

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
Y USO INDUSTRIAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA
CARBONERA, MUNICIPIO DE SANARATE, DEPARTAMENTO DE EL
PROGRESO, GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RITA YESENIA SOLÓRZANO PONCE
ASESORADA POR Ing. Zenón Much Santos

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2,005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Héctor Adolfo Ruiz Godoy
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
Y USO INDUSTRIAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA
CARBONERA, MUNICIPIO DE SANARATE, DEPARTAMENTO DE EL
PROGRESO, GUATEMALA,**

tema que me fue asignado por la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química con fecha julio del 2,004.

RITA YESENIA SOLÓRZANO PONCE

DEDICATORIA

A:

Dios y La Virgen María

MIS PADRES

José María Solórzano Arriola

Rita Ponce de Solórzano, por este trabajo que es la recompensa de los sacrificios que han hecho.

MI NIÑO

Luis Fernando Aldana Solórzano

Por ser la fuente de motivación a seguir adelante.

A MI ESPOSO

Luis Antonio Aldana Massella.

A MIS HERMANOS

Rubén Solórzano Ponce y Henry Solórzano Ponce

AGRADECIMIENTO

A:

Dios y La Virgen

por sus bendiciones a los largo de mi vida.

Mis Padres

por darme la oportunidad de la vida, por todo el esfuerzo para sacarme adelante.

Ing. Zenón Much

por brindarme su apoyo, asesoría e incondicional ayuda a lo largo de esta investigación.

El personal del
Laboratorios de Química
y Microbiología Sanitaria

por el apoyo y colaboración, especialmente a los Sres. Moisés Dubon y David Mijangos.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	X
RESUMEN.....	XII
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del agua.....	1
1.2 Ciclo hidrológico.....	2
1.3 Usos del agua.....	3
1.4 Impurezas del agua.....	4
1.5 Agua para consumo humano.....	5
1.6 Parámetros físicos, químicos y exámenes bacteriológicos.....	6
1.6.1 Análisis físico.....	6
1.6.1.1 Temperatura.....	6
1.6.1.2 Sabor y olor.....	6
1.6.1.3 Turbiedad.....	7
1.6.1.4 Color.....	7
1.6.1.5 Potencial de hidrógeno.....	8
1.6.1.6 Conductividad.....	8

1.6.2	Análisis químico.....	9
1.6.2.1	Dureza total.....	9
1.6.2.2	Cloruro.....	10
1.6.2.3	Cloro residual.....	10
1.6.2.4	Sólidos totales disueltos.....	11
1.6.2.5	Sulfato.....	11
1.6.2.6	Fluoruro.....	12
1.6.2.7	Hierro total.....	12
1.6.2.8	Nitrato.....	12
1.6.2.9	Nitrito.....	12
1.6.2.10	Alcalinidad parcial y total.....	13
1.6.2.11	Manganeso.....	13
1.6.2.12	Plomo.....	14
1.6.2.13	Mercurio.....	14
1.6.3	Examen bacteriológico.....	14
1.6.3.1	Prueba presuntiva.....	16
1.6.3.2	Prueba confirmativa.....	17
1.6.3.3	Expresión de resultado.....	17
1.7	Reglamentos para la calidad del agua potable	18
1.7.1	Norma COGUANOR NGO 29 001.....	18
1.7.2	Otras normas.....	19
1.8	Procesos de tratamientos.....	19
1.8.1	Filtración.....	21
1.8.2	Desinfección.....	21
1.8.2.1	Cloración.....	21
1.8.2.2	Yodo.....	22
1.8.2.3	Bromo.....	22
1.8.2.4	Ozono.....	23

1.9	Usos industriales del agua	23
1.9.1	Los usos generales del agua en la industria.....	23
1.9.1.1	Transferencia de Calor.....	24
1.9.1.1.1	Calentamiento.....	24
1.9.1.1.2	Enfriamiento.....	25
1.9.2	Aplicación de procesos.....	26
1.9.2.1	Agua como materia prima.....	27
1.9.2.2	Transporte.....	29
1.9.2.3	Agua para lavados.....	30
1.9.3	Generación de Energía.....	31
1.9.4	Agua para usos generales.....	31
1.9.5	Calidad del agua para uso industrial.....	32
1.9.6	Impurezas presentes en el agua destinada a uso industrial.....	32
2.	JUSTIFICACIÓN.....	38
3.	UNIVERSO DE TRABAJO.....	40
3.1	Localización	40
3.2	Medios.....	40
3.2.1	Recursos humanos.....	40
3.2.2	Recursos materiales.....	41
3.2.3	Recursos físicos.....	41
3.3	Diseño del método de muestreo.....	41
3.3.1	Selección de los sitios de muestreo.....	41
3.3.2	Frecuencia de muestreo.....	42
3.3.3	Recolección, transporte y conservación de las muestras de agua.....	42
3.3.3.1	Muestra para análisis físico y químico.....	42
3.3.3.2	Muestra para análisis bacteriológico.....	42

3.3.4	Tipos de análisis y exámenes a realizar.....	43
3.3.4.1	Análisis físico.....	43
3.3.4.2	Análisis químico.....	43
3.3.4.3	Examen bacteriológico.....	44
RESULTADOS		45
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		49
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA		54
APENDICES		56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Comportamiento de la temperatura en función del tiempo del tanque de distribución.....	62
2.	Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del Tanque de distribución.....	63
3.	Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo Del tanque de distribución.....	64
4.	Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo del Tanque de distribución.....	65
5.	Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo del Tanque de distribución.....	66
6.	Comportamiento del color en función del tiempo del Tanque de distribución.....	67
7.	Comportamiento de la temperatura en función del tiempo del Centro de Salud.....	68
8.	Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del Centro de Salud.....	69
9.	Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo del Centro de Salud.....	70
10.	Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo del Centro de salud.....	71
11.	Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo del Centro de Salud.....	72
12.	Comportamiento del color en función del tiempo del Centro de Salud.....	73
13.	Comportamiento de la temperatura en función del tiempo de una casa particular.....	74

14. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de una casa particular.....	75
15. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de una casa particular	76
16. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo de una casa particular.....	77
17. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de una casa particular.....	78
18. Comportamiento del color en función del tiempo de una casa particular.....	79
19. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo de la municipalidad.....	80
20. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de la municipalidad.....	81
21. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de la municipalidad.....	82
22. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo de la municipalidad.....	83
23. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de la municipalidad.....	84
24. Comportamiento del color en función del tiempo de la municipalidad.....	85
25. Comportamiento promedio de la alcalinidad, calcio y dureza del agua los cuatro puntos de muestreo.....	86
26. Comportamiento promedio de la nitratos, fluoruros y sulfato del agua los cuatro puntos de muestreo.....	87
27. Comportamiento promedio del amonio, hierro y manganeso del agua los cuatro puntos de muestreo.....	88
28. Comportamiento promedio de cloruros, sodio y potasio del agua los cuatro puntos de muestreo.....	89
29. Comportamiento del cloro residual del agua en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo.....	90

30.	Comportamiento del índice de saturación de Langelier en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo.....	91
31.	Comportamiento del cloro residual del tanque de distribución en los cinco muestreos.....	92
32.	Comportamiento del cloro residual del Centro de salud en los cinco muestreo	93
33.	Comportamiento del cloro residual de una casa particular en los cinco Muestreo.....	94
34.	Comportamiento del cloro residual de la municipalidad en los cinco Muestreo.....	95

TABLAS

I.	Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” del tanque de distribución en los cinco muestreos.....	56
II.	Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” del centro de Salud en los cinco muestreos.....	56
III.	Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” de una casa particular en los cinco muestreos.....	57
IV.	Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” de la municipalidad en los cinco muestreos.....	57
V.	Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 1.....	57
VI.	Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 2.....	58
VII.	Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 3.....	58
VIII.	Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 4.....	59
IX.	Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 5.....	59

X.	Parámetros químicos del agua promedio de los cinco muestreos que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera”	60
XI.	Índice de Saturación de Langelier en los distintos puntos de muestreo.....	60
XII.	Parámetros bacteriológicos obtenidos para el agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en los distintos puntos de muestreo.....	61
XIII.	Cloro residual del agua que abastece la planta de Tratamiento “La Carbonera”	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
° C	Grados Celsius
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
mg/L	Miligramos por litro de solución
NMP/ 100 cm³	Número más probable de b bacterias
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	partes por millón
UTN	Unidad de turbiedad nefelométrica
TDS	Total de Sólidos disueltos

GLOSARIO

Ablandamiento	Se dice de la eliminación de compuestos de calcio, magnesio y hierro disuelto en el agua, reduciendo su dureza.
Acidez	Tendencia liberar un protón o a aceptar un par de electrones de un donante.
Alcalinidad	Es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, aunque los aniones de ácidos débiles pueden contribuir a la alcalinidad.
Coagulación	Se dice de la asociación de partículas en grupos que sedimentan.
Conductividad	Capacidad que tienen las sustancias a conducir o no la electricidad.
Corrosión	Reacción de un metal con un ácido, oxígeno u otro compuesto con destrucción de la superficie del metal.
Desionización	Proceso de eliminación de iones en solución.
Desmineralización	Proceso de eliminación de minerales en solución.
Dureza	Se denomina agua dura al agua que no forma espuma, fácilmente, con jabón, por la presencia de diversos compuestos.

Incrustación	Deposito de carbonato de calcio que se forma en ciertas superficies.
Intercambio iónico	Proceso que tiene lugar en ciertos materiales insolubles que contienen iones capaces de intercambiarse con iones del medio circundante.
PH	Logaritmo de base 10 del recíproco de la concentración iónica de hidrógeno de una solución.
Zeolitas	Miembro de un grupo de aluminosilicatos hidratados que se encuentran en la naturaleza o se fabrican por sus propiedades de intercambio iónico.

