

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

“ESTUDIO DE LA PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DE LOS CIUDADANOS PERTENECIENTES A LAS PARROQUIAS SUBURBANAS Y RURALES DE LA ADMINISTRACIÓN ZONAL TUMBACO (TUMBACO, CUMBAYÁ, PIFO, YARUQUÍ, EL QUINCHE, PUEMBO, CHECA Y TABABELA) DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.”

AUTOR:

OMAR SEBASTIÁN ENCALADA MEJÍA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO SEBASTIÁN FLORES SERRANO

QUITO, 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Edwin y Marcia quienes estuvieron conmigo siempre apoyándome en cada paso que he dado de mi vida. Ellos son mis ángeles y jamás podré pagarles todo lo que han hecho por mí, esta tesis es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres quienes me apoyaron en varios aspectos para la realización de mi trabajo de titulación. Gracias a mis amigos, Iván, Kevin, Julián, Ariel, y a todos ellos quienes me ayudaron moralmente en el desarrollo de esta tesis. Gracias también al Ing. Fernando Castro quien me ayudó mucho en el planteamiento del tema del trabajo de titulación y a mi tutor el Ing. Guillermo Flores quien supo guiarme.

De igual manera, un agradecimiento especial a mi tío, el Ing. Oswaldo Mejía quien me motivo a seguir esta hermosa carrera y que siempre me brindo su apoyo durante la misma, así como conocimientos y experiencias.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 14

INTRODUCCIÓN 14

1.1. Planteamiento del problema 14

1.2. Justificación 15

1.3. Objetivo general y específico 16

1.4. Alcance 17

1.5. Hipótesis 19

CAPÍTULO II 20

REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS ENCUESTAS DE PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD Y CONFIABILIDAD DEL AGUA POTABLE 20

2.1. Calidad del agua 20

2.1.1. Requisitos físicos y químicos del agua potable con base en la NTE INEN 1108 Sexta edición. 21

2.1.2. Requisitos microbiológicos del agua potable con base en la NTE INEN 1108 Sexta edición. 24

2.2. Agentes contaminantes en el agua 26

2.2.1. Agentes contaminantes y sus fuentes 27

2.2.2. Formas de contaminación 32

2.3. Procesos unitarios en las plantas de tratamiento 35

2.3.1. Captación 35

2.3.2. Aireación 36

2.3.3. Coagulación 37
2.3.4. Floculación 37
2.3.5. Sedimentación 38
2.3.6. Filtración 38
2.3.7. Desinfección 38
2.4. Almacenamiento y distribución del agua potable 39
2.5. Percepción de la calidad del agua potable 40
2.5.1. Estudios de la confiabilidad del agua en el Ecuador por el INEC y UNICEF ... 41
2.5.2. Confiabilidad 43
2.5.3. Percepción física de la calidad del agua 44
2.6. Muestreo para la realización de encuestas 45
2.6.1. Autoría y propósito de la investigación 45
2.6.2. Población o universo de muestreo 46
2.6.3. Tipos de muestreo 46
2.6.4. Estadística descriptiva 48
2.6.5. Cálculo de la muestra por parroquia 49
2.7. Modelo de encuesta propuesto 62
2.7.1. Estudio de modelos de encuestas existentes 63
2.7.2. Información introductoria de la encuesta 64
2.7.3. Datos sociodemográficos de la encuesta 65
2.7.4. Evaluación del servicio de agua potable según su continuidad 69
2.7.5. Evaluación del servicio de agua potable según la presión 70

2.7.6. Percepción de la calidad física del agua por la identificación de: Color, Turbiedad, Sabor y Olor 71
2.7.7. Confiabilidad de la calidad del Agua Potable 75
2.7.8. Tratamientos, Mantenimiento y estado de la red interna de tuberías por parte del consumidor 76
CAPÍTULO III 80
DETERMINACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE .. 80
3.1. Resultados tabulados 80
3.1.1. Satisfacción de la continuidad del servicio de agua potable en escala cuantitativa 96
3.1.2. Satisfacción de la presión del servicio de agua potable en escala cuantitativa .. 97
3.1.3. Percepción de la calidad física del agua potable escala cuantitativa 98
3.1.4. Confiablidad microbiológica del agua potable escala cuantitativa 102
3.1.5. Tratamientos secundarios al agua potable por parte del consumidor 103
3.1.6. Mantenimiento de cisternas por parte de los consumidores 104
3.1.7. Estado de la red interna de tuberías de los consumidores 105
3.1.8. Mapas de calor 106
3.2. Estadística 112
CAPÍTULO IV 115
ANÁLISIS DE AGUAS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS 115
4.1. Muestra para los análisis de aguas propuesta 115

4.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos 116

4.3. Análisis de los parámetros microbiológicos 117

4.4. Resultados por parroquia para los análisis fisicoquímicos 117

4.5. Resultados microbiológicos de las dos parroquias con la peor confiabilidad microbiológica 119

CAPÍTULO V 120

COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 120

5.1. Datos de los certificados de calidad de agua de la EPMAPS 120

5.2. Comparación de los resultados de los análisis de aguas con los resultados de las encuestas tabuladas 122

5.3. Comparación de los resultados de los análisis de aguas con los datos de los certificados de calidad del agua 124

5.4. Comparación de los resultados de las encuestas con los datos de los certificados de calidad del agua 126

CAPÍTULO VI 128

IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES AGENTES CONTAMINANTES 128

6.1. Posibles agentes contaminantes y sus fuentes en el sistema de distribución de agua potable con base en la comparación de resultados 128

6.2. Posibles agentes contaminantes y sus fuentes en las redes intradomiciliarias con base en la comparación de resultados 132

CAPÍTULO VII 135

PROPUESTAS DE MEJORA CON BASE EN LA COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA ELIMINAR LAS FUENTES DE LOS AGENTES CONTAMINANTES IDENTIFICADOS 135

7.1. Evaluación de la funcionalidad de las plantas de tratamiento, redes de agua potable y tanques de almacenamiento en función de los resultados obtenidos 135

7.2. Evaluación de propuestas de planes de mantenimiento en las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas con base en los resultados obtenidos 136

7.2.1. Tuberías antiguas o fisuradas 137

7.2.2. Accesorios hidráulicos 138

7.2.3. Cisternas y tanques de almacenamiento de agua potable 138

7.3. Evaluación de propuestas de mejoras al sistema de distribución del agua potable de las parroquias estudiadas con base en los resultados 139

7.3.1. Mejoras en la gestión de operación del sistema de distribución 139

7.3.2. Mejoras en el control de pérdidas 142

7.3.3. Mejoras en el mantenimiento del sistema de agua potable 144

CAPÍTULO VIII 146

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 146

8.1. Conclusiones 146

8.2. Recomendaciones 149

BIBLIOGRAFÍA 152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 24

Tabla 2 26

Tabla 3 50

Tabla 4 52

Tabla 5 53

Tabla 6 56

Tabla 7 57

Tabla 8 58

Tabla 9 59

Tabla 10 60

Tabla 11 113

Tabla 12 116

Tabla 13 117

Tabla 14 118

Tabla 15 119

Tabla 16 121

Tabla 17 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 40

Figura 2 61

Figura 3 62

Figura 4 65

Figura 5 66

Figura 6 67

Figura 7 68

Figura 8 69

Figura 9 70

Figura 10 71

Figura 11 72

Figura 12 73

Figura 13 74

Figura 14 75

Figura 15 76

Figura 16 77

Figura 17 78

Figura 18 79

Figura 19 81

Figura 20 82

Figura 21 83

Figura 22 84

Figura 23 85

Figura 24 86

Figura 25 87
Figura 26 88
Figura 27 89
Figura 28 90
Figura 29 91
Figura 30 92
Figura 31 93
Figura 32 94
Figura 33 95
Figura 34 96
Figura 35 97
Figura 36 98
Figura 37 99
Figura 38 100
Figura 39 101
Figura 40 102
Figura 41 103
Figura 42 104
Figura 43 105
Figura 44 106
Figura 45 107
Figura 46 108
Figura 47 109
Figura 48 110
Figura 49 111

Figura 50 112

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar la percepción de la calidad del agua potable de los ciudadanos pertenecientes a las parroquias suburbanas y rurales de la Administración Zonal Tumbaco (Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela) del Distrito Metropolitano de Quito.

La primera parte de este estudio consistió en el levantamiento de la percepción de la calidad del agua potable mediante un modelo de encuesta el cual se elaboró revisando literatura técnica de estudios anteriores en Ecuador y el exterior. Con base en los resultados obtenidos se realizaron análisis de aguas en todas las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco. A la par, se pidieron datos a la EPMAPS de los certificados de calidad del agua potable de las plantas de tratamiento de Bellavista y Paluguillo que son las que dan servicio a esta Administración Zonal. También, se investigó sobre los posibles agentes contaminantes y los límites permisibles de las características organolépticas y microbiológicas del agua potable según la NTE INEN 1108.

Posteriormente, se compararon todos los datos recopilados para poder encontrar posibles agentes contaminantes y sus fuentes en la Administración Zonal Tumbaco, tanto en las plantas de tratamiento, la red de distribución, tanques de reserva y las redes intradomiciliarias.

Se pudo concluir, que la mayoría de los agentes contaminantes y sus fuentes probables se encuentran en las redes de distribución de agua potable, tanques de reserva y redes intradomiciliarias. Esto, debido a una muy probable falta de mantenimiento de todos estos elementos. Por tal motivo, se recomendó una serie de propuestas de mantenimiento de todos los elementos de la red de agua potable para poder eliminar dichos agentes contaminantes y sus fuentes en las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del problema

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) cuenta con servicio de agua potable que está a cargo de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento "EPMAPS" la cual debe cumplir con los estándares de calidad de la Norma Técnica Ecuatoriana, [NTE INEN 1108] que garantiza que el agua distribuida por esta empresa es potable. EPMAPS a través de su portal web publica los resultados de los análisis de calidad de agua tanto en las plantas de tratamiento, como en ubicaciones aleatorias del DMQ mostrando que la calidad del agua cumple con los criterios de la norma. Sin embargo, existen usuarios en el DMQ que le dan un tratamiento extra cuando esta llega a sus domicilios, por ejemplo, haciendo uso de filtros, ozonificación o hirviendo la misma. Estas prácticas resultan redundantes si el agua es potable y podrían interpretarse como una baja percepción de la calidad y confiabilidad del agua potable.

Debido a los más de dos millones de habitantes del DMQ, se ha decidido enfocar el estudio mediante encuestas a una muestra de los casi doscientos mil habitantes de la Administración Zonal de Tumbaco. Este trabajo quiere investigar: ¿Cuál es la percepción de la calidad del agua potable de los ciudadanos de la administración zonal de Tumbaco? De la misma manera, determinará las posibles causas de contaminación y agentes contaminantes, según las percepciones recopiladas, los análisis de aguas realizados y la información proporcionada por la EPMAPS. Esto, nos permitiría establecer recomendaciones de cómo se podría mejorar la percepción y la calidad del agua potable de los ciudadanos de cada parroquia de la Administración Zonal de Tumbaco, que dependerá de las encuestas, los análisis de aguas realizados y su contraste con los certificados de calidad entregados por la EPMAPS. Estas recomendaciones de mejoras podrían requerir la participación de la EPMAPS y los usuarios.

1.2.Justificación

Debido a la pandemia, a causa del virus Covid-19 y en respeto a las normas de bioseguridad, se decidió hacer un estudio mediante encuestas online sobre la percepción de la calidad del agua potable de los ciudadanos pertenecientes a las parroquias suburbanas y rurales de la Administración Zonal Tumbaco (Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela) del Distrito Metropolitano de Quito. Su propósito es recopilar con la ayuda de los usuarios de esta administración, datos sobre su percepción de la calidad del agua potable, donde se podrían obtener percepciones buenas o malas con base en la percepción física, es decir de los sentidos y en la opinión del usuario sobre si el agua cumple con los estándares de calidad para su consumo.

Hasta el momento no existe ningún estudio que nos otorgue información específica sobre la percepción de la calidad del agua del DMQ. Este estudio pondría a conocimiento de la EPMAPS la percepción sobre la calidad del agua que suministran a los consumidores de esta administración zonal, y podría ser el punto de partida para realizar el mismo estudio a todas las Administraciones Zonales del DMQ. Además, este estudio de percepción podría ayudar a identificar deficiencias del servicio de agua potable suministrado por la EPMAPS a las parroquias de la Administración Zonal de Tumbaco para posteriormente a criterio de la EPMAPS poder mejorarlo.

Por otro lado, con la realización de análisis de aguas podría identificarse posibles fuentes de contaminación o agentes que disminuyan la calidad del agua que llega a los domicilios de esta administración zonal y con base en eso, poder establecer recomendaciones para mejorar la calidad del agua que llega a estos hogares.

1.3.Objetivo general y específico

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la calidad del agua potable de las parroquias suburbanas y rurales de la Administración Zonal Tumbaco (Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela) del Distrito Metropolitano de Quito, mediante la tabulación de datos de encuestas de percepción y el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos de muestras de agua potable de dichos sectores, para la identificación de los posibles agentes contaminantes y elaboración de propuestas para la mejora de la calidad del agua potable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar literatura técnica para realizar un modelo de encuesta para la determinación la percepción de la calidad física del agua y su confiabilidad.

- Tabular las encuestas para determinar la percepción de la calidad y confiabilidad del agua potable presentando los resultados en gráficos como mapas de calor y gráficos estadísticos.

- Realizar análisis de aguas de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante la toma de muestras del agua potable de las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco.

- Comparar y discutir los resultados de los análisis de aguas, las encuestas realizadas y los certificados de calidad de la EPMAPS.

- Identificar los posibles agentes contaminantes y sus fuentes en el sistema de distribución y las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas.

- Establecer propuestas de mejora con base en la comparación de resultados, para eliminar las posibles fuentes de agentes contaminantes, en las plantas de tratamiento, el sistema de distribución y las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas.

1.4.Alcance

El estudio de la percepción de la calidad del agua potable de los ciudadanos de las parroquias suburbanas y rurales de la Administración Zonal Tumbaco del DMQ determinará la percepción de la calidad del agua potable por parroquia de los hogares de estas parroquias para el año del estudio, 2021, mediante la realización de encuestas con muestreo aleatorio, vía online, mediante el uso de plataformas digitales para encuestas como "Google Forms". Debido a la pandemia por el virus Covid 19, no se harán encuestas de manera presencial.

El modelo de encuesta a aplicarse clasificará la percepción de la calidad física del agua según su color, sabor y aspecto; y la confiabilidad microbiológica del agua de los encuestados desde las categorías: alto a bajo. Además, la encuesta incluirá una sección para los datos sociodemográficos de los encuestados y también la evaluación del servicio de agua potable. Las preguntas serán de carácter cualitativo mas no cuantitativo.

Se tomarán dos muestras de agua potable por cada parroquia, en total dieciséis muestras, correspondientes a dos locaciones distintas de cada parroquia siendo estas parques o plazas. Posteriormente, se realizará el análisis de las muestras en función de parámetros fisicoquímicos comparables con los criterios establecidos en las encuestas para percepción de calidad física del agua potable. Una vez se tengan los resultados de las encuestas, en las dos parroquias con la peor confiablidad microbiológica, se tomarán dos muestras de agua potable por parroquia en las mismas locaciones, en total cuatro muestras, para analizarlas en función del parámetro microbiológico presentado en los certificados de calidad de la EPMAPS. La muestra propuesta para los análisis de aguas no puede ser tomada de acuerdo a los criterios establecidos en las

normas NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1 pues requieren de un gran número de muestras. Sin embargo, se seguirán los protocolos del laboratorio de análisis de aguas escogido para el procedimiento de toma de las muestras de agua, el cual deberá tener una acreditación por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano “SAE”.

Se contrastarán los datos de los análisis de calidad del agua obtenidos de la EPMAPS con los resultados promediados de los análisis de agua a realizarse y los resultados tabulados de las encuestas de la percepción de la calidad del agua. De esta manera se podrían encontrar posibles deficiencias como agentes contaminantes y sus fuentes, tanto del sistema de distribución de agua potable como de la red de tuberías de los domicilios encuestados por cada parroquia, que afecten a la calidad del agua. Las deficiencias identificadas no serán exactas pues solo serán elaboradas en base a las posibles causas de afectación a la calidad del agua. No se realizarán inspecciones a las plantas de tratamiento, las redes de distribución o las redes internas de tuberías de los hogares encuestados.

Finalmente, se establecerán propuestas de mejora con base en la comparación de resultados, para eliminar las posibles fuentes de agentes contaminantes, en las plantas de tratamiento, el sistema de distribución y las redes intradomiciliarias de las parroquias. El enfoque del estudio no será sobre el mejoramiento de las plantas de tratamiento, la red pública de agua potable, ni de la red de agua de los domicilios de cada una de las parroquias estudiadas; solamente serán propuestas basadas en la comparación de los datos ya mencionados. Las propuestas de mejoras podrían ir incluso a la verificación del funcionamiento de las plantas de tratamiento de Bellavista y Paluguillo que dan el servicio de agua potable a estas parroquias.

1.5.Hipótesis

La percepción y confiabilidad de los usuarios en la calidad del agua potable será menor en las parroquias de carácter rural como Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela, respecto a las de carácter suburbano como Tumbaco y Cumbayá, debido a que se espera que las parroquias rurales tengan mayores fuentes de contaminación, así como menos mantenimientos programados a sus redes de distribución de agua, respecto a las parroquias de carácter sub urbano.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS ENCUESTAS DE PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD Y CONFIABILIDAD DEL AGUA POTABLE

2.1.Calidad del agua

Según la OMS en su documento "Guías para la calidad del agua potable" la calidad del agua potable se mide por una serie de cumplimiento de valores de referencia numéricos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, haciendo especial énfasis en la inocuidad microbiana en el agua para consumo. El cumplimiento de estos valores de referencia numéricos para los diferentes parámetros puede variar según el contexto de las condiciones regionales y nacionales en el ámbito sociocultural, económico, social y medio ambiental; esto último puede evidenciarse al compararse con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 (NTE INEN 1108) donde se presentan ciertas diferencias en cuanto a límites máximos permisibles en ciertos parámetros.

Sin embargo, el cumplimiento de estos valores de referencia o límites máximos permisibles no es el único factor a considerar en cuanto a calidad del agua potable, puesto que la aceptabilidad del agua por parte del usuario es también clave dentro de la calidad del agua potable. Los consumidores evalúan la calidad del agua potable por la percepción de sus sentidos. Los aspectos microbiológicos y fisicoquímicos pueden afectar el color, olor y sabor del agua y por ende el usuario evaluará la calidad del agua con base en estos criterios. Una mala percepción de la calidad del agua podría llevar al usuario a creer que otras fuentes de agua sin potabilizar, pero con mayor aceptabilidad por su percepción, sean mejores que el agua inocua suministrada. Por tal motivo, es importante verificar la percepción del usuario y evaluar

sistemas de abastecimiento para el consumo, así como elaborar reglamentos y normas. (OMS, 2008)

2.1.1. Requisitos físicos y químicos del agua potable con base en la NTE INEN 1108 Sexta edición.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Quinta revisión, la calidad del agua potable se puede verificar por el cumplimiento de los límites máximos permitidos los cuales son uno de los requisitos para la calidad del agua potable que se fijan dentro de un ámbito del conocimiento tecnológico y científico un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para el consumo humano. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2014)

La nueva actualización de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Sexta revisión, fija los siguientes parámetros fisicoquímicos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2014)

Arsénico: Su consumo en altas cantidades está relacionado con dolores y problemas gastrointestinales, así como con el desarrollo de cáncer en órganos como los pulmones, la piel y la vejiga, tras una exposición prolongada (OMS, 2008)

Cadmio: Su principal afectación por consumo prolongado oral es a los riñones, por adhesión a las paredes renales. (OMS, 2008) También en altas concentraciones puede producir náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea, también puede necrosar el tejido renal y producir osteomalacia. (Pérez García & Azcona Cruz, 2012)

Cloro libre residual: "Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto." (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2014, p. 2) Su efecto en el agua es desinfectante, sin embargo, en altas concentraciones de 0.6 a 1.0 mg/l puede provocar un sabor

desagradable en los consumidores. Además, de existir contacto con materia orgánica puede producir trihalometanos, tóxicos para el ser humano. (OMS, 2008)

Cobre: Tiene varios usos comerciales sobre todo en la fabricación de tuberías y artículos de fontanería. La concentración de cobre producto de la oxidación de tuberías de este material en concentraciones superiores a 1.0mg/l puede manchar la ropa y aparatos hidrosanitarios. En concentraciones mayores a 5.0mg/l puede teñir el agua y provocar un sabor amargo detestable. No tiene un límite máximo según la OMS, pero podría tener efectos gastrointestinales sobre todo en infantes lactantes de leche de fórmula. (OMS, 2008)

Color aparente: El color aparente es una medida de la coloración del agua medida en unidades de color (Platino – Cobalto mg/l). La fuente de color puede ser por la concentración de varios minerales producto de la corrosión o deficiencia de tratamiento. No tiene incidencia sobre la salud humana, pero es un primer indicador de un problema en el agua es especial de la tratada, puede provocar la tendencia al uso de desinfectantes adicionales por parte del consumidor. (OMS, 2008)

Cromo: Algunas variaciones del cromo en pruebas con ratas demostraron ser cancerígenas al ser inhaladas y por ende la exposición prolongada al mismo podría ser tóxica. (OMS, 2008)

Fluoruro: Se han realizado estudios que indican claramente que el fluoruro afecta directamente a tejidos óseos como huesos y dientes. Respecto a los últimos en concentraciones bajas protegen de caries dentales. Aun así, puede tener efectos adversos en el esmalte dental en concentraciones de 0,9 a 1,2 mg/l en agua de consumo. Concentraciones elevadas a los 14mg/día puede tener repercusiones graves en los tejidos óseos. (OMS, 2008)

Mercurio: Este metal puede afectar los riñones tras su exposición, además de causar colitis, gastritis hemorrágica, o incrementar el tamaño de tumores benignos. (OMS, 2008)

Nitratos y Nitritos: Son iones de origen natural que son generalmente encontrados en fertilizantes y conservantes alimentarios. En condiciones anaerobias pueden favorecer la presencia de nitrito por la formación de cloraminas producto de actividad microbiana intermitente. Su riesgo en la salud es la metahemoglobina que puede afectar a los niños lactantes donde no oxigenarían bien al transformar el nitrato en nitrito, además puede afectar los riñones en concentraciones altas de 50 a 100mg/l. (OMS, 2008)

Plomo: El plomo, además de absorberse por los huesos es tóxico para el sistema nervioso, produce efectos neurológicos, extra encefálicos y conductuales. (OMS, 2008)

Turbiedad: La turbiedad o turbidez en el agua puede proceder de un ineficiente filtrado o suspensión de sedimentos en los sistemas de distribución, esto puede repercutir en la efectividad de la desinfección. Se mide en NTU y agua de consumo superior a 5 NTU puede provocar rechazo, pero depende de las situaciones locales.

De los parámetros expuestos, el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN ha expuesto sus límites máximos permisibles para parámetros físicos y químicos en la NTE INEN 1108 cuya última actualización la sexta revisión del año 2020, la cual es vigente expone los valores siguientes.

Tabla 1

Requisitos físicos y químicos para el agua potable según la norma INEN 1108 Sexta revisión

Parámetro	Unidad	Límite permitido [b]	Método de ensayo [c]
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl^-
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F^-
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO_3^-)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO_3^-
Nitritos (como NO_2^-)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO_2^-
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad [a]	NTU	5	Standard Methods 2130

[a] Se conoce también como *Turbidez*.
[b] Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.
[c] En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

Nota. La tabla presentada es la Tabla 1 de la norma INEN 1108 Sexta Revisión, con los requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano donde se pueden ver los parámetros, sus unidades, los límites permitidos y los métodos de ensayo para cada parámetro. Tomado de NTE INEN 1108 Sexta revisión (p.2), por Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, abril de 2020, Ecuador.

2.1.2. Requisitos microbiológicos del agua potable con base en la NTE INEN 1108 Sexta edición.

De la misma manera la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Sexta revisión, fija los siguientes parámetros microbiológicos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2020)

Coliformes fecales: Son un grupo de bacterias aerobias y anaerobias donde su mayor representante es la bacteria Escherichia coli, conocida como E. Coli. El agua de consumo debe

tener ausencia de coliformes fecales pues son un riesgo para la salud pudiendo causar graves infecciones estomacales, disentería o disentería hemorrágica. (OMS, 2008)

Cryptosporidium: Son parásitos intracelulares que producen ooquistes que a su vez son eliminados por las heces. El representante más significativo de estos parásitos es el C. Parvum, estos a su vez pueden trasmitirse por el agua que no fue lo suficientemente tratada o tenía fuentes de abastecimiento contaminadas por estos parásitos. Puede provocar diarrea, vómito, náuseas y fiebre, puede ser mortal para personas con inmunodeficiencia. (OMS, 2008)

Giardia: Son protozoos flagelados o parásitos que están en el aparato digestivo de personas y animales. Su infección se atribuye a la especie G. intentinalis o G. lamblia. Puede producir hipo absorción intestinal, diarrea y cólicos. De hacerse crónica como es común en los niños, propensos a tener giardiasis asintomáticamente, la infección con estos parásitos puede producir anemia debido a la hipo absorción. (OMS, 2008)

De los parámetros expuestos, el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN ha expuesto sus límites máximos permisibles para parámetros microbiológicos en la NTE INEN 1108 cuya última actualización la sexta revisión del año 2020 la cual es vigente, expone los valores siguientes.

Tabla 2

Requisitos microbiológicos para el agua potable según la norma INEN 1108 Sexta revisión

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo[a]
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia	Standard Methods 9221[b] Standard Methods 9222 [c]
Cryptosporidium	Número de ooquistes/ L	Ausencia	EPA 1623
Giardia	Número de quistes/ L	Ausencia	EPA 1623

[a] En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

[b] La ausencia corresponde a "< 1,1 NMP/100 mL".

[c] La ausencia corresponde a "< 1 UFC/100 mL".

Nota. La tabla presentada es la Tabla 2 de la norma INEN 1108 Sexta Revisión, con los requisitos microbiológicos del agua para consumo humano donde se pueden ver los parámetros, sus unidades, los límites permitidos y los métodos de ensayo para cada parámetro. Tomado de NTE INEN 1108 Sexta revisión (p.3), por Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, abril de 2020, Ecuador.

2.2.Agentes contaminantes en el agua

Según la OMS la contaminación del agua es una de las principales fuentes de enfermedades en el mundo. Pueden existir diversas formas de contaminación en el agua, así como contaminantes. Los contaminantes químicos, además de ocasionar inseguridad para su consumo, pueden afectar a la calidad física del agua y esto puede ser percibido por los consumidores dependiendo el contaminante. Por otro lado, los contaminantes microbiológicos son aquellos podrían tener una repercusión grave en la salud de las personas. Especialmente la contaminación microbiológica en el agua, procedente de virus, bacterias, protozoos, entre otros microorganismos, puede estar acompañada de un cambio en la calidad física del agua, como el olor, sabor, color y turbidez. Por ello, es clave tener un correcto monitoreo, control y

mantenimiento de las zonas de captación de agua potable, las plantas de tratamiento, tanques de reserva y redes de distribución de este líquido vital.

Se verá a continuación los diferentes tipos de agentes o contaminantes que enumera la norma INEN, NTE INEN 1108 Sexta revisión, sus fuentes, además de otros contaminantes del agua potable que podrían tener relación a los parámetros de percepción de calidad física del agua (color, olor, sabor, turbidez) y su confiabilidad en la calidad microbiológica por parte de los consumidores, así como las formas para que se contamine el agua.

2.2.1. Agentes contaminantes y sus fuentes

En cuanto a agentes contaminantes en el agua se revisará a aquellos listados por la NTE INEN 1108, y otros, que podrían afectar la percepción física de la calidad del agua, es decir por los sentidos como color, olor, sabor y turbidez, y también aquellos que podrían comprometer la confiablidad microbiológica de la misma y sus posibles fuentes para la contaminación.

Contaminantes fisicoquímicos

Arsénico: Es un elemento distribuido en el planeta donde su forma más común de encontrarse es sulfuro de arsénico, arseniatos o arseniuros metálicos. Su principal fuente en contacto con el agua de consumo es la disolución de minerales, lo cual es común en aguas subterráneas extraídas mediante pozos, donde su concentración aumenta con la profundidad. (OMS, 2008) Según la OMS existe la posibilidad de que no se pueda eliminar el arsénico del agua por lo que se deben hacer esfuerzo por mantener concentraciones mínimas como la de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 sexta revisión que fija su valor en 0,01mg/l como se puede ver en la tabla 1. Cabe recalcar que en bajas concentraciones es imperceptible físicamente para el consumidor y solo podría ser detectado una vez el usuario presente síntomas

gastrointestinales o mediante análisis en laboratorio del agua para consumo; además podría disminuir el pH del agua.

Cadmio: Este metal es usado en la industria siderúrgica y baterías. Su principal fuente son las aguas residuales y fertilizantes. Otra de sus fuentes son las impurezas de zinc de las soldaduras, tuberías y accesorios galvanizados. En bajas concentraciones el consumidor no podría detectarlo por el color y olor, pero posiblemente en altas cantidades podría aumentar el pH del agua y darle un ligero sabor metálico. (OMS, 2008)

Cloro (Cloro libre residual): Su producción es a gran escala y tiene usos industriales y domésticos como desinfectante. Su uso principal es en la desinfección de piscinas y las plantas de tratamiento de agua potable. El cloro en contacto con el agua forma ácido hipocloroso e hipocloritos que dan acción desinfectante residual al agua. Su límite máximo de concentración es de 5mg/l según la OMS; sin embargo, altas concentraciones desde 0.6 a 1.0 mg/l puede provocar un sabor y olor desagradable en los consumidores, por lo cual la NTE INEN 1108 fija su límite máximo permisible en 1.5 mg/l. Cabe recalcar que el cloro es perceptible olfativamente debido a la presencia de los clorofenoles que son un subproducto de la cloración del agua. Además, de existir contacto con materia orgánica puede producir trihalometanos, tóxicos para el ser humano. (OMS, 2008)

Cobre: Este mineral tiene varios usos comerciales, sobre todo en la fabricación de tuberías y artículos de fontanería. Además, puede usarse en forma de sulfato de cobre pentahidratado para el control de algas. Su principal fuente de contaminación en el agua es de la corrosión de tuberías de cobre en la red interna de tuberías de estructuras, en especial de las tuberías para agua caliente. Su presencia en el agua puede producir cambios físicos apreciables en ella, dándola una tonalidad rojiza o anaranjada, así como manchar aparatos hidrosanitarios,

también puede producir sabor desagradable cuando supera los límites máximos. La presencia de cobre en el agua indica generalmente un pH menor a 7 en la misma. (OMS, 2008)

Hierro: Este es uno de los metales más abundantes en la tierra, está presente en aguas superficiales y subterráneas especialmente con concentraciones desde 0.5 m/l hasta 50mg/l. Se usa también en el tratamiento de agua potable en coagulantes de hierro. También está presente en las tuberías de acero siendo su principal componente. Si bien no tiene efectos en la salud humana, concentraciones mayores a 0.3mg/l en el agua de consumo pueden causar sabor desagradable además de ser claramente apreciables pues dan un color rojo y amarillento, además de un sabor metálico, causando rechazo en los consumidores. Su presencia en el agua de consumo está asociada con un pH menor a 7 en el agua. (OMS, 2008)

Cromo: Elemento distribuido en todo el planeta con valencias +2 y +6. (OMS, 2008) Sus fuentes comunes son las rocas, plantas y suelos en forma de diversos compuestos. Estos compuestos que contienen cromo son usados en la industria para curtir, pigmentar textiles, aleaciones, anticorrosivos, fungicidas, recubrimientos galvanizados y como catalizadores en la industria química, entre otros usos. No tiene percepción visual aparente en concentraciones bajas, pero puede elevar significativamente el pH, así como dar un sabor metálico al agua. (López Muñoz, 2016)

Manganeso: Su fuente está asociada al hierro, debido a que se usa en aleaciones de acero, oxidante para limpieza, blanqueamientos y en forma de permanganato de potásico para desinfección. También se encuentra en la gasolina pues actúa como un potenciador del octanaje de la gasolina; tiene también usos en el tratamiento de agua potable. El manganeso igualmente se encuentra en fuentes superficiales y subterráneas, en especial en condiciones anaerobias y de micro oxidación, pero se encuentra más en los alimentos. Según la OMS concentraciones inferiores a 0.1mg/l puede considerarse aceptable puesto que concentraciones mayores a esta

causan un sabor desagradable en el agua además de manchar la ropa al lavarse al ser este de color púrpura oscuro. De llegarse a concentraciones de 0.2mg/l puede generar un precipitado de manganeso color negro purpureo. (OMS, 2008)

Fluoruro: Se encuentra en fertilizantes provenientes de rocas que tengan fosfato. De la misma manera se usa en la fabricación de aluminio. Prácticamente es imperceptible físicamente en el agua, pero tiende a presentarse con mayor facilidad en agua con pH ácido (OMS, 2008)

Mercurio: Este metal tiene su concentración usual como mercurio inorgánico en aguas superficiales y subterráneas es de 0,5 μg/l, aunque puede tener concentraciones mayores en yacimientos de mercurio. Físicamente no puede apreciarse ningún olor, color o sabor, sin embargo, agua de fuentes subterráneas sin tratarse con pH inferior a 7 tienen mayor probabilidad de tener mercurio. (OMS, 2008)

Nitratos y Nitritos: Son iones de origen natural que son generalmente encontrados en fertilizantes, conservantes alimentarios y explosivos. Condiciones anaerobias pueden favorecer la presencia de nitrito por la formación de cloraminas producto de actividad microbiana intermitente. Aguas superficiales o subterráneas con alta concentración de nitrato pueden presentar olor, color y sabor desagradable en altas concentraciones pues son producto de la descomposición anaerobia de materia orgánica (OMS, 2008)

Plomo: Este metal puede encontrarse en las soldaduras de tuberías, aleaciones y baterías, su concentración esta también relacionada con la gasolina. En edificaciones antiguas el plomo está presente en los artículos de fontanería y conexiones soldadas. La presencia de plomo está asociada con aguas de pH ácido, sin embargo, es imperceptible visualmente o por el olfato. (healthychildren.org, 2021)

Turbiedad: Esta propiedad del agua que también aparece junto con la coloración, se asocia a la existencia de sólidos suspendidos en los sistemas de distribución debido a la corrosión de tuberías, incrustaciones desprendidas de carbonato de calcio y el desprendimiento de biopelículas. Otra de las fuentes de turbidez en el agua es la presencia de algas y cianobacterias en las fuentes de captación, estas hacen complejos los procesos de coagulación y filtración en las plantas de tratamiento.

