de la disminución de la tasa de salinización según estudios anteriores.

- Etapa de mantenimiento: Limpieza general de los componentes del sistema para eliminar incrustaciones y corrosividad por el transporte de agua con exceso de minerales disueltos y suspendidos.

- Etapa de rehabilitación: Disminuir significativamente las pérdidas en provecho de la capacidad de abastecimiento del acuífero y como mitigación de su contaminación por infiltraciones de aguas de fugas salinizadas por contacto con los suelos superficiales; a su vez, se logra disminuir los caudales de bombeo y el nivel de abatimiento contribuyendo al freno de la intrusión marina.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Durante el proceso de la investigación realizada se dio a conocer la problemática evidenciada en el núcleo densamente poblado del municipio. Conociendo las diferentes posiciones y formas de interpretar la problemática por parte de los actores.

La operación del sistema se implementa por medio de la captación de siete (7) pozos, distribuidas en diferentes zonas, con un régimen de bombeo de 24 horas diarias y las altas fugas existentes en el sistema desde la aducción hasta la distribución, generan un uso inadecuado de la

fuente subterránea, dada la sobreexplotación con excesivo número de horas de bombeo y la ausencia de mecanismos de control.

Dando respuestas a los objetivos planteados:

Objetivo 1: Identificar la percepción de los actores involucrados frente al suministro del recurso hídrico en el municipio de Santiago de Tolú.

La encuesta nos permite determinar que los habitantes no se sienten satisfechos con el servicio suministrado y existe una diferencia evidente entre la calidad de agua suministrada a los diferentes sectores socioeconómicos, además se ve afectados en temporada alta porque la empresa concesionaria para poder abastecer la demanda de turistas en esta época reduce el suministro de agua. La empresa concesionaria aduce que el servicio es permanente y se están bombeando los pozos 24 horas al día, contrastando con lo expuesto por la comunidad que expresan que el servicio no es permanente en algunas zonas. Evidenciando que en la actualidad existe un déficit de 30 lps en el abastecimiento del sistema de acueducto municipal, y por ende se requieren mayores fuentes de abastecimiento a tiempo presente y futuro, que al concebirlas e implantarlas den cumplimiento a la ley sobre protección de acuíferos costeros y manejo de las zonas costeras y marítima e insular.

Objetivo 2: Caracterizar las afectaciones generadas a la población del municipio de Santiago de Tolú por la calidad de agua suministrada por el acueducto municipal.

Debido a que el agua suministrada a la población no cumple con los parámetros establecidos por la ley y no es apta para el consumo humano, genera en los habitantes patologías y enfermedades que atentan contra la salud de los mismo. En el municipio de Santiago de Tolú las enfermedades de mayor incidencia son Infecciones Respiratorias Agudas – IRA, Litiasis urinaria, Parasitismo y

las Enfermedades Diarreicas Agudas – EDA; al igual las enfermedades producidas por recepción de insectos por indebidos almacenamientos.

Objetivo 3: Realizar un comparativo de la calidad del agua suministrada por el sistema de acueducto de Santiago de Tolú frente a la calidad de agua potable que fija la legislación colombiana vigente.

A partir de la información de los actores, de los ensayos de caracterización de las aguas, de los valores del índice IRCA y los requerimientos de la normativa colombiana vigente el agua suministrada y distribuida no es apta para el consumo humano, en el municipio de Santiago de Tolú.

La resolución 2115 establece valores máximos aceptables para las características fisicoquímicas y bacteriológicas, en su mayoría en los puntos de muestreos y pozos están por encima de estos niveles, principalmente en alcalinidad, dureza y coliformes totales, generando que en la zona centro y sur del núcleo densamente poblado se obtengan niveles de riesgos medios y altos, mientras que en la zona norte es alto e inviable sanitariamente.

Objetivo 4: Identificar las acciones realizadas por la Corporación Autónoma Regional CARSUCRE, DASSALUD, Alcandía Municipal, Plan Departamental de Aguas y la empresa concesionaria municipal Aguas de Morrosquillo para dar solución a la problemática existente.

Las entidades realizan monitores, muestras de laboratorio, visitas técnicas y acompañamiento, buscando minimizar la problemática existente en el municipio, siendo insuficientes, las acciones

deben ser más eficientes y eficaces para poder lograr la protección del Acuífero Costero Morrosquillo y suministrar aguas aptas para el consumo.

Objetivo 5: Selección de lineamientos de gestión sanitaria y ambiental en el sistema de acueducto para proteger el acuífero.

Conociendo la problemática existente en referencia al Acuífero Costero Morrosquillo y su relación con el abastecimiento de agua potable en el municipio de Santiago de Tolú se enfocó lineamientos en dos ramificaciones. En primer lugar, la generación de nuevas formas de abastecimiento y en segundo se requiere gestión de procesos del tratamiento para la potabilización del recurso, como la rehabilitación de la infraestructura existente.

5.2. Recomendaciones

Con base en lo establecido en la política nacional del manejo integral de las zonas costeras e insulares se deben relocalizar las obras de captación Tolú Nuevo, Guerrero y San Silvestre, realizando su sello sanitario y así mitigar la intrusión marina en el campo acuífero.