RESUMEN

Para llevar a cabo este trabajo de graduación se recolectaron muestra de agua en cuatro puntos distintos de la planta de tratamiento “La Carbonera” que surte el agua a la población del municipio de Sanarate departamento de El Progreso (Anexo No. 3).

Los parámetros físicos , químicos y bacteriológicos fueron realizados y evaluados según métodos y especificaciones dictados por la norma COGUANOR NGO 29001 determinación de la calidad del agua para consumo humano, índice de Langelier de agua para uso industrial y norma CATIE de agua para uso de ciertas industrias.

Se determinó que el agua que provee la planta de tratamiento “La carbonera” al municipio de Sanarate es apta para consumo humano. Esto implica, que el método de desinfección para la destrucción de bacterias se está empleando correctamente.

Para uso industrial, el agua proveniente de la planta de tratamiento será útil para industrias de alimentos en general, bebidas carbonatadas, destilería, cervecería, jabón, detergentes y cemento. Sin embargo, para industrias de papel, tenerías y textil no se podrá utilizar sin previo tratamiento para no dañar el equipo debido a su corrosión.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad física, química y bacteriológica del agua que actualmente distribuye La Planta de Tratamiento “La Carbonera” por el sistema de abastecimiento de la municipalidad a la población de municipio de Sanarate, departamento de El Progreso con el fin de verificar si la misma cumple con los requisitos por la Norma COGUANOR NGO 29 001 de agua potable para consumo humano y si puede usarse en algún proceso industrial.

Específicos

1. Determinar si los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua de La planta de Tratamiento “La Carbonera” ubicada en el municipio de Sanarate cumplen con las especificaciones de calidad para consumo humano según la Norma COGUANOR 29 001.
2. Elaborar un informe destinado a la Municipalidad de Sanarate, acerca del estudio que se va a practicar con el fin de presentar recomendaciones para implementar posibles medidas para el control y mejoramiento de la calidad de agua que se suministra a la población.
3. Comparar los resultados obtenidos con normas propuestas y vigentes para consumo humano y uso humano para poder determinar el uso que se le pueda dar.

HIPÓTESIS

El agua suministrada por la red de abastecimiento de la municipalidad de Sanarate no cumple con las especificaciones de la Norma COGUANOR NGO 29 001, para consumo humano y no tiene posible uso industrial.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más renovables para la vida humana, animal y vegetal, así como, tiene un papel importante para el desarrollo industrial de una población.

Debido al rápido crecimiento de la población, uno de los servicios públicos requeridos de mayor importancia es el suministro de agua, para fines domésticos, industriales, de riego, entre otros. Es importante mencionar que, con el crecimiento desorganizado de las poblaciones, no se han adaptado los medios suficientes para la aplicación de procesos de tratamiento que disminuya la contaminación del agua; como resultado de esto, el agua contaminada ya no es adecuada para consumo humano, uso industrial, uso agrícola, etc.

El presente trabajo es un estudio de la calidad del agua para consumo humano e industrial que se distribuye a la población del municipio de Sanarate, Departamento de El Progreso a través del sistema de abastecimiento de la Municipalidad de Sanarate. Se estudiará la calidad de agua de la Planta de Tratamiento “La Carbonera” que suministran el agua a la región central de dicho municipio y así determinar si el agua llena las características de potabilidad según la Norma COGUANOR NGO 29 001 de agua potable.

Los métodos de los análisis físico, químico y bacteriológicos que se realizarán para determinar la calidad del agua de La Planta de Tratamiento “la Carbonera” que abastece al municipio de Sanarate, son descritos en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, de la APHA, AWWA y WEF y en la norma COGUANOR NGO 29 001 y sus derivadas aprobadas por el Ministerio de Economía de Guatemala.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del agua

El agua es una combinación de los elementos hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) y su fórmula estequiométrica es H_2O . El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido. El agua es el compuesto principal de la materia viva y constituye del 50 al 90 % de la masa de los organismos vivos.

El agua químicamente pura es un líquido extremadamente escaso y difícil de obtener, debido a que es un solvente casi universal y en el que, prácticamente, todas las sustancias son solubles hasta cierto grado.

El agua a la presión atmosférica, su punto de congelación es de $0^{\circ}C$ y su punto de ebullición de $100^{\circ}C$. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de $4^{\circ}C$ y se expande al congelarse.

Se sabe que el agua se presenta corrientemente, en las condiciones naturales ambientales, en uno de los tres estados: gaseoso, líquido y sólido y su importancia físico química es tal, que las temperaturas de transformación de un estado en otro han sido tomadas como puntos fijos.

1.2 Ciclo hidrológico

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución del agua en la tierra, sus reacciones físicas y químicas con otras sustancias existentes en la naturaleza, y su relación con la vida en el planeta.

El agua sigue un ciclo por el cual cambia de estados en la naturaleza; este ciclo se denomina Ciclo hidrológico, y es a través de él que el agua obtiene sus distintos contaminantes. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve.

Al llegar a la superficie, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los ríos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se infiltra en el suelo. Una parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo, y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas.

La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo y se acumula en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. En condiciones normales, el nivel freático crece de forma intermitente según se va rellenando o recargando, y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales.

El agua que se aprovecha del ciclo hidrológico se divide en tres tipos de fuentes:

- a) Fuentes de agua atmosférica: se refiere al agua que constituye la humedad de las nubes y que se precipita en forma de nieve, granizo y lluvia.
- b) Fuentes de agua superficial: se refiere al agua contenida en los océanos, mares, lagos, ríos y pantanos.
- c) Fuentes de agua profunda o subterránea: se refiere al agua subterránea que se acumula cuando todos los pozos del suelo o la rocas se saturan de materiales, es el agua de manantiales y galerías de infiltración.

1.3 Usos del agua

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos sobre la tierra, pudiéndose decir que es la base de la vida. Ejerce una gran influencia en el desarrollo del ser humano. Atendiendo a su uso se puede clasificar según:

- a) Para uso humano: se refiere al agua que se usa para cocinar, beber y para uso doméstico.
- b) Para uso industrial: se refiere al agua que sirve como materia prima o bien ingrediente en manufactura y/o fabricación, para lavar materia prima y producto, para transporte de material, para producir vapor en calderas, como refrigerante o calefacción en procesos térmicos, como lubricante, etc.
- c) Para uso agrícola: se refiere al agua que se utiliza para riego y lavado de productos agrícolas.
- d) Para uso público: se refiere al agua que se utiliza en la demanda de incendios, higiene de la población, fuentes, bebederos, etc.
- e) Para uso recreativo: se refiere al agua utilizada para baño, natación, deportes acuáticos, etc.

Para la mayoría de estos usos es primordial la calidad del agua, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias presentes puede alterar su calidad, y la puede convertir en inservible y, a veces altamente peligrosa para la salud.

1.4 Impurezas en el agua

El agua durante su condensación y precipitación, en forma de lluvia o nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de materia orgánica e inorgánica.

El agua al circular por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, cloruros, bicarbonato de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio.

Las aguas superficiales suelen contener también residuos domésticos en industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos como nitrógeno y cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables.

Por lo tanto, las impurezas que vuelven insegura o de una u otra forma inservible para ser usada, son los siguientes:

- a) Microorganismos: los cuales pueden causar enfermedades o impartir color, sabor y olor al agua.
- b) Minerales: que causan dureza y otros efectos.
- c) Gases disueltos: que pueden causar acidez o alcalinidad.
- d) Material suspendido: que causa turbiedad y con esto imparte color, sabor y olor a la misma.

1.5 Agua para consumo humano

El agua libre de microorganismo patógenos y sustancias químicas perjudiciales para la salud se denomina potable, y la contaminada con desperdicios domésticos o industriales agua no potable o contaminada.

Las fuentes subterráneas abastecen la mayoría de las casas rurales. Por lo que es importante que la fuente de agua subterránea este lejos de las posibles fuentes de contaminación como letrinas, fosas sépticas y patios de granjas y corrales.

El agua que se designa para consumo humano debe de estar bien investigada y de ser necesario algún tratamiento deberá de aplicarse antes de su distribución. Estos tratamientos pueden ser de varios tipos y se determinan según los resultados de las pruebas bacteriológicas, físicas y químicas que se le aplican al agua.

Todo sistema de agua potable debe de llevar regularmente una investigación sanitaria, que consiste en:

- a) Inspección de la fuente sin tratar y las condiciones que influyen en su calidad,
- b) Inspección de las operaciones de la planta purificadora o la construcción del pozo,
- c) Inspección del mecanismo para la distribución del líquido a los consumidores.

Las investigaciones revelan si el agua se está produciendo en las condiciones estipuladas. Estas condiciones varían, dependiendo del lugar donde se encuentra el sistema. La potabilidad del agua sólo se puede determinar por medio de las pruebas físicas, químicas y bacteriológicas de la misma.

1.6 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicas

El análisis físico y químico indica si el agua está contaminada y proporciona también otras informaciones útiles pero no es lo suficientemente preciso para detectar pequeños grados de contaminación con aguas negras. Sin embargo, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación.

1.6.1 Análisis físico

Los sentidos organolépticos ayudan a analizar el agua relacionando parámetros que pueden ser medidos de esta forma y comparándolos con estándares que se disponen en los laboratorios.

1.6.1.1 Temperatura

La temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de importancia sanitaria. Se considera que una temperatura arriba de 10°C es satisfactoria pero más de 16°C no es aceptable para consumo humano.