La presencia de turbidez se puede apreciar visualmente al no poder ver el fondo del recipiente en donde se vierte el agua. Usualmente, la turbidez viene acompañada de coloración olor y sabor. La presencia de turbidez en el agua también indica variaciones del pH del agua por encima y debajo de 7. (OMS, 2008)

Contaminantes microbiológicos

Coliformes fecales: Son un grupo de bacterias aerobias y anaerobias donde su mayor representante es la bacteria Escherichia coli, conocida como E. Coli que se encuentran en heces humanas, animales y abonos. (OMS, 2008) Además, los coliformes fecales pueden encontrarse en el material biológico pegado a las paredes de las tuberías especialmente en las de gran diámetro del sistema de distribución. Su presencia en los sistemas de distribución puede ser percibida a través de la turbidez del agua, pero su olor, color y sabor son imperceptibles a menos que el agua este extremadamente contaminada de coliformes y los nitritos y nitratos produzcan olor y sabor desagradable. (United States Enviromental Protection Agency, USEPA, 1992)

Cryptosporidium: Son parásitos intracelulares que producen miles de ooquistes que a su vez son eliminados por las heces. El representante más significativo de estos parásitos es el C. Parvum. El C. Parvum está presente en muchos animales, sin embargo, las fuentes más importantes de este parásito son el ganado y las personas sobre todo los animales jóvenes como los terneros que excretan más de mil ooquistes al día. Estos ooquistes pueden sobrevivir hasta

meses en el agua dulce. Su presencia en el agua puede pasar desapercibida si el agua no presenta olor, color o sabor. (OMS, 2008)

Giardia: Son protozoos flagelados, parásitos que están en el aparato digestivo de personas y animales. Su infección se atribuye a la especie G. intentinalis o G. lamblia. Al igual que otros protozoos está presente en los animales y humanos, sus ooquistes pueden sobrevivir desde semanas a meses en el agua dulce. Visualmente son indetectables si no hay presencia de nitratos, nitritos, y biopelículas. Es común encontrar Giardias en piscinas y alimentos contaminados. (OMS, 2008)

Cianobacterias y algas: Las algas y cianobacterias en embalses y ríos dificultan la coagulación y filtración, causando así coloración y turbidez en el agua incluso luego de la filtración lo cual es percibido por el consumidor. Puede generar otras sustancias como la geosmina y el 2 metil- isoborneol al descomponerse que pueden provocar un sabor desagradable incluso en concentraciones pequeñas. (OMS, 2008)

Bacterias Ferruginosas: Estas bacterias aparecen al oxidarse sales de hierro o de magnesio en el agua al exponerse al aire, generando precipitados en los tanques de distribución, tuberías o canales. Estas bacterias le dan una coloración anaranjada rojiza al agua, además de turbidez. (OMS, 2008)

2.2.2. Formas de contaminación

Las formas de contaminación de los agentes contaminantes listados anteriormente son variadas, sin embargo, las más comunes son las siguientes:

Corrosión de tuberías o accesorios: La corrosión de las tuberías metálicas en especial de acero, cobre o soldaduras de plomo son las principales formas de contaminación de agentes como el hierro, cobre y plomo (OMS, 2008).En las redes intradomiciliarias la oxidación de

tuberías de cobre es probable cuando se tiene agua con pH ácido durante elevados tiempos de contacto, es decir cuando no se usa el agua. La corrosión principalmente se da cuando el pH del agua de consumo es bajo de 7 y por ende tiende a tener Índices de Langelier negativos, es decir, tiene una alta presencia de ácido carbónico (CO_2 acuoso), ausencia de dureza y calcio en el agua. La alta concentración de ácido carbónico ocurre normalmente cuando los aireadores de las plantas de tratamiento no están trabajando correctamente o las concentraciones de CO_2 disuelto en el agua aumentan fuera de los rangos de diseño del aireador. Sin embargo, hay que recordar que un pH ligeramente inferior a 7 es beneficioso para la desinfección y alargamiento del efecto residual del cloro. (OMS, 2008)

Incrustaciones de minerales en las tuberías: La incrustación de minerales en las tuberías metálicas ocurre principalmente por la dureza del agua (cuando esta tiene un pH mayor a 7) al tener minerales de magnesio y calcio disueltos en el agua, estos tienden a incrustarse y formar costras en las tuberías. De ser extremadamente dura el agua puede llegar a taponar las mismas con el tiempo. Sin embargo, en ocasiones aguas relativamente duras suelen dejar sus deposiciones de minerales en el agua cuando la presión del agua varía de manera que lava la tubería de estas costras, lo que termina en contaminar el agua con sólidos que pueden percibirse como piedrecitas en el agua generalmente de calcio o magnesio. (ACQUETECH, 2021)

Disolución de minerales: Otra de las formas de contaminación más comunes del agua potable es la disolución de minerales en el agua, sobre todo en menas de diversos minerales como mercurio, hierro, plomo, manganeso, cadmio o arsénico que es característico en fuentes subterráneas de agua de consumo, donde el agua tiende a ser de naturaleza corrosiva por la concentración de ácido carbónico debido al poco oxígeno de estas fuentes. (OMS, 2008)

Contaminación por efluentes industriales, agrícolas y ciudades: La forma más común de contaminación de las fuentes de agua de consumo como los ríos, es por efluentes

industriales, agrícolas y de aguas residuales provenientes de las ciudades. En países en vías de desarrollo el tratamiento de estos efluentes es ineficiente y su cobertura es insuficiente, comprometiendo las fuentes de agua de consumo de los pueblos aguas abajo. Tal es el caso, que pueblos cercanos a ríos, de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Guayas, Manabí, El Oro, y Santa Elena, de la costa del Ecuador, tienen mayor probabilidad de tener cualquiera de los agentes contaminantes. Esto se debe a que la mayoría de estos pueblos son de carácter agrícola, industrial y ganadero, por lo que podrían tener nitritos y nitratos, fluoruros, cadmio, coliformes fecales, cianobacterias, algas, bacterias ferruginosas, plomo, mercurio y parásitos en general. Al captar agua de estos ríos los procesos de potabilización son más costosos e ineficientes.

Formación y desprendimiento de Biopelículas en tuberías: Según la OMS el contaminante más crítico para tomar en consideración en las redes de distribución de agua potable son las bacterias como coliformes fecales procedentes de materia orgánica en general, pues pueden tener gran repercusión en la salud de las personas como se vio anteriormente. (OMS, 2008)

Una de las formas de contaminación de estos coliformes es la formación de biopelículas en las tuberías de las redes de distribución, esto es posible debido a que el agua que sale de las plantas de tratamiento no es estéril, y mucho menos las tuberías y tanques de las redes de distribución. Las biopelículas se forman cuando células provenientes de coliformes totales y fecales, bacterias (entre ellas resistentes a la desinfección y antibióticos), protozoos y hongos, se adhieren a la superficie de las tuberías y se multiplican generando una capa de limo en la misma. Este limo sigue creciendo debido a los nutrientes que lleva el agua necesarios para la supervivencia de estas bacterias como las moléculas que contienen carbono y otros elementos. Las biopelículas son microambientes dinámicos que permiten procesos de metabolismo,

crecimiento, generación del limo, y finalmente, desprendimiento y erosión del limo. Estas al desprenderse pueden seguirse multiplicando si logran adherirse nuevamente a las paredes de las tuberías. Finalmente, estas biopelículas llegaran al consumidor del agua potable lo cual representará un grave riesgo para su salud además de poder indicar que la desinfección no fue suficiente. (United States Enviromental Protection Agency, USEPA, 1992)

La formación de estas biopelículas se debe a una serie de condiciones ambientales, así como a las características físicas y químicas del agua. Entre ellas se encuentra el pH, color, cloro libre residual, la turbiedad, y concentración de elementos y compuestos contaminantes que son nutrientes para estas bacterias. Así mismo, la formación de estas biopelículas se debe a parámetros hidráulicos y de operación de la red, tales como: presión, velocidades de operación, materiales de la tubería, tiempos de operación, secciones de flujo lento que a su vez favorecen la corrosión. Las secciones de flujo lento y secciones corroídas son las más favorables para la creación de biopelículas, son comunes en las interconexiones o partes de las tuberías del sistema de distribución que presenten rotura o fisuración. (United States Enviromental Protection Agency, USEPA, 1992)

2.3. Procesos unitarios en las plantas de tratamiento

En este subcapítulo se describirá brevemente los procesos unitarios que tienen las plantas de tratamiento. Esto se realiza con el afán de dar un contexto de los procesos que tienen las plantas de tratamiento de Bellavista y Paluguillo, que son las que tratan el agua potable de las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco

2.3.1. Captación

Según Jairo Romero en su libro “Potabilización del Agua” la captación de agua potable es sumamente importante y requiere de un estudio técnico. La selección de la fuente de agua cruda definirá que tan rigurosos y por ende costosos deberán ser los procesos unitarios en las

plantas de tratamiento de agua potable. Estas fuentes de agua cruda deberán tener ausencia de sustancias tóxicas o contaminantes que comprometan la garantía de que bajo procesos de potabilización puedan obtener los parámetros de calidad de la Norma INEN 1108.

Según la EPMAPS en su portal web, la captación del agua cruda para la planta de tratamiento Bellavista es de Papallacta y Río Blanco. Por otro lado, para la planta de tratamiento Paluguillo vienen de los páramos específicamente de la reserva Paluguillo. Ambas fuentes de agua cruda para las plantas de tratamiento están ubicadas al oriente de la capital. (EPMAPS, 2021)

Normalmente este tipo de captaciones vienen acompañadas de obras hidráulicas para conducir el agua captada por tuberías o canales a gravedad. En ese sentido estas obras suelen tener rejillas para evitar el paso de ramas, piedras o cualquier otro objeto. Cabe recalcar que es de vital importancia proteger las zonas de captación para evitar la contaminación de las fuentes por desechos o animales muertos. (Romero Rojas, 1999)

2.3.2. Aireación

Este proceso unitario consiste en la puesta en contacto con el aire el agua cruda para llevar al agua a una condición de equilibrio si esta se encuentra subsaturada o sobre saturada de gases y otras sustancias disueltas en el agua. Dentro de las funciones del aireador según Jairo Romero están:

"Aumentar el Oxígeno Disuelto en el agua (OD), disminuir la concentración de CO_2 y H_2S, remover gases como metano, cloro y amoníaco, oxidar hierro y manganeso, eliminar compuestos orgánicos volátiles como los fenoles que dan olor y sabor al agua." (Romero Rojas, 1999)

Para airear el agua cruda se requiere de estructuras conocidas como aireadores, los cuales pueden ser de tipo aspersión, cascada o de bandejas. Los aireadores de bandeja o torres

de aireación son los más usados y son estructuras de hormigón armado y cerámica con orificios en cada una de las bandejas de cerámica, que permiten el paso del agua desde la tubería de distribución en la parte superior, hasta el cajón recolector en la base de la misma permitiendo que el agua se disgregue en gotas durante la caída y de esa manera alcance la condición de equilibrio.

2.3.3. Coagulación

Este proceso unitario tiene como función añadir un agente químico al agua aireada para producir la desestabilización de los coloides del agua. Estos agentes químicos son coagulantes con carga positiva que generalmente son polímeros o polielectrolitos que son mezclados mediante diversas formas con el agua. Usualmente, estos polielectrolitos son poliacrilamidas o sulfato de aluminio, estos son disociados con mezcladores rápidos tipo mecánicos como turbinas tipo paleta o con mezcladores tipo hidráulico como es el uso de resaltos hidráulicos con azudes. (Romero Rojas, 1999)

2.3.4. Floculación

Este proceso unitario va a continuación de la adición de coagulante al agua en proceso de tratamiento. Su objetivo es dar agitación lenta al agua para que se provoquen colisiones entre las partículas de coagulante añadidas a los coloides para poder desestabilizarlas y aglomerarlas para formar flóculos. Para lograr formar flóculos es necesario que este proceso unitario suceda en tanques de floculación de flujo horizontal o vertical que aseguren el tiempo de retención mínimo para formar los flóculos.

Los tanques de floculación horizontales se caracterizan por tener tabiques o paredes deflectoras de hormigón que disminuyen la velocidad del flujo del agua para alcanzar el tiempo de retención para formar los flóculos. Por el contrario, los tanques de floculación de flujo

vertical utilizan menos espacio y menos tabiques, pero utilizan turbinas tipo paleta para alcanzar la velocidad de flujo que les permita formar flóculos. (Romero Rojas, 1999)

2.3.5. Sedimentación

Una vez ha terminado el proceso unitario de floculación el agua en tratamiento pasa al proceso de sedimentación. Este proceso tiene como objetivo decantar por gravedad todas las partículas suspendidas en el agua como los flóculos, parásitos y partículas aun con tamaño coloidal. Este proceso unitario ocurre en tanques de hormigón armado, lo suficientemente grandes para poder reducir la velocidad del flujo horizontal y poder permitir la sedimentación en función de la menor velocidad de sedimentación de las partículas de diseño. El resultado luego de este proceso unitario es un agua clarificada pero aun con pequeñas partículas coloidales. (Romero Rojas, 1999)

2.3.6. Filtración

Este proceso unitario a continuación de la sedimentación es el último proceso físico que tiene una planta de potabilización para tratar el agua. En este proceso el agua en proceso de tratamiento entra a un tanque de hormigón armado conformado por un lecho filtrante de arena y antracita. La función del filtro es cernir a través de este lecho filtrante todas las partículas y la mayor cantidad de patógenos que no hayan podido ser removidas en el sedimentador. Idealmente los filtros son capaces de remover hasta el 99.9% de virus, protozoos y bacterias que tenga el agua y por ende también su coloración. (Romero Rojas, 1999)

2.3.7. Desinfección

Este es el último proceso unitario por el cual pasa el agua en tratamiento y por el cual esta pasa a ser agua potable. El objetivo principal de este proceso unitario es garantizar la calidad microbiológica del agua. Este proceso unitario tiene la característica principal de tener un efecto residual en el agua potable. Existen varias formas para desinfectar con cloro el agua,

desde el cloro gaseoso, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio, siendo el gaseoso el más eficiente, pero a su vez más peligroso. (Romero Rojas, 1999)

2.4. Almacenamiento y distribución del agua potable

Una vez que el agua ha sido desinfectada y puede garantizarse que cumple con los estándares de calidad de la INEN 1108, no es distribuida inmediatamente. Esto se debe a que de ser así sería ineficiente la distribución de agua potable, puesto que la demanda de la misma no es constante durante todo el día o durante todas las semanas y meses del año. Es así, que el agua se conduce hasta uno o varios tanques de almacenamiento que tienen las siguientes funciones:

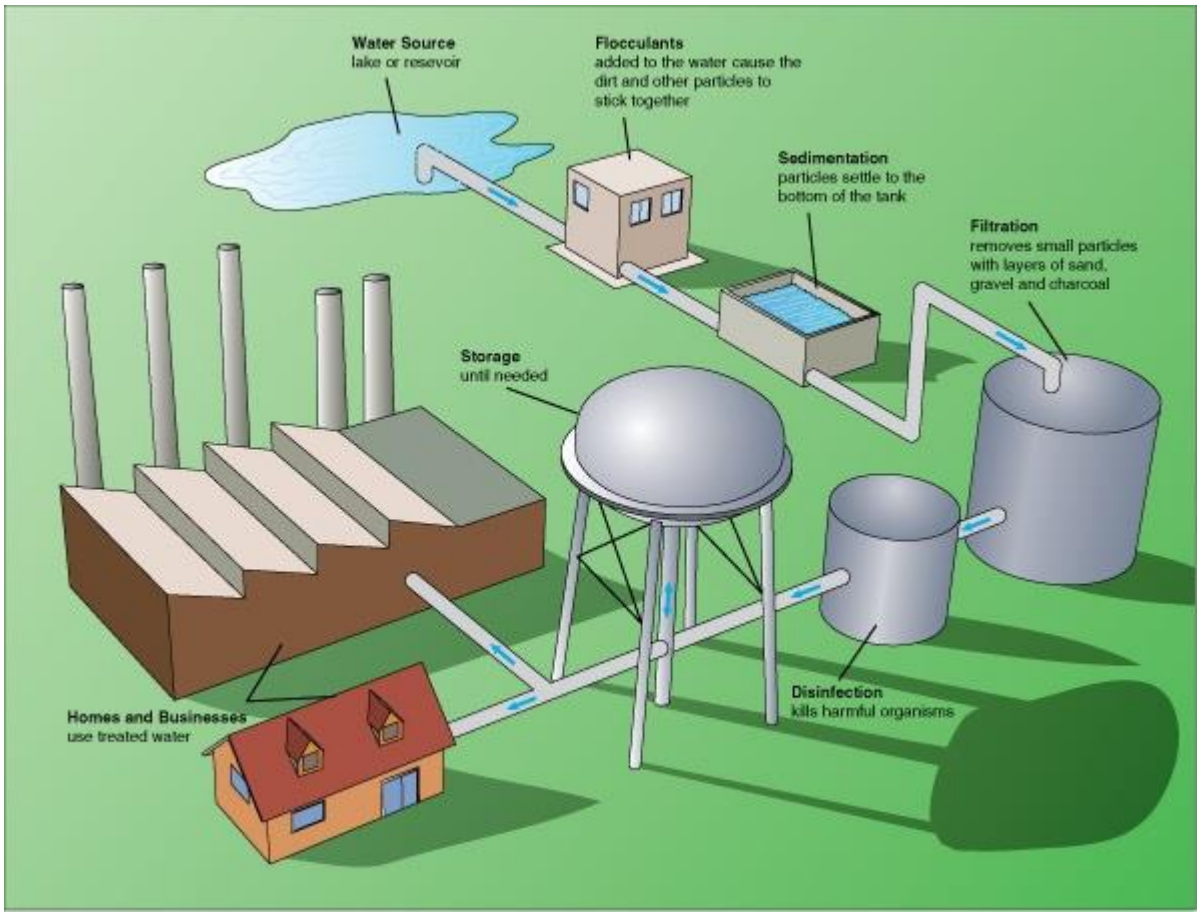
- Almacenar el agua para regular los volúmenes de consumo
- Almacenar agua para garantizar la dotación para posibles incendios
- Almacenar agua para garantizar la dotación por un período de tiempo
- Facilitar la dotación de agua potable a diversos puntos de la ciudad o pueblo
- Disminuir presiones (Shammas & Wang, 2016)

Una vez el agua sale a presión de estos tanques de almacenamiento es finalmente distribuida a cada uno de los hogares por medio de tuberías de poliuretano que aguanten la presión de entre 10 y 70 mca en condiciones estáticas y entre 10 y 50 mca en condiciones dinámicas y a velocidades alrededor de 1.5m/s. como dice la norma CPE INEN 5, en la séptima parte en los literales 4.2.3.1 e 4.2.3.3

En la siguiente figura se puede apreciar un bosquejo de como luce un sistema de distribución de agua potable desde la captación hasta su distribución en los hogares de los usuarios.

Figura 1

Bosquejo de un sistema de agua potable



Nota. Adaptado de *Illustration of a typical drinking water treatment process.* [Imagen], (p.73), 2010 por CK-12 Foundation - File: High_School_Engineering.pdf, (https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curi (CK-12 Foundation, 2010)d=16024233). CC BY-SA 3.0

2.5.Percepción de la calidad del agua potable

La OMS en el capítulo 10 “Aspectos relativos a la aceptabilidad” del primer apéndice de la tercera edición de su libro “Guías para la calidad del agua potable” aclara que se debe dar una alta prioridad al agua potable que aparte de ser inocua debe tener un aspecto, olor y sabor aceptables. Es claro que los consumidores de agua potable no tienen medios para determinar si

el agua que beben es segura, pero la percepción que estos tengan sobre la misma se verá afectada por los aspectos de la calidad del agua que puedan ser percibidos con sus sentidos.

La aceptabilidad, que depende de la percepción y la confiabilidad del agua potable, es subjetiva y puede variar por la concentración de componentes en el agua descritos anteriormente. Además, la aceptabilidad dependerá de factores locales e individuales, la calidad a la que está acostumbrada la población, y factores de carácter social, medio ambiental y cultural. (OMS, 2008)

2.5.1. Estudios de la confiabilidad del agua en el Ecuador por el INEC y UNICEF

En diciembre del año 2018 se publicó el informe "Agua, saneamiento e higiene / Medición de los ODS en Ecuador", cuyos autores fueron Molina, A., Pozo, M. & Serrano, J con el apoyo del Instituto Nacional de Estadística y Censos "INEC" y UNICEF, que en resumen presenta datos sobre el cumplimiento en el Ecuador de uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, el cual es: "Agua Limpia y Saneamiento". En dicho informe, se obtuvieron varios datos sobre la situación actual del saneamiento, el agua potable, su confiabilidad, calificación del servicio, e higiene en el Ecuador mediante encuestas realizadas en el 2016 con la Encuesta Nacional Empleo, Desempleo y Subempleo, ENEMDU, por sus siglas en español y con los datos del último censo de 2010 a cargo del INEC.

Además, a la par de la ENEMDU, se realizaron análisis para determinar la existencia de la bacteria E. Coli en ciertos hogares rurales del Ecuador mediante el cálculo de una muestra. Adicionalmente, en el capítulo 3, numeral 1 acápite 5, se presentan datos del tratamiento que se le da al agua para beber por parte del consumidor; donde se especifica que en el censo del 2010 y en la encuesta del 2016, se preguntó si al agua que llegaba a los hogares de los encuestados se le daba algún tipo de tratamiento como: hervirla, añadir cloro, usar filtros o compraban agua embotellada. En el informe, se asumió que los hogares que le dan un

tratamiento al agua para beber, como la ebullición (que es la forma más común de tratamiento) tienen una mala percepción de la calidad del agua.

Así mismo, en la encuesta se determinó la opinión de los ciudadanos sobre si el agua era apta para beber, donde del porcentaje que opinaba que esta era apta, el 61% la trataba de alguna manera. Por otro lado, de los que consideraban que esta no era apta para el consumo, el 75,8% la trataba de alguna manera. La mayoría de las personas que le daban un tratamiento al agua de consumo y que consideraban que esta no era apta para su consumo, se encontraba en las provincias de la costa, en especial de varios cantones de la provincia de Manabí. (Molina, Pozo, & Serrano, 2018)

Estos resultados a nivel nacional fueron presentados en un mapa de colores por cantón. Sin embargo, en ninguna parte de este estudio se identificó posibles causas para la baja percepción de la calidad del agua, ni tampoco indicadores más específicos de como medir la percepción de su calidad. Simplemente, se basaron en el porcentaje de personas que le daban un tratamiento al agua para concluir, que dar tratamiento al agua de consumo está relacionado con una mala percepción de los consumidores sobre su calidad. (Molina, Pozo, & Serrano, 2018)

Adicionalmente, en el Distrito Metropolitano de Quito se ha venido realizando encuestas para medir la satisfacción del cliente o el INSC (Índice Nacional de Satisfacción del Cliente), donde desde el año 2017 a 2018, se aumentó progresivamente la satisfacción del cliente en los ámbitos de: calidad, continuidad y presión del servicio de agua potable, servicio de alcantarillado, conexiones reparaciones del alcantarillado y agua potable. De esa manera, se obtuvo para el año 2019 (que es la última fecha de publicación de esta información en las memorias de sostenibilidad de la EPMAPS), un INSC o porcentaje de satisfacción del 82%. (EPMAPS-Agua Quito, 2019) . Por el otro lado, el INSC obtenido en el año 2018 que consta

en las memorias de sostenibilidad, disminuyó en 3 puntos porcentuales pues era del 85%. (EPMAPS-Agua Quito, 2018)

Sin embargo, no existe información disponible del modelo de encuesta aplicado para conocer este índice, ni cómo se realizó el muestreo correspondiente para estas encuestas en ambos años.

2.5.2. Confiabilidad

Según el diccionario de enseñanza y aprendizaje de lenguas “dicenlen” la fiabilidad, sinónimo de confiabilidad en cuanto a exámenes y estadística, es la estabilidad de resultados en una misma evaluación aplicada a los mismos individuos o similares a ellos en distintas ocasiones. (Palacios et al., 2019) Por otra parte, según el presidente del comité de confiabilidad de la Asociación Española para la Calidad, la confiabilidad se define como: “término colectivo usado para describir la disponibilidad y los factores de influencia: fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento." (Fernández, 2012) La confiabilidad, según la AEC es una aptitud que representa la capacidad de un elemento (dentro de lo cual está un servicio o sistema) para cumplir la función para la cual fue creada en las condiciones y tiempo planificado. (Fernández, 2012)

En ese contexto, la confiabilidad de la calidad microbiológica del agua potable, puede interpretarse como la confianza de los consumidores en su inocuidad. La confiabilidad, puede ser medida mediante encuestas a los consumidores como sugiere la OMS, pues siempre es importante conocer la aceptabilidad de los consumidores para asegurar mediante retroalimentación, un correcto funcionamiento del sistema de agua potable tanto de la captación, tratamiento y distribución. (OMS, 2008)

2.5.3. Percepción física de la calidad del agua

Según la doctora Maria Brito-Rohr, la percepción es la forma en que los humanos clasifican en su mente su entorno, lo cual está influenciado y predispuesto por su: experiencia, factores socioculturales y su estado de ánimo. La percepción, define la información que se recibe de los sentidos (vista, olfato, tacto, audición y gusto). También, se puede definir como un proceso para seleccionar, organizar e interpretar estímulos para encontrar un significado. Además, toda percepción es una búsqueda para procesar información. (Brito-Rhor, 2020)

Brito-Rohr también añade que los sentidos son un estímulo para el individuo y que estas sensaciones son vivencias agradables o desagradables. Por ello, ahora en un mundo globalizado influye mucho la percepción de los usuarios sobre todo en el marketing. (Brito-Rhor, 2020)

Así mismo, los individuos tienen una percepción de los servicios, como el del agua potable, evaluando su percepción de la continuidad y presión de este servicio; y lo que pueda percibir por sus sentidos del agua potable, teniendo una apreciación agradable o desagradable lo que se conoce según la OMS como aceptabilidad. La percepción física de la calidad del agua potable ocurre por los sentidos del gusto, olor, y vista, los cuales incluso podrían indicar si hay problemas en el agua o influir en la opinión del consumidor respecto a la confiabilidad de la calidad microbiológica de la misma. El consumidor, podría percibir que el agua que recibe no es inocua de percibir olor, color, o sabores desagradables lo que le haría optar por darle tratamientos al agua que recibe o buscar otras fuentes aceptables pero que no sean inocuas. (OMS, 2008) Nuevamente, he allí la importancia de tener un buen servicio de agua potable y una buena percepción y confiabilidad del consumidor sobre este servicio como recomienda la OMS, puesto que el ser humano es muy sensorial y siempre se guiará por sus sentidos antes de las razones para dar un veredicto.

2.6.Muestreo para la realización de encuestas

En este trabajo de titulación se determinará la percepción de la calidad física del agua potable y de la confiabilidad microbiológica de la misma cualitativamente, en los habitantes de las parroquias pertenecientes a la Administración Zonal Tumbaco. Sin embargo, es prudente evaluar de igual manera datos sociodemográficos de los consumidores a ser encuestados de estas parroquias; así como calificar también el servicio de agua potable en cuanto a continuidad y presión, similar a lo que hizo la EPMAPS en su encuesta para el consumidor y como lo han hecho otros autores en México como Olivia Marquéz y Maritzel Ortega en su trabajo titulado: "*Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz"* del cual se detalla más adelante, pues es un buen punto de partida para empezar con el modelo de encuestas.

Por otro lado, en esta primera parte del estudio se preguntará a los usuarios si le dan tratamiento al agua potable, similar a lo que se consultó en la encuesta por parte de Molina, Pozo y Serrano del INEC y UNICEF, además de preguntar si se siguen los requerimientos de mantenimiento de los tanques de reserva o cisternas de los consumidores como dicta la EPMAPS y la existencia de tuberías antiguas o con daños en la misma en la red interna de agua potable de los consumidores.

2.6.1. Autoría y propósito de la investigación

La investigación mediante encuestas de carácter cualitativo, así como el modelo de encuesta aplicado vía online mediante la plataforma Google Forms" es de propiedad intelectual del autor de este trabajo de titulación. Su fin, es determinar por hogar de los habitantes de las parroquias: Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Puembo, Tababela, Yaruqui, Checa y el Quinche:

- La percepción de la calidad del servicio del agua potable de los usuarios en cuanto a presión y continuidad del servicio
- La percepción de la calidad física del agua potable, siendo los aspectos a evaluarse: el color, el sabor, el olor y la turbidez apreciable.
- La confiabilidad microbiológica del agua potable
- Los tratamientos que dan al agua potable
- El cumplimiento de recomendaciones por parte de la EPMAPS de mantenimiento a los tanques de reserva.
- El estado actual de las tuberías de agua potable de la red de cada hogar.

2.6.2. Población o universo de muestreo

La población o universo de muestreo son los habitantes mayores de 18 años de edad que puedan acceder al link de la encuesta en “Google Forms" de las parroquias: Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Puembo, Tababela, Yaruquí, Checa y El Quinche, que son pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito en la provincia de Pichincha, Ecuador.

2.6.3. Tipos de muestreo

Según Hernández, Fernández y Baptista la muestra puede ser definida como:

“Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de esta.” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 173)

Existen dos tipos de muestreo:

No probabilística o dirigida: Este tipo de muestreo selecciona casos o unidades por diferentes propósitos. Además, este tipo de muestreo no tiene como objetivo que los casos sean

estadísticamente representativos del universo o población. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Probabilística: Este tipo de muestreo necesita definir un tamaño de la muestra(numérico) que selecciona elementos muestrales por un marco muestral o procedimientos que pueden ser tablas de muestreos aleatorios, programas de cálculo de muestras o selecciones sistemáticas. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Este tipo de muestreo a su vez se divide en tres tipos de muestra los cuales son:

- Muestreo aleatorio simple: Este tipo de muestreo no toma en cuenta restricciones para la muestra, por ejemplo, no distingue entre sexos, es decir, no contabiliza un número determinado de hombres o mujeres entre otros tipos restricciones como la de edad. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)
- Muestreo estratificado: Este tipo de muestreo se limita en estratos, que pueden ser de carácter ideológico, de edad, sexo, estrato socioeconómico, de educación, entre otros. Aquí, la muestra se segmenta por los diferentes grupos que tiene el universo a estudiarse para sacar una cantidad representativa de cada grupo. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)
- Muestra por racimos: Este tipo de muestreo en la aplicación de la encuesta es el más económico puesto que selecciona unidades muestrales para estudiar unidades de análisis. La diferencia entre estos dos conceptos radica en que la unidad de análisis es a quienes se encuestará y las unidades muestrales será el racimo por el cual se puede llegar a las unidades de análisis. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

En ese contexto, el presente estudio se realizó mediante una muestra aleatoria simple, ya que, no tuvo como objeto la estratificación por edad, sexo, estudios, entre otros aspectos, pero, sí seleccionó a los habitantes que puedan acceder a internet para realizar la encuesta, pues el estudio solo podía realizarse virtualmente. De igual manera, la encuesta presentó la opción

de datos sociodemográficos para todos los participantes de la encuesta, pero no se estableció un límite ya que al ser una encuesta de opinión sobre la calidad del agua potable no es necesario una estratificación como es el caso de encuestas de carácter político y de estudios de mercado donde es importante conocer la tendencia de las diferentes unidades de análisis en diferentes estratos. Cabe recalcar que, la única restricción de la encuesta fue la participación de una persona por hogar, pues así no habría opiniones repetidas aumentando el sesgo del estudio.

2.6.4. Estadística descriptiva

Parafraseando a Lind, Wathen y Marchal, la estadística descriptiva puede entenderse como la ciencia que recoge, organiza, resume, analiza y presenta datos de una manera informativa. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012) En ese contexto los datos relevantes para nuestro estudio son los siguientes:

Frecuencia: Es el número de veces que se repite un valor o variable de una muestra. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012)

Media: La media o media aritmética de una muestra es la suma total de todos los valores de una muestra divididos para el número total de los valores de dicha muestra, también se conoce como promedio. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012)

Mediana: Es el punto medio de los valores de una muestra cuando estos valores han sido ordenados en forma ascendente o descendente. La mediana resulta representativa a diferencia de la media cuando existen valores muy dispersos en los valores de la muestra analizada. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012)

Moda: La moda es el valor dentro del conjunto de valores de la muestra que tiene una frecuencia más alta, es decir es el valor dentro de la muestra que más se repite. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012)

Desviación Estándar: Es una medida de la variabilidad entre los valores del conjunto de datos de la muestra seleccionada. No se debe confundir con la varianza puesto que la desviación estándar de una muestra es la raíz cuadrada de la varianza de una muestra. (Lind, Marchal, & Wathen, 2012)

Curtosis: Es una medida estadística que permite interpretar la concentración de datos en la zona central de la distribución normal**.** (Sanjuán, 2017)

2.6.5. Cálculo de la muestra por parroquia

Si bien existen programas en línea para calcular la muestra de una encuesta siendo esta del tipo aleatorio simple, estratificado o de racimo, se consideró apropiado el cálculo manual de la misma con su posterior comprobación en un programa de cálculo de muestras.

Para el cálculo de la muestra, en primer lugar, se tuvo que obtener el número de habitantes por parroquia para el año en el que se empezó el estudio de encuestas es decir 2021. Debido a la pandemia del virus Covid 19, no fue posible utilizar los datos del censo del INEC 2020, pues este no se hizo. Por ello, se realizó una proyección demográfica mediante el método exponencial y aritmético con la información de los censos del 2010 y 2001 realizados por el INEC de las parroquias: Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Puembo, Tababela, Yaruquí, Checa y El Quinche. De estos métodos, se seleccionará la proyección más acertada para la situación de estas parroquias y se calculará la muestra posteriormente.

Los datos proporcionados por el INEC en sus dos censos fueron los siguientes:

Tabla 3

Población por parroquia de la Administración Zonal Tumbaco de los censos de 2001 y 2010

PARROQUIAS	2001	2010
TUMBACO	38498	49944
CUMBAYÁ	21078	31463
YARUQUÍ	13793	17854
PIFO	12334	16645
EL QUINCHE	12870	16056
PUEMBO	10958	13593
CHECA	7333	8980
TABABELA	2277	2823

Nota. La información presentada es una transcripción de los datos proporcionados en los censos de 2001 y 2010 a mano del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC cuyas fuentes son la página oficial de www.ecuadorencifras.gob.ec y el Sistema de Indicadores Distritales manejado por la alcaldía de Quito en: sid.quito.gob.ec.

Método aritmético

Según María del Pilar Granados, el método aritmético para determinar la proyección demográfica es un método que considera una tasa de crecimiento poblacional constante obteniendo una proyección lineal. (Granados, 1987) Según lo mencionado en la cátedra del Ing. Fernando Castro, para la situación actual del Ecuador y en especial de la ciudad de Quito, este método no es acertado puesto que no existe un control del crecimiento poblacional. Sin embargo, se procedió a calcular la proyección demográfica que será inferior a lo que se obtenga

en el método exponencial. A continuación, se muestra el proceso para el cálculo de la proyección y los resultados de la proyección por parroquia.

Ecuación 1

$$P_t = P_o + k_a(t - t_o)$$ (Granados, 1987)

Donde:

Pt: Población futura en año t

Po: Población inicial en año t_o

Ka: Tasa de crecimiento

A su vez Ka se obtiene despejando de la siguiente ecuación

Ecuación 2

$$P_2 - P_1 = k_a(t_2 - t_1)$$ (Granados, 1987)

Donde:

P_n: Es la población correspondiente al año del censo

t: tiempo en años (años de los censos)

Así ka despejando sería:

Ecuación 3

$$k_a = \frac{P_2 - P_1}{(t_2 - t_1)}$$

De esa manera, se calcularon las siguientes proyecciones demográficas con el método aritmético con base en los valores de la población de los censos de 2001 y 2010 de la tabla 3.

Tabla 4

Tasa de crecimiento aritmético y producto de la tasa de crecimiento por la variación de tiempo

PARROQUIA	Ka	ka (t-to)
TUMBACO	1271.78	13989.56
CUMBAYÁ	1153.89	12692.78
YARUQUÍ	451.22	4963.44
PIFO	479	5269
EL QUINCHE	354	3894
PUEMBO	292.78	3220.56
CHECA	183	2013
TABABELA	60.67	667.33

Nota. Estos valores fueron calculados en hojas electrónicas de Microsoft Excel. Cabe aclarar que t es el año 2021 y t_o el año 2010

Luego, aplicando estos valores en la ecuación 1 se obtuvieron las siguientes proyecciones demográficas por el método aritmético.

Tabla 5

Proyección demográfica de las parroquias estudiadas de 2021 por el método aritmético

PARROQUIA	2001	2010	2021
TUMBACO	38498	49944	63934
CUMBAYÁ	21078	31463	44156
YARUQUÍ	13793	17854	22818
PIFO	12334	16645	21914
EL QUINCHE	12870	16056	19950
PUEMBO	10958	13593	16814
CHECA	7333	8980	10993
TABABELA	2277	2823	3491
		Total:	204070

Nota. Estos valores fueron calculados en hojas electrónicas de Microsoft Excel

Método de Tasa decreciente

Según María del Pilar Granados, el método de la tasa decreciente para determinar la proyección demográfica es un método que considera una tasa de crecimiento poblacional que aumenta y luego disminuye paulatinamente, pues tiene un límite establecido de acuerdo a la máxima densidad poblacional que el área estudiada puede tener. Este método podría acercarse en un futuro a la realidad del país, puesto que la tendencia de la población en el Ecuador está en el aumento de la población de tercera edad y la reducción de la natalidad. (Granados, 1987) Sin embargo, según lo mencionado en la cátedra del Ing. Fernando Castro no es acertada para la actualidad y para este estudio, puesto que no existen limitaciones en cuanto a las densidades poblacionales de cada parroquia, ni de la ciudad de Quito. (Castro, 2020). Por tal motivo, solo se mostrará las fórmulas para calcular dicha proyección demográfica.