La captación de agua subterránea del Acuífero Costero Morrosquillo en el municipio de Santiago de Tolú debe estar regulada por CARSUCRE y de obligatorio cumplimiento para los entes de supervisión y operación municipales.

Implementar prioritariamente procesos de tratamiento al agua captada para hacerla apta para el consumo humano.

Sanear o reponer las tuberías, las instalaciones hidráulicas y dotar de unidades de aforo para controlar y disminuir significativamente el porcentaje de pérdidas en el sistema.

Disminuir las horas excesivas de bombeo en los pozos, distanciar las obras de captación de la franja costera legal y complementar con fuentes superficiales para proteger al ACM única fuente de abastecimiento municipal del progresivo abatimiento de sus niveles y de la contaminación a que está sometido.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Santiago de Tolú. (2000). *Plan de ordenamiento territorial*. Santiago de Tolú.

Alcaldía de Santiago de Tolú. (2008). *Diagnostico social situacional* . Santiago de Tolú.

Alcaldía de Tolú. (10 de 07 de 2017). *Alcaldía de Tolú*. Obtenido de Alcaldía de Tolú:

<http://www.santiagodetolu-sucre.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Arroyo, J., & Gutierrez P, G. (2004). *Vulnerabilidad de contaminación en el Acuífero Costero Morrosquillo, Santiago de Tolú*. Sincelejo: Universidad de Sucre.

BALEARS, G. I. (s.f.). *Salud Ambiental*. Obtenido de <https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/clorurs-26201/>

Carrillo, Jhessenia; Velazco, Claudia; Herrera, Hector Mario. (2013). *Determinación de reacciones químicas en interfaz de un acuífero costero. Caso Golfo de Morrosquillo*. Sucre.

CARSUCRE. (06 de abril de 2001). *Resolución 0279*.

CARSUCRE. (2012). Proyecto de protección integral de aguas subterráneas "PPIAS". *PPIAS*.

Constitucion politica de Colombia. (1991). 2da Ed. Legis.

Estupiñán, S., Avila, S., Celeita, D., & Martínez, E. (2010). Control bacteriológico del agua de la red de distribución “acueducto de las veredas Nápoles, Ponchos y Sebastopol” en San Antonio de Tequendama. *NOVA - Publicación Científica EN CIENCIAS BIOMÉDICAS* .

- Gobernación de Sucre. (29 de 07 de 2017). *Gobernación de Sucre*. Obtenido de Gobernación de Sucre: <http://www.sucre.gov.co>
- Gutierrez, G. (2004). *Diagnóstico Ambiental del Acuífero Costero Golfo de Morrosquillo, Zona Litoral Tolú - Coveñas*. Bogota D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Hanco, W. L. (2008). *mpacto en la salud por consumo de agua dura en pobladores de la parte baja del río Chili, Arequipa, Perú* . Puno-Perú.
- Hector, H., & Puentes, R. (1997). *Determinación de la contaminación salina del acuífero de Tolú, Sincelejo*. Sincelejo.
- INGEOMINAS. (2002). *Memoria técnica del mapa de aguas subterranas del departamento de Sucre a escala 1:250.000*. Bogotá.
- Lazaro, W., Rivera, N., & Salcedo, S. (2015). *Perímetro de protección ambiental de pozos en el Acuífero Costero Morrosquillo, municipio de Santiago de Tolú, Sucre, Colombia*. Sincelejo.
- Liteplo, R.; Gomes, H. (2002). *Fluorides*. Geneva: World Health Organization.
- Madera, O. D., & Valderrama, M. P. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad por intrusión marina mediante el método GALDIT en el Acuífero Morrosquillo, zona litoral de Santiago de Tolú, Sucre – Colombia*. Sucre: Universidad de Sucre.
- Martinez, D. (2009). *Evaluación y modelación hidrogeoquímica del Acuífero de Morrosquillo (Sucre - Colombia)*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Diagnóstico nacional de salud ambiental* . Bogotá.

Ministerio de desarrollo económico. (1996). *Decreto 605*.

Ministerio de justicia. (1989). *Decreto 1700*.

Ministerio de la protección social. (2007). *Decreto 1575*.

Ministerio de la protección social; Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (22 de Junio de 2007). *Resolucion 2115*.

Ministerio de Medio Ambiente. (1993). *Ley 99*.

Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Decreto 1729*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS*.

Montesino , O. E., Gutierrez Ribon, G., & Monroy , M. (2014). Avances de la contaminación ambiental en las aguas del Golfo de Morrosquillo. *Revista Colombiana de ciencia Animal*, 389-401.

Neira, M. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile*. Santiago de Chile.

Organizacion mundial de la salud. (2004). *Organizacion mundial de la salud*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/

Plan de desarrollo municipal. (2016). *Plan de desarrollo municipal. El plan de todos por el cambio 2016-2019*. Santiago de Tolú, Sucre.

Plan departamental de aguas PDA. (2012). *Estudios basicos y diagnostico de acueducto y alcantarillado del municipio de Santiago de Tolú*. Sincelejo.

Silva, R. (1986). Agua subterranas: un valioso recurso que requiere protección. *CEPIS*.