1.6.1.2 Sabor y olor

Estos usualmente se examinan en conjunto, esto es debido a la presencia de materia orgánica descompuesta, algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles. El agua de calidad satisfactoria debe ser carente de olor y sabor. El olor y el sabor pueden ser debidos a la presencia en el agua de compuestos químicos como: fenoles y el cloro, o a materias orgánicas en descomposición o ciertos organismos. Los olores y sabores desagradables convierten a las aguas en no aptas para muchos procesos industriales. Estas son intolerables en bebidas y productos alimenticios, y se objeta también en materias textiles, papel, y otros procesos en que se absorba el olor.

1.6.1.3 Turbiedad

Es cualquier impureza soluble finamente dividida en forma coloidal, cualquiera que sea su naturaleza, suspendida en el agua y que disminuya su claridad. Turbiedad es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos estándares establecidos. La alta turbiedad en cualquier suministro de agua es indeseable para usos prácticos, excepto posiblemente para ciertos tipos de condensación de superficie. Se dice que el agua es turbia cuando ésta tiene en suspensión muchas partículas finas de polvo, arena y ocasionalmente microorganismos que le dan una apariencia lodosa. Esta se determina a partir de método óptico.

1.6.1.4 Color

Generalmente es derivado de hojas, semillas y otra sustancia orgánica similar, pero algunas veces es causado por la presencia de hierro o manganeso combinado con materia orgánica. El color verdadero del agua se debe a la presencia de material en solución, pero este color puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión. Para el análisis de color sólo el color verdadero es importante, y las partículas en suspensión deben ser removidas antes de que se realicen los análisis de color, esto se realiza por medio de centrifugación.

El color se encuentra principalmente en las aguas superficiales o en algunos pozos poco profundos y manantiales; las aguas de pozos profundos son incoloras. Las aguas muy coloreadas son objetables para muchos procesos industriales y, en general, no se aceptan para agua de alimentación de calderas. Para consumo humano, deben desecharse por razones estéticas.

1.6.1.5 Potencial de hidrógeno

Es importante determinar este parámetro, ya que la mayoría de las aguas naturales tiene valores de pH entre 5.5 – 8.6. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación del abastecimiento de agua por algún desecho de tipo industrial. Un agua con pH menor que 6.0 será fuertemente para los metales. Al aumentar las concentraciones de hidrógeno, aumenta el poder corrosivo sobre el metal.

(2) Son dos los métodos generales usados para determinar el valor del H. El método colorimétrico el cual emplea indicadores, sustancias que exhiben diferentes colores de acuerdo con el pH de la solución, y el método elecrométrico en el cual se mide el potencial de un electrodo sensitivo a pH con referencia a un electrodo estándar. Para estimaciones aproximadas el método colorimétrico es adecuado, especialmente en el terreno, pero para determinaciones de laboratorio el método estándar es el

electrométrico, el cual se considera como un método físico; a diferencia del colorimétrico que es químico.

1.6.1.6 Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. Depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en microhombres a 25°C.

1.6.2 Análisis químico

Por medio de este análisis se determina el contenido de sales minerales y materia orgánica, para compararlo contra los estándares y poder determinar su calidad, usos y cualquier proceso a que deba ser sometida.

1.6.2.1 Dureza total

Es una característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3). La dureza puede ser dureza de carbonatos o de no carbonatos, la primera se refiere a carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, y la segunda a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio.

La dureza es usualmente expresada en partes por millón (ppm) o mg/L de carbonato de calcio. La dureza total se mide determinando la cantidad de carbonato de calcio equivalente al total de calcio y magnesio contenida en el agua, y algunas veces por el hierro y aluminio contenido.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

0 - 75 mg/L	Blanda
76 - 150 mg/L	Moderadamente dura
151 - 300 mg/L	Dura
> 300 mg/L	Muy dura

1.6.2.2 Cloruro

Estos aniones que se encuentran presentes en el agua en diversas concentraciones, normalmente se incrementan con el contenido mineral de los suelos. Los abastecimientos de agua subterránea regularmente presentan mayor concentración de cloruros debido a que el agua disuelve los cloruros presentes en las montañas y cimas elevadas. La determinación de este parámetro es importante cuando se tiene un conocimiento en el agua de un abastecimiento, ya que cuando el agua aparece contaminada estos tienden a estar en exceso. Este puede ser un indicio de contaminación por excretas humanas o particularmente por la orina, que contiene cloruros en proporción aproximada a la consumida en la alimentación.

1.6.2.3 Cloro residual

El cloro no es sólo un poderoso desinfectante, sino que también satisface otras necesidades en las plantas potabilizadoras de agua. Puede reaccionar con amoníaco, hierro, manganeso, sustancias proteicas, sulfuro y algunas sustancias productoras de sabores y olores mejorando las características del agua potabilizada.

El cloro se agrega al agua de los abastecimientos para asegurar su pureza bacteriológica o para mejorar sus características físicas, químicas y organolépticas (sabor y olor); se hace necesario tener un control adecuado de la cantidad de cloro que se requiere para producir un determinado residual de cloro en fuentes de agua de calidad potable que comparativamente contienen poca polución. En la mayoría de los casos se afirma la seguridad bacteriológica de un agua cuando se tiene un ligero exceso de cloro.

En Guatemala se ha fijado por norma que las plantas potabilizadoras de agua mantengan un residual de cloro disponible de 1.0 mg/l y de 0.5 a 0.7 mg/l en cada punto de la red de distribución al usuario.

1.6.2.3 Sólidos totales disueltos

El total de sólidos disueltos (TSD) en el agua comprende sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. El total de sólidos disueltos puede tener importantes efectos en el sabor del agua potable. Se considera generalmente que, con concentraciones inferiores a 600 mg/L, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente cuando la concentración sobrepasa 1,200 mg/L. La presencia de niveles elevados del TSD puede causar excesivas incrustaciones en las tuberías, los calentadores, y aparatos domésticos.

Los sólidos totales disueltos pueden determinarse midiendo la conductividad del agua, este se basa en el hecho de que la conductividad eléctrica del agua aumenta o disminuye con la concentración de material disuelto ionizado.

1.6.2.4 Sulfato

Se puede encontrar presente en el agua natural en un amplio rango de concentraciones. Las aguas provenientes de minas o efluentes industriales contienen altas concentraciones de sulfato, debido a la oxidación de la pirita y el uso del ácido sulfúrico. La presencia en exceso de sulfatos en el agua de suministro público obra como purgante; es decir, tiene efectos laxantes. Por otra parte, tiene efectos corrosivos en los materiales que regularmente se utilizan en la fabricación de tuberías y piezas de equipo.

1.6.2.5 Fluoruro

El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados, como la fluorina (CaF_2), la criolita, el fluorapatito, etc. La presencia de flúor en las aguas ha adquirido una gran importancia desde que se descubrió que, su presencia en proporciones de más de 1.5 mg/L, produce en el esmalte de los dientes unas motas coloreadas en amarillo, marrón o negro (fluorosis), siendo especialmente sensibles a esta lesión los niños pequeños.

1.6.2.6 Hierro total

El hierro está presente en el agua en estado ferroso o férrico, y éstos son solubles, insolubles o coloidales. Se encuentra disuelto en muchas aguas naturales, principalmente en las aguas subterráneas, ya que las sales solubles son en general las ferrosas. Entre ellas se encuentra disuelto en forma de bicarbonato ferroso ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$). El hierro también da origen a microbios que presentan acumulaciones de óxido férrico en las canalizaciones y los depósitos.

1.6.2.7 Nitrato

Este no es nocivo, comunicando al agua un sabor agradable. Debe de tenerse cuidado cuando están fuera de los límites por su posibilidad de reducirse a nitritos. El exceso produce metahemoglobinemia en niños menores de cinco años.

1.6.2.8 Nitrito

En lo que respecta a nitritos, de aguas que los contengan se debe de sospechar de su potabilidad. En las superficiales se encuentran cuando están polucionadas con aguas negras o residuos orgánicos y están en período de autodepuración. En las aguas subterráneas se pueden encontrar a veces, la presencia de nitritos impotabiliza el agua. Además que su presencia indica una polución con la consiguiente presencia de microorganismos patógenos, presenta una cierta toxicidad como consecuencia de su acción metahemoglobizante e hipotensiva.

1.6.2.9 Alcalinidad parcial y total

Son los parámetros que muestran la presencia de carbonato, bicarbonato y/o iones hidroxilo. Está afecta el pH de la muestra. El carbonato causa problemas de incrustación en forma de carbonato de calcio, por lo que es necesario estar controlando este parámetro.

1.6.2.10 Manganeseo

El manganeseo es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con hierro. Las concentraciones de manganeseo disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeseo formará óxidos insolubles que pueden causar problemas de color en los sistemas de distribución.

Las concentraciones de manganeso inferiores a 0.1 mg/L resultan generalmente aceptables para los consumidores, esto puede variar según las circunstancias locales. En concentraciones superiores a 0.1 mg/L, el manganeso contenido en el agua mancha las instalaciones de fontanería y la ropa lavada y da a las bebidas un sabor desagradable.

1.6.2.11 Plomo

El plomo se usa principalmente en producción de acumuladores de plomo-ácido, soldaduras y aleaciones. El plomo es un metal tóxico, que dificulta el metabolismo del calcio y daña el sistema nervioso. Se sugiere el análisis de plomo cuando se tenga una procedencia del agua de una fuente contaminada por acumuladores.

1.6.2.12 Mercurio

Se encuentra mercurio en su forma inorgánica en las aguas superficiales en concentraciones generalmente inferiores a 0.001 mg/L. Las concentraciones en el aire son del orden de 2 a 10ng/m³. El órgano más afectado por el mercurio inorgánico es el riñón.