Ecuación 4

$$P_t = P_s - (P_s - P_o) \cdot (e^{-kd(t-t_o)})$$ (Granados, 1987)

Donde:

Pt: Población futura en año t

Po: Población inicial en año t_o

Ps: Densidad de población máxima

Kd: Tasa de decrecimiento

A su vez Kd se obtiene despejando de la siguiente ecuación

Ecuación 5

$$k_d = -\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot ln\frac{P_s - P_2}{P_s - P_1}$$

Donde:

P_n: Es la población correspondiente al año del censo

Ps: Densidad de población máxima

t: Tiempo en años (años de los censos)

Este método no es aplicable porque no existe un control de la densidad máxima poblacional por parroquia por lo que no es posible calcular Ps.

Método exponencial

Según María del Pilar Granados, el método de cálculo de proyección demográfica exponencial es uno de los métodos más acertados, puesto que se aplica para obtener resultados conservadores y cuando no existen factores adversos para el crecimiento de una población. Estos factores adversos serían las restricciones de expansiones constructivas de la ciudad, situación económica sumamente desfavorable, entre otros. (Granados, 1987) A continuación, se muestra el proceso de cálculo de la proyección demográfica.

Ecuación 6

$$lnPt = lnPo + kp(t - to) \text{ (Granados, 1987)}$$

Donde:

Pt= Población futura en año t

Po: Población inicial en año t_o

Kp: Tasa de crecimiento

A su vez Kp se obtiene despejando de la siguiente ecuación

Ecuación 7

$$lnP_2 - lnP_1 = kp(t_2 - t_1)$$

Donde:

P_n: Población correspondiente al año del censo

t: Tiempo en años (años de los censos)

Así kp despejando sería:

Ecuación 8

$$kp = \frac{lnP_2 - lnP_1}{(t_2 - t_1)}$$

De esa manera, se calcularon los siguientes valores con base en los valores de la población de los censos de 2001 y 2010 de la tabla 3.

Tabla 6

Tasa de crecimiento exponencial y logaritmo natural de la población futura por parroquia

PARROQUIA	Kp	lnPt
TUMBACO	0.02892179	11.1367973
CUMBAYÁ	0.04450916	10.8461683
YARUQUÍ	0.02867404	10.1053973
PIFO	0.03330558	10.0862265
EL QUINCHE	0.02457595	9.95417339
PUEMBO	0.0239428	9.780681
CHECA	0.0225128	9.35039593
TABABELA	0.02388237	8.20826154

Nota. Estos valores fueron calculados en hojas electrónicas de Microsoft Excel

Luego, despejando la ecuación logarítmica se obtuvieron los siguientes valores de proyección demográfica para el año 2021 de las parroquias estudiadas:

Tabla 7

Proyección demográfica de las parroquias estudiadas de 2021

PARROQUIA	**2001**	**2010**	**2021**
TUMBACO	38498	49944	***68651***
CUMBAYÁ	21078	31463	***51337***
YARUQUÍ	13793	17854	***24475***
PIFO	12334	16645	***24010***
EL QUINCHE	12870	16056	***21040***
PUEMBO	10958	13593	***17689***
CHECA	7333	8980	***11503***
TABABELA	2277	2823	***3671***
		Total:	***222376***

Nota. Estos valores fueron calculados en hojas electrónicas de Microsoft Excel

Debido a que el método exponencial se acopla perfectamente a la situación del Distrito Metropolitano de Quito, es decir, un entorno urbano y semi urbano donde no existe un control adecuado de la expansión urbanística, se decidió aplicar la proyección demográfica calculada por este método para el cálculo de la muestra de las encuestas. Además, ya que el estudio se realizaría por hogar, se asumió que cuatro usuarios vivirían por cada hogar obteniendo el siguiente número de hogares al dividir cada proyección para cuatro, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 8

Número de hogares estimados por parroquia estudiada

AÑO 2021		
PARROQUIA	**POBLACIÓN**	**HOGARES**
TUMBACO	68651	17163
CUMBAYÁ	51337	12835
YARUQUÍ	24475	6119
PIFO	24010	6003
EL QUINCHE	21040	5260
PUEMBO	17689	4423
CHECA	11503	2876
TABABELA	3671	918
Total:	**222376**	**55597**

Nota. Los valores de esta tabla fueron calculados en hojas electrónicas de Microsoft Excel bajo una suposición de cuatro habitantes por hogar, lo cual va acorde a la restricción para las encuestas. (un solo participante por hogar)

Acto seguido, al tener ya la cantidad del universo a encuestarse podemos proceder a calcular la muestra para aplicar la encuesta. Para ello aplicaremos la siguiente fórmula estadística explicada por el profesor Villavicencio.

Ecuación 9

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$ (Villavicencio, 2018)

Donde:

N: Universo o población

e: Error de la muestra calculada

Z: Confiabilidad deseada de la muestra calculada

p: Probabilidad de obtener una respuesta fidedigna

q: Probabilidad de obtener una respuesta falsa

Cabe recalcar que Z para nuestro estudio es del 95% y este valor visto en tablas estadísticas nos da un valor constante de Z=1.96. Tendríamos en nuestro caso de estudio los siguientes valores:

Tabla 9

Valores para la determinación de la muestra

N	p	q	Z	e
55597	0.5	0.5	1.96	0.05

Nota. Los valores fueron determinados secuencialmente y de acuerdo a la teoría dictada en el video de Villavicencio.

Remplazando en la fórmula tendríamos:

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 55597}{(55597 - 1) \cdot 0.05^2 + 1.96^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

Obteniendo así la muestra:

$$n = 381.531$$

Redondeando, la muestra sería de: 382 hogares de las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco. Sin embargo, lo que se tuvo que hacer para determinar la muestra por parroquia fue sacar una proporción por parroquia dividiendo el total de hogares por parroquia

para el total de hogares de todas las parroquias y luego multiplicar ese valor por la muestra; obteniendo unos resultados que deberían aproximarse a la unidad múltiplo de 5 más cercana por facilidad en el muestreo, ya que la muestra calculada es un mínimo para obtener la confiabilidad y el error planteado. De esa manera, tendremos la muestra de la tabla 10.

Tabla 10

Muestra adoptada por parroquia

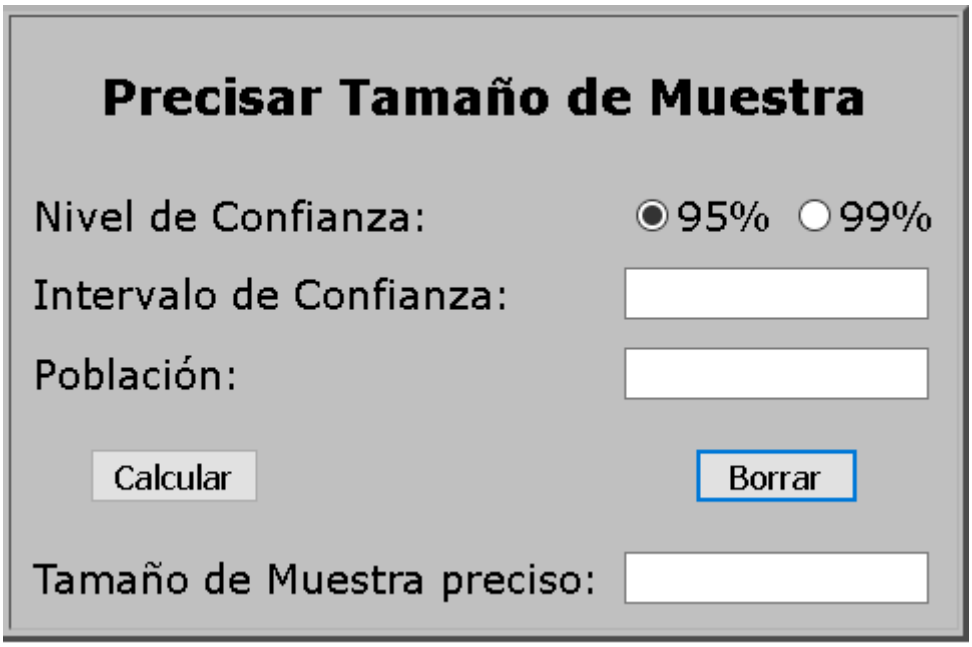
PARROQUIA	PROPORCIÓN	MUESTRA POR PARROQUIA	MUESTRA A TOMAR
TUMBACO	0.309	117.925	***120***
CUMBAYÁ	0.231	88.188	***90***
YARUQUÍ	0.110	42.043	***45***
PIFO	0.108	41.246	***45***
EL QUINCHE	0.095	36.141	***40***
PUEMBO	0.080	30.390	***35***
CHECA	0.052	19.761	***20***
TABABELA	0.017	6.307	***10***
		Total:	***405***

Nota. Los valores son redondeados en múltiplos de 5, al inmediato superior para facilidad en la aplicación de la encuesta.

Finalmente, se procedió a verificar el valor de la muestra obtenida con la calculadora online de “Creative Research Systems”. Esta, nos permite calcular el tamaño de muestra para niveles de confianza de 95% y 99% ingresando el intervalo de confianza que sería el porcentaje de error esperado y la población.

Figura 2

Calculadora del tamaño de muestra "The Survey System"

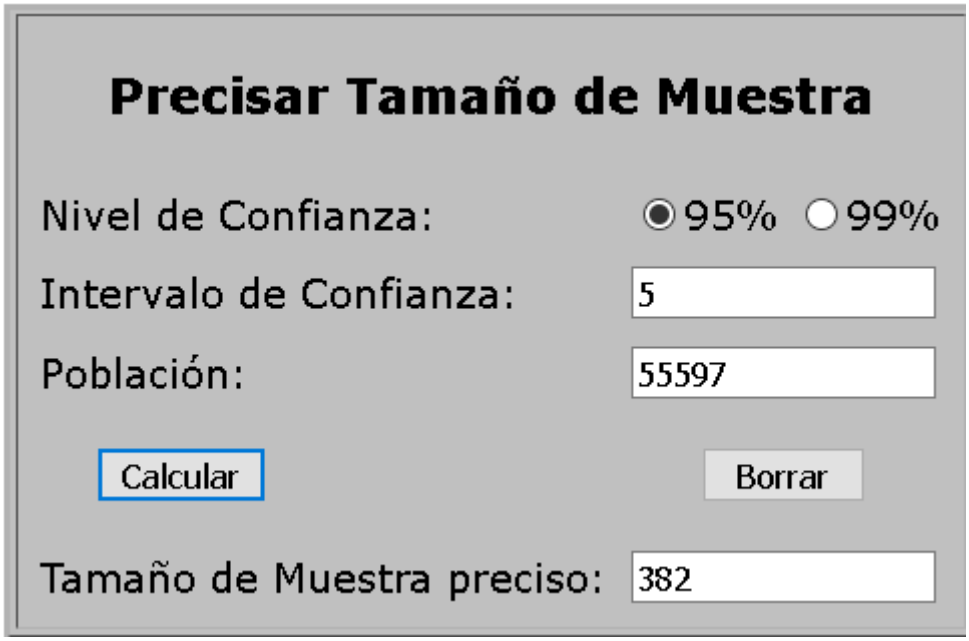


Nota. El programa utilizado se encuentra para acceso libre en la internet, esta es solo una foto captura del mismo. Tomado de: The Survey System, *Calculadora de Tamaño de Muestras* © 2006 Creative Research Systems. Disponible en: http://www.surveysoftware.net/sscalce.htm

Una vez ingresados los datos obtuvimos la siguiente muestra: 382, lo que demuestra que nuestro cálculo bajo condiciones supuestas fue correcto.

Figura 3

Tamaño de la muestra calculado con "The Survey System"



Nota. El programa utilizado se encuentra para acceso libre en la internet, esta es solo una foto captura del mismo. Tomado de: The Survey System, *Calculadora de Tamaño de Muestras* © 2006 Creative Research Systems. Disponible en: http://www.surveysoftware.net/sscalce.htm

2.7.Modelo de encuesta propuesto

En cuanto a la encuesta, debido a la pandemia del covid-19 fue imposible la aplicación de encuestas de manera presencial, las cuales podrían tener un menor sesgo en la información recopilada. Por tal motivo, se optó por la aplicación vía online mediante el software gratuito y público "Google Forms". Cabe recalcar, que al ser una encuesta de tipo opinión, es decir, que recoge información de tipo cualitativa, se optó por el uso de la escala Likert para la forma de elaboración de las preguntas. La escala Likert, es una técnica de medición de actitudes u opiniones que permite al individuo estudiado valorar sus actitudes respecto a algo desde una

valoración muy positiva hasta una muy negativa. Generalmente estas valoraciones tienen 5 niveles (Garrido & Álvaro, 2007, pág. 212)

2.7.1. Estudio de modelos de encuestas existentes

En esta sección se revisarán diferentes estudios realizados en Ecuador y algunos países de Latinoamérica para poder determinar un formato adecuado para la encuesta de este trabajo de titulación.

En Ecuador se han realizado estudios por parte del INEC y la ENEMDU, lamentablemente, el formato de las encuestas aplicadas por el INEC Y ENEMDU no son públicas, pero su modelo de encuesta según el carácter de la información recopilada se basa en escalas dicotómicas, es decir, de afirmación o negación con el "Sí" o "No", según los resultados que presentan en sus informes.

En otros países como Chile, según lo descrito por la periodista de la revista digital "Codexverde" Rafaela Cifelli en el artículo "Percepción de usuarios sobre la calidad del agua potable cayó 11,9% en 2019", la Super Intendencia de Servicios Sanitarios (SISS) realiza encuestas periódicas para determinar la percepción de la calidad del agua potable. Estas contienen preguntas que determinan la confianza en el agua, la cual es influenciada por la satisfacción de los usuarios en cuanto al sabor y la pureza del agua. Estos parámetros se determinan por preguntas donde ellos pueden manifestar su satisfacción y la presencia de agentes como: sólidos, químicos, minerales, virus, bacterias, así como mal sabor del agua, puesto que son encuestas llevadas mediante entrevistas de manera presencial en las áreas estudiadas. Además, estas encuestas de igual manera reflejan la satisfacción del cliente respecto a la tarifa del agua (Cifelli, 2020)

De igual manera, en Nicaragua existen otro tipo de estudios mediante encuestas de satisfacción en escalas dicotómicas de "Sí" o "No" como es el caso del estudio de Gómez,

Gutiérrez y Declerck titulado: “PERCEPCIÓN LOCAL ACERCA DE LA CALIDAD DEL AGUA Y LA HERPETOFAUNA EN FINCAS GANADERAS DEL MUNICIPIODE MATIGUÁS, NICARAGUA” Las encuestas de este estudio se estratificaron por el tamaño de los productores de fincas ganaderas siendo estos de grandes a pequeños, a los cuales se les aplicó una serie de preguntas dicotómicas para determinar sus percepciones de bienestar, calidad del agua y la diversidad de herpetofauna. (Gómez-Martínez, Gutiérrez-Montes, & Declerck, 2014)

Sin embargo, la encuesta de mayor interés para nuestro estudio fue la realizada en México por Olivia Marquéz y Maritzel Ortega en su estudio titulado: “Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz” donde se levanta la percepción social del servicio de agua potable para el municipio mencionado. En este estudio, las encuestas se realizan en dos partes, donde la primera parte levanta los datos sociodemográficos de los encuestados, y en la segunda mediante el uso de la escala Likert se evalúa el servicio del agua potable estableciendo como parte fundamental de la evaluación las características organolépticas del agua potable suministrada, el servicio del agua potable y la confiabilidad. (Marquéz & Ortega, 2017)

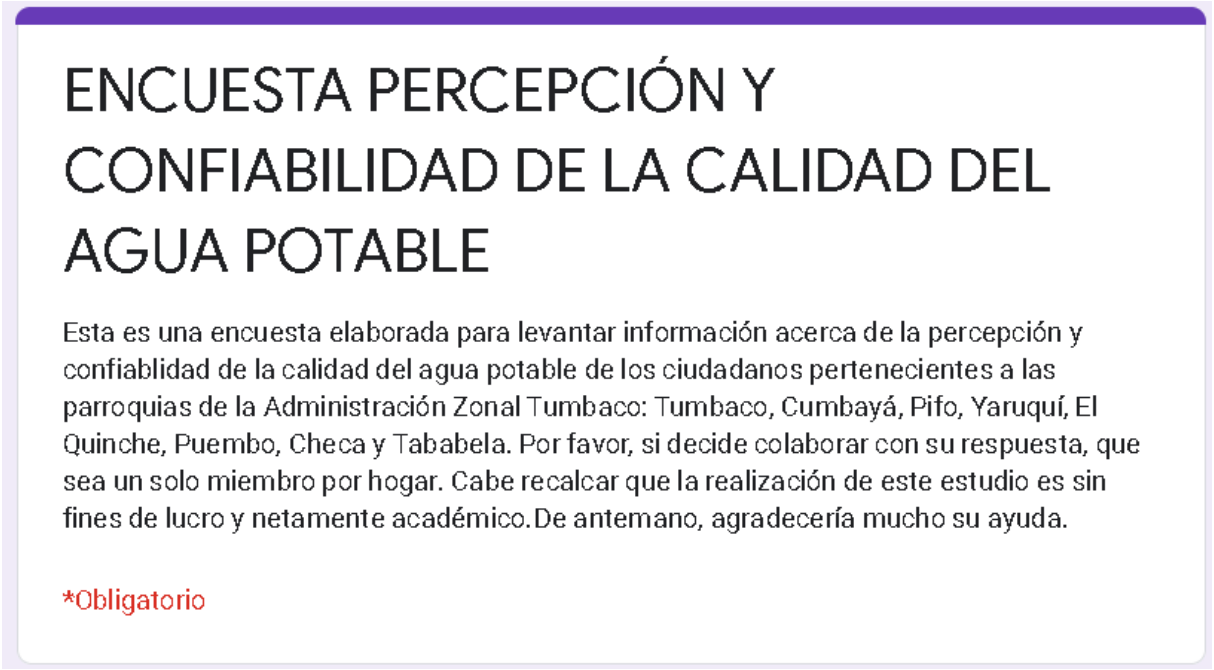
Por tal motivo, se creó un modelo de encuesta como el del estudio de Marquéz y Ortega como se muestra a continuación.

2.7.2. Información introductoria de la encuesta

Primero, se le dio el título al formulario: “ENCUESTA PERCEPCIÓN Y CONFIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE”. Adicionalmente, se incluyó un mensaje introductorio como se ve en la figura siguiente, para explicar de mejor manera en que consistía el estudio de carácter participativo voluntario y netamente académico, además de informar la limitación de participación a una persona por hogar.

Figura 4

Título e introducción del modelo de encuesta



Nota. La figura presentada es una foto captura, del título y mensaje introductorio del modelo de encuesta aplicada; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

2.7.3. Datos sociodemográficos de la encuesta

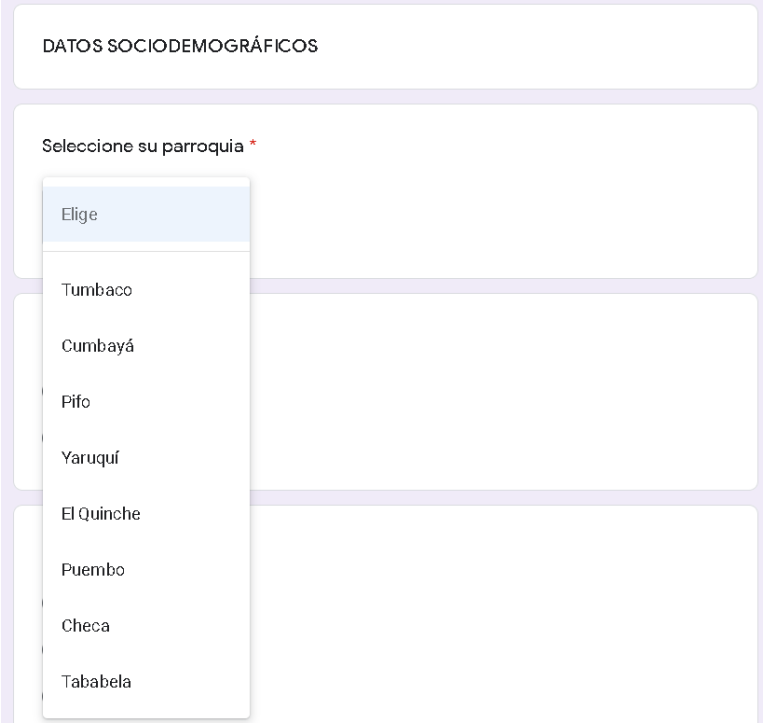
Posteriormente, se incluyó en el modelo de encuesta una sección de datos socio demográficos para el participante de la encuesta, dentro de los cuales se levantó la siguiente información:

1) *Parroquia a la que pertenece el participante*

Esta información se levantó mediante una lista desplegable con las 8 parroquias a estudiarse: Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa, Tababela.

Figura 5

Selección de la parroquia en la encuesta



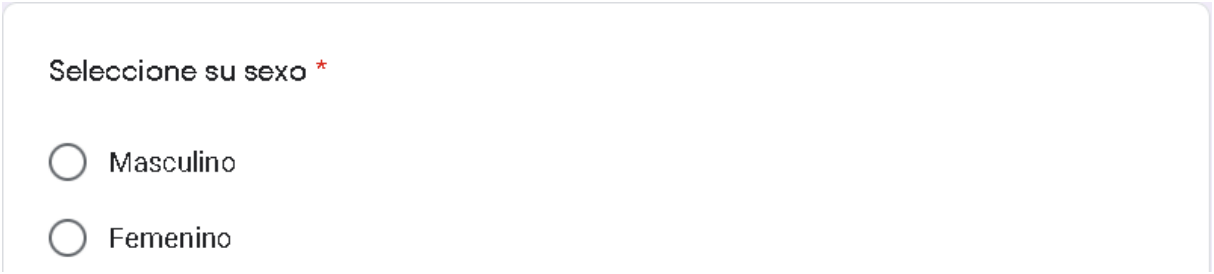
Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la lista desplegable para la selección de la parroquia; creado por el autor de este trabajo de titulación, la plataforma “Google Forms”.

2) Selección del sexo

Esta información se levantó mediante la selección de opción múltiple entre la opción de Masculino o Femenino.

Figura 6

Selección del sexo en la encuesta



Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la selección del sexo del participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma “Google Forms”.

3) Selección de la edad

Esta información se levantó mediante la selección de opción múltiple entre las bandas de edad de: 18-22 años, 23-28 años, 29-40 años, 41-65 años y más de 65 años.

Figura 7

Selección del grupo de edad en la encuesta



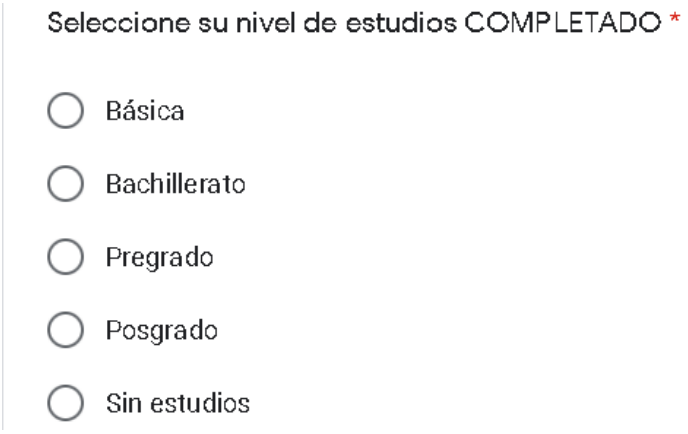
Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la selección del grupo edad al que pertenece el participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

4) Selección del nivel de estudios completado

Esta información se levantó mediante la selección múltiple del nivel de estudios completado: Básica, Bachillerato, Pregrado, Posgrados o Sin estudios.

Figura 8

Selección del nivel de estudios completado en la encuesta



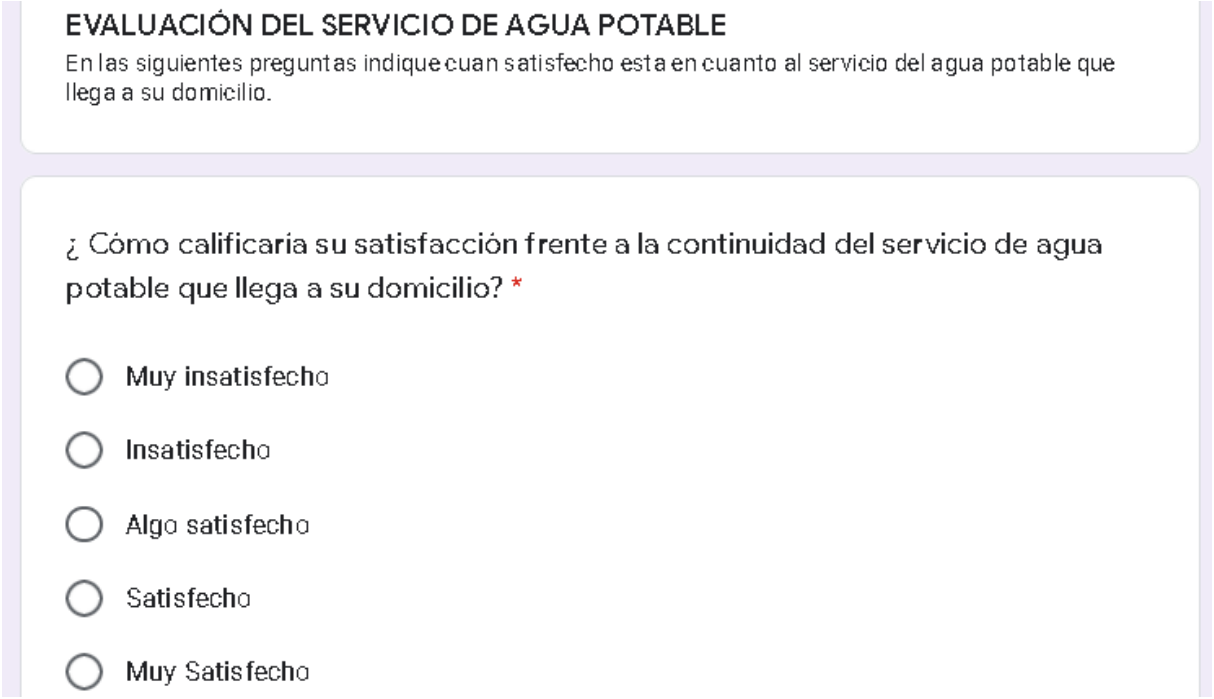
Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la selección del nivel de estudios completado del participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

2.7.4. Evaluación del servicio de agua potable según su continuidad

En esta sección del modelo de encuesta aplicado, se hizo la siguiente pregunta: *"¿Cómo calificaría su satisfacción frente a la continuidad del servicio de agua potable que llega a su domicilio?".* Mediante la escala Likert se evaluaría la satisfacción de los consumidores participantes de la encuesta respecto al servicio del agua potable, en los niveles de satisfacción que se muestran en la figura siguiente.

Figura 9

Satisfacción respecto a la continuidad del servicio de agua potable



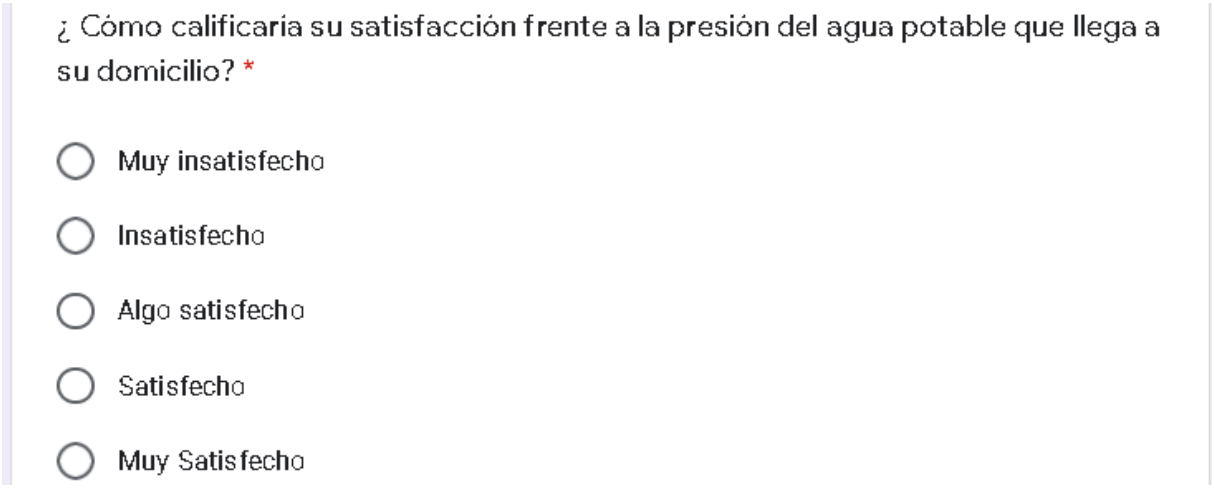
Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para calificar el nivel de satisfacción de la continuidad del servicio de agua potable del consumidor participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

2.7.5. Evaluación del servicio de agua potable según la presión

En esta sección del modelo de encuesta aplicado, se hizo la siguiente pregunta: *"¿Cómo calificaría su satisfacción frente a la presión del agua potable que llega a su domicilio?".* Mediante la escala Likert se evaluaría la satisfacción del consumidor participante respecto a la presión del servicio de agua potable, en los niveles de satisfacción que se muestran en la figura siguiente.

Figura 10

Satisfacción respecto a la presión del servicio de agua potable



Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para calificar el nivel de satisfacción de la presión del servicio de agua potable del consumidor participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

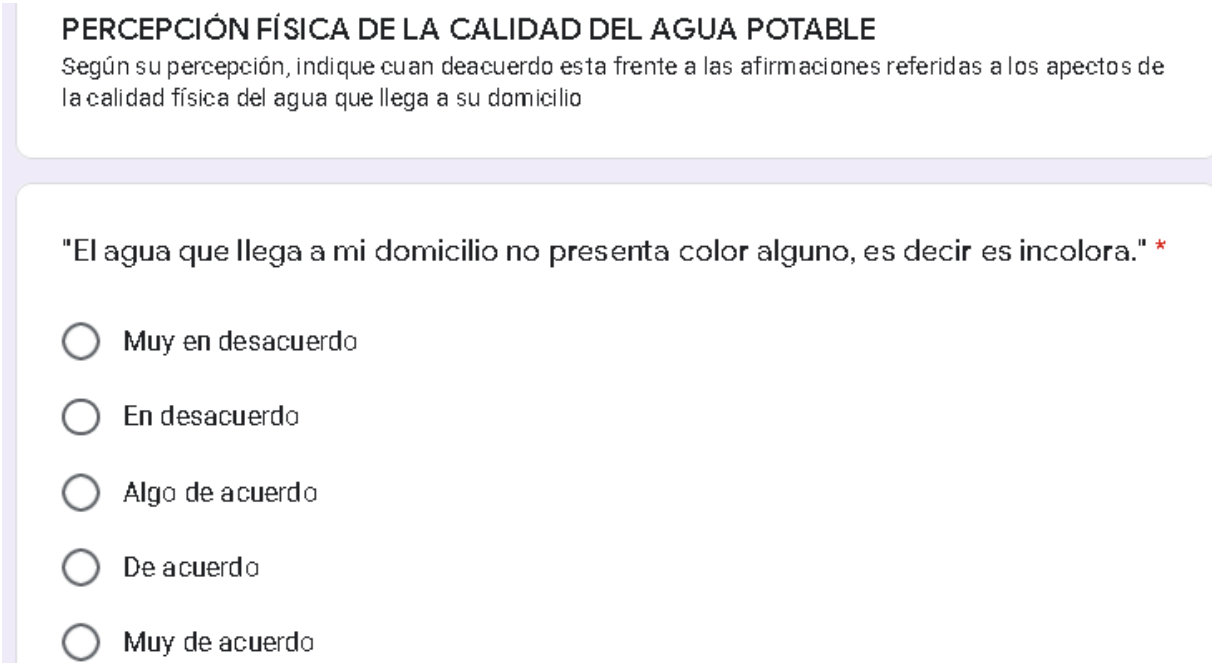
2.7.6. Percepción de la calidad física del agua por la identificación de: Color, Turbiedad, Sabor y Olor

En esta sección del modelo de encuesta aplicado, se evaluó mediante afirmaciones la percepción de la calidad física del agua potable con el uso de la escala Likert en 5 niveles de qué tan de acuerdo estaban los consumidores participantes con las mismas como se muestra en las figuras siguientes.

1) *“El agua que llega a mi domicilio no presenta color alguno, es decir es incolora.”*

Figura 11

Percepción de color en el agua

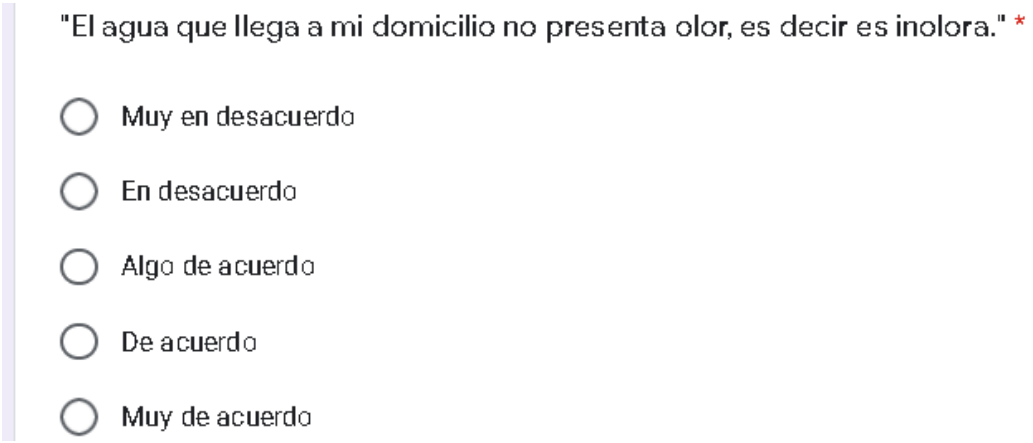


Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar la percepción del consumidor participante de color en el agua; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma “Google Forms”.