1.6.3 Examen bacteriológico

Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus o protozoarios patógenos o por parásitos son el riesgo para la salud más común y difundido que lleva consigo el agua de bebida. El agua tratada o sin tratar que circula por un sistema de distribución no debe contener ningún microorganismo que puede ser de origen fecal. Los principales organismos indicadores de contaminación fecal: Escherichia coli, las bacterias termorresistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales y las esporas de clostridia reductores del sulfito. La presencia de gérmenes del grupo coliforme definido como a continuación se indica, ha de considerarse como un indicio de contaminación fecal más o menos reciente. La presencia de Escherichia Coli debe de

considerarse como indicio seguro de contaminación fecal reciente y por tanto peligrosa, que exige la aplicación de medidas urgentes.

Las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación de origen fecal o presencia de los gérmenes del grupo coliforme. Las impurezas bacteriológicas presentes en el agua son microorganismos coliformes, estreptococos fecales, ferrobacterias, sulfobacterias, algas, bacterias productoras de limo y virus.

Las tolerancias para estos parámetros dependen del tipo de aplicación que se le va a dar el agua. Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre. Su presencia en el agua indica contaminación fecal.

El grupo Coliforme es básicamente formado por las bacterias *Escherichia coli* y enterobacter aerógenas. El grupo coliforme se divide a su vez en dos; si el grupo está formada por las bacterias anteriormente mencionadas, se denomina Grupo coliforme total. Si el grupo está formado únicamente por la bacteria *Escherichia coli*, se denomina Grupo Coliforme Fecal.

Las características del Grupo Coliforme, se detallan a continuación:

- a) Bacilos aerobios o anaerobios facultativos
- b) No esporulados
- c) Gram-negativos
- d) Fermentan la lactosa con producción de ácido y gas de 24 a 28 horas a las temperaturas siguientes:

35 +/- 0.2 °C para el Grupo coliforme total

45 +/- 0.5 °C para el Grupo coliforme fecal

El examen bacteriológico que se practicará a las muestras de agua consiste en investigar la presencia o ausencia del grupo coliforme total y fecal, por el método de los tubos de fermentación por diluciones múltiples, el cual se expresa por el número más probable en 100 cm³; (NMP/100 cm³) el cual se basa en las leyes probabilísticas.

La presencia de microorganismos del grupo coliforme indican una alta posibilidad de presencia de organismos patógenos en el cuerpo de agua, éstos no se aíslan en el examen por las siguientes razones:

- e) Lo más probable es que los gérmenes patógenos lleguen al agua esporádicamente y no sobreviven en ella durante largo tiempo, por ende, pueden no encontrarse en la muestra enviada al laboratorio.
- f) Si existen en muy pequeño número es fácil que escapen a las técnicas de investigación.

Para obtener los resultados buscados, se realizarán a las muestras recolectadas las siguientes pruebas:

1.6.3.1 Prueba presuntiva

La prueba presuntiva consiste básicamente en sembrar volúmenes apropiados de la muestra de agua en tubos con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un período de incubación de 24 – 48 horas a 35°C. La ausencia de gas después de 48 horas es prueba de que no existen bacterias coliformes en la muestra analizada y constituye prueba negativa. La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado constituye una prueba positiva, pero no necesariamente confirma la presencia de coliformes, ya que existe la posibilidad que la formación de gas se deba a otro tipo de microorganismo que no constituyen índices de polución. Por esta razón es necesario analizar la prueba confirmativa.

1.6.3.2 Prueba confirmativa

Consiste básicamente en inocular todos los tubos que den un resultado positivo en la prueba presuntiva, en un medio de cultivo adecuado que depende del grupo coliforme a investigar. Las condiciones a las cuales se llevan a cabo estas determinaciones, se pueden observar en las características del grupo coliforme descritas anteriormente. Al igual que la prueba presuntiva, la ausencia de gas después del período de incubación constituye una prueba negativa y la presencia de gas una prueba positiva con la diferencia de al ser positiva la prueba, confirma la presencia del grupo coliforme que se haya investigado.

1.6.3.3 Expresión de los resultados

Dado que el método de los tubos de fermentación por diluciones múltiples se base en leyes probabilísticas, los resultados se expresan por medio de un índice denominado NMP (Número Más Probable), que representa una evaluación de gérmenes coliformes existente en 100 cm³ de agua. Este número se obtiene de las diversas combinaciones de resultados positivos y negativos que se obtienen de la prueba confirmativa del examen bacteriológico realizado por este método.

El cálculo del índice se hace en dos supuestos:

- a) Que los gérmenes estén repartidos al azar en el agua, y
- b) Que se obtenga una reacción positiva sólo si la porción de agua analizada contiene uno o más gérmenes.

1.7 Reglamentos para la calidad del agua potable

Existen lineamientos para establecer los límites adecuados o máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua.

1.7.1 Norma Coguanor NGO 29 001

Actualmente se conocen los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos mediante los cuales se determina la calidad del agua, estos a su vez, tienen asociados valores cualitativos y cuantitativos, que deben estar comprendidos entre los límites que el estudio y la experiencia ha encontrado necesario o tolerable para el consumo humano; los cuales en su mayor parte han sido fijados por normas.

En Guatemala han sido escritas todas estas normas y son publicadas por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, y las denomina Norma COGUANOR NGO 29 001 (Ver anexo No. 5) y son especificaciones para agua de consumo humano.

Existen dos valores que definen los límites máximos y permisibles aceptables para las concentraciones de sales y para los datos físicos como color, olor, turbiedad, color, etc.

- a) Límite máximo aceptable (LMA): se refiere al límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua pasa a ser rechazable para el consumidor, pero no implica daños a la salud del mismo.

- b) Límite máximo permisible (LMP): se refiere al límite arriba del cual es valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua no es adecuada para el consumo humano.

1.7.2 Otras normas

En cada país se tiene una norma establecida que regula la calidad del agua potable , con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, sometiéndola a tratamientos de potabilización.

Cada norma establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

Se adjunta la Norma Coguanor NGO 29 001 de Guatemala, la Norma Oficial Mexicana, el Reglamento para la calidad del agua potable de Costa Rica, y un cuadro de comparación de los reglamentos internacionales sobre agua potable. (ver sección de Anexos)

1.8 Procesos de tratamientos

Al decidir qué procesos de tratamiento se utilizarán en un caso concreto, se debe tener en cuenta el tipo de fuente y la calidad del agua procedente de ésta. La intensidad del tratamiento dependerá del grado de contaminación en la fuente. Si ésta está contaminada, es especialmente importante que el tratamiento oponga múltiples barreras a la difusión de los organismos patógenos, garantizando así un alto grado de protección y evitando la dependencia de un solo proceso.

Las fuentes de agua subterráneas, como los manantiales y pozos, han de situarse y construirse de tal manera que queden protegidos contra el desagüe de aguas superficiales y las inundaciones. Deben erigirse vallas en torno a ellas para impedir el acceso del público y se las debe mantener libres de basura. Se ha de cuidar asimismo de que el terreno esté en pendiente para evitar que se formen charcos cuando llueva.

La protección de las aguas superficiales que corren al aire libre plantea problemas. Es posible proteger un depósito contra las actividades humanas que pueden influir negativamente en la calidad del agua pero, en el caso de un río, quizá sólo se pueda proteger una extensión limitada o ni siquiera eso. Con frecuencia, hay que aceptar los usos actuales o tradicionales de un río o un lago y prever el tratamiento en consecuencia.

La finalidad fundamental del tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que puedan resultarle desagradables o ser perjudiciales para su salud. Los tratamientos recomendados para distintas fuentes a fin de obtener agua con un riesgo insignificante de causar enfermedades.

Tipos de fuente	Tratamiento recomendado
Aguas subterráneas Pozos profundos protegidos; esencialmente libres de contaminación fecal	Desinfección
Pozos superficiales no protegidos; contaminación fecal	Filtración y desinfección
Aguas superficiales Aguas embalsadas protegidas en tierras altas; esencialmente libres de contaminación fecal	Desinfección

Aguas embalsadas protegidas en tierras altas; no protegidas; contaminación fecal	Filtración y desinfección
Ríos no protegidos en tierras bajas; contaminación fecal	Desinfección previa o almacenamiento, filtración, desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida; contaminación fecal considerable	Desinfección previa o almacenamiento, filtración, desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida; contaminación fecal manifiesta	No se recomienda su utilización para el abastecimiento de agua potable

1.8.1 Filtración

La remoción de sólidos suspendidos, al pasar el agua a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Muchas partículas no pasan por los intersticios del filtro a causa de su tamaño. Esta acción sola, sin embargo, puede no dar una clarificación completa.

1.8.2 Desinfección

El término de desinfección se aplica a aquellos procesos en los cuales microorganismos patógenos pero no sus esporas, son destruidos. El propósito primario de la desinfección del agua es el de impedir la diseminación de enfermedades hídricas.

1.8.2.1 Cloración

La popularidad del cloro como desinfectante se debe a las razones siguientes:

- Existe disponible como gas, líquido o en forma granular
- Es relativamente barato
- Es fácil de aplicar por cuanto es relativamente de solubilidad alta

- En concentraciones que son insaboras e inocuas para consumo humano deja un residual en solución
- Es agente oxidante poderoso
- Es altamente corrosivo en solución

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., así como oxidante para la oxidación de hierro y manganeso; para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y color orgánico y oxidación de cianuros. El ácido hipocloroso HOCl es el desinfectante más efectivo.

1.8.2.2 Yodo

De los cuatro halógenos es el de mayor masa atómica y el menos soluble en agua, así como el menos hidrolizable y el de menor potencial de oxidación. Por las características anteriores, los residuales de yodo son más estables y persisten más tiempo en presencia de materiales orgánicos o sustancias oxidables por los demás halógenos. Se ha encontrado que la acción bactericida del yodo es en general similar a la del cloro en cuanto a la influencia de la temperatura y del pH, pero en las mismas condiciones se requiere dosis más altas de yodo para obtener los mismos resultados de mortalidad.