2) *"El agua que llega a mi domicilio no presenta olor, es decir es inolora."*

Figura 12

Percepción de olor en el agua

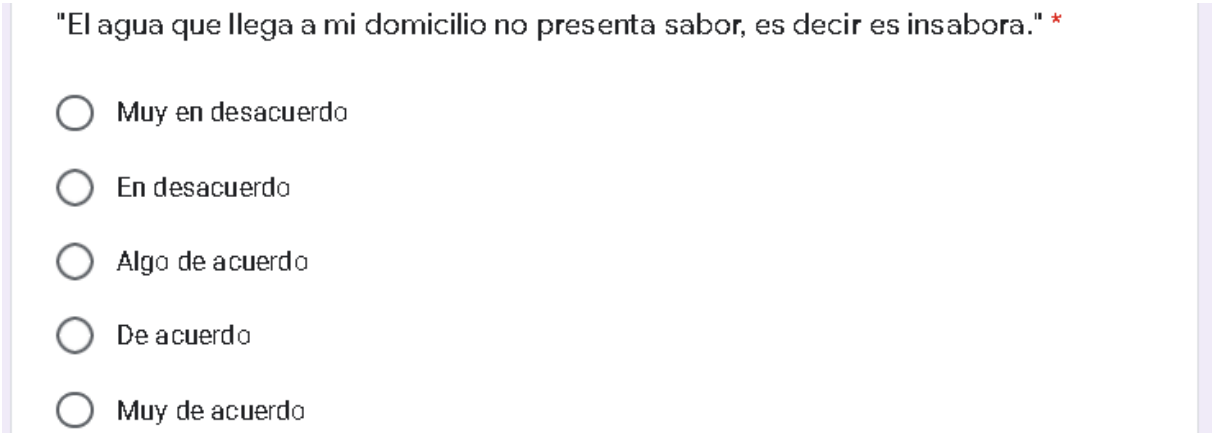


Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar la percepción del consumidor participante de olor en el agua; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

3) *"El agua que llega a mi domicilio no presenta sabor, es decir es insabora."*

Figura 13

Percepción de sabor en el agua

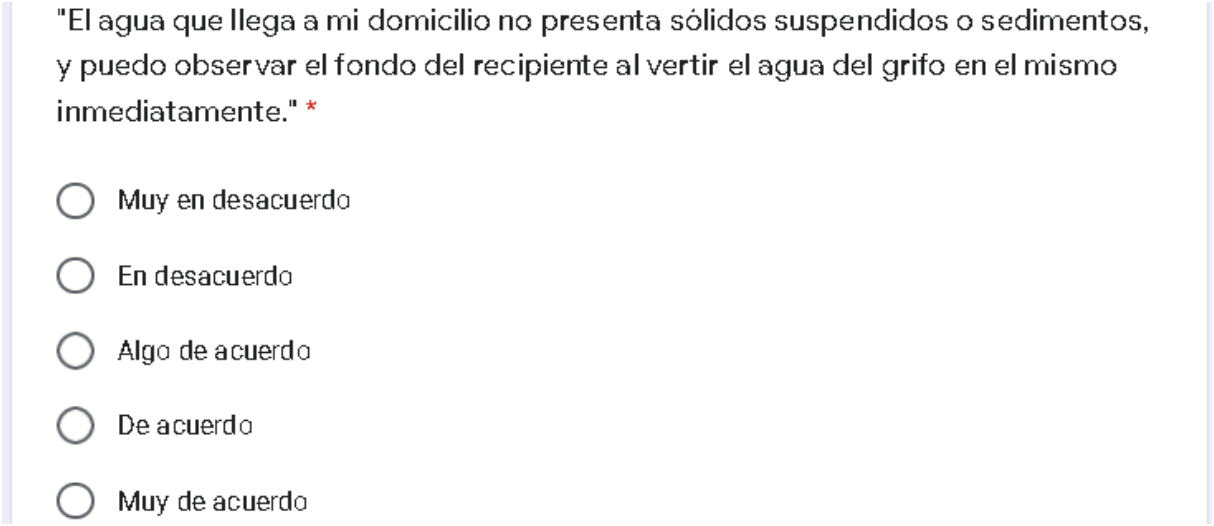


Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar la percepción del consumidor participante de sabor en el agua; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

4) *"El agua que llega a mi domicilio no presenta sólidos suspendidos o sedimentos, y puedo observar el fondo del recipiente al vertir el agua del grifo en el mismo inmediatamente."*

Figura 14

Percepción de turbidez en el agua



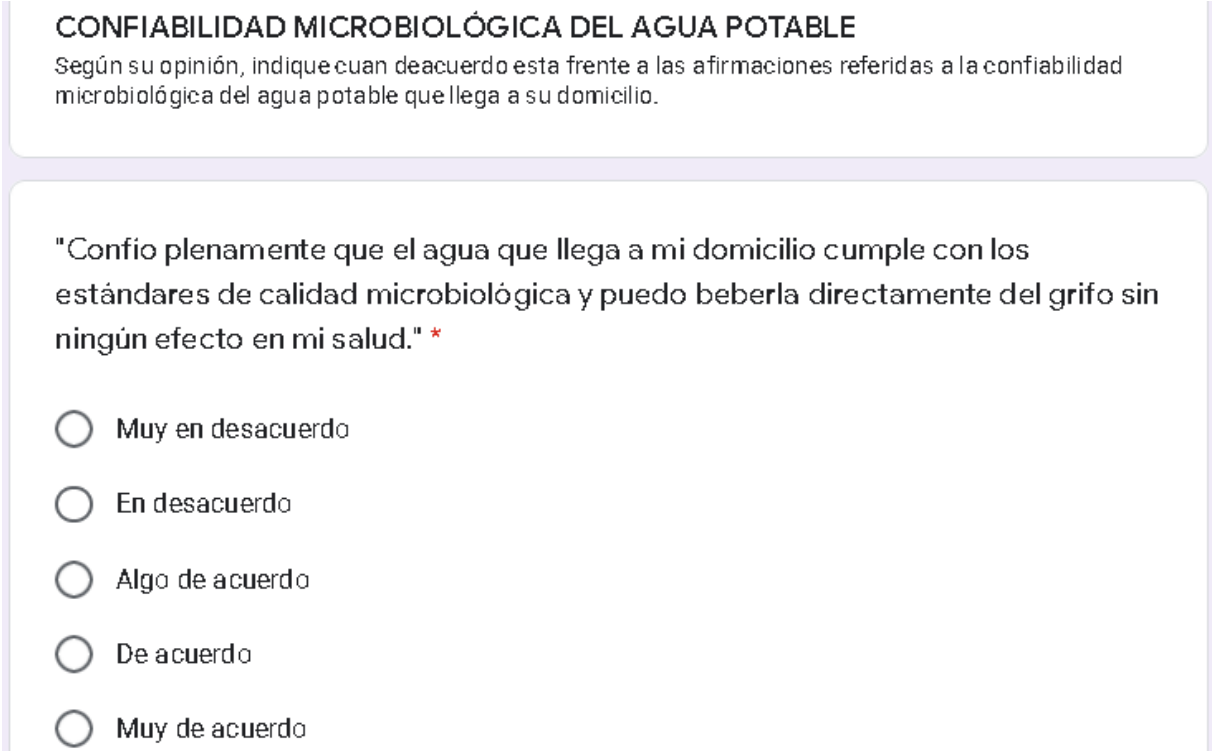
Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar la percepción del consumidor participante de turbidez (sedimentos) en el agua; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms".

2.7.7. Confiabilidad de la calidad del Agua Potable

En esta sección del modelo de encuesta aplicado, se realizó la siguiente afirmación: *"Confío plenamente que el agua que llega a mi domicilio cumple con los estándares de calidad microbiológica y puedo beberla directamente del grifo sin ningún efecto en mi salud."*. Mediante la escala Likert se evaluaría la confiabilidad del participante sobre la calidad microbiológica del agua potable en los siguientes niveles de concordancia como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15

Confiabilidad de la calidad microbiológica del agua



Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar la confiabilidad en la calidad microbiológica del agua potable del consumidor participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma “Google Forms”

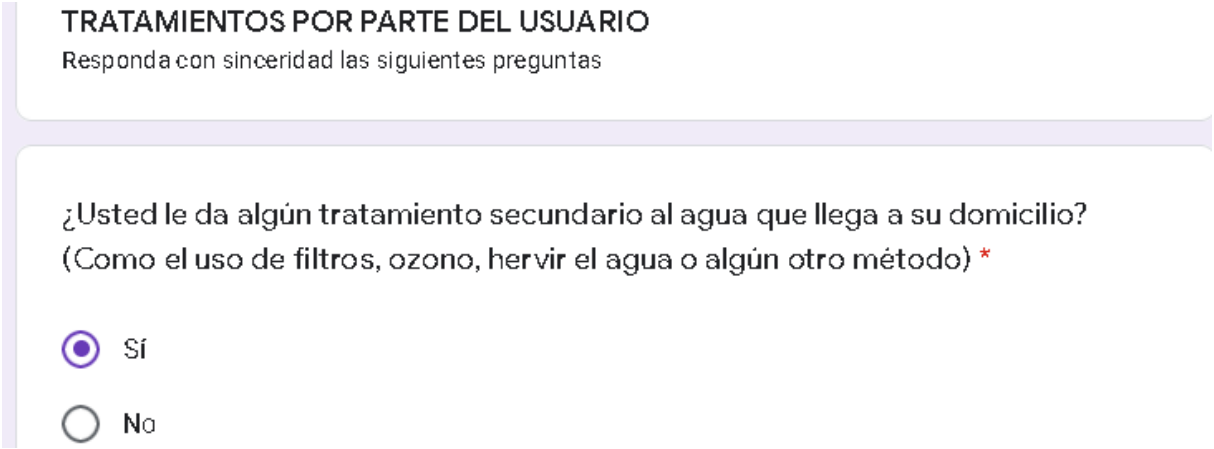
2.7.8. Tratamientos, Mantenimiento y estado de la red interna de tuberías por parte del consumidor

En esta sección del modelo de encuesta aplicado, se evaluó mediante tres preguntas de carácter dicotómico, es decir con opción de respuesta: sí o no, los tratamientos, mantenimientos y el estado de red interna de tuberías del usuario.

1) *"¿Usted le da algún tratamiento secundario al agua que llega a su domicilio? (Como el uso de filtros, ozono, hervir el agua o algún otro método)"*

Figura 16

Confiabilidad de la calidad microbiológica del agua

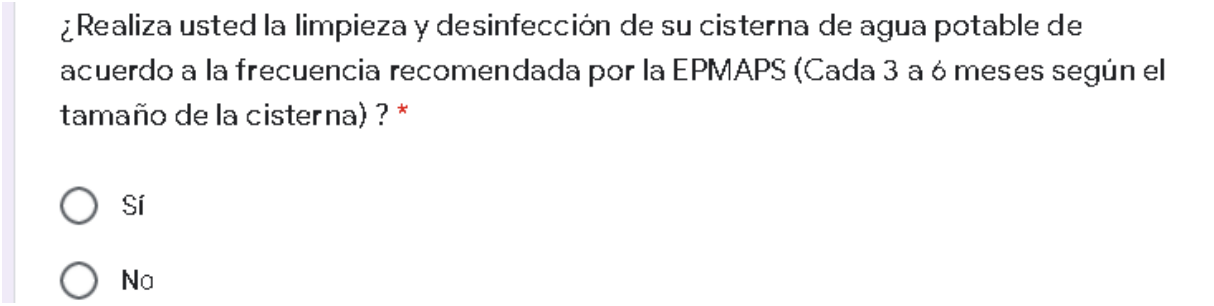


Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar si el consumidor participante da algún tipo de tratamiento al agua potable; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms"

2) *"¿Realiza usted la limpieza y desinfección de su cisterna de agua potable de acuerdo a la frecuencia recomendada por la EPMAPS (Cada 3 a 6 meses según el tamaño de la cisterna)?"*

Figura 17

Confiabilidad de la calidad microbiológica del agua

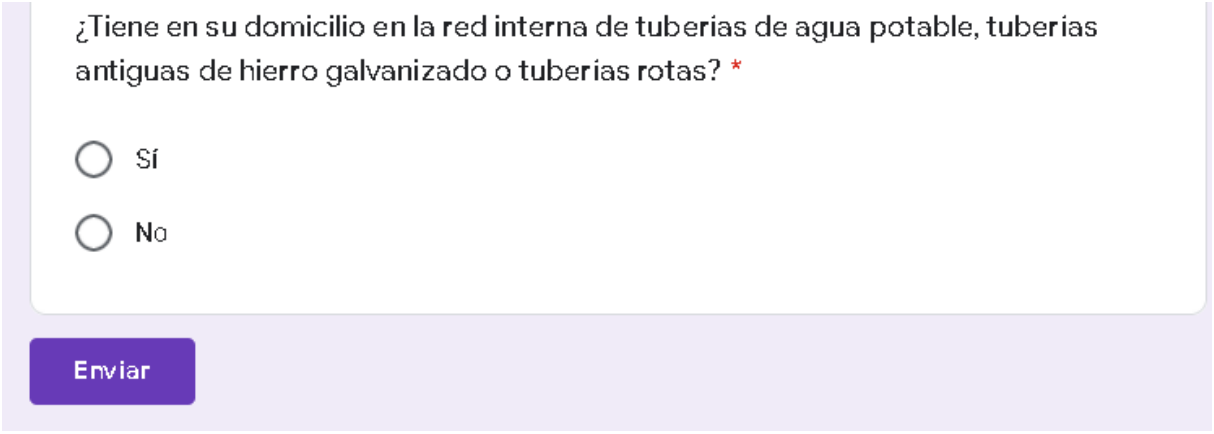


Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar si el consumidor participante da mantenimiento al tanque de reserva de agua potable de su domicilio; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms"

3) *"¿Tiene en su domicilio en la red interna de tuberías de agua potable, tuberías antiguas de hierro galvanizado o tuberías rotas?"*

Figura 18

Confiabilidad de la calidad microbiológica del agua



Nota. La figura presentada es una foto captura del modelo de encuesta aplicado en cuanto a la pregunta para evaluar el estado de las tuberías internas del domicilio del consumidor participante; creado por el autor de este trabajo de titulación, mediante la plataforma "Google Forms"

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

3.1.Resultados tabulados

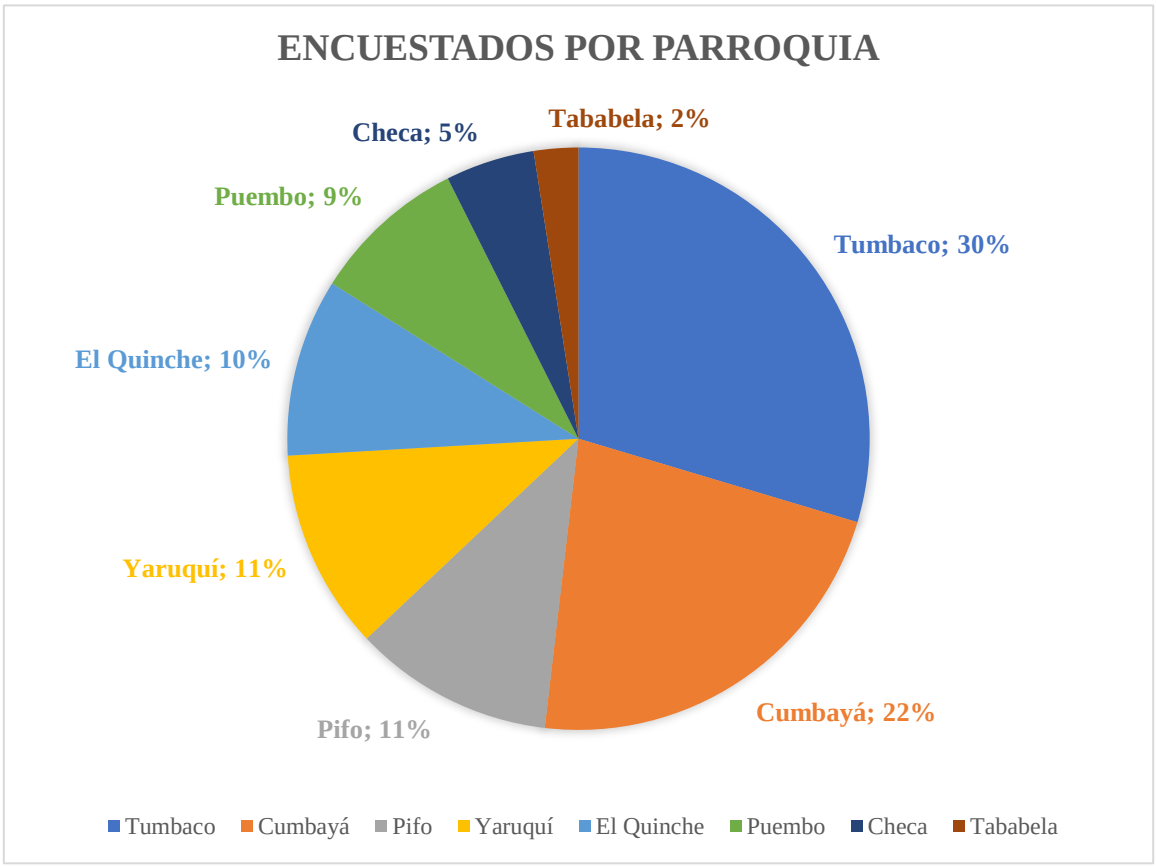
Con base en las 405 encuestas realizadas desde el quince de enero de 2021 hasta el doce de marzo de 2021, se pudo determinar la valoración cualitativa en escala Likert de las parroquias: Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Puembo, Tababela, Yaruquí, Checa y Tababela. Sin embargo, para facilidad de presentación de resultados se decidió establecer paralelamente una valoración cuantitativa de los encuestados en los mismos niveles establecidos de la escala Likert. Esto se realizó asignando el valor 1 a la calificación o satisfacción más desfavorable y escalando en una unidad ascendentemente hasta el valor de 5 para la calificación o satisfacción más favorable.

Los resultados generales cualitativos y cuantitativos de todas las parroquias se presentan a continuación. Para una visualización de los resultados de las encuestas en bruto se puede revisar el anexo 1. Adicionalmente, la calificación cuantitativa por sexo y no solo por parroquia se puede observar en el anexo 2.

Cabe recalcar que el número de encuestas excedentes que se obtuvieron fueron descartadas según la fecha en la que se realizó, siendo las últimas en realizarse y que eran excedentes las que se descartaron. De esa manera, se logró controlar que solo existan 405 encuestas.

Figura 19

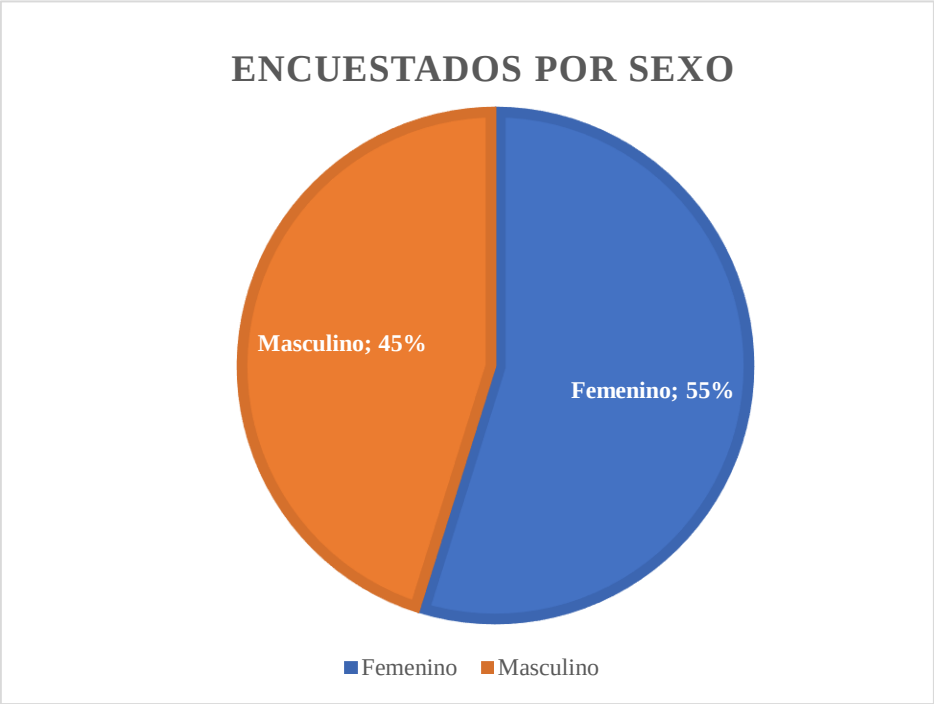
Porcentaje de encuestados por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra los encuestados por parroquia y su porcentaje en un gráfico pastel del total de 405 encuestados según la muestra calculada en cada parroquia.

Figura 20

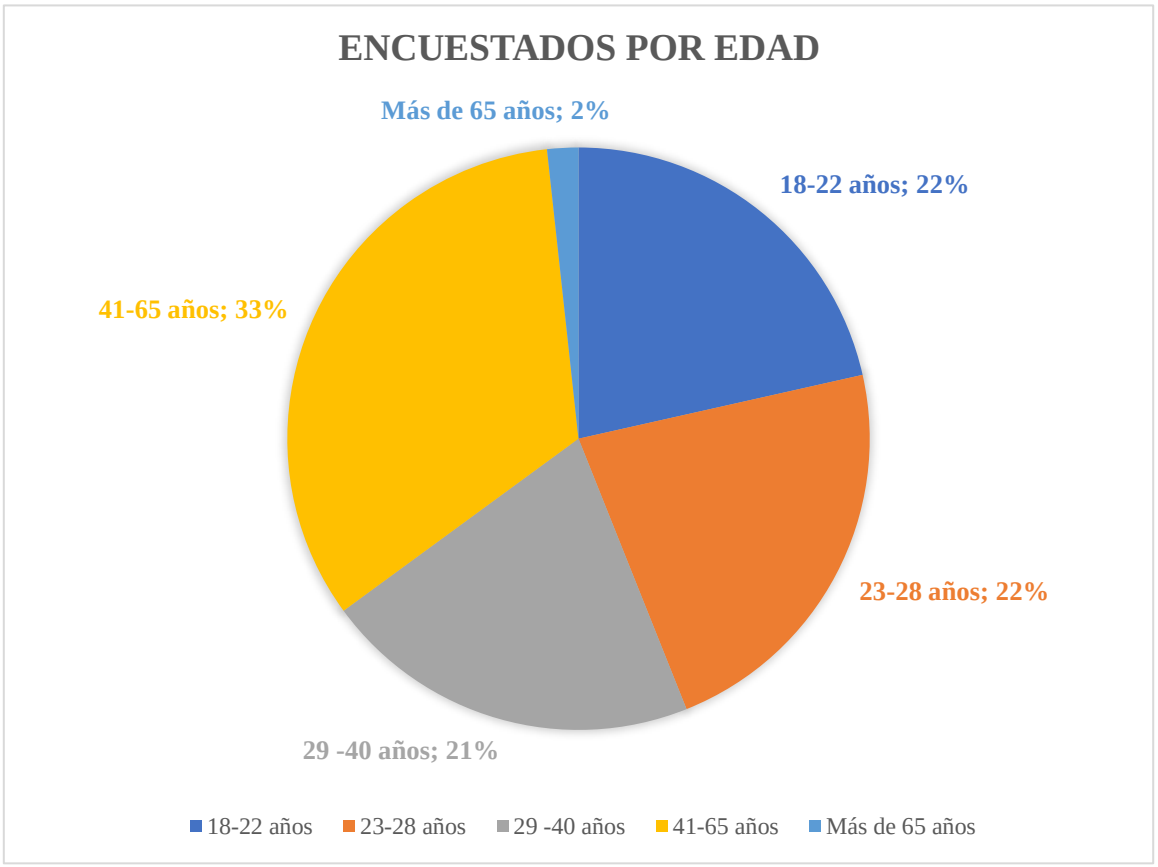
Porcentaje de encuestados por sexo



Nota. .La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra los encuestados por sexo y su porcentaje en un gráfico pastel del total de 405 encuestados según la muestra calculada de las parroquias encuestadas.

Figura 21

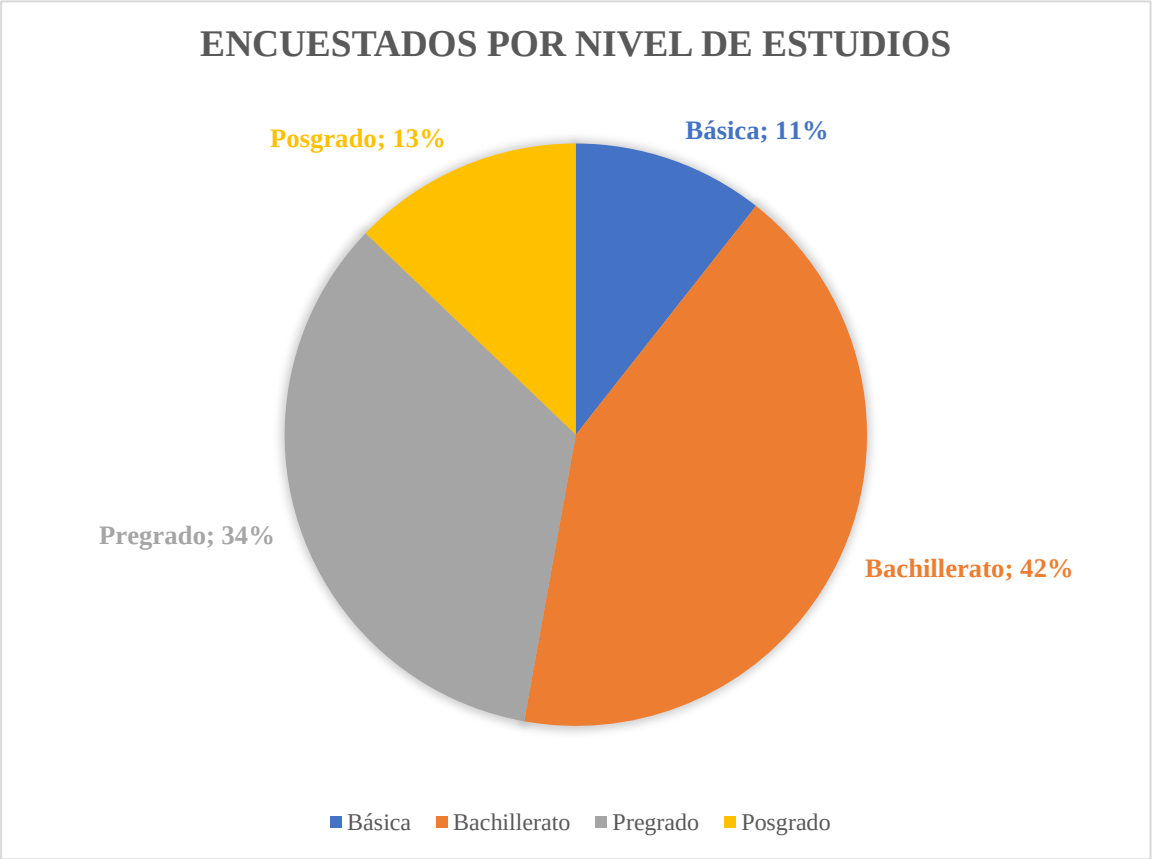
Porcentaje de encuestados por edad



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra los encuestados por grupo etario y su porcentaje en un gráfico pastel del total de 405 encuestados según la muestra calculada de las parroquias encuestadas.

Figura 22

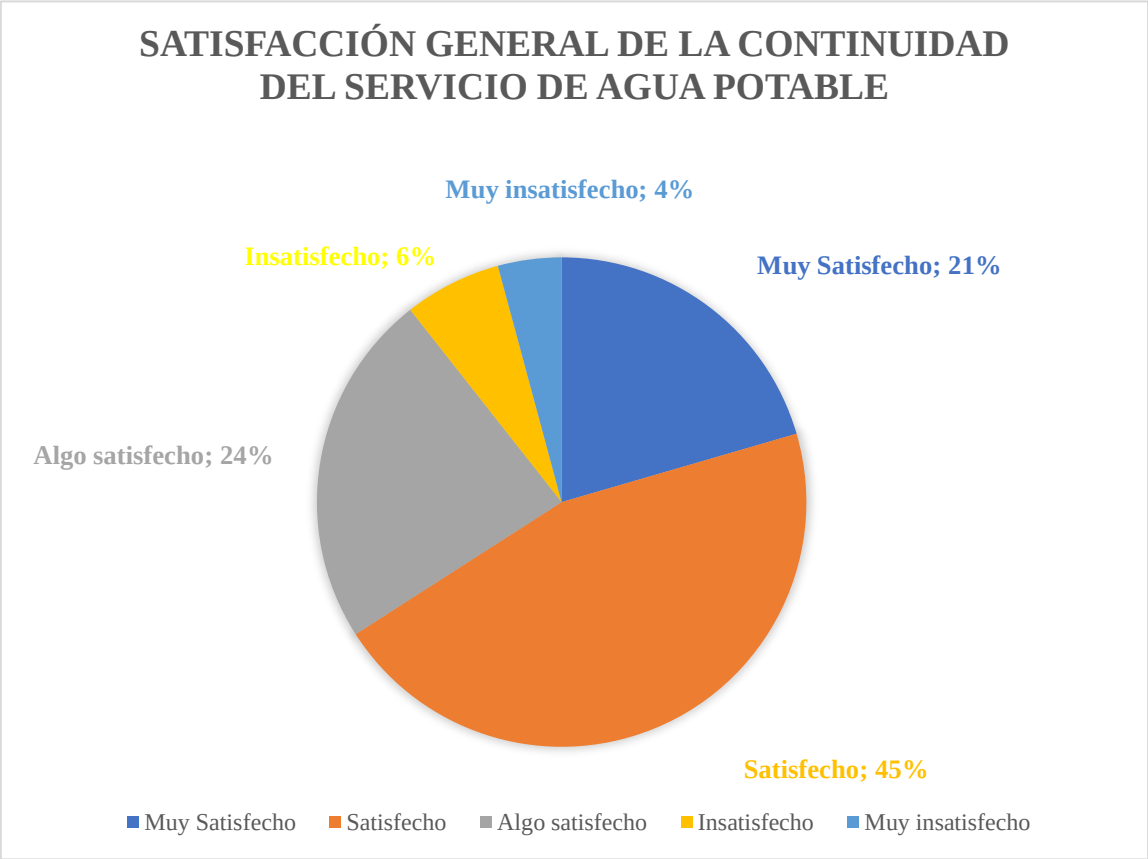
Porcentaje de encuestados por nivel de estudios



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra los encuestados por grupo etario y su porcentaje en un gráfico pastel del total de 405 encuestados según la muestra calculada de las parroquias encuestadas.

Figura 23

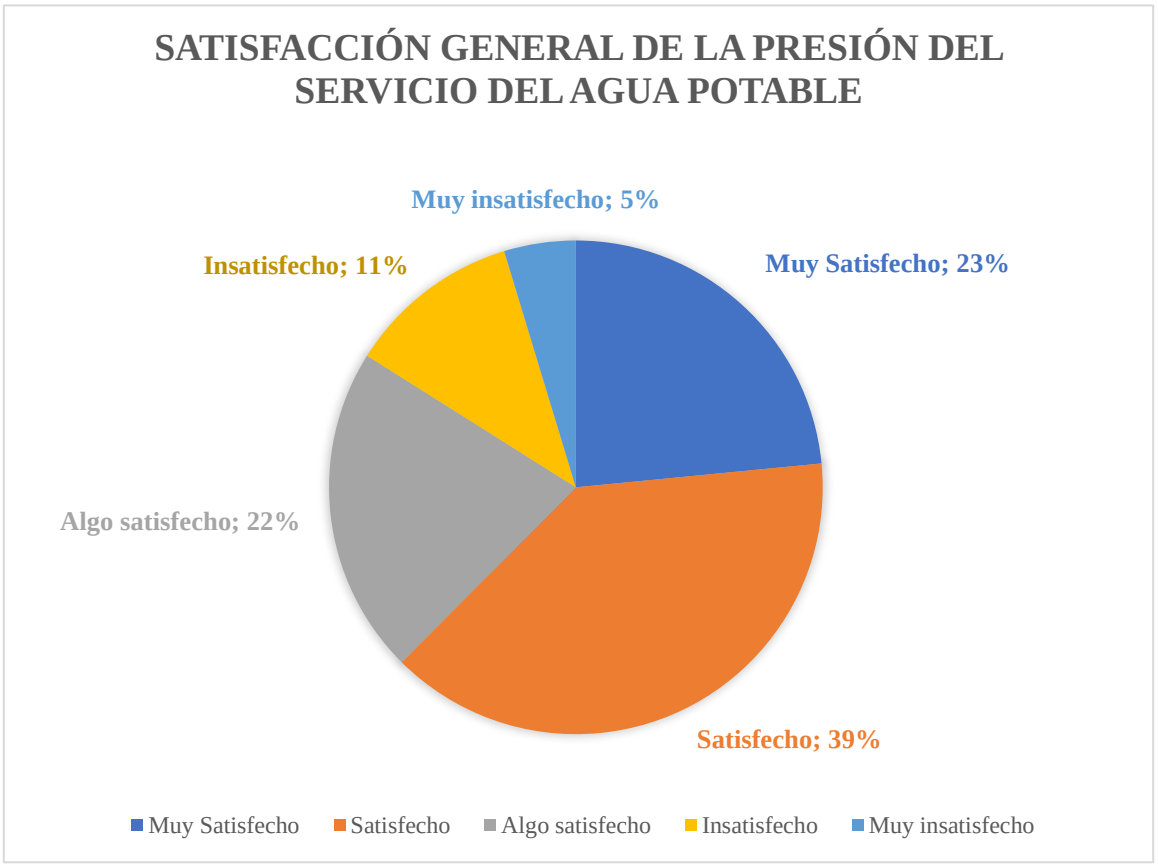
Porcentaje del nivel de satisfacción respecto a la continuidad del servicio de agua potable



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la satisfacción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la continuidad del servicio de agua potable en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de satisfacción.

Figura 24

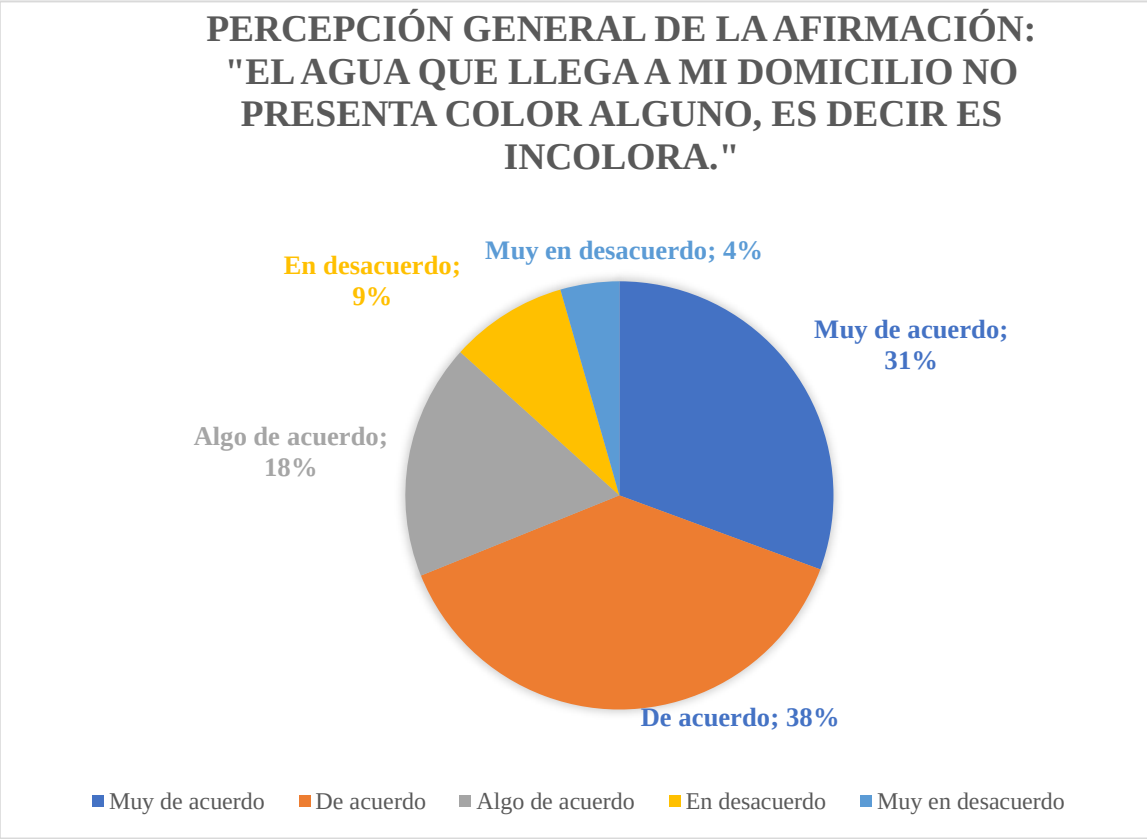
Porcentaje del nivel de satisfacción respecto a la presión del servicio de agua potable



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la satisfacción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la presión del servicio de agua potable en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de satisfacción.