1.8.2.3 Bromo

Tiene características químicas y desinfectantes similares a las del cloro. Parece poco probable que reemplace al cloro puesto que es más costoso y, además, comercialmente es más escaso.

1.8.2.4 Ozono

El ozono, O₃, es una forma alotrópica del oxígeno producido mediante el paso de oxígeno o aire seco a través de una descarga eléctrica de 5,000 – 20,000 V, 50 – 500 hz, con un consumo energético de 10 – 25 KWh/ kg de O₃. Es un gas azul, muy tóxico e inestable, con olor picante de heno recién segado, y uno de los más potentes germicidas usados en tratamiento de aguas.

Las ventajas del ozono radican en su alta efectividad germicida, su habilidad para remover muchos problemas de color, olor y sabor, y en que su potencia no se ve alterada por lo compuestos de amoníaco ni por el pH.

1.9 Usos industriales del agua

Al seleccionar los sitios de instalación de plantas industriales, deben considerarse los suministros de agua. Los suministros de agua industrial deben ser:

- a) Suficientemente abundantes para cubrir los requerimientos presentes y futuros.
- b) Disponibles a suficientes niveles de flujo y presiones para satisfacer la máximas demandas y proveer una protección adecuada contra incendios.
- c) De calidad apropiada para los usos finales

La industria, en expansión debe examinar con sumo cuidado las limitaciones que puede imponerle y agua y considerar seriamente el máximo aprovechamiento de la misma, planteándose interrogantes tales como: ¿se puede reducir el consumo recirculado el el suministro? ¿Qué calidad de agua se requerirá en nuevas aplicaciones?, ¿Cómo puede lograrse económicamente esta calidad, dado que la concentración de impurezas en los abastecimientos de agua cruda aumenta en forma constante?

La industria utiliza el agua para: elaborar productos, enfriamiento y generación de vapor, lavado, clasificación y traslado de materiales, etc. Los alimentos elaborados en general y bebidas requieren agua de alta calidad, aunque también usan agua para la disposición de su desechos.

No obstante que los usos industriales del agua son muy diversos, y están en gran medida condicionados por lo que produzcan, se considera que las principales aplicaciones son: generación de vapor, enfriamiento y procesamiento. Los diferentes procesos en que interviene el agua, tales como el transporte y lavado, pueden aplicarse en muy diversas industrias que no tienen ninguna relación entre sí.

1.9.1 Los usos generales del agua en el ámbito industrial

1.9.1.1. Transferencia de Calor

La industria capitaliza la gran capacidad calorífica del agua para aprovecharla en unidades de procesos económicos para calentamiento o enfriamiento.

1.9.1.1.1. Calentamiento

El método más común para suministrar calor a las diversas áreas de un complejo industrial es la generación de vapor. El vapor se produce mediante un combustible en una estación generadora central y se distribuye a toda la planta a presión y velocidad relativamente altas. La temperatura en cada unidad se controla regulando el flujo a la presión.

Además de las calderas en que se genera vapor aprovechado en calor de combustión del carbón, petróleo y del gas, existen otras en donde se produce vapor mediante la combustión de productos de desecho, o recuperado el calor de algún proceso que se lleve a cabo a alta temperatura.

1.9.1.1.2 Enfriamiento

Durante muchos años se han utilizado la circulación del agua en equipos de enfriamiento. El volumen de líquido que debe extraerse de una fuente de agua dulce para abastecer un sistema de enfriamiento, puede reducirse considerablemente si se utiliza una torre de enfriamiento. Por ejemplo, en un determinado proceso de enfriamiento donde se consumen 20,000.00 galones por minuto (GPM) de agua dulce, en un sistema de un paso y la temperatura del agua aumenta 18°C (10°F); al hacer pasar el agua a través de una torre de enfriamiento y recircularla al sistema, se lograría un notable disminución en el consumo, requiriéndose únicamente alrededor de 250.00GPM. Esto es posible debido al alto calor de vaporización del agua, que permite enfriar el agua recirculada más o menos 18°C(10°F) por cada uno por ciento evaporado.

La temperatura a la que se puede enfriar el agua recirculada está limitada por la temperatura de bulbo húmedo del aire que se utiliza para inducir la evaporación. La temperatura del agua recirculada casi siempre será mayor que la de la fuente original.

En la industria química es frecuente que se hagan circular corrientes calientes de hidrocarburos gaseosos a través de un rocío de agua, lo que sirve para enfriar el vapor de alta temperatura, para condensar las fracciones pesadas y lavar simultáneamente el material indeseable.

El enfriamiento de procesos representa el mayor uso del agua. La industria química es de las que más usan agua, se usa en enfriamiento de procesos, enfriamiento de condensadores, en el proceso en sí y en alimentación de calderas. En muchas reacciones químicas se genera calor y el reactor es enfriado para que la temperatura se mantenga en el límite deseado. Otras reacciones químicas requieren calor, el cual se obtiene del propio vapor generado en las plantas en la mayor parte de casos.

Puesto que todas las plantas de fabricación de productos químicos son tan diferentes entre sí, es más sencillo examinar los requerimientos de agua y vapor par las operaciones unitarias que tratar de determinar las necesidades de agua y vapor para diferentes clasificaciones de plantas de procesos químicos.

1.9.2 Aplicación a procesos

En los procesos industriales el agua realiza importantes funciones, entre las que se destaca el uso como materia prima, para transportar materiales y en procedimientos de lavado; asimismo, en muchas otras aplicaciones que pueden ser exclusivas de un solo tipo de industria e incluso de una sola planta.

1.9.2.1 Agua como materia prima

El agua se utiliza como materia prima en gran cantidad de industrias, entre las que se pueden mencionar los siguientes ejemplos:

Hay una gran cantidad de reacciones químicas industriales en las que el agua es materia prima, puede mencionarse el caso del proceso de obtención de sosa cáustica a partir la reacción entre el sodio metálico y el agua.

En algunos procesos las reacciones se desarrollan en la fase de vapor, como por ejemplo, en la primera reacción del proceso de elaboración de amoníaco, en donde el vapor de agua reacciona con el metano del gas natural para producir el hidrógeno necesario para la siguiente reacción y monóxido de carbono. En esta reacción el oxígeno se separa de la molécula de agua.

En la industria de bebidas embotelladas, el agua de alta calidad constituye la mayor parte del producto terminado. También es parte del producto terminado en la elaboración de la cerveza y bebidas alcohólicas. Este sector de la industria es un gran consumidor de

agua, como se menciona anteriormente, gran parte se convierte en el producto terminado, el resto se emplea para lavar las botellas y envases, enfriar las compresoras y los equipos de refrigeración y reemplazar el agua de las calderas produciendo el vapor usado para cocimiento, evaporación, calentamiento de los pasteurizadores y calefacción.

El agua usada en el producto final debe ser, potable, además, existen normas referentes al producto que se refieren al efecto de la calidad del agua sobre el sabor de la bebida terminada. En la industria de las bebidas no alcohólicas, es común el ablandamiento con cal del agua para reducir su dureza y alcalinidad, ya que esta última, destruye el sabor de los extractos de frutas ácida. En los ablandadores con cal, se lleva a cabo también la cloración hasta el punto de aumento rápido del cloro residual. El agua tratada es filtrada y luego pasada a través de carbón activado como precaución final para la remoción de cloro y cualquier sabor u olor residual.

Existen dos sistemas de uso de agua que son exclusivos de la industria alimentaria y que requieren de especial atención respecto a la calidad del agua: el lavado de botellas y de recipientes y la pasteurización.

En la operación de lavado de botellas se requiere de limpieza y de esterilización por lo que se aplican detergentes y biocidas para estar de acuerdo con la severidad del problema. Por lo general, los limpiadores químicos son bastante alcalinos, debido a esto, es muy útil tener agua ablandada con zeolitas para el lavado y para el enjuague, ya que así se reduce la demanda de detergente y también se facilita el drenado de la botella después del enjuague para tener superficies libres de manchas.

Cuando se usan limpiadores fuertemente alcalinos, estos proporcionan un efecto biocida que depende de la duración del contacto entre el agente y la botella y de lo cáustica que sea la solución limpiadora.

El agua es igualmente importante como materia prima en la industria farmacéutica en donde forma parte de muchas fórmulas químicas.

1.9.2.2 Transporte

Así como las corrientes naturales de agua llevan materiales en suspensión, las corrientes que circulan dentro de tuberías o de canaletas en una fábrica pueden transportar materiales de un área a otra dentro de la misma planta.

En las industrias de papel y celulosa, se emplea el agua como medio de transporte. Desde sus inicios, este tipo de industria se ha localizado casi exclusivamente a lo largo de grandes ríos. En las primeras plantas se usaba el agua no sólo como materia prima sino también para obtener energía hidráulica al represar la corriente y producir la carga necesaria para accionar las ruedas hidráulicas que operaban las piedras de molino donde se convertía la madera en pulpa.

El agua requerida por una planta moderna de pulpa de papel varía considerablemente según el proceso de preparación de pulpa, la disponibilidad de agua, la secuencia de blanqueado.

La industria de la pulpa y del papel es una gran consumidora de agua debido a que la pulpa es lavada con ella en varios puntos del proceso y a que el agua se usa para transportar las fibras de pulpa desde su producción inicial en la planta de pulpa, a través de varias operaciones de refinación y finalmente a las máquinas del papel.

Así como sucede en muchas otras operaciones industriales en que se usa agua, la corrosión es una amenaza constante; en gran parte se mantiene bajo control por la selección de aleaciones o plásticos adecuados, pero aún las aleaciones pueden estar sujetas a corrosión donde la actividad microbiana puede causar depósitos.