Figura 25

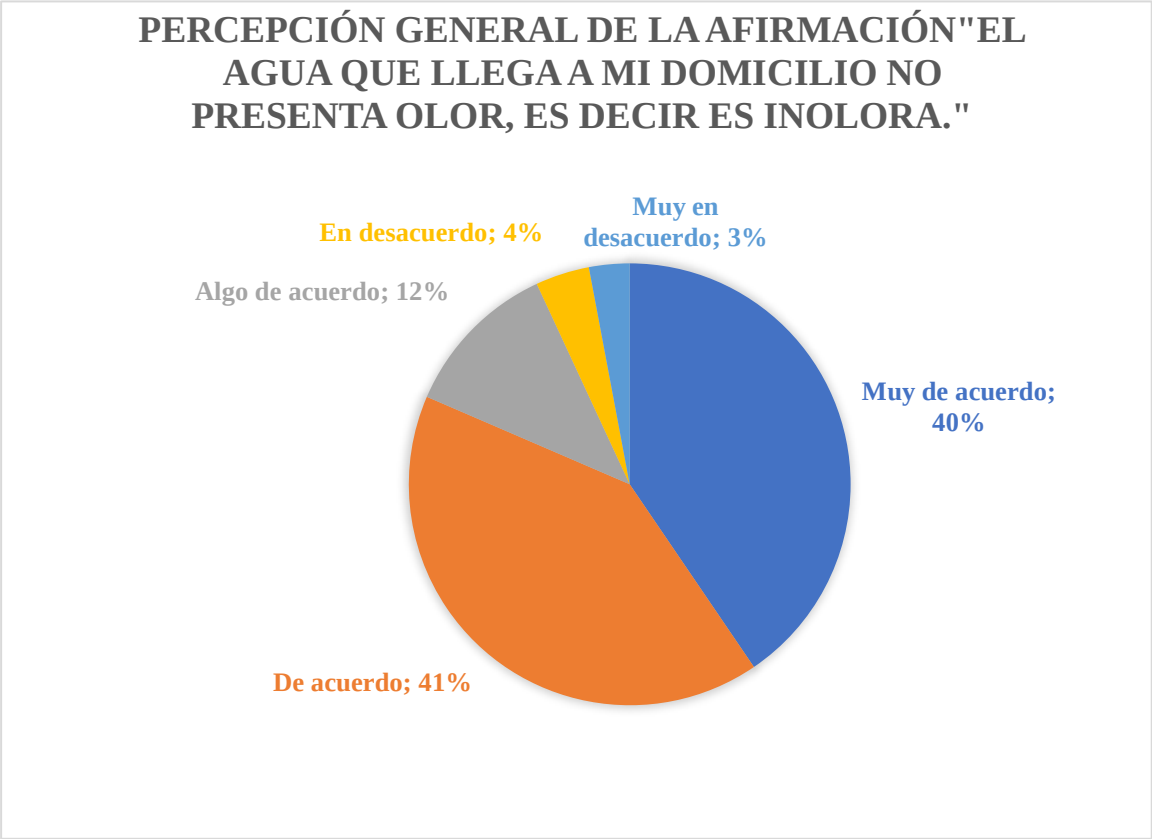
Porcentaje de percepción de agua incolora



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la percepción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la ausencia de color en el agua potable, en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de percepción.

Figura 26

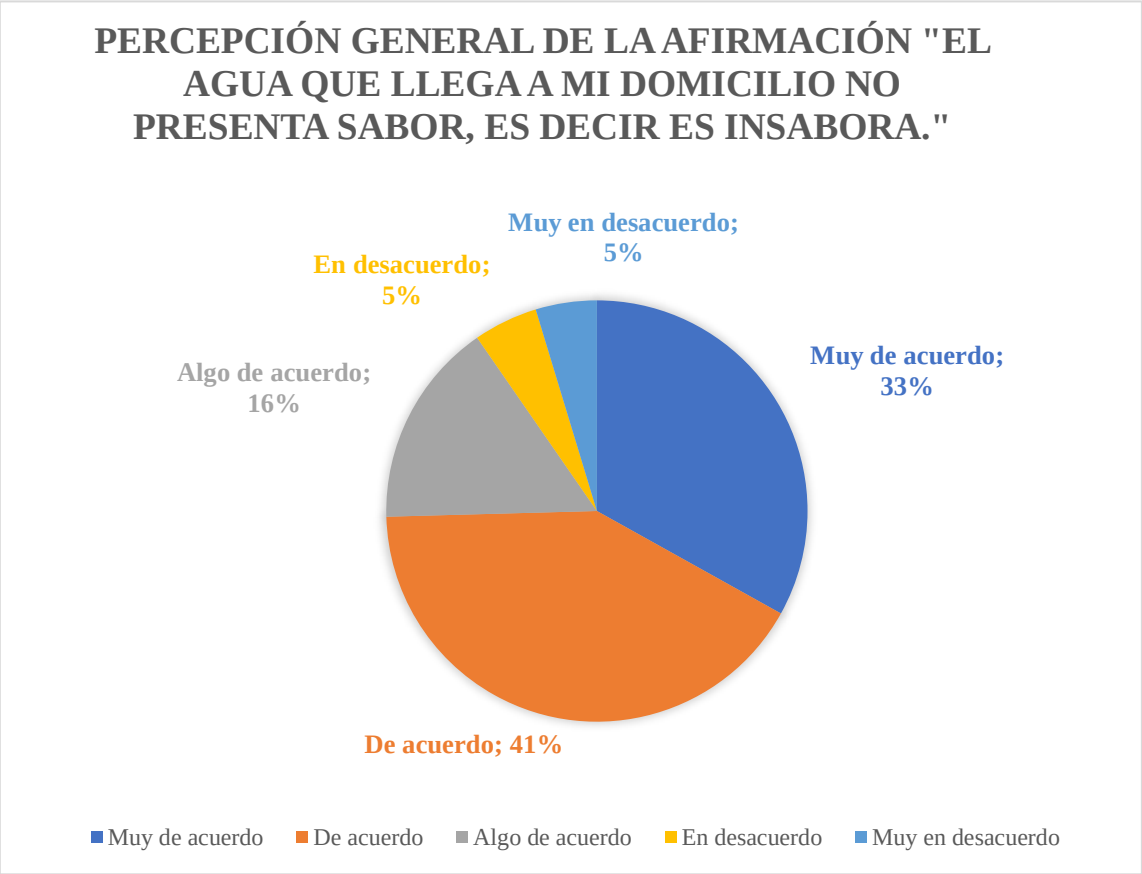
Porcentaje de percepción de agua inolora



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la percepción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la ausencia de olor en el agua potable, en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de percepción.

Figura 27

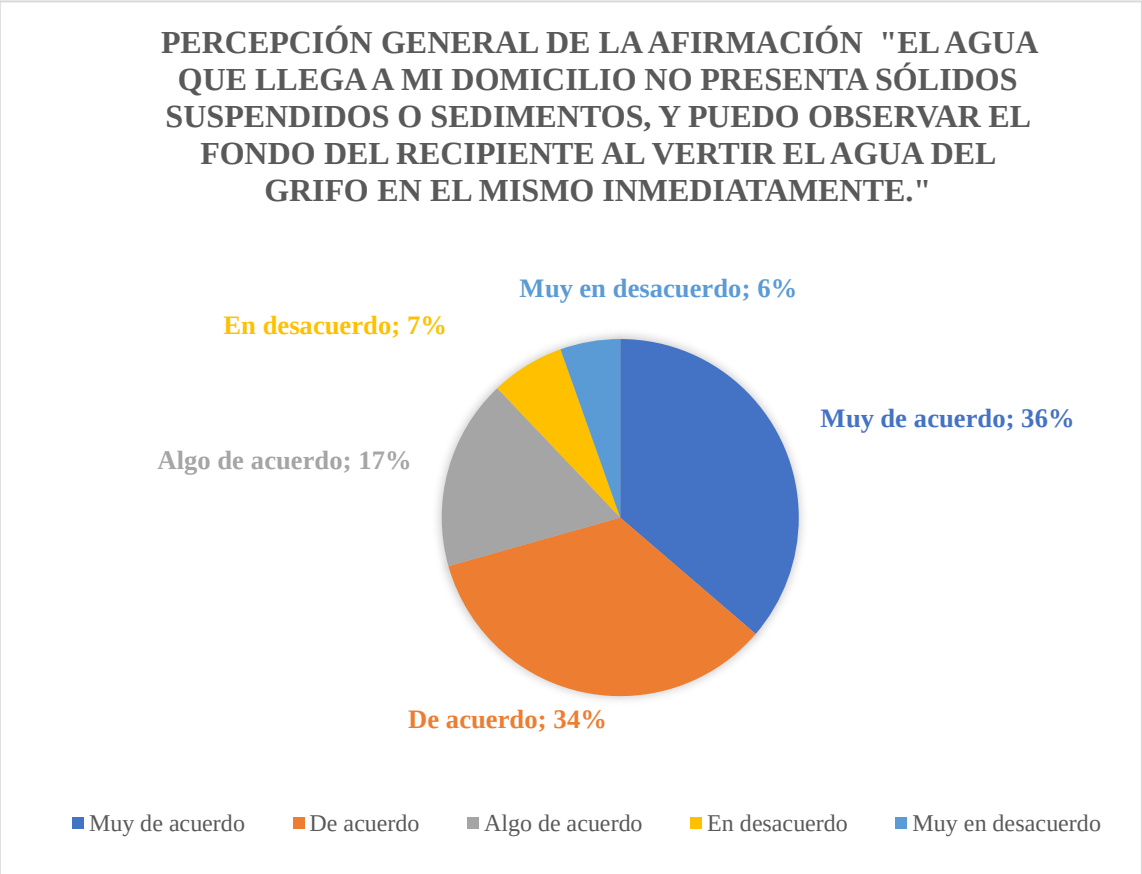
Porcentaje de percepción de agua insabora



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la percepción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la ausencia de sabor en el agua potable, en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de percepción.

Figura 28

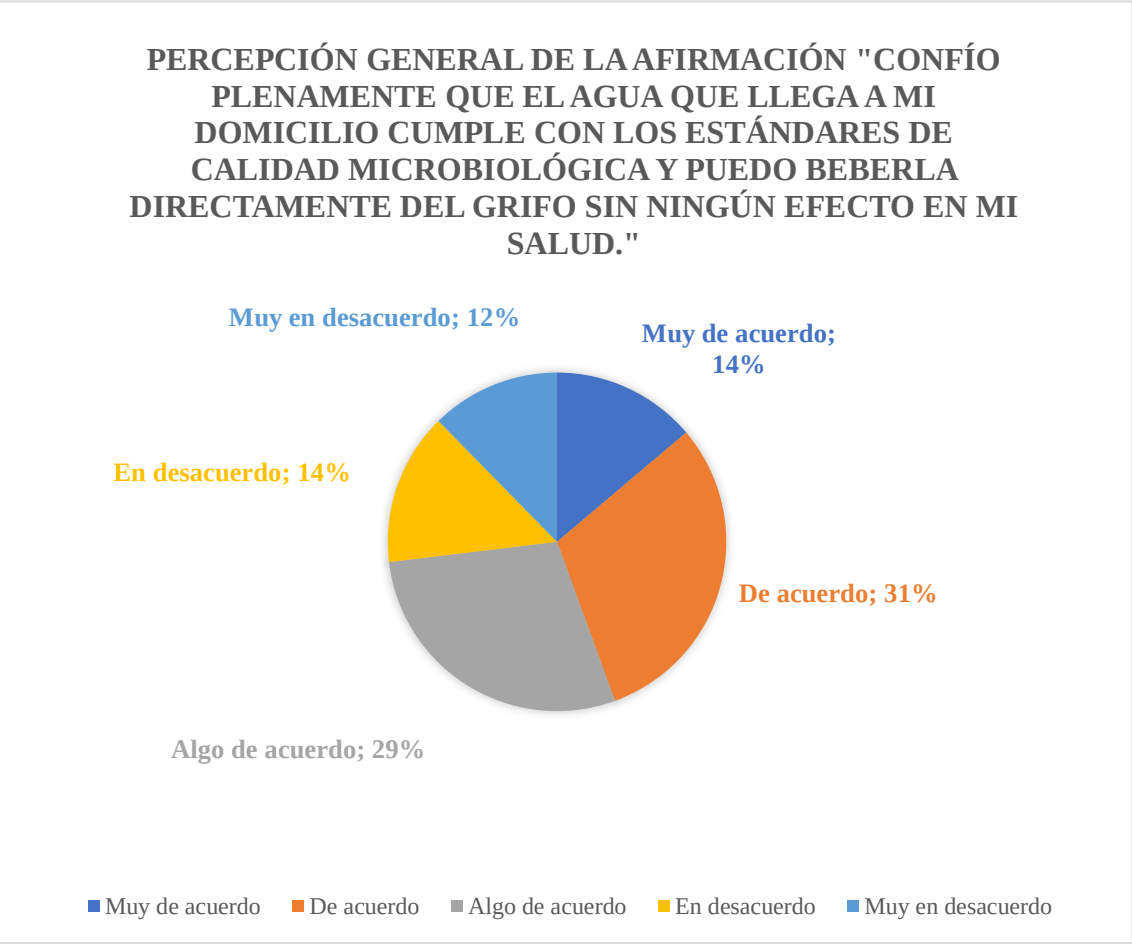
Porcentaje de percepción de agua sin turbidez o sedimentos



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la percepción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la ausencia de turbidez y sedimentos en el agua potable, en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de percepción.

Figura 29

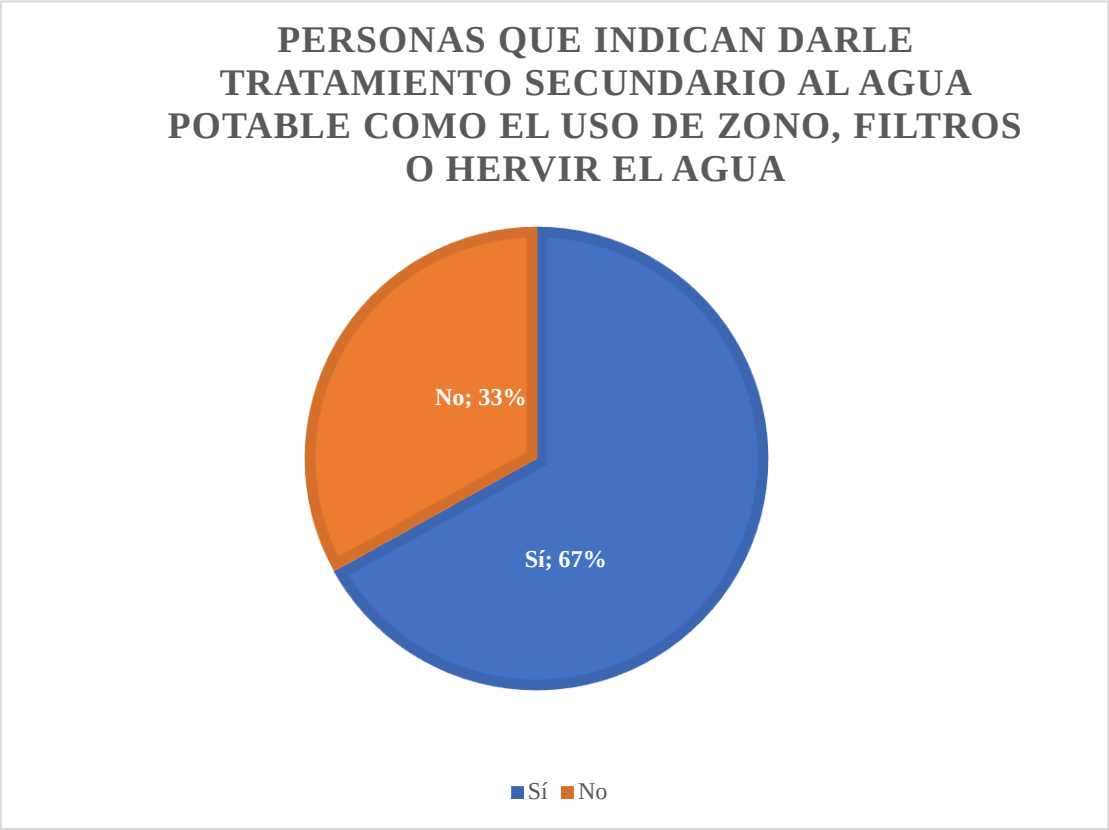
Porcentaje de confiabilidad microbiológica del agua potable



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra la percepción general de los 405 encuestados en escala cualitativa de todas las parroquias respecto a la confiabilidad microbiológica del agua potable, en un gráfico pastel con el porcentaje y número de personas en cada nivel de confiabilidad.

Figura 30

Porcentaje de encuestados que dan tratamientos secundarios al agua potable



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra el porcentaje y número de personas que le dan o no tratamiento secundario al agua potable, en un gráfico pastel del total de 405 encuestados.

Figura 31

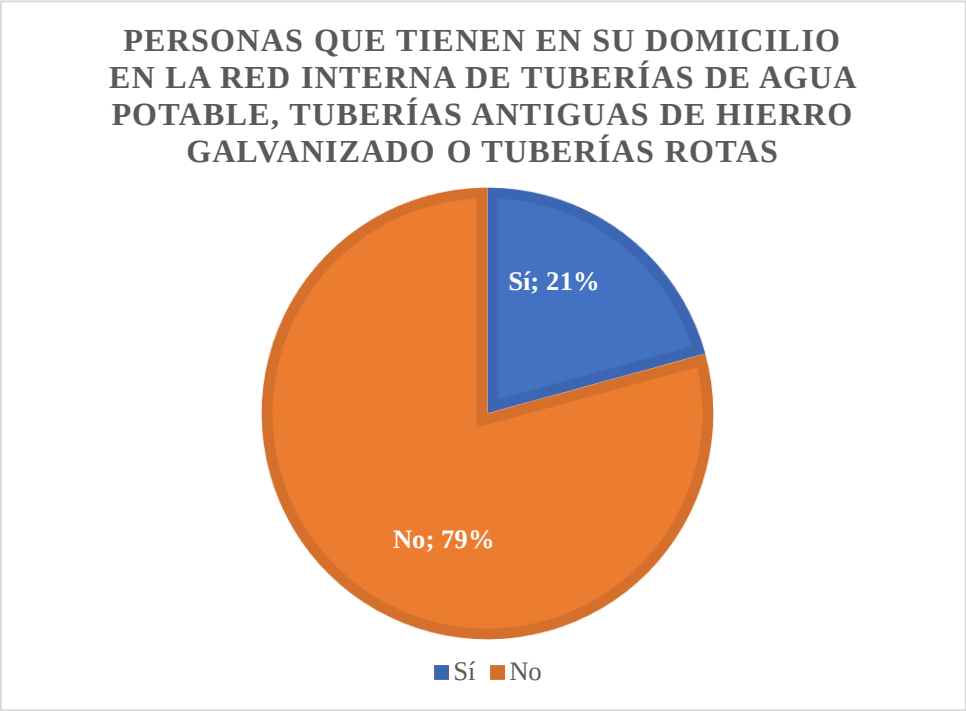
Porcentaje de encuestados que dan mantenimiento a su cisterna



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra el porcentaje y número de personas que le dan o no tratamiento secundario al agua potable, en un gráfico pastel del total de 405 encuestados. Es necesario aclarar que del porcentaje que refleja no darle mantenimiento a su cisterna, puede que no tengan cisterna en su domicilio.

Figura 32

Porcentaje de encuestados con tuberías antiguas o rotas en su domicilio



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra el porcentaje y número de personas que tienen tuberías rotas o antiguas en sus domicilios, en un gráfico pastel del total de 405 encuestados.

Figura 33

Calificación media general cuantitativa de todas las preguntas

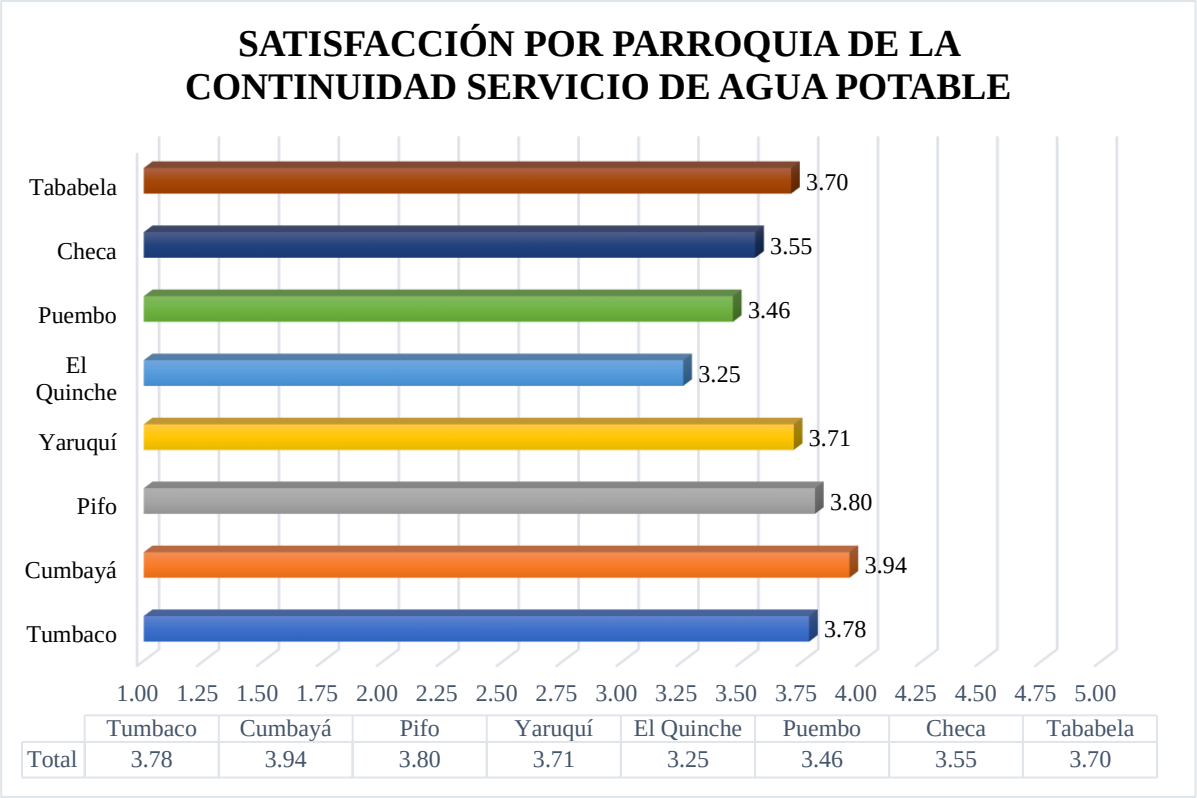


Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa de manera general la calificación de los encuestados respecto a todas las preguntas en escala Likert; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy insatisfecho o muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy satisfecho o muy de acuerdo.

3.1.1. Satisfacción de la continuidad del servicio de agua potable en escala cuantitativa

Figura 34

Satisfacción cuantitativa por parroquia de la continuidad del servicio de agua potable

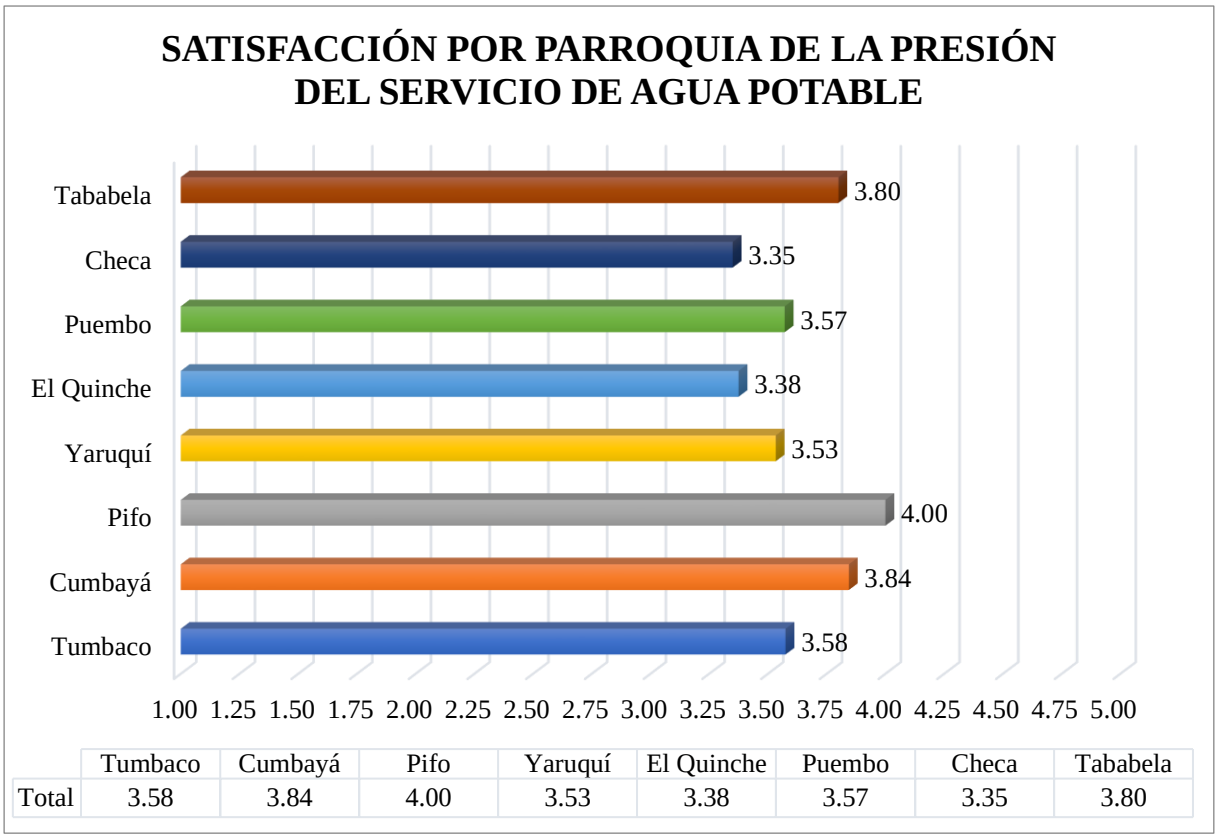


Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la satisfacción de los encuestados respecto a la continuidad del servicio de agua potable; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy insatisfecho, y 5 la máxima calificación posible es decir muy satisfecho.

3.1.2. Satisfacción de la presión del servicio de agua potable en escala cuantitativa

Figura 35

Satisfacción cuantitativa por parroquia de la presión del servicio de agua potable



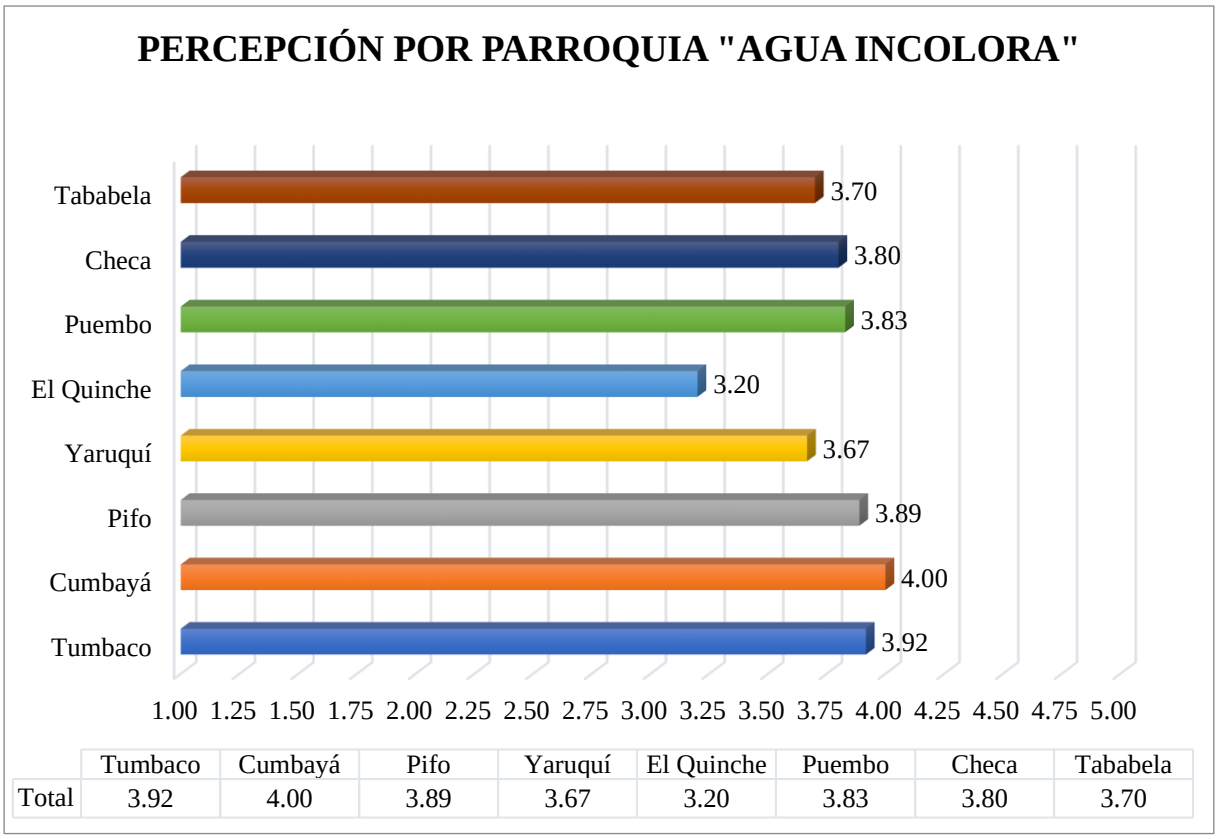
	Tumbaco	Cumbayá	Pifo	Yaruquí	El Quinche	Puembo	Checa	Tababela
Total	3.58	3.84	4.00	3.53	3.38	3.57	3.35	3.80

Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la satisfacción de los encuestados respecto a la presión del servicio de agua potable; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy insatisfecho, y 5 la máxima calificación posible es decir muy satisfecho.

3.1.3. Percepción de la calidad física del agua potable escala cuantitativa

Figura 36

Percepción cuantitativa por parroquia de agua incolora

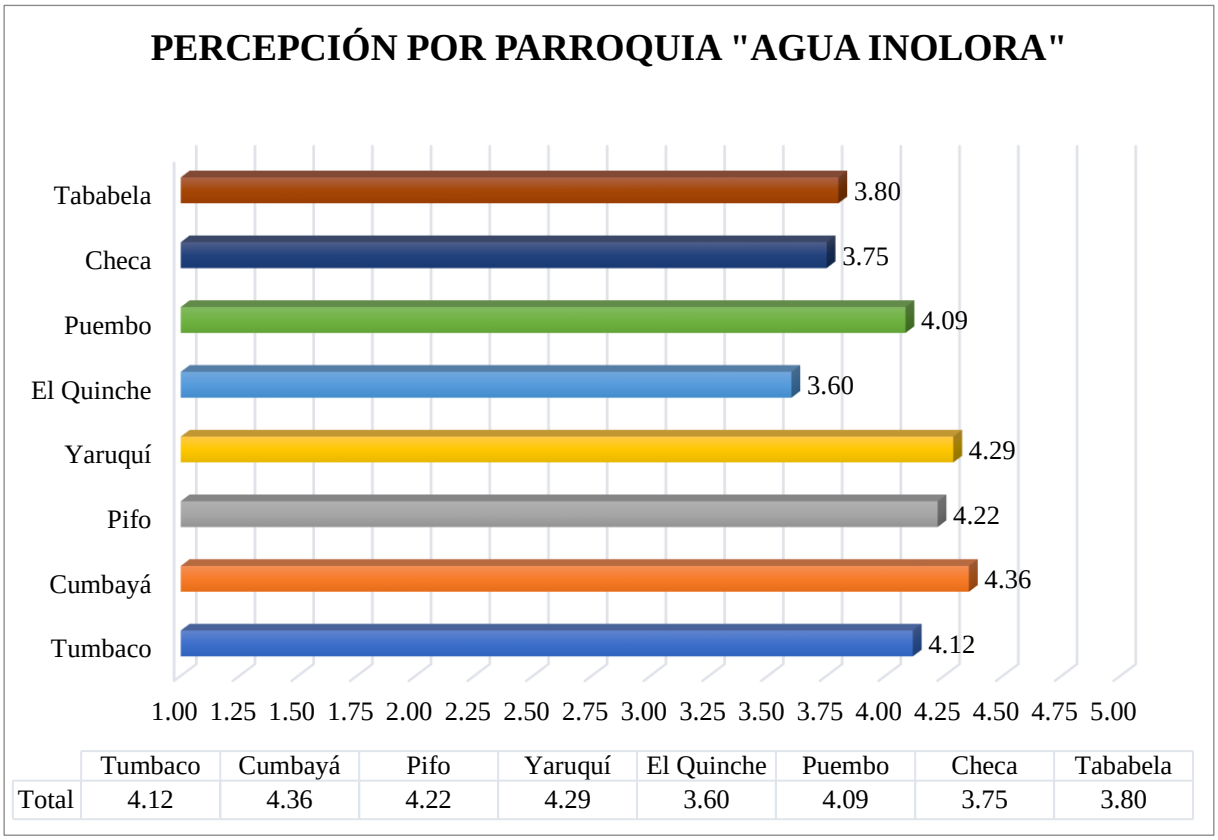


	Tumbaco	Cumbayá	Pifo	Yaruquí	El Quinche	Puembo	Checa	Tababela
Total	3.92	4.00	3.89	3.67	3.20	3.83	3.80	3.70

Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la calificación de la percepción de los encuestados respecto a la ausencia de color en el agua potable que llega a sus domicilios; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy de acuerdo.

Figura 37

Percepción cuantitativa por parroquia de agua inolora

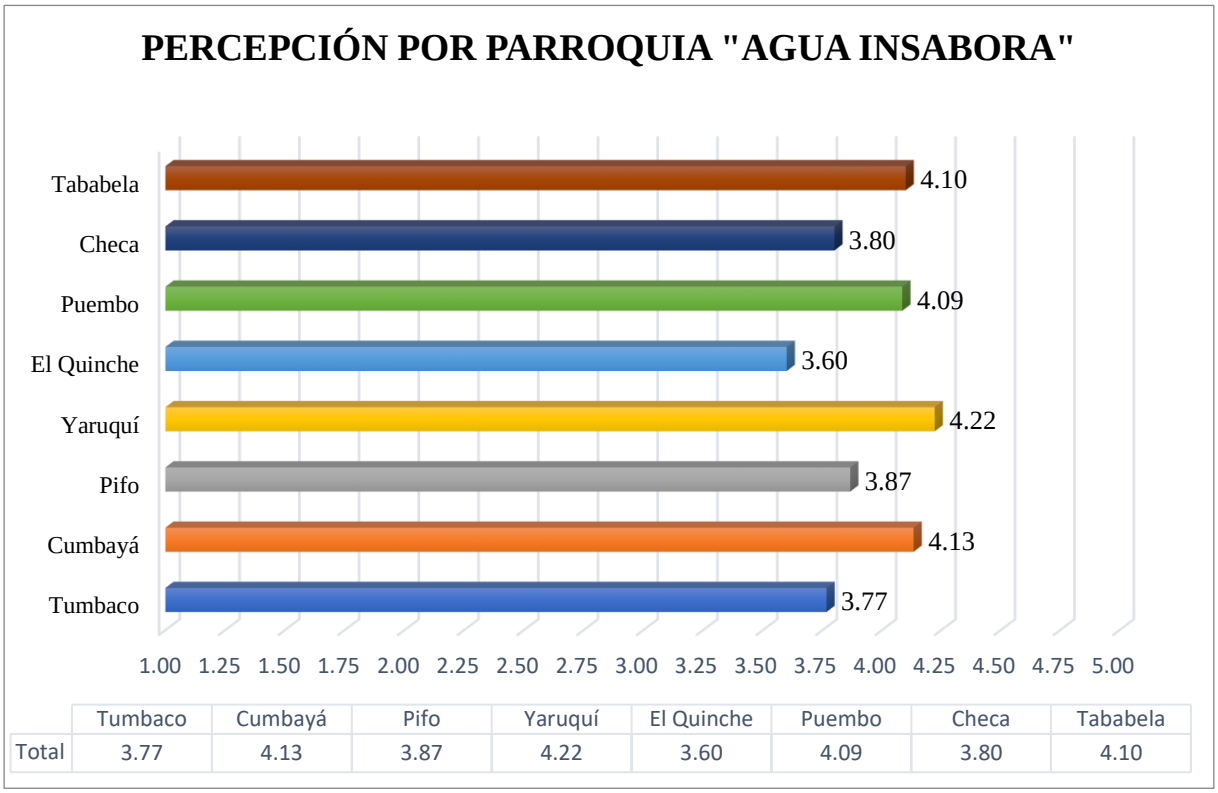


	Tumbaco	Cumbayá	Pifo	Yaruquí	El Quinche	Puembo	Checa	Tababela
Total	4.12	4.36	4.22	4.29	3.60	4.09	3.75	3.80

Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la calificación de la percepción de los encuestados respecto a la ausencia de color en el agua potable que llega a sus domicilios; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy de acuerdo.

Figura 38

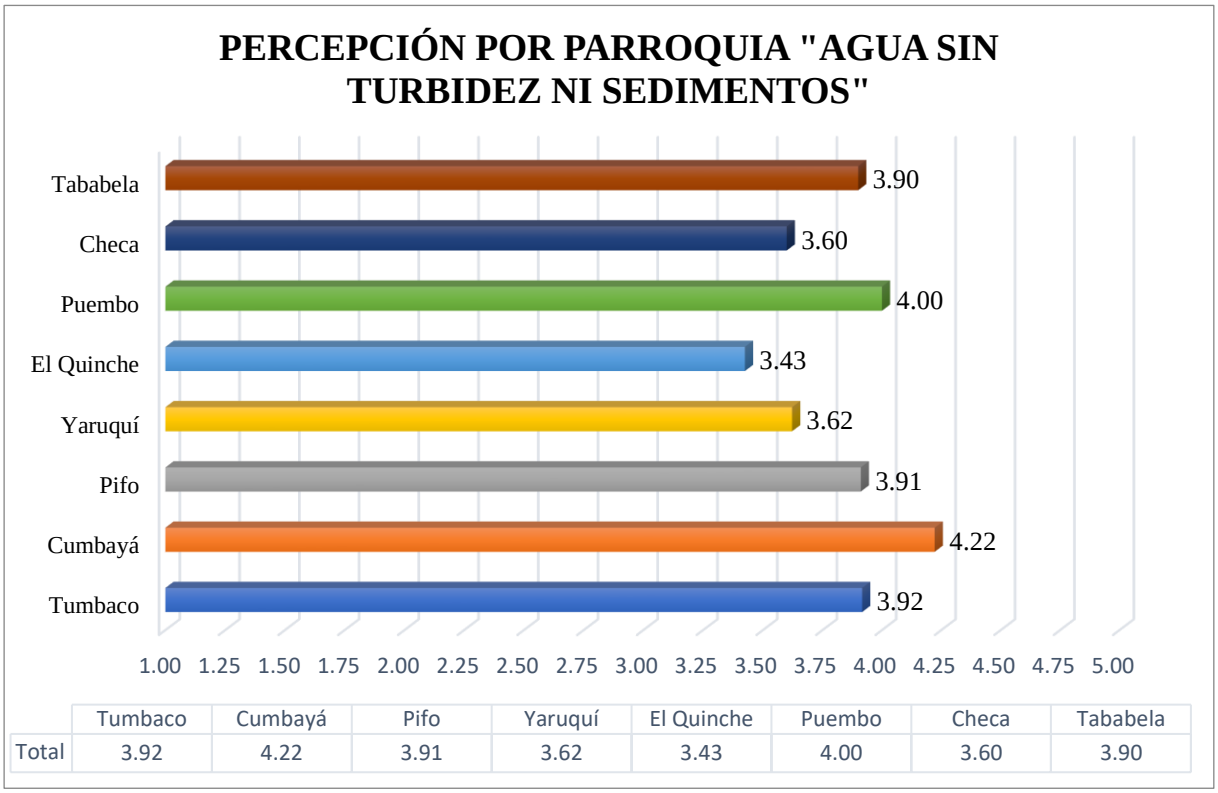
Percepción cuantitativa por parroquia de agua insabora



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la calificación de la percepción de los encuestados respecto a la ausencia de sabor en el agua potable que llega a sus domicilios; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy de acuerdo.

Figura 39

Percepción cuantitativa por parroquia de agua sin turbidez y sedimentos

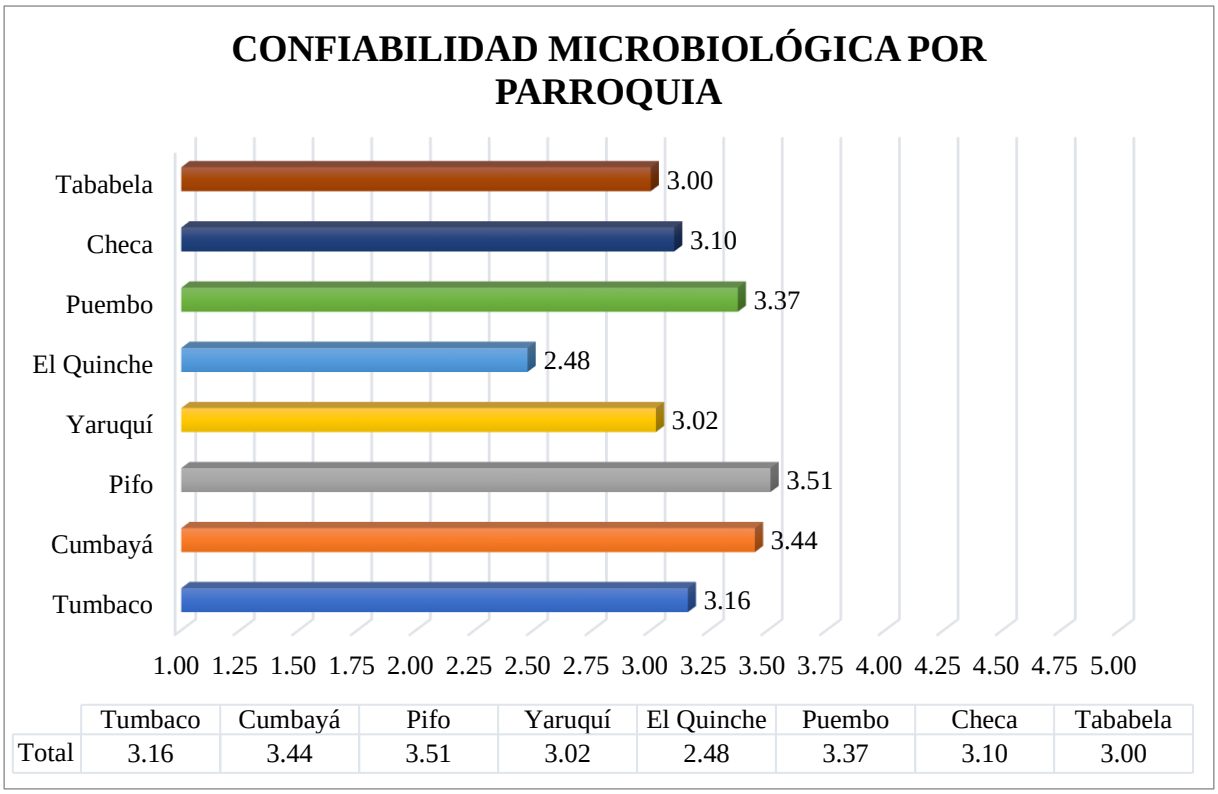


Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la calificación de la percepción de los encuestados respecto a la ausencia de turbidez y sedimentos en el agua potable que llega a sus domicilios; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy de acuerdo.

3.1.4. Confiablidad microbiológica del agua potable escala cuantitativa

Figura 40

Confiabilidad microbiológica cuantitativa por parroquia



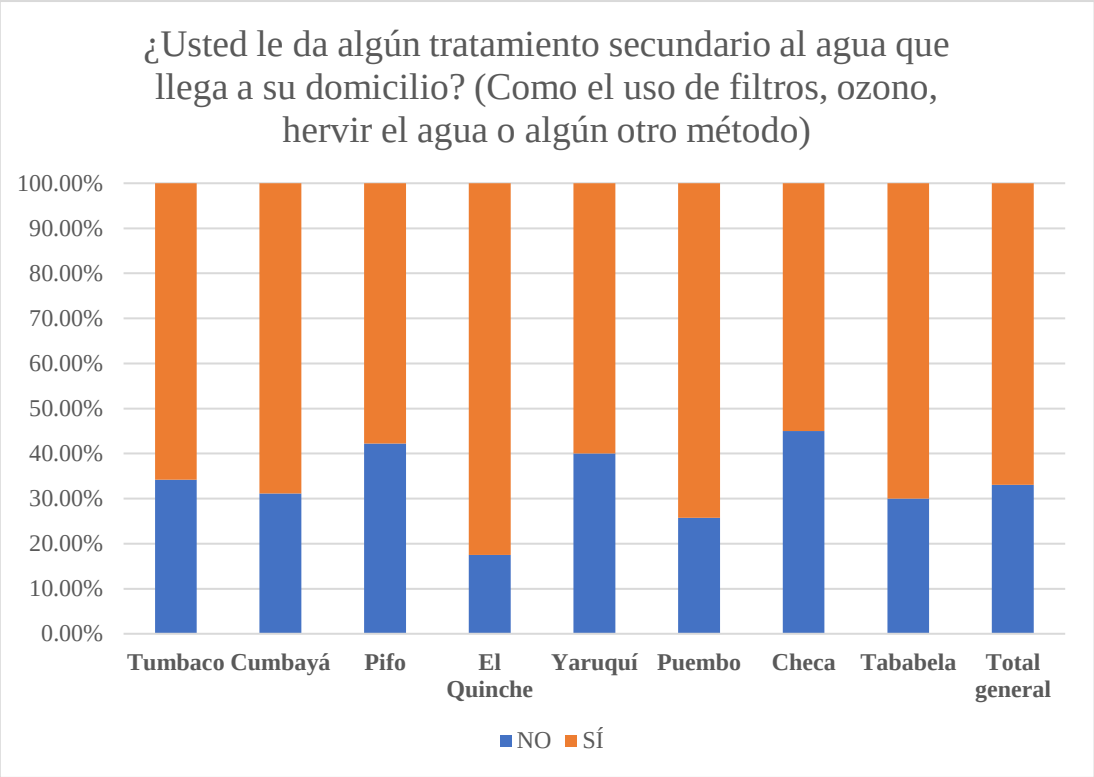
	Tumbaco	Cumbayá	Pifo	Yaruquí	El Quinche	Puembo	Checa	Tababela
Total	3.16	3.44	3.51	3.02	2.48	3.37	3.10	3.00

Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra en escala cuantitativa y por parroquia la calificación de los encuestados respecto a la confiabilidad microbiológica del agua potable que llega a sus domicilios; siendo 1 la menor calificación posible, es decir muy en desacuerdo, y 5 la máxima calificación posible es decir muy de acuerdo.

3.1.5. Tratamientos secundarios al agua potable por parte del consumidor

Figura 41

Porcentaje de personas que le dan tratamiento secundario al agua potable por parroquia

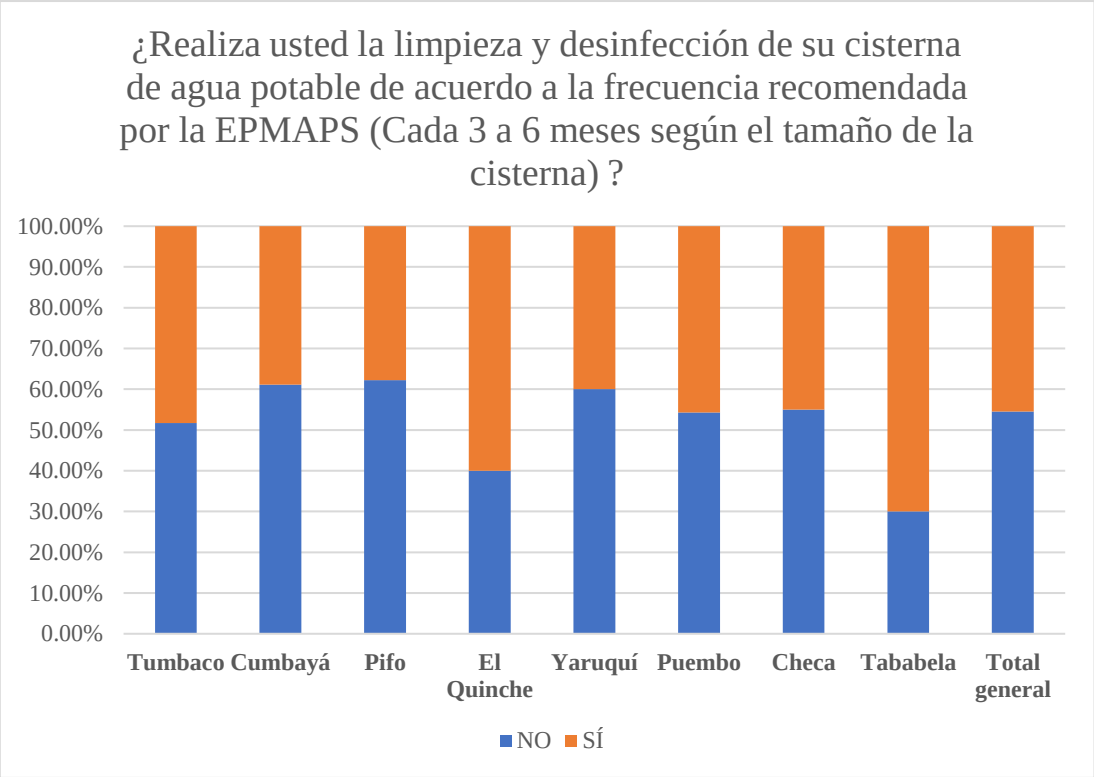


Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra por parroquia el porcentaje de los encuestados que dan o no tratamiento secundario al agua potable que llega a sus domicilios.

3.1.6. Mantenimiento de cisternas por parte de los consumidores

Figura 42

Porcentaje de personas que le dan mantenimiento a su cisterna por parroquia

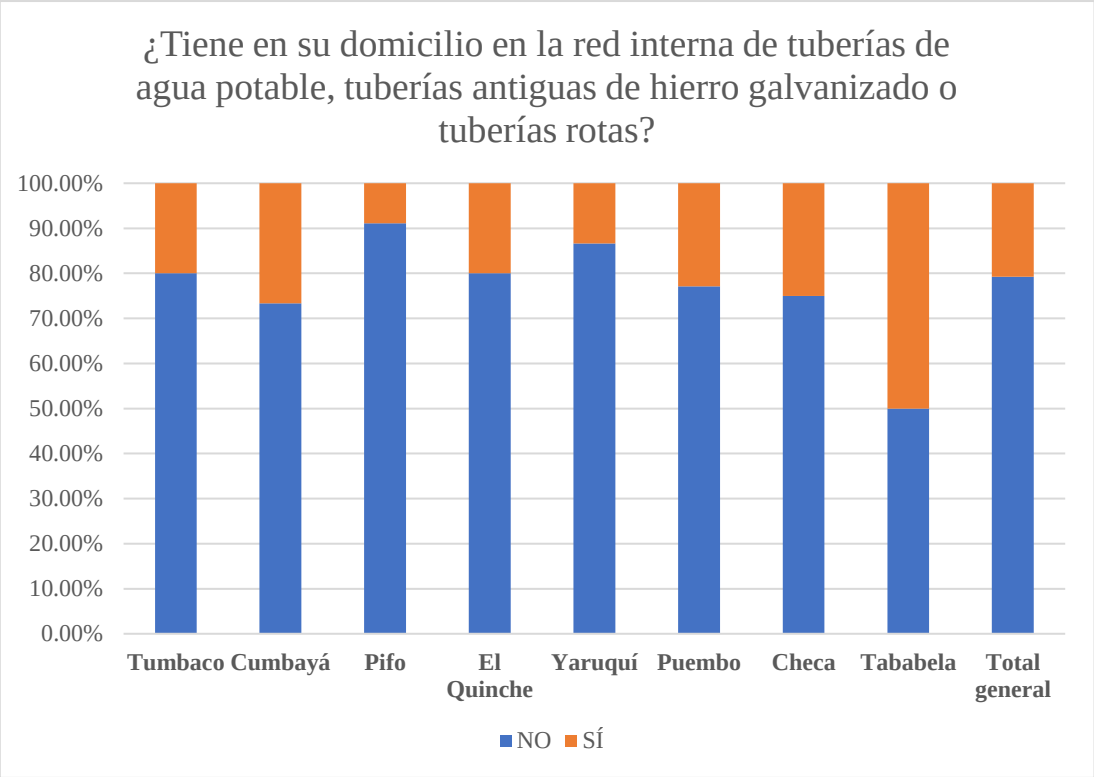


Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra por parroquia el porcentaje de los encuestados que dan o no mantenimiento a sus cisternas, incluyendo también a los usuarios que talvez no tienen cisterna.

3.1.7. Estado de la red interna de tuberías de los consumidores

Figura 43

Porcentaje de personas que tienen tuberías antiguas o rotas por parroquia



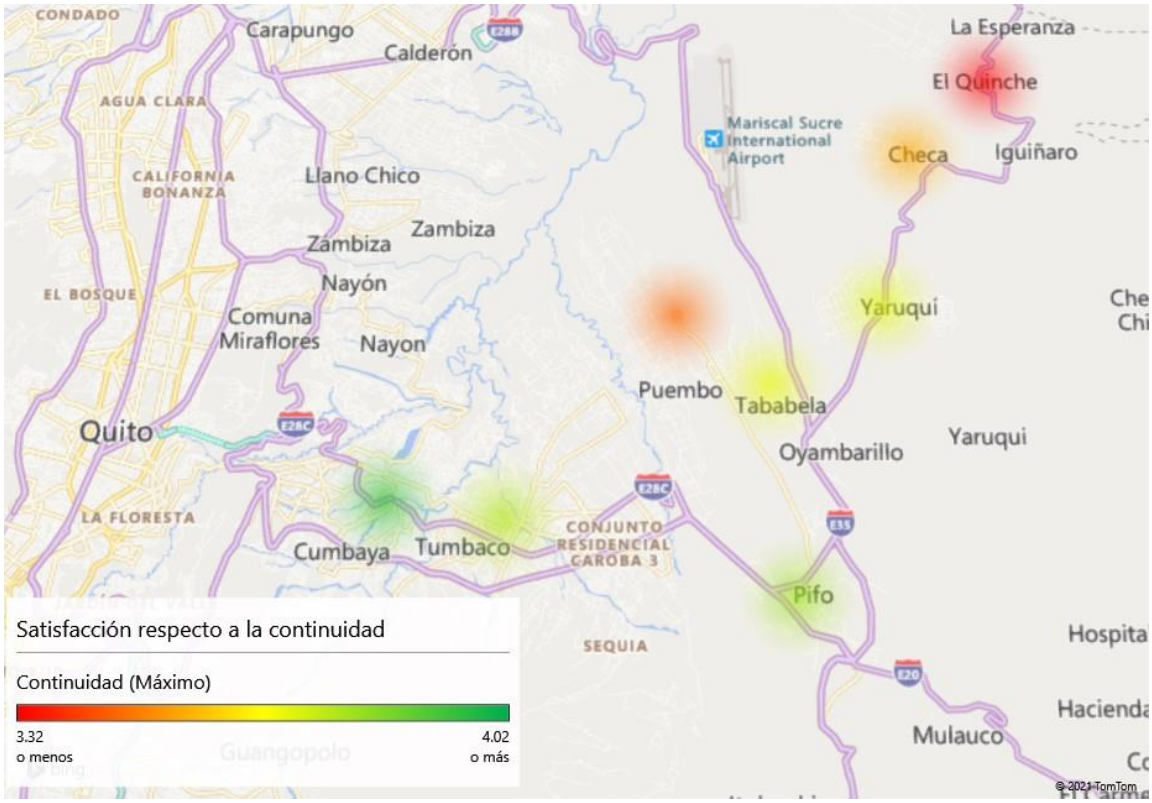
Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel. Muestra por parroquia el porcentaje de los encuestados que tienen o no tuberías antiguas o rotas en sus domicilios.

3.1.8. Mapas de calor

A continuación, en las siguientes figuras se puede evidenciar gráficamente en mapas de calor la percepción de las parroquias respecto a los diferentes parámetros de calidad tanto del agua potable y su servicio.

Figura 44

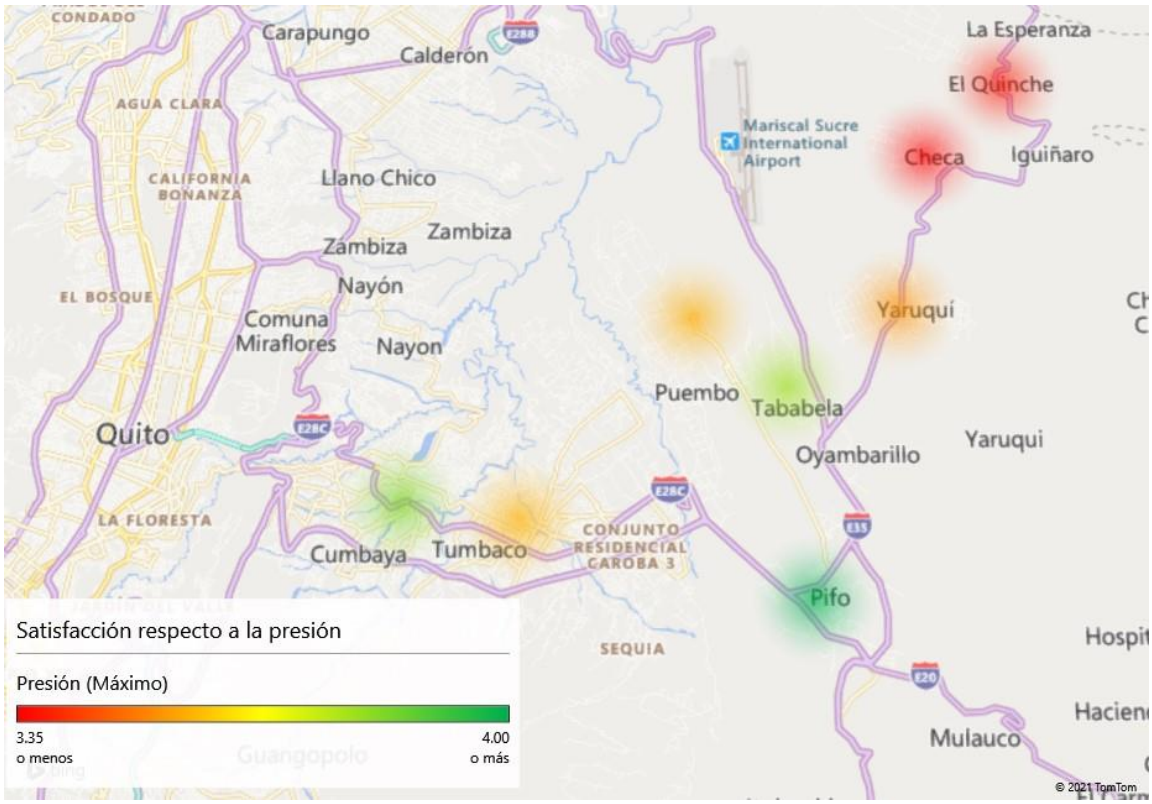
Percepción de continuidad del servicio del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de la continuidad del servicio de agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 45

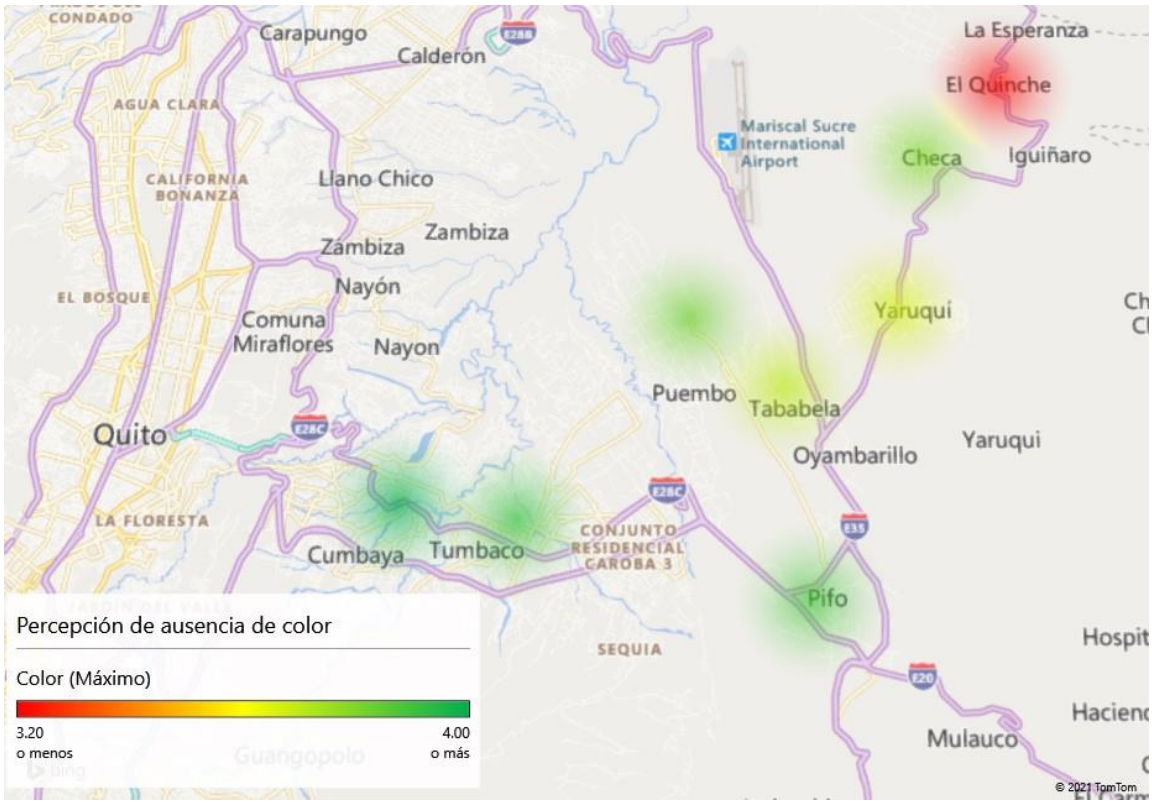
Percepción de presión del servicio del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de la presión del servicio de agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 46

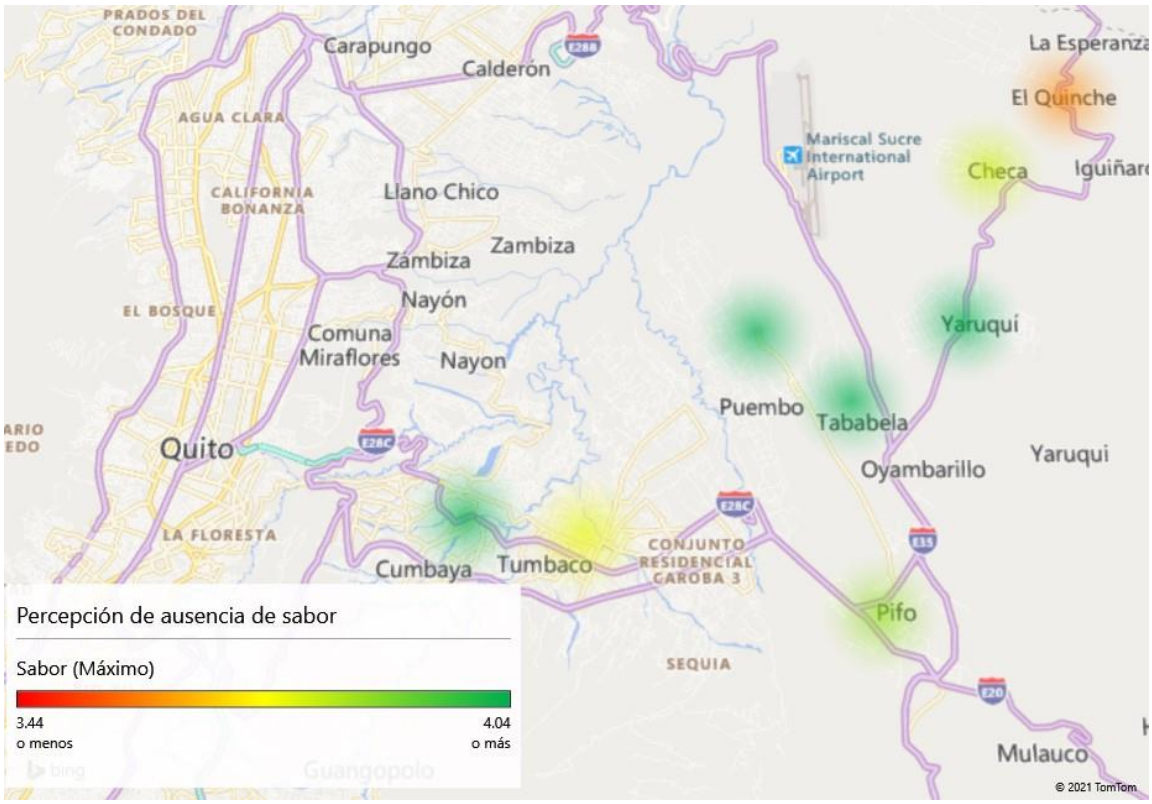
Percepción de ausencia de color del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de ausencia de color del agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 47

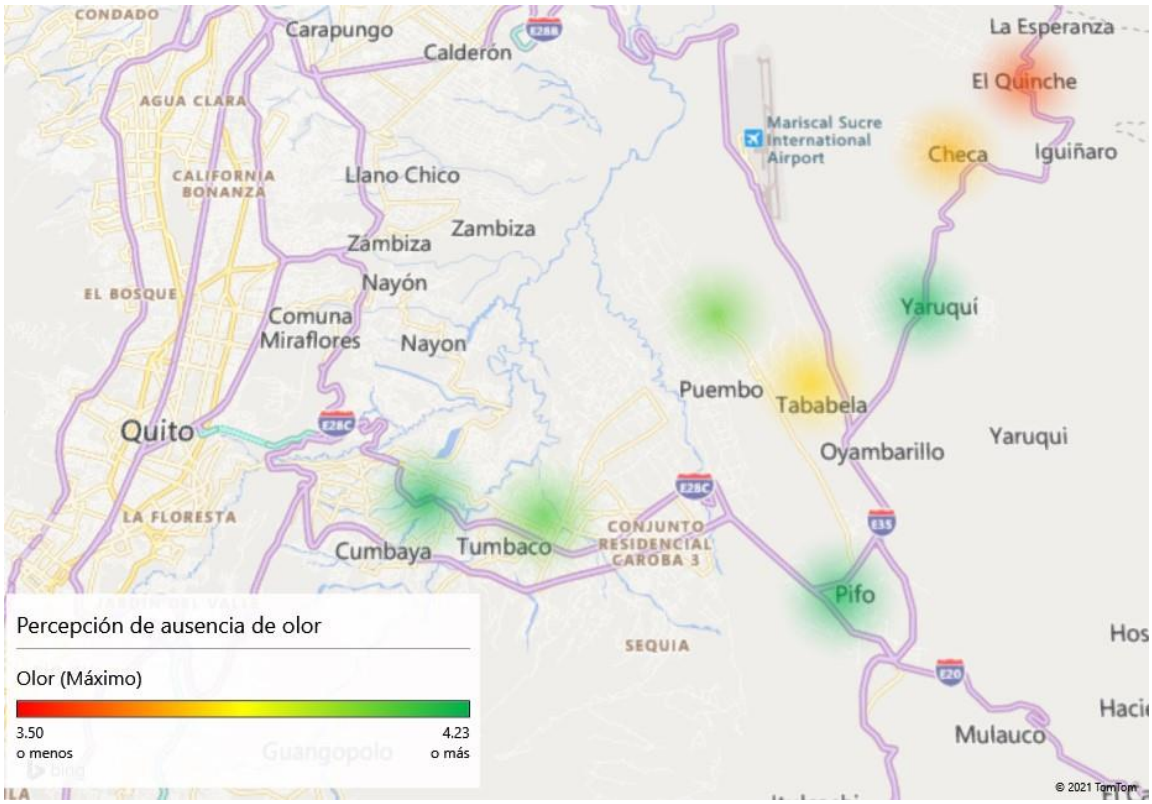
Percepción de ausencia de sabor del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión "3D MAPAS" impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de ausencia de sabor del agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 48

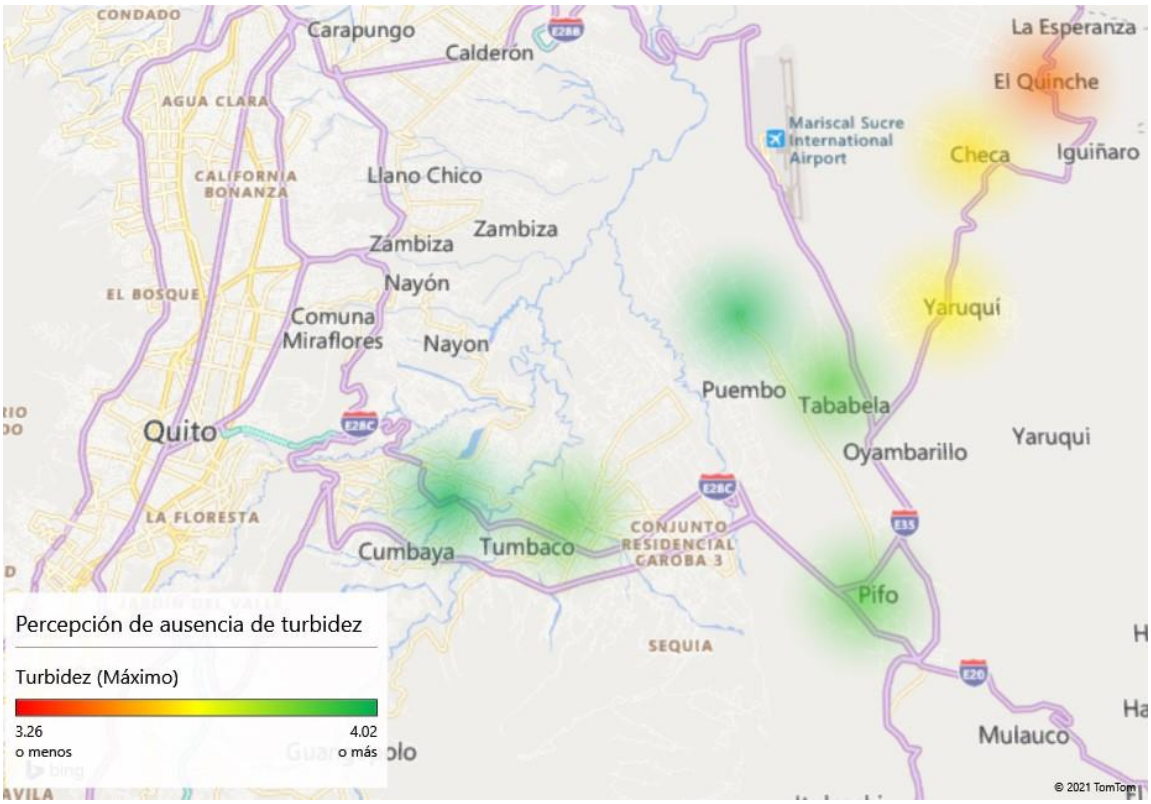
Percepción de ausencia de olor del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de ausencia de olor del agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 49

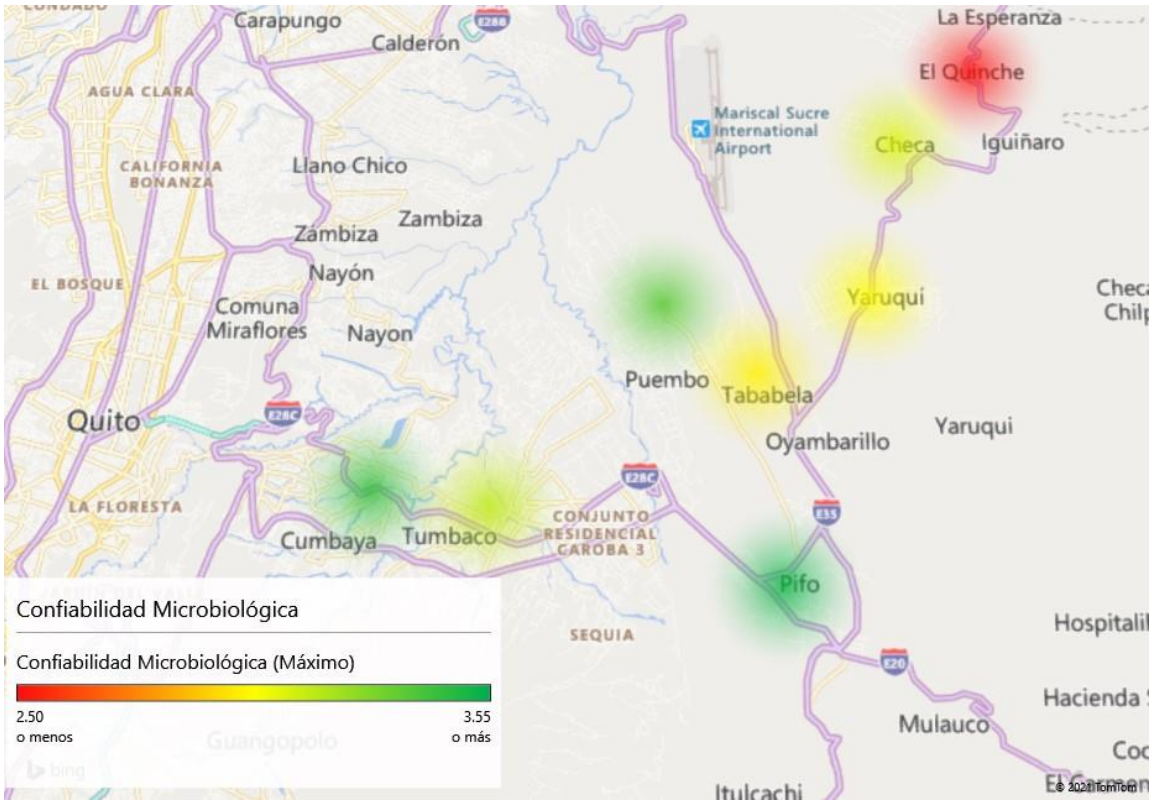
Percepción de ausencia de turbidez del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor percepción en calificación de ausencia de turbidez del agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

Figura 50

Confiabilidad microbiológica del agua potable por parroquia



Nota. La figura presentada fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación con ayuda del software Microsoft Excel y su extensión “3D MAPAS” impulsado por el software de navegación y mapas TomTom. La figura muestra desde la parroquia con peor confiablidad microbiológica en calificación del agua potable hasta la de mejor calificación, según la escala de color que se muestra en la figura.