En la minería existen varios procesos en los que se utiliza el agua para disolver los depósitos minerales subterráneos y transportar el material a la superficie para procesarlo posteriormente. También cuando hay que transportar pulverizado a grandes distancias, se envía en forma de suspensión y a través de tuberías.

Se pueden encontrar otros ejemplos del uso del agua como medio de transporte de materiales en industrias tan diversas como las de alimentación; así en la plantas enlatadoras, las verduras se transportan mediante corrientes de agua.

También en la fase de vapor, el agua es un medio de transporte eficiente. En los procesos de destilación por arrastre de vapor, las burbujas de vapor de un recipiente que contiene un líquido orgánico producen una mezcla de vapor de agua e hidrocarburos, la cual debe descargarse en una relación molecular igual a la relación de las presiones parciales de vapor de cada una de los materiales. El vapor también se utiliza para la evacuación de los gases de lugares cerrados; por ejemplo, en el caso en que se emplean eductores de vapor den condensadores de turbinas para eliminar en forma continua los gases no condensables del recipiente del condensador y evitar que el gas cubra las superficies de transferencia de calor.

1.9.2.3 Agua para lavados

El agua es un medio adecuado para el lavado general de equipos industriales. Lavar el equipo industrial es importante por razones prácticas, tales como: seguridad para el personal; para resguardar la calidad del producto y para evitar contratiempos al ritmo de producción

El lavado de los materiales de producción puede hacerse de muy diversas maneras, cada una de las cuales es apropiada para un tipo de operación en particular.

1.9.3 Generación de energía

El agua también se emplea para generar energía, y a sea en una planta industrial o en una estación generadora.

La planta industrial generadora de vapor puede utilizarlo para accionar maquinaria, producir electricidad o para ambas cosas. La planta industrial que produce vapor para transformarlo en energía, tiene pérdidas de agua mucho mayores que una estación generadora, por lo que requiere una mayor cantidad de agua de reemplazo; así mismo, el grado de contaminación del condensado y la temperatura del condensado que recircula es diferente en ambas instalaciones.

La generación de energía mecánica a partir de agua que fluye por turbinas hidráulicas, es aún aprovechado por plantas industriales que la emplean para trabajos mecánicos o para generar electricidad.

1.9.4 Agua para usos generales

El agua es un material tan económico y conveniente, que la industria lo ha aplicado a innumerables trabajos de la más diversa índole. Se utiliza con mucha frecuencia como material sellante; por ejemplo, en los prensaestopas de las bombas centrífugas y en recipientes almacenadores de gases.

También se emplea en grandes embragues hidráulicos; se puede inyectar y extraer un sistema para poner en marcha y detener una carga impulsada o bien, para ajustar su velocidad.

1.9.5 Calidad del agua para uso industrial

El agua es esencial prácticamente en todas las operaciones industriales, pero en general no es posible y no debe utilizarse tal y como se extrae de una corriente, un pozo o un lago. Si no se toman las precauciones necesarias, las impurezas que contiene a causa de la contaminación natural o artificial, puede afectar gravemente a los equipos, a los procesos y a los productos.

1.9.6 Impurezas presentes en el agua destinada a uso industrial

Que estas impurezas sean dañinas o no, depende de la naturaleza y cantidad de las mismas de acuerdo con las normas recomendadas para los diversos usos a los cuales el agua esté destinada.

Entre las impurezas del agua destinada al uso industrial están

- a) Sustancias minerales disueltas: Los constituyentes minerales difieren en las cantidades relativas presentes en distintos suministros de agua, es común en estos los mas abundantes sean los bicarbonatos, sulfatos y cloruros, presentes como calcio, magnesio y sodio, en forma de mezclas con sus respectivos aniones y cationes. A continuación se presenta una breve descripción de las sales minerales que se encuentran disueltas en el agua.
 - **Bicarbonato de Calcio:** este compuesto existe únicamente en solución y se forma por la acción del agua que contienen dióxido de carbono sobre piedra caliza, mármol, calcita, dolomita y otros minerales que contienen carbonato de calcio.

- **Bicarbonato de Magnesio:** este compuesto solo existe en solución y se forma por la acción del agua que contiene dióxido de carbono libre sobre la magnesia, dolomita, piedra caliza dolomítica y otros minerales que contengan carbonato de magnesio.
- **Bicarbonato de Sodio:** es una sal blanca, conocida como bicarbonato de soda y soda convierte en dióxido de carbono e hidróxido de sodio.
- **Sulfato de Calcio:** el sulfato de calcio se presenta en forma de dihidrato en minerales tales como el yeso, alabastro y selenita. Es la única sal que forma depósitos en el grupo de las sustancias que proporcionan al agua dureza de no carbonatos. Debido a la baja solubilidad del sulfato de calcio a las temperaturas en las calderas, no se puede tolerar ninguna cantidad de estas al agua destinada a calderas, que forma un depósito muy duro y adherente.
- **Sulfatos de magnesio:** se presenta en varias formas minerales y también formando sales dobles con cloruro de potasio, sulfato de potasio, etc. A diferencia del sulfato de calcio, el sulfato de magnesio es una sal muy soluble. En las calderas de vapor es corrosivo
- **Sulfato de sodio:** el sulfato de sodio se puede presentar en forma anhidra o hidratada. Al igual que las otras sales de sodio, el sulfato es muy soluble en agua y no forma depósitos.
- **Cloruro de calcio en forma anhidra:** se encuentra en las salmueras naturales, depósitos salinos, etc. Todas las formas son deliquescentes y altamente solubles. En las calderas de vapor es corrosivo.

- **Cloruro de Magnesio:** es deliquescente y muy soluble. Es muy corrosivo en las calderas de vapor y reacciona con el agua para formar ácido clorhídrico e hidróxido de magnesio.
- **Cloruro de sodio:** se le conoce ampliamente con el nombre de sal o sal común. Al igual que las otras sales de sodio encontradas en las aguas naturales y tratadas, tiene una alta solubilidad y no forma depósitos.
- **Depósitos de carbonato de calcio:** cuando un agua contiene bicarbonato de calcio, magnesio y sodio, se calienta, el primero en depositarse es el carbonato de calcio, luego el carbonato de magnesio, mientras que el carbonato de sodio, debido a su extrema solubilidad, no se separa en forma sólida a menos que la solución se concentre fuertemente por evaporación. Prácticamente en todos los casos en los cuales el agua cruda solamente se calienta pero no hierve, como sucede en las calderas, la descomposición de los bicarbonatos no es completa; por lo que en tales condiciones se espera que los depósitos no es completa; por lo que en tales condiciones se espera que los depósitos sean principalmente de carbonatos de calcio
- **Depósitos de hidróxido de magnesio y carbonato de calcio:** a las temperaturas prevalecientes en las calderas, tanto el bicarbonato de calcio como el de magnesio, se descomponen para formar de calcio esta formado de carbonato de calcio, el de magnesio se deposita como hidróxido de magnesio.
- **Sales de sodio:** las sales de sodio son muy solubles, tanto en agua caliente como en agua fría. Debido a estas altas solubilidades, las sales de sodio no forman depósitos, tanto en la evaporación como en el

calentamiento. En consecuencia las sales de sodio en bajas concentraciones afectan poco el uso industrial del agua.

Pero a determinadas concentraciones las sales de sodio son perjudiciales en el proceso de manufactura de ciertos productos celulósicos, dieléctricos, drogas y productos químicos finos, hule sintético, plásticos, materiales fotográficos, utensilios en los que se deposita plata y muchos otros minerales. Las altas alcalinidades de sodio son a menudo perjudiciales en calderas de alta presión y plantas textiles.

- **Hierro:** el hierro está presente en prácticamente todos los suministros de agua, pero las cantidades son menores de 0.10mg/l de hierro son perjudiciales para casi todos los usos industriales y para muchos de ellos la tolerancia no deberá exceder 0.10 mg/l.

En el proceso de curtido de cuero, el hierro produce manchas en el producto, en las fábricas de papel y pulpa, produce manchas y decoloraciones y causa pérdidas en el blanqueo; en fábricas textiles, lavanderías y tintorerías, es prácticamente imposible opera con agua que contenga hierro.

Las aguas que contienen hierro favorecen el crecimiento de bacterias ferrosas, tales como Crenothrix, Gallionella, etc. Estas formas son abundantes en las tuberías de agua, sistema de recirculación y otros lugares, que ejercen un mercado efecto de taponamiento y disminuye la capacidad de flujo.

- **Fluoruros:** debido a la baja solubilidad de fluoruro de calcio, puede formar depósitos o incrustaciones, pero estas no son muy raras. Para muchos usos industriales es de poca importancia o ninguna importancia, existen excepciones, tal como en la manufactura de ciertos alimentos para niño, donde cantidades pequeñas de fluoruro son significativa.

b) Gases disueltos; Los gases disueltos que se encuentran generalmente en los abastecimientos de agua son dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, y sulfuro de hidrógeno.

- **Dióxido de carbono:** este gas es de naturaleza corrosiva y en presencia de oxígeno disuelto es un factor acelerante en la corrosión. Por lo tanto, el agua que contiene, en adición al oxígeno disuelto, un alto contenido de dióxido de carbono en relación a su alcalinidad.
- **Oxígeno:** una solución de oxígeno en el agua es muy corrosiva hacia aquellos metales que son ampliamente usados para fabricar recipientes para almacenar agua o tuberías de conducción tales como el hierro, acero, hierro galvanizado y latón. Los valores bajos de potencial de hidrógeno, pH, aceleran la velocidad de esta corrosión por oxígeno disuelto, mientras que los valores altos tienen a retardarla. La elevación de la temperatura es un factor que acelera bastante la corrosión.
- **Nitrógeno:** es un casi inerte y no tiene efecto corrosivo sobre los metales, por lo que, salvo en unión con el aire, es de poca importancia el que este presente en los suministros de agua para determinados usos. Para usos particulares, debe considerarse el nitrógeno en sus formas: albuminoideo, amoniacal, de nitritos y nitratos.
- **Sulfuro de hidrógeno:** sus propiedades más relevantes son su marcada corrosividad y su olor similar al de huevo podrido. Si el agua tiene un valor elevado de potencial de hidrógeno, pH, el olor puede ser escaso, ya que en este caso la mayor parte de azufre puede estar como un sulfuro alcalino en lugar de un sulfuro de hidrógeno.

2. JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal del presente estudio es contar con la suficiente información que permita determinar la calidad de agua para consumo humano e industrial que se distribuye en el municipio de Sanarate y las consecuencias que ocasionan si ésta no es analizada debidamente, los tratamientos o dosis químicas que debe dársele para obtener los resultados esperados, también el uso que se le puede dar según los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

El municipio de Sanarate es una zona con una alta tasa de población considerable y un creciente desarrollo industrial, lo que hace que se requiera del servicio indispensable de agua para uso humano, así como para uso industrial. De esta forma la demanda de agua ha aumentado, lo que ha motivado a la Municipalidad de Sanarate buscar opciones para abastecer esta demanda de forma adecuada.

El Suministro de agua para uso industrial y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para evitar problemas en el equipo, prevenir y evitar enfermedades, para lo cual requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas y químicas. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento hasta la entrega al consumidor, se debe aplicar tratamientos de potabilización.

No se ha establecido en la actualidad la calidad de agua que es distribuida por la Municipalidad de Sanarate, por lo que, la evaluación de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua en este municipio servirá para dar las recomendaciones necesarias para establecer un proyecto de control de desinfección y calidad del agua que se suministra a toda la población y sus alrededores.

Este estudio servirá, también, a los estudiantes de Ingeniería Química como una guía sobre la calidad del agua y la aplicación de normas y requerimientos que deben considerarse para el consumo humano e industrial en las diferentes poblaciones del país.

3. UNIVERSO DE TRABAJO

3.1 Localización

El municipio de Sanarate pertenece al departamento de El Progreso. Ver anexo: Mapa No. 1, Departamento de El Progreso y Mapa No. 2, Municipio de Sanarate.

Sus colindancias son las siguientes (Mapa No. 2, Mapa de Sanarate):

- Al Norte: con los municipios de Morazán y El Departamento de El Progreso,
- Al Sur: con el municipio de San José del Golfo y San Antonio La Paz.
- Al Oriente: con el municipio de Sansare y El departamento de Jalapa.
- Al Occidente: con el municipio de Chuarrancho y el Departamento de Baja Verapaz.

La Planta de Tratamiento de Agua de estudio es “La Carbonera” situada en la parte central del municipio de Sanarate, utilizando como fuente el río los plátanos dando como resultado un caudal de agua tratada de 48 L/s, según estimaciones realizadas por el INFOM. Esta planta consta de las siguientes unidades: unidad de dosificación, unidad de mezcla, unidad de floculación, unidad de decantación y unidad de filtración.

3.2 Medios

3.2.1 Recursos humanos

El trabajo se realizará bajo la asesoría del Ingeniero Sanitario Zenón Much Santos y la colaboración del personal técnico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ubicado en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2.2 Recursos materiales

- a) Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- b) Bibliotecas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de la Facultad de Ingeniería, de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y el Centro de Investigaciones de Ingeniería.
- c) Entrevistas con el Alcalde municipal del Municipio de Sanarate y el Sr. Victor Manuel Pérez (encargado de la Planta de Tratamiento).

3.2.3 Recursos físicos

Básicamente corresponden al material y equipo a utilizar y seleccionar de acuerdo a los análisis fisicoquímicos y examen bacteriológico a realizar y a las Normas COGUANOR para el estudio de la calidad del agua. Incluye cristalería y equipo de laboratorio y de campo.

3.3 Diseño del Método de Muestreo

3.3.1 Selección de los sitios de muestreo

La selección de los sitios de muestreo se hizo de acuerdo a los objetivos planteados en este estudio. Se estudiarán 1) el agua a la salida de La Planta de Tratamiento “La Carbonera” del municipio de Sanarate 2) Tanque de distribución 3) Municipalidad 4) Centro de Salud 5) Casa particular. Así se obtendrán muestras representativas que proporcionen datos útiles para este estudio.

3.3.2 Frecuencia del muestreo

En cada sitio y fecha de muestreo se tomarán dos muestras, una destinada al análisis físico y químico, y la otra destinada al examen bacteriológico. El muestreo se realizará en un período de dos semanas, los días 17, 19, 24 y 26 de enero de 2005.

3.3.3 Recolección, transporte y conservación de las muestras

3.3.3.1 Muestra para análisis físico y químico

Se recolecta en recipientes de polietileno de 3.8 litros de capacidad y se determina la temperatura y cloro residual. Antes de recolectada la muestra, se lava el recipiente tres veces y se llena a su capacidad previamente identificado, procediendo a anotar los datos de lugar, hora y temperatura. Luego, se traslada en refrigeración, al Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, para determinar los parámetros físicos y químicos.

3.3.3.2 Muestra para examen bacteriológico

Se recolecta en frascos de vidrio de 125 cm³ de capacidad con tapón esmerilado, que han sido esterilizados previamente en un horno a una temperatura de 160°C durante media hora y poseen una cubierta o capucha de protección elaborada de papel kraft. En el lugar de muestreo se practica la técnica de flameo con mechero de alcohol para evitar una contaminación ajena a la muestra de agua y por consiguiente falsos resultados.

Se esteriliza durante un minuto la boca del grifo y luego se deja correr el agua por dos minutos, recolectándose entonces la muestra, dejando un pequeño volumen de aire para su posterior homogenización.

3.3.4 Tipos de análisis y exámenes a realizar

Todos los métodos de análisis y exámenes que se realizarán en las muestras para obtener las características físicas, químicas y bacteriológicas son los recomendados por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, los cuales se aceptan en Guatemala según la Norma COGUANOR NGO 29 001 vigente

Estos análisis son los que a continuación se presentan:

3.3.4.1 Análisis físico

- Temperatura
- Olor
- Turbiedad
- Color
- Potencial de hidrógeno
- Conductividad

3.3.4.2 Análisis químico

- Dureza total
- Cloruro
- Cloro residual
- Sólidos totales disueltos
- Sulfato
- Fluoruro
- Hierro total
- Nitrato

- Nitrito
- Alcalinidad
- Manganeso

3.3.4.3 Examen bacteriológico

- Prueba presuntiva
- Prueba confirmativa

RESULTADOS

El muestreo de cuatro puntos de muestreo del agua que distribuye la planta de tratamiento “La carbonera” da como resultado que el agua proveniente de estos tiene una dureza total promedio de 80.6 mg/L de CaCO₃ y un índice de Langelier promedio de – 1.45 lo que indica que es moderadamente dura y corrosiva.

Los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de los puntos de muestreo y la comparación de las normas de calidad de agua para consumo humano y uso industrial se muestran en el apéndice 1. A continuación se listan las tablas con su contenido.

- | | |
|-------------|---|
| Tabla I. | Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” del tanque de distribución en los cinco muestreos. |
| Tabla II. | Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” del centro de Salud en los cinco muestreos. |
| Tabla III. | Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” de una casa particular en los cinco muestreos. |
| Tabla IV. | Parámetros físicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” de la municipalidad en los cinco muestreos |
| Tabla V. | Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 1 |
| Tabla VI. | Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 2 |
| Tabla VII. | Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 3 |
| Tabla VIII. | Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 4 |
| Tabla IX. | Parámetros químicos del agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 5 |

- Tabla X. Parámetros químicos del agua promedio de los cinco muestreos que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera”
- Tabla XI. Índice de Saturación de Langelier en los distintos puntos de muestreo
- Tabla XII. Parámetros bacteriológicos obtenidos para el agua que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera” en los distintos puntos de muestreo.
- Tabla XIII. Cloro residual del agua que abastece la planta de Tratamiento “La Carbonera”

El comportamiento de los resultados obtenidos de los parámetros físicos se pueden observar en las figuras del apéndice 1. A continuación se listan las figuras.

- Figura 1. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo del tanque de distribución
- Figura 2. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del Tanque de distribución.
- Figura 3. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo Del tanque de distribución.
- Figura 4. Comportamiento del los sólidos totales en función del tiempo del Tanque de distribución.
- Figura 5. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo del Tanque de distribución.
- Figura 6. Comportamiento del color en función del tiempo del Tanque de distribución
- Figura 7. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo del Centro de Salud
- Figura 8. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del Centro de Salud
- Figura 9. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo del Centro de Salud

- Figura 10. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo del Centro de Salud
- Figura 11. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo del Centro de Salud
- Figura 12. Comportamiento del color en función del tiempo del Centro de Salud
- Figura 13. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo de una casa particular
- Figura 14. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de una casa particular
- Figura 15. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de una casa particular
- Figura 16. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo de una casa particular
- Figura 17. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de una casa particular
- Figura 18. Comportamiento del color en función del tiempo de una casa particular
- Figura 19. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo de la municipalidad
- Figura 20. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de la municipalidad
- Figura 21. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de la municipalidad
- Figura 22. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo de la municipalidad
- Figura 23. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de la municipalidad
- Figura 24. Comportamiento del color en función del tiempo de la municipalidad

- Figura 25. Comportamiento promedio de la alcalinidad, calcio y dureza del agua los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 26. Comportamiento promedio de la nitratos, fluoruros y sulfato del agua los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 27. Comportamiento promedio del amonio, hierro y manganeso del agua los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 28. Comportamiento promedio de cloruros, sodio y potasio del agua los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 29. Comportamiento del cloro residual del agua en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 30. Comportamiento del índice de saturación de Langelier en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo.
- Figura 31. Comportamiento del cloro residual del tanque de distribución en los cinco muestreo.
- Figura 32. Comportamiento del cloro residual del Centro de salud en los cinco muestreo.
- Figura 33. Comportamiento del cloro residual de una casa particular en los cinco muestreo.
- Figura 34. Comportamiento del cloro residual de la municipalidad en los cinco muestreo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El municipio de Sanarate cuenta con la planta de tratamiento “La Carbonera” que suministra el agua a toda la población del municipio. El agua de esta planta es tratada con el método de desinfección de cloración. En la actualidad no existen estudios que evalúen las características física, químicas y bacteriológicas del agua que se distribuye en el municipio de Sanarate y así determinar la calidad del agua para consumo humano y para uso industrial.