3.2.Estadística

En este subcapítulo obtendremos datos de estadística descriptiva de manera general por cada pregunta en todas las parroquias participantes de este estudio. A continuación, podemos observar cada uno de estos datos y otros valores obtenidos mediante el uso la extensión de

Microsoft Excel “Herramientas de análisis de datos” con la cual se obtuvieron los siguientes resultados de las calificaciones de todas las parroquias por cada pregunta.

Tabla 11

Estadística descriptiva calificación de todas las preguntas de la encuesta en escala Likert

Preguntas	Media	Error típico	Mediana	Moda	Desviación estándar	Varianza de la muestra	Curtosis
¿Cómo calificaría su satisfacción frente a la continuidad del servicio de agua potable que llega a su domicilio?	3.716	0.050	4	4	0.998	0.996	0.530
¿Cómo calificaría su satisfacción frente a la presión del agua potable que llega a su domicilio?	3.652	0.055	4	4	1.099	1.208	-0.242
"El agua que llega a mi domicilio no presenta color alguno, es decir es incolora."	3.815	0.055	4	4	1.103	1.216	0.050
"El agua que llega a mi domicilio no presenta olor, es decir es inolora."	4.121	0.048	4	4	0.966	0.933	1.691
"El agua que llega a mi domicilio no presenta sabor, es decir es insabora."	3.931	0.052	4	4	1.055	1.114	0.857
"El agua que llega a mi domicilio no presenta sólidos suspendidos o sedimentos, y puedo observar el fondo del recipiente al vertir el agua del grifo en el mismo inmediatamente."	3.894	0.056	4	5	1.133	1.283	0.265
"Confío plenamente que el agua que llega a mi domicilio cumple con los estándares de calidad microbiológica y puedo beberla directamente del grifo sin ningún efecto en mi salud."	3.190	0.060	3	4	1.211	1.466	-0.775

Nota. La tabla muestra las diferentes propiedades de los resultados de la calificación cuantitativa referente a las preguntas de calificación para los usuarios.

Finalmente, se realizaron los gráficos correspondientes a la distribución normal en la campana de Gauss por las preguntas referentes a la calificación cuantitativa respecto a los parámetros de servicio y calidad del agua potable en todas las parroquias, obteniendo gráficos

que tienen una tendencia de distribución normal, que nos permite observar claramente la tendencia de las calificaciones por cada pregunta con la mediana que se aprecia de cada gráfico. Dichos gráficos pueden apreciarse en el anexo 2.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE AGUAS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

4.1.Muestra para los análisis de aguas propuesta

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se planteó un número de muestras que no concuerda con el mínimo solicitado en la norma NTE INEN-ISO 5667-1 y la NTE INEN-ISO 19458, puesto que el número de muestras requeridas es elevado y costoso. Por tal motivo, se tomaron dos muestras de agua potable para parámetros fisicoquímicos por cada parroquia, en dos ubicaciones distintas como parques, plazas, locales comerciales, casas, etc, Posteriormente se tomó dos muestras de agua potable en dos puntos de las dos parroquias con la peor confiablidad microbiológica, siendo estas El Quinche y Yaruquí. En total se tomaron dieciséis muestras para parámetros fisicoquímicos y cuatro muestras para parámetros microbiológicos. Es necesario aclarar que, aunque Tababela tiene una calificación media más baja de confiabilidad microbiológica, resulta más representativo tomar las muestras en Yaruquí por el número de habitantes y hogares de esta parroquia.

En la toma de estas muestras se seguirán los protocolos del laboratorio de análisis de aguas escogido “CENTROCESAL” para el procedimiento de toma de las muestras de agua, el cual tiene una acreditación para funcionar como laboratorio concedida por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano “SAE”. CENTROCESAL Cía. Ltd. es un laboratorio de análisis de alimentos, aguas, medicamentos y fertilizantes con certificación ISO 17025 además de la acreditación concedida por el SAE.

4.2.Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos a analizarse serán correspondientes a la norma INEN 1108 y a las encuestas de percepción de calidad del agua potable para poder establecer una relación entre estos datos. Siendo estos parámetros el Color, la Turbidez el pH y el Cloro libre residual, tal y como se ve en la siguiente tabla con las unidades de acuerdo con la NTE INEN 1108: Sexta Revisión. Además, las muestras se tomaron en recipientes limpios no estériles de plástico de cuatro galones de capacidad donde la muestra mínima para la determinación de las propiedades fisicoquímicas por requerimiento del laboratorio fue de tres litros. La evidencia de la toma de muestras se puede ver en el anexo 3.

Tabla 12

Variables e Indicadores provenientes de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua

Variable	Tipo	Indicadores	Dimensión
Presencia de Color en las muestras de agua potable por parroquia	Cuantitativa	Color	Unidades [Pt-Co] o [UTC] (Adimensional)
Presencia de Turbidez en las muestras de agua potable por parroquia	Cuantitativa	Turbidez	Unidades [NTU] (Adimensional)
Potencial de hidrógeno de las muestras de agua potable por parroquia	Cuantitativa	Potencial de Hidrógeno	Unidades escala pH (Adimensional)
Cloro Libre Residual de las muestras de agua potable por parroquia	Cuantitativa	Cloro Libre Residual	(mg/l)

Nota. Los resultados de los análisis de aguas fisicoquímicos por parroquia serán presentados en tablas y gráficos para su comparación pertinente.

Los análisis de aguas se realizaron después de obtener los datos tabulados de las encuestas, por tal motivo las parroquias seleccionadas para las muestras microbiológicas fueron El Quinche y Yaruquí, pues son las que tienen las calificaciones medias más bajas y tienen una población más representativa.

4.3.Análisis de los parámetros microbiológicos

Con base en los resultados de las encuestas y la media de calificación de confiablidad microbiológica se procedió a realizar los análisis de parámetros microbiológicos de las parroquias de El Quinche y Yaruquí. Siendo este parámetro el conteo o contaje de coliformes fecales en concordancia con la NTE INEN 1108: Sexta Revisión. Sus unidades se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 13

Variables e Indicadores provenientes de los análisis microbiológicos de las muestras de agua

Variable	Tipo	Indicadores	Dimensión
Presencia de coliformes fecales de las muestras de agua potable de las dos parroquias	Cuantitativa	Coliformes Fecales	(NMP/100ml)

Nota. Los resultados de los análisis de aguas fisicoquímicos por parroquia presentados en tablas y gráficos para su comparación pertinente. NMP se refiere a Número Más Probable

Además, las muestras se tomaron en recipientes estériles de plástico de 50 ml de capacidad donde la muestra mínima para la determinación de las propiedades microbiológicas por requerimiento del laboratorio fue de dos frascos de 50ml por punto analizado, que a su vez debían mantenerse en refrigeración en bolsas con hielo. La evidencia de la toma de muestras se puede ver en el anexo 3.

4.4.Resultados por parroquia para los análisis fisicoquímicos

A continuación, se presentan los datos de los análisis fisicoquímicos realizados en CENTROCESAL, pero resumidos en una tabla general en Excel. Además, los límites permitidos por la norma INEN 1108 se encuentran detallados en la Tabla 1 de este trabajo de titulación. Los resultados oficiales de los análisis de parámetros fisicoquímicos pueden verse en el anexo 4. Cabe recalcar que la toma de todas las muestras se realizó en la mañana del lunes

cinco de abril del 2021 desde las 7:36 am hasta 12:12pm, para su posterior entrega en Centrocesal a la 1:00 pm.

Tabla 14

Resultados de los análisis fisicoquímicos de todas las parroquias

Parroquia	Muestra	Parámetros Fisicoquímicos				
		Color Pt.Co	Turbidez NTU	pH Unidades pH	Temperatura °C	Cloro libre Residual mg/L
Cumbayá	1	0	0.1	7.21±0.11	24	0.47±0.03
	2	0	0.1	7.30±0.12	24.1	<0.05
Tumbaco	1	0	0.1	7.41±0.12	23.9	0.30±0.02
	2	0	0.1	7.21±0.11	23.9	0.40±0.03
Pifo	1	0	0.1	6.76±0.11	23.7	0.46±0.03
	2	0	0.1	7.08±0.11	24	0.48±0.03
Puembo	1	0	0.1	7.02±0.11	23.9	0.34±0.02
	2	0	0.1	6.99±0.11	23.9	0.34±0.02
Tababela	1	0	0.1	8.00±0.13	23.3	0.17±0.01
	2	0	0.1	7.09±0.11	23.5	<0.05
Checa	1	0	0.1	7.10±0.11	23.2	0.45±0.03
	2	0	0.1	7.05±0.14	23.3	0.20±0.01
Yaruquí	1	0	0.1	6.82±0.12	23.7	0.68±0.04
	2	0	0.1	6.94±0.11	23.6	0.74±0.05
El Quinche	1	0	0.1	6.85±0.11	23.6	0.59±0.04
	2	0	0.1	6.98±0.12	23.9	0.35±0.02

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis de agua de los parámetros fisicoquímicos en todas las parroquias siendo la muestra 1 o 2 los puntos en los cuales se tomaron las muestras que se puede constatar en el anexo 4. La columna de temperatura muestra la temperatura a la cual se realizó el ensayo de determinación del pH de la muestra. Las casillas de color amarillo muestran aquellas muestras que no cumplen con el mínimo permisible según la NTE INEN 1108: Sexta Revisión. Por otro lado, las casillas en azul señalan aquellos parámetros que no incumplen ninguna norma pero que podrían necesitar una revisión por su valor elevado que podría generar rechazo en los consumidores.

Como se puede apreciar en la tabla 14 las muestras 2 de Cumbayá, 1 y 2 de Tababela, y 2 de Checa no cumplen con el cloro libre residual mínimo para la desinfección del agua potable lo cual es un potencial indicio que estas muestras podrían presentar algún tipo de problema microbiológico. De igual manera, la muestra que indica mayor problema es el número uno en Tababela donde a su vez se tiene un pH de carácter básico que hace aún más difícil la desinfección.

4.5.Resultados microbiológicos de las dos parroquias con la peor confiabilidad microbiológica

A continuación, se presentan los datos de los análisis microbiológicos realizados en CENTROCESAL, pero resumidos en una tabla general en Excel. Además, los límites permitidos por la norma INEN 1108 se encuentran detallados en la Tabla 2 de este trabajo de titulación. Los resultados oficiales de los análisis de parámetros microbiológicos pueden verse en el anexo 4.

Tabla 15

Resultados de los análisis de parámetros microbiológicos de las 2 parroquias con peor confiablidad microbiológica.

Parroquia	**Muestra**	**Parámetros Microbiológicos**
		Coliformes Fecales NMP/100ml
Yaruquí	1	<1
	2	<1
El Quinche	1	<1
	2	<1

Nota. La tabla muestra los resultados de los análisis de agua de parámetros microbiológicos en las dos parroquias la peor confiabilidad microbiológica, la muestra uno o dos son los puntos en los cuales se tomaron las muestras los cuales se pueden constatar en el anexo 4.

CAPÍTULO V

COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1.Datos de los certificados de calidad de agua de la EPMAPS

En esta sección se presentarán los datos de los resultados de análisis de aguas respecto a las plantas de tratamiento que dan el servicio de agua potable a las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco, las cuales son Bellavista y Paluguillo. Se presentará únicamente los datos relevantes a los análisis de aguas realizados para este trabajo de titulación. Para visualizar los datos completos se recomienda ver el anexo 5 dónde se presenta la tabla tal y como fue entregada por la EPMAPS.

Tabla 16

Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las plantas de las centrales de tratamiento de agua potable Bellavista y Paluguillo.

MES	CENTRAL	Color Pt.Co	Turbidez NTU	Cloro libre Residual mg/L	Coliforme Fecales NMP/100ml
ENERO	Bellavista	0	0.60	1.17	<1
	Paluguillo	4	0.68	1.18	<1.1
FEBRERO	Bellavista	0	0.42	1.21	<1
	Paluguillo	3	0.40	1.16	<1.1
MARZO	Bellavista	0	0.63	1.22	<1
	Paluguillo	3	0.43	1.12	<1.1
ABRIL	Bellavista	0	0.30	1.19	<1
	Paluguillo	4	0.74	1.10	<1.1
MAYO	Bellavista	0	0.36	1.19	<1
	Paluguillo	4	0.69	1.14	<1.1
JUNIO	Bellavista	0	0.58	1.21	<1
	Paluguillo	3	0.67	1.19	<1.1
JULIO	Bellavista	0	0.41	1.29	<1
	Paluguillo	3	0.60	1.19	<1.1
AGOSTO	Bellavista	0	0.31	1.36	<1
	Paluguillo	1	0.55	1.17	<1.1
SEPTIEMBRE	Bellavista	0	0.53	1.36	<1
	Paluguillo	3	0.58	1.20	<1.1

Nota. La tabla presentada es un resumen de los resultados de los análisis de control de calidad desarrollados en las plantas de Bellavista y Paluguillo de enero a septiembre del 2020. Esta información fue facilitada y autorizada para su reproducción con fines académicos por parte del Ing. Luis Collaguazo Gómez, Gerente de operaciones de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento "EPMAPS" el 6 de noviembre del 2020. Las tablas proporcionadas por la EPMAPS, así como la autorización para el uso de los datos constan en el anexo 5 y son de autoría de M. Tituaña.

5.2.Comparación de los resultados de los análisis de aguas con los resultados de las encuestas tabuladas

En esta sección se comparará la media de calificación de percepción de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los resultados de los análisis de agua para corroborar si existe alguna relación entre la percepción de la población de cada parroquia con lo que reflejan los análisis.

Tabla 17

Resumen resultados media por parroquia de las preguntas relacionadas a aspectos organolépticos y microbiológicos

MEDIA POR PARROQUIA CALIFICACIÓN PERCEPCIÓN PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGIOS					
Parroquia	Ausencia de color	Ausencia de olor	Ausencia de sabor	Ausencia de turbidez	Confiabilidad microbiológica
Tumbaco	3.92	4.12	3.77	3.92	3.16
Cumbayá	4.00	4.36	4.13	4.22	3.44
Pifo	3.89	4.22	3.87	3.91	3.51
Yaruquí	3.67	4.29	4.22	3.62	3.02
El Quinche	3.20	3.60	3.60	3.43	2.48
Puembo	3.83	4.09	4.09	4.00	3.37
Checa	3.80	3.75	3.80	3.60	3.10
Tababela	3.70	3.80	4.10	3.90	3.00

Nota. La tabla muestra los promedios de las calificaciones de las encuestas presentados en otro tipo de gráficos en el capítulo 3, pero de una manera resumida. Las celdas con calificaciones superiores a 4.00 de calificación media tienen un color verde. Las celdas con calificaciones medias entre 3.99 y 3.50 tienen asignado el color amarillo. Las celdas con color rojo indican valores inferiores a 3.50 de calificación media, con la calificación media más baja resaltada en un rojo más fuerte. La tabla fue elaborada por el autor de este trabajo de titulación.

Si se observa la tabla 14, se puede ver que todos los análisis de agua mostraron una coloración de 0 en unidades Pt. Co de color, así como 0.1 en unidades NTU de turbidez en todas

las muestras. Estos resultados, indican claramente que el agua es incolora en las muestras tomadas, y no representa en lo absoluto la calificación de percepción de ausencia de color y turbidez en las parroquias, pues ninguna tiene un valor igual o superior a cuatro para poder considerar una calificación aceptable, en la escala cuantitativa de uno a cinco. Así mismo, las parroquias con menor calificación de percepción en cuanto al color y turbidez son el Quinche y Yaruquí y tampoco representa los resultados de los análisis de aguas realizados en esas parroquias. Si se tuviera un mayor número de muestras de agua y periódicamente, así como encuestas periódicas, podría existir evidencias de presencia de color y turbidez.

Respecto a los parámetros de percepción de ausencia de sabor y olor de la encuesta, los parámetros fisicoquímicos de los análisis correspondientes serían el pH y el cloro libre residual. En ese sentido, de acuerdo a lo explicado en el capítulo dos, acápite 2.1.1, existen tres parroquias donde podría sentirse un sabor ligeramente desagradable debido a la concentración de cloro libre residual superior a 0.6mg/l en el agua de Yaruquí y El Quinche, lo cual concuerda con las calificaciones medias de la parroquia del Quinche respecto al sabor y olor, mientras que en el resto de parroquias las calificaciones de percepción no concuerdan con los análisis de aguas.

Por otro lado, Tababela podría presentar también un sabor desagradable no solo por tener menor cantidad de cloro libre residual menor a lo permitido por la NTE INEN 1108(0.3mg/l), sino también porque una de las muestras tiene un pH de 8, que tiende a dar un sabor ligeramente metálico que podría percibirse por algunos consumidores.

Sin embargo, el parámetro a comparar más importante es el de confiablidad microbiológica, donde la media de calificación indica que ninguna parroquia tiene una calificación media aceptable teniendo los peores resultados en Yaruquí y El Quinche, cuyas calificaciones de confiablidad microbiológica no reflejan el resultado de los análisis de aguas,

pues no existen coliformes fecales. Aun así, lo preocupante está en que la cantidad de cloro libre residual está muy por debajo del límite permitido de 0.3mg/l en 3 parroquias, siendo estas Cumbayá, Tababela y Checa lo que aumenta la posibilidad de tener presencia de virus y bacterias.

Hay que acotar, que según los resultados de las encuestas solo un 45% de la población da mantenimiento a sus cisternas, puesto que el resto puede que no tenga cisterna o no dé mantenimiento a sus cisternas de tenerlas. Así mismo, un 21% de la población tiene tuberías antiguas o rotas en su domicilio. De este porcentaje, el 50% en Tababela, tiene tuberías antiguas o rotas en su red intradomiciliaria lo que podría ser una fuente de contaminación del agua potable como podrían sugerir los análisis donde el pH está en 8.

Finalmente, si bien la percepción levantada mediante encuestas puede ser subjetiva, es una de las primeras maneras en que el proveedor del servicio de agua potable podría identificar un problema en la red de distribución de agua potable, más aún si se realizan este tipo de encuestas periódicamente. De ser así, el proveedor del servicio de agua potable tendría ya una pauta para investigar los posibles problemas en la red, con toma de muestras y luego la ejecución de mantenimientos o las acciones necesarias en las zonas donde se hayan detectado problemas con las encuestas y se hayan confirmado dichos problemas con análisis de aguas y otros ensayos o inspecciones.

5.3.Comparación de los resultados de los análisis de aguas con los datos de los certificados de calidad del agua

Si comparamos los resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las plantas de las centrales de tratamiento de agua potable Bellavista y Paluguillo con los resultados de los análisis de agua de las parroquias, los cuales se encuentran en la tabla 14, 15 y 16, podemos notar similitudes y diferencias.

La primera similitud, es que los resultados del ensayo para determinar el color en unidades Pt. Co es 0 en las muestras de la planta de tratamiento de Bellavista, tanto como para las muestras de las parroquias Cumbayá y Tumbaco que son las principales parroquias abastecidas por esta planta.

Comparando la tabla 16 con la 14 se puede ver que existe una ligera diferencia entre el color de los análisis de la central de Paluguillo y el resto de parroquias. Sin embargo, esta diferencia puede explicarse con el hecho de que la central de Paluguillo ha estado en constante mejora como comunica la página web de la EPMAPS, lo cual se puede ver con la disminución sustancial de color desde inicios del año 2020 hasta marzo de 2021 donde se realizaron los análisis de aguas.

Por otro lado, la turbidez detectada en las plantas de tratamiento puede deberse a las partículas de cloro libre residual (que tienen una alta concentración en las plantas de tratamiento) que pueden producir ese efecto, pero está muy por debajo de los niveles permitidos y es casi imperceptible. Esto por otro lado, no sucede en los análisis de aguas realizados donde la turbidez tiene un valor cercano a 0 en NTU.

En cuanto al cloro libre residual, las centrales tanto de Paluguillo y Bellavista tienen concentraciones superiores a los 1.2mg/l lo cual puede tener su justificación debido a que el cloro libre residual se reduce conforme la distancia hasta el punto más lejano de la red aumenta. Lo preocupante está en que las concentraciones de cloro libre residual registradas por los análisis de aguas realizadas para este estudio, no llegan al mínimo necesario de 0.3 mg/l en las parroquias de Cumbayá, Tababela y Checa; lo que aumenta la probabilidad de encontrar virus y bacterias en muestras de aguas de estas parroquias.

Finalmente, al comparar los análisis de aguas para la detección de coliformes fecales de las plantas de tratamiento de Bellavista y Paluguillo con los realizados para este trabajo de

titulación en las parroquias de El Quinche y Yaruquí podemos ver que existe absoluta coincidencia. Sin embargo, aumentar el número de análisis de aguas en estas parroquias podría mostrar valores distintos y con mayor probabilidad en las parroquias donde no se cumple con el mínimo de cloro libre residual (Cumbayá, Tababela y Checa).

5.4.Comparación de los resultados de las encuestas con los datos de los certificados de calidad del agua

En cuanto a la ausencia de color, se puede ver que no existe relación entre los datos de los certificados y las encuestas puesto que solo Cumbayá tiene una calificación aceptable de 4 y el resto cercanas a este valor, lo que puede llevar a pensar que el problema de la percepción de color no está relacionado con las plantas de tratamiento sino el sistema de distribución y redes intradomiciliarias. De igual manera, la turbidez y el color pueden tener una relación directa con las tuberías en mal estado antiguas, o rotas y la falta de mantenimiento a las cisternas de los hogares, o posible falta de mantenimiento a las redes de distribución de agua potable, esto se puede evidenciar en la Figura 42 de este trabajo. Aquí, se puede notar que el porcentaje de personas que podrían no tener cisternas o que no dan mantenimiento a sus cisternas, superan el 50% en las parroquias de Checa, Puembo, Yaruquí, Pifo, Cumbayá y Tumbaco.

Hablando de turbidez, se puede notar que los datos de los certificados de las plantas cumplen con los máximos establecidos por la NTE INEN 1108; sin embargo, la calificación media por parroquia de la ausencia de turbidez no alcanza un valor aceptable de 4 a excepción de Puembo y Cumbayá.

Por otro lado, si bien los parámetros de la NTE INEN 1108 no miden de alguna manera el olor, este puede relacionarse con el cloro libre residual, Fluoruros, Nitratos y Nitritos, que se pueden apreciar en los resultados de la EPMAPS del anexo 5. Este parámetro, es el único que

sí es comparable con los datos de los certificados pues sí refleja la calificación aceptable superior a 4 que tienen casi todas las parroquias, a excepción de El Quinche, Checa y Tababela.

Nuevamente, se puede confirmar que los resultados de los certificados de calidad de agua potable de las plantas de tratamiento no representan los resultados de las calificaciones medias de percepción de la calidad del agua potable, tanto para los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos. Esto, se debe a que ambas plantas de tratamiento aseguran abastecer con agua de calidad, aunque con altas concentraciones de cloro libre residual, pero que es necesaria para asegurar que el último consumidor de la red tenga la mínima concentración necesaria de cloro libre residual es decir 0.3mg/l, que como se observó en los análisis de aguas, no se está logrando en las parroquias de Cumbayá, Tababela y Checa.

Como se puede ver en todas las parroquias la calificación media de confiabilidad microbiológica no es aceptable en ninguna parroquia. De igual manera, Yaruquí y El Quinche tienen las peores calificaciones en cada uno de los parámetros de la encuesta de percepción. Por tal motivo, se puede evidenciar que existe desconfianza en la calidad del agua potable de la administración zonal Tumbaco; esto va también de la mano con el porcentaje de personas que dan tratamiento secundario al agua potable que llega a sus domicilios, donde en promedio un 67% de la población le da algún tipo de tratamiento al agua potable. Debería tomarse en consideración estos resultados pues la percepción y confiablidad en la calidad del agua potable puede descender aún más. Nuevamente, así la percepción pueda ser relativamente subjetiva es un indicio para identificar posibles problemas en el sistema de agua potable, en especial en su distribución.

CAPÍTULO VI

IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES AGENTES CONTAMINANTES

6.1. Posibles agentes contaminantes y sus fuentes en el sistema de distribución de agua potable con base en la comparación de resultados

Con base en los resultados obtenidos de los certificados de agua potable remitidos por la EPMAPS, se podría afirmar que no existe deficiencia en los procesos de potabilización de agua o alguna fuente de contaminación en las plantas de tratamiento de Paluguillo y Bellavista, ya que todos los resultados de los análisis de aguas de estos certificados cumplen con la NTE INEN 1108. Así mismo, si se verifica el anexo 6 de este trabajo se podrá visualizar los planes de mantenimiento anuales de dichas centrales de agua potable donde se puede constatar que se da mantenimiento a cada uno de los componentes de dichas centrales, como son floculadores, sedimentadores, tanques, cunetas, filtros y los demás componentes importantes.

Sin embargo, podría existir alguna forma de contaminación en el sistema de distribución de agua potable, esto debido a la baja calificación obtenida producto de las encuestas aplicadas a los habitantes de estas parroquias, los análisis de agua realizados para este trabajo y por sobre todo esto la falta de información sobre el alcance y los procesos necesarios de los planes de mantenimiento a las redes de agua potable de todas estas parroquias, como se puede visualizar en el anexo 6. Se infiere que los planes de mantenimiento de las redes de agua potable se refieren a los cronogramas de mantenimiento de los hidrantes de estas parroquias, lo cual no explica en que consiste el mantenimiento descrito en el cronograma.

Aun así, como dice la USEPA en su artículo "*Control of Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems"* una de las estrategias para el control y prevención del crecimiento de biopelículas que se describió en el capítulo 2, es el retrolavado o lavado de la red de distribución de agua. Esto se puede hacer mediante los hidrantes al abrirlos completamente y

dejar que se purgue o se enjuague la red por un período de tiempo de entre 5 y 15 minutos ya que el agua es un recurso sumamente valioso, como lo dice "TASWATER"(Compañía de agua potable del estado australiano Tasmania) (TASWATER, 2018). Así mismo TASWATER y la USEPA recomiendan realizar este tipo de lavados a la red de tuberías siempre que existe cortes largos de agua, pues el cambio de la velocidad del flujo de agua a presión puede arrastrar sedimentos y por ende también biopelículas, que pueden acabar en el vaso del consumidor. (United States Enviromental Protection Agency, USEPA, 1992) .

TASWATER y la USEPA recomiendan de igual manera se debe tener un cronograma de lavado para asegurar un correcto mantenimiento a la red de agua potable y asegurar que el agua potable llegue con la misma calidad con la que salió de la planta de tratamiento. Los lavados deberían realizarse y programarse con base en los comentarios de los consumidores, los muestreos regulares de agua potable y datos históricos. Finalmente, TASWATER afirma que luego de estos lavados es normal tener agua turbia entre los primeros 5 a 10 min por lo que recomienda dejar fluir el agua hasta que el remanente de los sedimentos que quedan en la tubería se laven. (TASWATER, 2018)

Ahora, se puede entender que el cronograma entregado por la EPMAPS presentado en el anexo 6 se refiere a lo anteriormente explicado respecto al lavado de las tuberías. Pero una vez más, puede que el lavado de las tuberías mediante los hidrantes este programado, pero no podemos tener la certeza de que se esté cumpliendo dicho cronograma. Esto debido a la situación del año en el que se realizó el estudio, es decir por la pandemia. Si contrastamos las encuestas, se puede notar que existen bajas calificaciones de la población encuestada perteneciente a estas parroquias, sobre todo en los aspectos de turbidez y color en las parroquias de Yaruquí, El Quinche, Checa y Tababela, que deben ser tomadas en consideración, puesto que existe una notable distorsión de existir mantenimientos como indican los planes de mantenimiento de la EPMAPS.

Por otro lado, si se notan los resultados de los análisis de aguas realizados que fueron discutidos en el anterior capítulo de las parroquias de Cumbayá, Tababela y Checa, según se observó en los análisis podemos notar que la ausencia de la mínima concentración de cloro libre residual según la NTE INEN 1108 podría ser una fuente de contaminación o un escenario favorable para la posible aparición de bacterias o el crecimiento bacteriano en las redes de distribución, que a manera de biopelículas o de "patógenos oportunistas" que son de riesgo para personas inmunodeprimidas como lo dice la USEPA. (United States Enviromental Protection Agency, USEPA, 1992) Por la situación de la pandemia del virus de COVID 19 la inmunodepresión en los infectados puede ocurrir según se ha dicho mediante los canales oficiales de comunicación de la OMS y del gobierno local. De igual manera, la OMS recomienda en sus guías de calidad de agua potable, que en situaciones de pandemia se debe elevar la concentración de cloro libre residual en las centrales de tratamiento de manera que el usuario más lejano tenga una concentración mínima de cloro libre residual de 0.5mg/l, sin embargo, esto estará a consideración del ente regulador de salud pública del país, así como la relevancia de transmisión de dicho virus o patógeno por el agua. (OMS, 2008)

Además, en estas parroquias donde no se alcanza el mínimo de cloro libre residual podría existir la presencia de trihalometanos, debido a que cuando el cloro libre residual entra en contacto con materia orgánica para formar trihalometanos, se reduce drásticamente la concentración de cloro libre residual. Por este motivo, podrían existir trihalometanos en estas parroquias por una reacción con biopelículas o restos de materia orgánica. De ser este el caso, podría haber un problema potencialmente peligroso. Una mayor toma de muestras periódicas en todas estas parroquias para encontrar trihalometanos ayudaría a confirmar esta hipótesis y a tomar las acciones necesarias.

No se puede asegurar que no exista contaminación microbiológica con los análisis de muestras de agua realizados en las parroquias de Yaruquí y el Quinche, aunque en las parroquias

analizadas no exista coliformes fecales como muestra la tabla 15, se necesita un mayor número de ensayos periódicamente como recomiendo la OMS y la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1. Nuevamente, se recalca que en las parroquias donde exista menos cantidad de cloro libre residual, es donde mayor probabilidad de contaminación microbiológica existe, sobre todo en Tababela, donde el pH está en los límites recomendados de la OMS, es decir, un valor cercano o superior a 8, donde la desinfección efectiva requiere mayor cantidad de cloro libre residual.

Otra posible fuente de contaminación que pudiera causar turbidez, color, o proliferación de bacterias de películas microbiológicas, es la falta de mantenimiento a los tanques de distribución de agua potable que existen en la zona. No existe información proporcionada de los planes de mantenimiento en cronogramas anuales para estos tanques como consta en el anexo 6; y por ello podría faltar mantenimiento a estos elementos del sistema de distribución del agua potable, que son muy importantes y que deben tener mantenimiento como recomienda la OMS y la EMAPAD.

Finalmente, la última forma de contaminación o un ambiente propicio para la proliferación de bacterias y biopelículas en general probable, son las variaciones hidráulicas. Como dice la USEPA, al cambiar de flujo lento a rápido puede incrementarse el flujo de nutrientes del agua que facilitan el crecimiento de biopelículas o el desprendimiento de las mismas. Esto puede suceder en cualquiera de las parroquias donde existan deficiencias en las conexiones de agua potable, sea por el tiempo de antigüedad o por su desgaste.

6.2. Posibles agentes contaminantes y sus fuentes en las redes intradomiciliarias con base en la comparación de resultados

En cuanto a las posibles formas de contaminación y agentes contaminantes en las redes intradomiciliarias la mayor probabilidad de contaminación está en la posible falta de mantenimiento a las cisternas o tanques de almacenamiento de agua potable de los domicilios que dispongan de cisternas, así como el aumento del Índice de Agua No Contabilizada o IANC, que es el agua que no puede facturarse por la existencia de fugas, tuberías rotas, antiguas o de materiales no aptos para la conducción de agua potable que puede ser un indicio también de la contaminación del agua potable o conexiones ilegales.

Haciendo referencia a la tabla 17 de los resultados de las percepciones de la calidad de agua potable, notamos que la media de la calificación de percepción muestra que no existe ausencia de color en el agua potable, sobre todo en la parroquia de El Quinche. Tal percepción como ya dijimos tanto para esta parroquia como para las demás, no concuerda con los resultados de los análisis de agua potable realizados para este trabajo, ni los realizados para los certificados de calidad de agua potable de las plantas de Bellavista y Paluguillo. Es por ello, que aparte de inferir en una posible deficiencia de las redes de distribución de agua potable de este sector, debería pensarse también en la responsabilidad de la población en que ellos perciban el agua o bien realmente tengan agua con color. Un muestreo de agua potable periódico, así como implementar encuestas periódicamente a los usuarios por parte de la empresa de agua potable podría confirmar dicha hipótesis y ayudar a tomar las acciones pertinentes.

Como se describió en el capítulo 2, en el numeral 2.2.1, en cuanto a los agentes contaminantes y sus fuentes, el hierro podría ser uno de los responsables de la percepción de color y posible turbidez en el agua, esto debido a que con el pasar de los años y las variaciones de propiedades hidráulicas en las tuberías, las tuberías de hierro galvanizado pueden llegar a

gastarse y dar este problema. Así mismo, como se observó en los resultados de las encuestas existen ciertas personas que tienen tuberías antiguas y que probablemente sean de hierro o cobre, las cuales pueden ya estar oxidadas y pueden causar este problema. Sin embargo, el porcentaje de los encuestados que tienen tuberías antiguas o rotas de agua potable es bajo, salvo en la parroquia de Tababela donde el 50% de la población participante que es una muestra representativa según la muestra calculada, tiene tuberías antiguas o rotas en su domicilio. Así mismo, le sigue Cumbayá y Checa con porcentajes de26.67% y 25% respectivamente. Esto, es un indicio para sospechar que estas tuberías antiguas podrían ser una fuente de contaminación además de que podrían tener ya incrustaciones en las mismas. Sin embargo, un estudio focalizado en estas parroquias tanto para la determinación de percepción y de análisis de aguas con base en la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1, podría decir con precisión si existe contaminación y que tipo de contaminación donde podrían tenerse resultados importantes en especial en la parroquia de Tababela.

Otra posible fuente de contaminación del agua potable en las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas es la falta de mantenimiento a las cisternas o tanques de agua potable. Como nos dice la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán – Empresa Pública, EMAPAD-EP, es posible que de una planta de tratamiento lleguen sedimentos a los domicilios, así como del sistema de distribución del agua potable, por lo que es recomendable darle mantenimiento a la misma y desinfección (EMAPAD-EP, 2020). La EPMAPS de igual manera recomienda lo mismo en sus resúmenes de calidad del agua potable en las redes de distribución del Distrito Metropolitano (EPMAPS-Agua Quito, 2018)de Quito, con una frecuencia de mantenimiento cada 3 a 6 meses. Con ese contexto, si nos fijamos en la figura 42, existe un alto porcentaje de usuarios, que no le dan mantenimiento como recomienda la EPMAPS. Por este motivo, es muy probable que el agua pueda llegar a tener sedimentos, color, no solo por sedimentos sino por el deterioro de estas cisternas, y en el peor de los casos si no

se ha dado nunca mantenimiento, olor y sabor que puede significar contaminación de tipo microbiológico, pero no del tipo fecal. Aun así, no se puede asegurar que estos porcentajes sean del todo reales puesto que, como ya se mencionó pueden existir domicilios que no tengan cisternas como es común en las casas cercanas al centro de la parroquia. Nuevamente, en este escenario se requiere un mayor número de muestras para análisis de aguas como dicta la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1, para determinar la presencia de algún agente contaminante y cerciorarse de su fuente.

En cuanto a la posibilidad de contaminación microbiológica de origen fecal en las en las redes intradomiciliarias de parroquias estudiadas, es poco o muy poco probable; a menos que, las cisternas de los hogares, en especial de las parroquias de carácter rural como: El Quinche, Yaruquí, Checa, Pifo, Puembo y Tababela, se encuentren expuestas a fertilizantes o excretas de animales.

Un dato a considerar es el porcentaje de gente que le dan tratamiento secundario al agua potable que llega a su domicilio como se puede ver en la figura 41. Más del 50% en todas las parroquias le dan tratamiento, lo que podría evitar que las personas puedan tener realmente algún problema con el agua que consumen para beber. De todas maneras, hervir el agua y no consumirla en un corto período de tiempo puede ser riesgoso, pues ya no tendría las concentraciones mínimas de cloro libre residual exponiéndola a diversas formas de contaminación especialmente bacterianas.

CAPÍTULO VII

PROPUESTAS DE MEJORA CON BASE EN LA COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA ELIMINAR LAS FUENTES DE LOS AGENTES CONTAMINANTES IDENTIFICADOS

7.1.Evaluación de la funcionalidad de las plantas de tratamiento, redes de agua potable y tanques de almacenamiento en función de los resultados obtenidos

Con base en los resultados obtenidos contrastados y discutidos en los capítulos V y VI de este trabajo de titulación, refiriéndonos principalmente a los certificados de calidad del agua potable de las plantas de Paluguillo y Bellavista proporcionados por la EPMAPS, podemos decir que las plantas de tratamiento funcionan en óptimas condiciones pues cumplen con la NTE INEN 1108.

Adicionalmente, como se ve en el anexo 6, podemos notar que existen planes de mantenimiento para ambas plantas de tratamiento, Bellavista y Paluguillo, que abastecen a las parroquias de esta zona. Sin embargo, como consta en este anexo la información acerca del proceso que conlleva el mantenimiento de las diversas actividades listadas en los cronogramas de mantenimiento no se especifican. Aun así, debido a los datos promedio de los certificados de calidad del agua potable proporcionados se puede decir nuevamente que las plantas de tratamiento funcionan óptimamente.

Por otro lado, si nos referimos a las redes de distribución de agua potable, podría ser cuestionable asegurar el óptimo funcionamiento de las mismas. Esto debido a los resultados de los análisis de aguas realizados en especial de Checa, Tababela y Cumbayá donde se obtuvieron resultados bajos en cuanto a la cantidad de cloro libre residual. De igual manera, las bajas percepciones de ausencia de color, sabor y turbidez en el agua, así como la desconfianza en la

calidad microbiológica en general de los habitantes de las parroquias estudiadas, en especial de El Quinche, Yaruquí y Tababela; nos hacen pensar en la posibilidad de que pudiera existir problemas en ciertos tramos de la red de tuberías de distribución del agua potable. Si bien es cierto que existen planes de mantenimiento de estas redes de tubería mediante la purga de estas redes mediante hidrantes, no se puede asegurar que se cumpla con dichos cronogramas establecidos, puesto que no existen análisis de aguas suficientes que aseguren que el agua que circula a través de estas tuberías llega con las mismas características con la que sale de las plantas de tratamiento de agua potable. Por estos motivos, un muestreo de agua como dice la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1, es necesario para corroborar si dichos mantenimientos son efectivos o poder confirmar si existe o no problema en algún tramo de estas redes de distribución de agua potable de las parroquias estudiadas.

Finalmente, el elemento más preocupante que también forma parte de las redes de distribución de agua potable, es decir, los tanques de almacenamiento son aquellos que no se puede asegurar un funcionamiento óptimo. Esto debido a que no existe información acerca de posibles mantenimientos a los mismos, así como su existencia. De haber tanques de almacenamiento en estas redes, lo cual es sumamente probable, no se cuenta con la información necesaria para asegurar que existe mantenimiento y que tipo de mantenimiento se les da a estos tanques y con qué frecuencia. De no existir mantenimiento, podría ser una de las principales fuentes de contaminación de parámetros organolépticos y microbiológicos del agua que se distribuye a las parroquias estudiadas.

7.2.Evaluación de propuestas de planes de mantenimiento en las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas con base en los resultados obtenidos

Con base en los resultados obtenidos de las encuestas se deben establecer propuestas de mantenimiento a las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas, incluyendo los

elementos como tuberías, accesorios de grifería y tanques de almacenamiento o cisternas. Estas propuestas son necesarias basándonos en los resultados obtenidos de las encuestas que se pueden ver en la Figura 42 y 43, respecto al porcentaje de habitantes que le dan mantenimiento a su cisterna, así como que puedan tener tuberías antiguas o rotas. Como se discutió en el capítulo 6 en el numeral 6.2, estas son una de las formas de contaminación y fuente de agentes contaminantes tanto de propiedades organolépticas como microbiológicas.

En ese contexto, se puede pensar en las siguientes opciones de planes de mantenimiento para las redes intradomiciliarias de agua potable.

7.2.1. Tuberías antiguas o fisuradas

En el caso de tener sospecha de tuberías antiguas o rotas en los domicilios, es fundamental hacer una prueba de presión. Esta prueba de presión se hace cerrando todas las llaves de paso de la vivienda y verificando que el medidor no marque ningún tipo de consumo. Caso contrario podrá identificarse que existe algún tipo de fuga en las tuberías.

Así mismo, se deberá verificar que en el domicilio no existan zonas de humedad puesto que esto puede significar zonas donde existan fugas de agua, donde podría identificarse el segmento de la tubería que se ve afectado.

Finalmente, una vez identificada la tubería con fugas se deberá proceder con los siguientes pasos como recomienda la Fundación Avina y Care. (CARE Internacional-Avina., 2012)

1. Suspenda el servicio desde la acometida, el medidor, o desde de la válvula de control más cercana.
2. Realice las reparaciones necesarias con un personal calificado. Estas reparaciones pueden ir desde el cambio de tuberías y elementos hidráulicos como codos y válvulas, que son quienes más sufren daños en lo cambios de presión.

3. Reconecte el agua realizando una prueba de presión para verificar que el daño ha sido reparado en su totalidad.
4. Entierre o esconda apropiadamente la tubería en el lugar donde se encontró. (CARE Internacional-Avina., 2012)

7.2.2. Accesorios hidráulicos

De igual manera, accesorios hidráulicos como llaves de paso, medidores y fontanería deben revisarse preventivamente para asegurar que no existe deterioro en los mismos puesto que estos son propensos a dañarse por los cambios de presión al cerrar o abrir válvulas y pueden contaminar el agua. El remplazo de estos accesorios una vez han cumplido su vida útil es una forma de asegurar el correcto funcionamiento de las redes intradomiciliarias.

7.2.3. Cisternas y tanques de almacenamiento de agua potable

Para el caso de cisternas o tanques de almacenamiento como recomienda la EMAPAD-EP se debe dar limpieza y desinfección al mismo puesto que como se mencionó antes, pueden ser fuentes de contaminación del agua potable. Dicho mantenimiento consiste en las siguientes fases como dice la EMAPAD-EP:

1. Vaciado parcial de la cisterna o tanque con el cierre de las llaves de paso de entrada y salida de la cisterna.
2. Cepillado del fondo, tapa y paredes de la cisterna o tanque con el agua remanente.
3. Purga del agua resultante del cepillado del tanque o cisterna, por medio de la válvula de desagüe.
4. Llenado hasta la mitad de la capacidad del taque o cisterna y desinfección del tanque con cloro. Se recomienda usar 2ml de cloro por cada m^3 de tanque, y tener un tiempo de contacto de 2 horas.

5. Abrir las llaves de paso y de distribución a los diferentes aparatos sanitarios y grifos, hasta vaciar el tanque.
6. Llenado total del tanque y vaciado del mismo hasta por 5 minutos después de la apertura de las llaves de paso. (EMAPAD-EP, 2020)

7.3. Evaluación de propuestas de mejoras al sistema de distribución del agua potable de las parroquias estudiadas con base en los resultados

Refiriéndonos a propuestas de mejoras para los sistemas de distribución de agua potable debemos enfocarnos en tres parámetros, los cuales son la gestión de operación del sistema de distribución, el control de pérdidas y el mantenimiento de todos los elementos del sistema de distribución del agua potable. Estos tres parámetros no se pueden descuidar puesto que pueden llevar al fracaso del sistema de distribución como lo mencionan Pérez, Fargas y Jose Movilla en sus manuales técnicos de agua potable, así como el Ing. Fernando Castro en las clases de la materia Sanitaria III.

7.3.1. Mejoras en la gestión de operación del sistema de distribución

Desinfección en puesta en marcha

Previo a la puesta en marcha de cualquier sistema de distribución de agua potable es importante realizar una desinfección de todo el sistema de tuberías y tanques de reserva, así como accesorios hidráulicos del mismo. Es importante, que siempre que se añada un nuevo tramo al sistema de distribución de agua potable se implemente esta mejora o gestión.

La desinfección antes de la puesta en marcha de las redes de tuberías de conducción de agua potable debe realizarse enviando agua hiperconcentrada de cloro libre residual de concentración de 8mg/l, que se puede lograr con hipoclorito de sodio o calcio, que se envía desde las plantas de tratamiento o los tanques de reserva. Luego de llenar las tuberías con esta agua superconcentrada de cloro libre residual con un tiempo de contacto de 6 a 24 horas como

recomienda José Movilla en su “Manual de operación y mantenimiento de redes de agua potable” (Movilla, 2012), se procede a purgar la misma mediante las válvulas de purga que deberían estar colocadas en los puntos más bajos de las redes de distribución. Acto seguido, es importante que el sistema cuente con válvulas de aire de doble acción para que en las tuberías se cuente con presión atmosférica y pueda purgarse sin problema como recomienda el Ing. Fernando Castro. (Castro, 2020)

Es importante que se realice esta desinfección siempre antes de poner en marcha al sistema de distribución puesto que una vez el sistema funcione el riesgo de que un usuario del sistema de agua potable consuma esta agua clorada es sumamente alto. Acto seguido, acabada la desinfección debe dejarse correr el agua en los domicilios de los usuarios por aproximadamente cinco minutos para evitar cualquier sabor desagradable una vez empiece a funcionar el sistema de agua potable. Finalmente, como recomienda José Movilla en su manual se deberá tomar muestras del agua para exámenes bacteriológicos. (Movilla, 2012)

Medición de presiones

Complementariamente, la medición de presiones debe implementarse constantemente con manómetros electromagnéticos para llevar un correcto control en tiempo real de las presiones en las redes de tubería. Debe recordarse que la presión mínima y máxima en el sistema debe estar entre 10 y 70 mca respectivamente en condiciones estáticas y entre 10 y 50 mca en condiciones dinámicas.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, sobrepresiones pueden llevar a la creación de fugas o roturas en las tuberías, especialmente en los accesorios hidráulicos, las uniones de tuberías y uniones con los accesorios hidráulicos, tanto del sistema de distribución como en las redes intradomiciliarias de los usuarios del sistema de agua potable. Por ello, el control de

presiones debería mejorarse implementando mediciones en tiempo real con equipos electromagnéticos para evitar posibles fuentes de contaminación y daños a estructuras.

Macro medición y micro medición

Si bien la macro medición y micro medición de los caudales de distribución y de consumo domiciliario respectivamente, no son un parámetro necesario para mantener o mejorar la calidad del agua potable, son importantes para definir qué tan eficiente es el sistema de distribución de agua potable. La implementación de macro medición y micro medición con equipos electromagnéticos, es una mejora que debería considerarse puesto que ayuda a determinar con exactitud el Índice de Agua No Contabilizada, "IANC". IANC bajos indican que el sistema de distribución de agua potable es eficiente, puesto que lo que marca el macro medidor en los tanques de reserva es igual o casi igual a lo que marcan los micro medidores.

Según el manual técnico para la gestión comunitaria de sistemas de agua de Pérez y Fargas, es recomendable que se instalen dos macromedidores tanto a la entrada como a la salida de los tanques de almacenamiento de agua potable. De esta manera, es posible contabilizar los volúmenes de agua almacenados y distribuidos a la población. La implementación de macromedidores permite asegurar que no existen fugas en el tanque de almacenamiento y a la par ayuda a reducir el IANC al comparar los volúmenes de salida con los volúmenes registrados por los micromedidores (Pérez & Fargas, 2017).

Control de calidad del agua potable

Si bien el control de calidad del agua potable depende de muchos otros factores, incluyendo el mantenimiento del sistema de agua potable, un aspecto importante de la gestión de la operación del sistema es el control de la cantidad de cloro libre residual. Como ya se mencionó en los anteriores capítulos la cantidad de cloro libre residual mínima según la NTE INEN 1108 es de 0.3 mg/l y su máxima concentración es de 1.5 mg/l. Por lo tanto, se debe

garantizar que el usuario más lejano que usa el sistema de agua potable tenga por lo menos la cantidad mínima de cloro libre residual para garantizar la inocuidad del agua. En ese sentido, es fundamental chequear periódicamente que los niveles de cloro libre residual que salen de la planta de tratamiento sean los suficientes para que lleguen a todos los usuarios con al menos la concentración de 0.3 mg/l. Para ello, es importante mejorar las mediciones de cloro libre residual, tomando muestras en los domicilios de los usuarios para confirmar que la cantidad de cloro libre residual es superior o igual a la mínima concentración para que el agua sea inocua, caso contrario deberá aumentarse la cantidad de cloro libre residual.

7.3.2. Mejoras en el control de pérdidas

De acuerdo al artículo del periódico digital "Primicias" titulado "*Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable*", la Agencia de Regulación y Control de agua, "ARCA", confirma que en el Ecuador existen IANC superiores al 50% que supera el permitido de25%. Este IANC, representa pérdidas millonarias por el agua que no es facturada y contabilizada. Estas pérdidas, están directamente relacionadas con cuatro principales factores: la medición defectuosa, falta de recopilación de datos, las fugas de agua y el robo del agua. (Torres, 2021) Además, el IANC altos indican que existen subconsumos que pueden hacer inferir que existe racionamiento, y por ende la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua para abastecer a la población, lo cual incrementa los costos del sistema de distribución del agua potable y las tarifas del servicio. (Castro, 2020)

Para reducir estas pérdidas y por ende reducir el IANC, existe una alternativa útil que ayudaría a corregir los cuatro factores mencionados y esta es la implementación de macro y micro medidores electromagnéticos que midan en tiempo real los consumos de agua. En el Distrito Metropolitano de Quito existen ya micromedidores mecánicos, pero sería aconsejable reemplazarlos por macro y micromedidores electromagnéticos que pueden medir en tiempo real mediante softwares los consumos de los tanques de reserva como de los domicilios. Según la

Fundación Avina es recomendable cambiar estos medidores después de registrar consumos de 3000 a 5000 m^3, lo cual ocurre en períodos de 9 años (CARE Internacional-Avina., 2012). Sin embargo, por recomendación del Ing. Fernando Castro remplazar o dar mantenimiento a estos medidores debería hacerse cada 5 años como actualmente se hace en Colombia. (Castro, 2020)

Reemplazar, implementar y dar mantenimiento a macro y micro medidores es algo que ha venido ocurriendo en países vecinos como Colombia, como se puede ver en el medio de comunicación "El TIEMPO" en su artículo de 1996 *"Medidores para controlar el agua*" donde en resumen confirma la implantación de 40000 micromedidores para reducir el IANC de la Compañía del Acueducto y Alcantarillado Metropolitano de Santa Marta "Metroagua S.A." (REDACCIÓN EL TIEMPO, 1996)

Aparte del cambio de micromedidores mecánicos por micromedidores electromagnéticos, se puede mejorar el control de las pérdidas con varias alternativas como el control de fugas mediante aparatos electromagnéticos. Un ejemplo de estos aparatos son sensores implantados en las tuberías, que detectan variaciones acústicas propias de una fuga de agua. Estos se enlazan a un sistema de control en tiempo real vía wifi con repetidores de señal y encuentran con precisión la ubicación de la fuga. Otro aparato es el uso de geófonos para detectar mediante el sonido las fugas de agua potable, donde personal calificado cierra cualquier micromedidor para poder escuchar con claridad las fugas dentro de un tramo de la red. (PERIAGUA III, 2016)

Otra forma de mejorar el control de pérdidas es reducir las pérdidas comerciales, que son el agua que no se factura por una mala administración o exenciones sin carácter técnico. Una correcta administración y la desconexión de conexiones ilícitas ayudarían a mejorar el control de pérdidas. Sin embargo, para lograr este cometido es importante también el accionar de la ley y la fuerza pública.

Finalmente, para mejorar el control de pérdidas se debe reducir las sobrepresiones del sistema tratando de que este trabaje sobre el mínimo de presión del sistema que es de 10 mca, puesto que presiones altas incluso por debajo del límite lleva a consumos elevados por el aumento del caudal en los domicilios de los usuarios. Mantener niveles de presión justo por encima del mínimo mejoraría el control de pérdidas de agua potable.

7.3.3. Mejoras en el mantenimiento del sistema de agua potable

Dentro de las mejoras a implementarse para el mantenimiento de los sistemas de agua potable, está el aumento y verificación de la frecuencia de mantenimiento a todo el sistema del agua potable desde la captación.

Empezando desde la captación en las plantas de tratamiento debe darse limpieza a todos los elementos de dicha planta como son rejillas, paredes de tanques floculadores y sedimentadores. Es importante realizar limpiezas constantes sobre todo en los sedimentadores donde los lodos pueden contaminar el agua de no purgar dicho sedimentador. Es importante que haya un operador o sistema que verifique cuando los lodos hayan llegado al volumen designado de lodos de diseño para purgar el tanque. También, es importante verificar que nuestras pantallas del sedimentador no tengan obstruidos los orificios por donde pasa el flujo del agua, de ser así se recomienda igualmente darle limpieza y desinfección. (Pérez & Fargas, 2017)Así mismo, es de igual importancia establecer cronogramas de mantenimiento y verificar que estos se cumplan y se evidencien con fotos, puesto que de nada sirve tener cronogramas si no se cumplen.

De igual manera, las redes de tuberías que conducen el agua potable deben ser purgadas regularmente de acuerdo con cronogramas de mantenimiento como el que fue entregado por la EPMAPS donde purgan las líneas de conducción a través de hidrantes y válvulas de purga. Sin embargo, nuevamente se podría mejorar dicho aspecto con la verificación de estos

mantenimientos programados para asegurar que no haya sedimentos ni se creen biopelículas en las paredes de las tuberías.

Finalmente, para los tanques de reserva se deben seguir las recomendaciones de la EMAPAD-EP y el manual técnico para la gestión comunitaria de sistemas de agua potable. El manual nos dice que para conservar la calidad del tanque no debe existir ningún tipo de filtración para que no exista ningún riesgo de contaminación. Para lograrlo, es necesario que el tanque cumpla con tres factores:

1. Recubrimiento del tanque, el cual puede ser una tapa que selle completamente el tanque.
2. Estanqueidad del tanque, el cual requiere que no exista grietas o fisuras de ningún tipo.
3. Ausencia de sedimentos, corrosión o algas, el cual se logra con mantenimientos programados. (Pérez & Fargas, 2017)

Como recomendación final, el Ing. Fernando Castro sugiere en los mantenimientos de limpieza utilizar cepillos metálicos para la limpieza de las paredes, así como utilizar concentraciones de agua con cloro libre residual de 8mg/l, añadiendo hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio y dejando un tiempo de contacto de 6 a 8 horas para asegurar su desinfección. Además, de existir presencias de algas en los tanques de reserva el Ing. Fernando Castro recomienda también utilizar sulfato de cobre para la eliminación de las mismas y su posterior purga del tanque de reserva. (Castro, 2020)Nuevamente, es fundamental que existan planes de mantenimiento de estos tanques con cronogramas de al menos 1 vez cada 6 meses. (Pérez & Fargas, 2017) Es importante, que exista una verificación y evidencia de dicho mantenimiento para asegurar que se brinda un servicio de agua y un agua potable de calidad cumpliendo con la NTE INEN 1108.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Con base en la recopilación de bibliografía útil de estudios técnicos realizados en Ecuador y en otras zonas de Latinoamérica, como México y Chile se logró establecer un modelo de encuesta útil y apropiado para determinar la percepción de la calidad la calidad física del agua y su confiabilidad microbiológica. Dicho modelo de encuesta sirvió para ayudar a cumplir con el objetivo general de este trabajo de titulación el cual era determinar la calidad del agua potable de las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco.

Se tabularon los resultados obtenidos de las 405 encuestas aplicadas segmentadamente a las parroquias de la Administración Zonal Tumbaco, donde se pudo determinar la percepción de la calidad física del agua potable y su confiabilidad microbiológica. Los resultados se presentaron en gráficos de barras, de pastel y mapas de calor con códigos de colores para poder visualizar como varia la percepción de parroquia a parroquia y poder identificar las parroquias con las percepciones más desfavorables que permitan inferir en posibles fuentes de contaminación y agentes contaminantes. Con dichos gráficos producto de la tabulación de resultados se pudo identificar que las parroquias con peor percepción de calidad física y microbiológica del agua potable son El Quinche, Yaruquí y Tababela. Dichas parroquias tuvieron valores de calificaciones medias para ausencia de color, turbidez y confiabilidad de calidad microbiológica debajo del valor aceptable de 4, que, aunque pudiera ser relativamente subjetivo son un indicio para poder encontrar problemas en el sistema de agua potable de dichas parroquias.

Se realizaron análisis de aguas de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante la toma de muestras de agua potable de las parroquias de la Administración Zonal

Tumbaco. Con estos análisis de aguas se obtuvieron los resultados de la tabla 14 y 15, donde se pudo constatar que podrían existir problemas en el agua de las parroquias de Checa, Tababela y Cumbayá pues el cloro libre residual de algunas de las muestras tomadas en estas zonas está por debajo del límite permisible de la NTE INEN 1108 el cual es 0.3mg/l. Adicionalmente, se constató que Yaruqui y el Quinche tienen cantidades de cloro libres residual altos, de alrededor de 0.65mg/l, por lo que los usuarios podrían percibir desagradable el agua. Finalmente, la parroquia de Tababela tiene un agua relativamente dura pues tiene un pH al valor de 8.

Se compararon y discutieron los resultados de los análisis de aguas, las encuestas realizadas y los certificados de calidad de agua potable proporcionados por la EPMAPS. Se llegó a la conclusión que los análisis de agua potable, así como los certificados de calidad de agua potable como la EPMAPS no reflejan la percepción de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua potable levantada mediante el uso de encuestas como se vio en el capítulo 5. Además, un mayor número de muestras para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos serían necesarios para cerciorarse que dichos análisis de aguas estén acorde a la realidad como recomienda la OMS y de acuerdo con los lineamientos de la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1.

Se identificaron los posibles agentes contaminantes y sus fuentes en el sistema de distribución y las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas. De acuerdo con lo analizado en el capítulo 6, se concluyó que las posibles fuentes de contaminación de los sistemas de distribución están ligadas a una posible falta de mantenimiento de las redes de distribución incluyendo los tanques de reserva, o la falta de cumplimiento de los cronogramas de mantenimiento de la EPMAPS a todos los componentes del sistema. Por otro lado, los posibles agentes contaminantes y sus fuentes, en las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas podrían deberse a una falta de mantenimiento de las cisternas, así como la existencia de tuberías antiguas que produzcan corrosión y fugas. Estas últimas son un problema

considerable, pues no solo son fuentes de contaminación, sino que aumenten el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), lo que produce que la red de agua potable sea ineficiente e incremente los costos de operación y mantenimiento. Nuevamente, un mayor número de muestras y análisis de las mismas de acuerdo a la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1, ayudarían a cerciorarse qué tipo de contaminantes existen en el agua y sus fuentes. De la misma manera, el uso de macro y micromedidores a la par de un mantenimiento preventivo ayudaran a reducir el IANC.

Se establecieron propuestas de mejora con base en la comparación de resultados para eliminar las posibles fuentes de agentes contaminantes, en las plantas de tratamiento, el sistema de distribución y las redes intradomiciliarias de las parroquias estudiadas con una previa evaluación de los resultados obtenidos como se ve en el capítulo 7. Pero, las propuestas de mejoras se enfocaron en donde existía mayor probabilidad de fuentes de contaminación y agentes contaminantes del agua potable. En ese contexto se recomendó mejorar el control de los mantenimientos en las plantas de tratamiento. Por otro lado, las propuestas de planes de mejora en las redes intradomiciliarias se encaminaron en el mantenimiento de todos los componentes de las mismas con base en los resultados obtenidos; los cuales son las tuberías, accesorios hidráulicos, cisternas y tanques de almacenamiento. Finalmente, las propuestas de mejora de los sistemas de distribución se segmento en propuestas de mejoras en la gestión de operación del sistema de distribución, el control de pérdidas y el mantenimiento de las redes de distribución de agua potable. Aunque se cuente con información por parte de la EPMAPS sobre planes de mantenimiento no se puede asegurar que el mantenimiento se ejecute según lo programado y prueba de ello es la percepción general sobre la calidad del agua de los habitantes de la Administración Zonal Tumbaco.

Al final, se comprobó parcialmente nuestra hipótesis de que la percepción y confiabilidad de los usuarios en la calidad del agua potable será menor en las parroquias de

carácter rural como Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela, respecto a las de carácter suburbano como Tumbaco y Cumbayá, debido a que se esperaba que las parroquias rurales tengan mayores fuentes de contaminación, así como menos mantenimientos programados a sus redes de distribución de agua, respecto a las parroquias de carácter sub urbano.Esto debido a que, si bien Cumbayá tiene percepciones superiores al resto de parroquias suburbanas y rurales, Pifo y Puembo, siendo parroquias de carácter rural superan en sus calificaciones medias de percepción a Tumbaco. Nuevamente, esto no representa la realidad de los análisis de aguas y los certificados de calidad de agua potable entregados por la EPMAPS, pero son un punto de partida para poder identificar posibles problemas en el sistema de agua potable de estas parroquias. Una toma de muestras de agua en las zonas donde se encontraron bajas percepciones, confiabilidades, así como la aplicación de encuestas periódicamente, pueden ayudar a encontrar deficiencias en el sistema de agua potable y aplicar cualquiera de las recomendaciones de mejora requeridas, que fueron explicadas en el capítulo 7 de este trabajo de titulación.

8.2.Recomendaciones

Se recomienda que para futuras investigaciones o trabajos de titulación se encuentre formatos de encuestas para recoger la percepción de la calidad del agua potable de países europeos o países de primer mundo. Lamentablemente fue imposible hallar algún modelo de encuesta de esos países para este trajo de titulación, pero el obtenido fue bastante acertado. Por otro lado, se recomienda que los organismos municipales como la EPMAPS, establezcan un modelo de encuesta y que se realice periódicamente para poder tener una base de datos y ver como varía la percepción de la calidad del agua potable semestre a semestre para poder identificar problemas en el sistema de agua potable.

Es recomendable para estudios similares que se basen en este trabajo de titulación, mejorar el modelo de encuesta propuesto dando la posibilidad al usuario participante de explicar o elegir una opción de porque no confía en la inocuidad del agua potable. De la misma manera, es recomendable poder darle al usuario la opción de contestar si tiene o no cisterna pues puede que existan domicilios que no las tengan, acto seguido dar la oportunidad a los usuarios que si tienen cisterna la opción de registrar si le dan o no mantenimiento a la misma.

Es recomendable de igual manera encontrar gráficos dinámicos para presentar los datos, así como mejorar la toma de datos con preguntas secuenciales en encuestas que permitan visualizar en tiempo real los resultados de la encuesta. Así mismo, se recomienda que las encuestas permitan tener una calificación numérica desde un inicio para poder evitar problemas al momento de cambiar a una calificación numérica. Finalmente, se deberían elaborar mapas de las parroquias de Quito que sean compatibles con programas estadísticos para poder elaborar mapas de calor mucho más vistosos y focalizados en las zonas de estudio.

Para futuras investigaciones sería óptimo seguir lo que dicta la NTE INEN-ISO 19458 y 5667-1 para el muestreo y toma de muestras para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, respectivamente. Si bien el costo es elevado, conseguir un auspicio de la EPMAPS o la empresa pública de agua potable del municipio estudiado, podría ayudar a financiar dichos estudios además de ayudar a la empresa de agua potable. Dicho auspicio podría ser más factible de conseguir en municipios pequeños.

También, es importante recomendar a las empresas de agua potable de los municipios grandes y pequeños que realicen un mayor número de muestras en varias zonas de su municipio y de manera periódica para encontrar deficiencias en el mismo. De esa manera, podría identificarse problemas con el cumplimiento de los estándares de calidad del agua potable según la NTE INEN 1108 como se identificó en este trabajo de titulación en Checa, Tababela y

Cumbayá donde hubo zonas donde no se cumplía con el mínimo de cloro libre residual en el agua.

Finalmente, es recomendable realizar un control exhaustivo de los planes de mantenimiento que fueron entregados por la EPMAPS, ya que todo sistema de agua potable puede fracasar si no se le da un correcto mantenimiento. De la misma manera, es importante mejorar el control de pérdidas cambiando los medidores y accesorios hidráulicos como recomiendan los fabricantes. Esto sería indispensable para poder reducir el IANC y garantizar un sistema de agua potable óptimo y con menor probabilidad de fuentes y agentes contaminantes. Es importante investigar para otros trabajos de titulación similares a este, sobre el impacto de medidores en el IANC, puesto que podría revelar datos interesantes, así como mostrar el estado real de los sistemas de distribución de agua potable de cualquier municipio del Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

ACQUETECH. (27 de JULIO de 2021). *Fenómenos de incrustaciones en tuberías.* Obtenido de http://acquetech.com/2021/07/27/fenomenos-de-incrustaciones-en-tuberias/

Brito-Rhor, M. D. (19 de Junio de 2020). La percepción y los sentidos. *Revista de Investigación sobre Comportamiento Humano*. Obtenido de https://mktadstrategies.wordpress.com/2020/06/19/la-percepcion-y-los-sentidos/

CARE Internacional-Avina. (2012). Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Ecuador: CARE Internacional-Avina.

Castro, F. (25 de Septiembre de 2020). Comunicación Personal.

Cifelli, R. (13 de Julio de 2020). Percepción de usuarios sobre la calidad del agua potable cayó 11,9% en 2019. *Codexverde*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2020, de https://codexverde.cl/encuesta-de-percepcion-de-usuarios-la-calidad-del-agua-potable-cae-119-respecto-al-2018/

CK-12 Foundation. (2010). *Engineering: An Introduction for High School.* San Francisco, California, USA: CK-12 Foundation. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:High_School_Engineering.pdf

EMAPAD-EP. (2020). Limpieza y desinfección de cisternas de cemento. Durán, Guayas, Ecuador. Obtenido de http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/149-limpieza-y-desinfeccion-decisternas-de-cemento

EPMAPS. (2021). *EPMAPS AGUA DE QUITO*. Obtenido de https://www.aguaquito.gob.ec/1381-2/

EPMAPS-Agua Quito. (2018). *Memoria de Sostenibilidad 2018.* Quito: EPMAPS-Agua Quito. Obtenido de https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/Sin-ti%CC%81tulo-4.pdf

EPMAPS-Agua Quito. (2019). *MEMORIA DE SOSTENIBILIDAD 2019.* Quito: (EPMAPS-Agua Quito). Obtenido de https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Memoria-de-Sostenibilidad-2019-FINAL.pdf

Fernández, A. (Noviembre de 2012). *Asociación Española para la Calidad (AEC).* Obtenido de https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=7040b707-ca55-4709-9ff6-5345634585bc&groupId=10128

Garrido, A., & Álvaro, J. (2007). *Psicología Social.* (Segunda ed.). McGraw Hill.

Gómez-Martínez, M., Gutiérrez-Montes, I., & Declerck, F. (2014). Percepción local acerca de la calidad del agua y la herpetofauna en fincas ganaderas del municipio de Matiguás, Nicaragua. *Revista Luna Azul,*, 38, 30-57. Obtenido de http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=v

Granados, M. d. (1987). *TECNICAS DE PROYECCIONES DE POBLACION DE AREAS MENORES.* Celade. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjfqeWA9_L0AhXbRzABHalxCToQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.cepal.org%2Fbitstream%2Fhandle%2F11362%2F32594%2FD-13118.00_es.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw0zp1XHwR-1T8H-IhDriwF_

healthychildren.org. (9 de Septiembre de 2021). Plomo en el agua del grifo y en las tuberías de los hogares: preguntas frecuentes de los padres. *healthychildren.org*. Obtenido de https://www.healthychildren.org/Spanish/safety-prevention/at-home/Paginas/lead-in-tap-water-household-plumbing.aspx

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Selección de la muestra. En R. Hernández, C. Fernández, & P. Baptista, *Metodología de la Investigación* (Sexta ed., págs. 170-191). México: McGraw-Hill.

INEC. (21 de Noviembre de 2001). *Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonales/Pichincha/Fasciculo_Quito.pdf

INEC. (2010). *Sistema de Indicadores Distritales*. Obtenido de http://sid.quito.gob.ec/SID.Front/ReporteIndicador?idIndicador=186

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (1992). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C., NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (Enero de 2014). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. *AGUA POTABLE. REQUISITOS(NTE INEN 1108), Quinta revisión 2014-01*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (Abril de 2020). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. *AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS(NTE INEN 1108), Sexta revisión 2020-04*.

Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (Decimoquinta ed.). México, D.F., México: Mc Graw Hill.

López Muñoz, M. J. (22 de Enero de 2016). La contaminación del agua con cromo. *AGUASRESIDUALES.INFO*. Obtenido de https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/contaminacion-del-agua-con-cromo

Marquéz, O., & Ortega, M. (2017). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública, 23*, 41-59. Obtenido de http://revistas.unam.mx/index.php/rmop/article/view/58515/53832

Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador*. INEC-UNICEF. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos y UNICEF (INEC-UNICEF). Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf

Movilla, J. (Febrero de 2012). MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE AGUA POTABLE. *EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE VALLEDUPAR EMDUPAR S.A. E.S.P*. Obtenido de https://www.emdupar.gov.co/

OMS. (2008). *Guías para la calidad del agua potable, tercera edición Volumen 1: Recomendaciones.* ©Organización Mundial de la Salud 2008. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/

Palacios et al., I. (2019). *Diccionario electrónico de enseñanza y aprendizaje de lenguas. dicenlen*. Obtenido de https://www.dicenlen.eu/es/diccionario/entradas/fiabilidad

Pérez García, P. E., & Azcona Cruz, M. I. (julio-septiembre de 2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, vol. 17*(núm 3), 199-205. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47324564010

Pérez, A., & Fargas, M. (2017). *Manual Técnico para la gestión comunitaria de sistemas de agua.* Quito: Secretaría del Agua Demarcación Hidrográfica Napo.

PERIAGUA III. (18 de Octubre de 2016). Detección de fugas de agua potable no visibles - GIZ/PERIAGUA Bolivia [Archivo de vídeo] Youtube. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=9XA3Df8WGe0

REDACCIÓN EL TIEMPO. (11 de JULIO de 1996). MEDIDORES PARA CONTROLAR EL AGUA. *EL TIEMPO*. Obtenido de https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-433603

Romero Rojas, J. A. (1999). *POTABILIZACIÓN DEL AGUA.* México, D.F.: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.

Sanjuán, F. J. (2 de Octubre de 2017). Curtosis. *Economipedia.com*. Obtenido de https://economipedia.com/definiciones/curtosis.html

Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2016). *Water Engineering Hydraulics, Distribution and Treatment.* New Jersey: WILEY.

TASWATER. (2018). What is pipe flushing? *TASWATER*. Obtenido de https://www.taswater.com.au/News/Service-Interruptions-Alerts/What-is-pipe-flushing-

Torres, W. (06 de Julio de 2021). *PRIMICIAS*. Obtenido de https://www.primicias.ec/noticias/economia/perdidas-agua-fugas-ecuador-municipios/

United States Enviromental Protection Agency, USEPA. (1992). *Control of Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems.* Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Obtenido de http://www.epa.gov

Villavicencio, E. (19 de Noviembre de 2018). CLASE: EL TAMAÑO MUESTRAL PARA LA TESIS CUÁNTAS PERSONAS DEBO ENCUESTAR PARTE 1. *[Archivo de*

Youtube]. Cuenca, Azuay, Ecuador. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=1DcRKJV8Kls&t=917s

ANEXOS