En la sección de resultados se muestra por medio de tablas y gráficas los datos obtenidos de los análisis físico, químico y bacteriológicos del agua que distribuye la Planta de tratamiento “La Carbonera” al municipio de Sanarate, con las muestras de agua analizadas se efectuaron los siguientes análisis; temperatura, color, turbiedad, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, cloro residual, alcalinidad, dureza total, calcio, cloruro, sulfato, hierro, fluoruro, amonio, manganeso, nitrato y nitrito.

Agua para consumo humano

Los resultados obtenidos del agua proveniente de la planta de tratamiento “La carbonera” se encontraron dentro de los límites de la norma COGUANOR 29001 como se observa en el apéndice 2, tabla XII.

Parámetros físicos

Los parámetros físicos como temperatura, color, turbiedad, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno y sólidos disueltos totales se encontraron dentro de los máximos permisibles de la norma COGUANOR 29001 (apéndice 1, tabla I-IV) con un promedio de temperatura de 22 °C, color de 6.3 unidades de color

turbiedad 2 UTN, conductividad eléctrica 284.3 microhoms, potencial de hidrógeno 6.7 unidades y sólidos totales de 150 mg/L.

Variación

Los resultados obtenidos de temperatura, sólidos disueltos totales y turbiedad se encontraron dentro del límite máximo aceptable y los valores de potencial de hidrógeno y color se encontraron dentro del límite máximo permisible, sin embargo ambos cumplen con la norma COGUANOR 29001.

Parámetros químicos

Los resultados obtenidos de las concentraciones de los parámetros químicos muestran que al comparar las concentraciones de calcio, nitratos, cloruros, fluoruros, sulfatos, dureza, hierro y manganeso (tablas V a la X, apéndice 1) estos cumplen con los límites máximos aceptables según la norma COGUANOR 29001.

Variación

En los parámetros químicos no se encontraron variaciones considerables como se muestran en las tablas de la V a la X del apéndice 1.

Examen bacteriológico

Los resultados obtenidos del examen bacteriológico durante los distintos muestreos la prueba presuntiva fue negativa por lo que hay ausencia total de microorganismo que pueda afectar la salud, por lo que el agua, según la norma COGUANOR es potable y apta para consumo humano.

Agua para uso industrial

El agua de la planta de tratamiento “La Carbonera” presenta como características generales:

- Es corrosiva
- Es moderadamente dura
- Los resultados obtenidos de los parámetros físicos y químicos cumplen con la norma CATIE (apéndice 2, tabla XIV) para industrias de alimentos en general, bebidas carbonatadas, destilería, cervecería, jabón, detergentes y cemento, exceptuando la industria de papel, tenería y textil por estar clasificada como agua corrosiva en base al índice de Langelier con un valor promedio de -1.45 .

CONCLUSIONES

1. La hipótesis de estudio fue comprobada, negativamente, pues, el agua suministrada por la planta de tratamiento “La Carbonera” cumple con los límites de la norma COGUANOR NGO 29001, por lo tanto, dicha agua es potable y apta para consumo humano.
2. El agua proveniente de la planta de tratamiento “La Carbonera” puede ser usada sin ningún tratamiento en las industrias de alimentos en general, jabón, detergente y cemento.
3. La calidad del agua de la planta de tratamiento “La Carbonera” es corrosiva y moderadamente dura, características que la hacen no adecuada para ser utilizada en la industria de papel, tenería y textil.
4. La calidad del agua durante el periodo del 17 al 28 de enero de 2005, se mantuvo constante en sus diferentes aspectos físicos, químicos y bacteriológicos.

RECOMENDACIONES

1. Se deben realizar, periódicamente, determinaciones de dureza total e índice de Langelier en toda la industria, donde se utiliza agua proveniente de la planta de tratamiento “La Carbonera”, para evitar daños en el equipo y gastos adicionales.
2. Determinación y evaluación de los parámetros necesarios para otros usos como lo son: agrícola, pecuario, recreativo etc.
3. Debe continuar con el plan de control de mantenimiento periódico de la planta de tratamiento para asegurar su limpieza y su efectivo funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Bravatti Castro, Edgar José Aurelio. **Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad de San Pedro Carchá departamento de Alta Verapaz.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1982.
2. Catalán La Fuente, José. **Química del agua.** Madrid, España: Editorial Blume, 1969.
3. Cifuentes Hidalgo, Milton Lisandor. **Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, para evaluar la calidad del agua para consumo humano y su uso en la población de Nuevo San Carlos, Retalhuleu.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1996.
4. De León Marizuya Oscar Alfonso. **Determinación de la Calidad del agua para uso industrial proveniente de la planta de bombeo ojo de Agua.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2,002.
5. Gudiel Paniagua, Héctor René Martín. **Determinación de la calidad del agua para consumo humano y su uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1996.
6. **Guías para la calidad del agua potable.** 2 edición. Suiza: Organización Mundial para la Salud,1995.
7. Jiménez Pérez, Zully Elizabeth. **Determinación de la calidad del agua del río Sigüacan para consumo humano y uso industrial del municipio de Pueblo Nuevo Tiquisate.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2003.
8. **Manual de Análisis de agua.** 1era edición en español. Estados Unidos: Hach Company, 1998.
9. **Norma Coguanor NGO 29 001 Especificaciones para agua potable.** Guatemala: 1999.

10. Ordóñez Comparini, Mario Roberto. **Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua en el municipio de Palín, para consumo humano y su uso en los procesos de la industria de esta área.** Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1992.
11. Pelczar, Michael J y otros. **Microbiología.** 4ª edición. México: McGraw-Hill, 1982.
12. Powell, Sheppard. **Acondicionamiento de Aguas para la Industria.** Trad. Salvador Ayanegui. México: s.p.o. 1966.
13. Romero Rojas, Jairo Alberto. **Calidad del Agua.** 2da. Edición. México: Editorial Alfaomega, 1999.
14. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. APHA, AWWA, WEF. 19th edition. U.S.A.: American Public Health Association, 1995.
15. Unda, Francisco. **Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública.** México: s.p.i 1969.

APÉNDICE 1

RESULTADOS

Parámetros físicos

Tabla I. Parámetros físicos obtenidos para la Planta de tratamiento “La Carbonera” del tanque de distribución en los cinco muestreos

PARÁMETROS	Muestreos				
	1	2	3	4	5
Temperatura (C)	20	20	20	20	20
Potencial de Hidrogeno (unidades)	6.6	6.5	6.5	6.6	6.5
conductividad eléctrica (microhoms/cm)	279	279	292	292	291
Sólidos Totales (mg/L)	148	150	147	149	150
Turbiedad (UTN)	2.36	1.1	1.2	2.79	2.25
Color (unidades de color)	8	3	8	9	8

Tabla II Parámetros físicos obtenidos para la Planta de tratamiento “La Carbonera” del Centro de Salud en los cinco muestreos

PARÁMETROS	Muestreos				
	1	2	3	4	5
Temperatura (C)	21	21	22	21	22
Potencial de Hidrogeno (unidades)	6.8	6.8	6.7	6.8	6.7
conductividad eléctrica (microhoms/cm)	274	274	291	289	290
Sólidos Totales (mg/L)	151	151	149	150	152
Turbiedad (UTN)	2.83	2.4	1.46	1.46	1.65
Color (unidades de color)	5	6	6	7	6

Tabla III Parámetros físicos obtenidos para la planta de tratamiento “La Carbonera” de una casa particular en los cinco muestreos

PARÁMETROS	Muestreos				
	1	2	3	4	5
Temperatura (C)	21	21	22	21	22
Potencial de Hidrogeno (unidades)	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7
conductividad eléctrica (microhoms/cm)	274	271	291	289	290
Sólidos Totales (mg/L)	151	151	149	150	152
Turbiedad (UTN)	1.88	3.01	1.57	1.59	1.55
Color (unidades de color)	5	8	7	8	6

Tabla IV Parámetros físicos obtenidos de la Planta de tratamiento “La Carbonera” de la municipalidad en los cinco muestreos.

PARÁMETROS	Muestreos				
	1	2	3	4	5
Temperatura (C)	21	21	22	21	22
Potencial de Hidrogeno (unidades)	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
conductividad eléctrica (microhoms/cm)	274	271	292	289	290
Sólidos Totales (mg/L)	151	151	149	150	152
Turbiedad (UTN)	2.36	1.79	2.1	2	1.56
Color (unidades de color)	5	5	5	6	5

Parámetros químicos

Tabla V Parámetros químicos obtenidos para el agua de la Planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 1

Punto de Muestreo	Alcalinidad mg/L	Calcio mg/L	Nitratos Mg/L	Nitritos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Sulfatos mg/L
Tanque de distribución	94	17.63	1.54	0	16.5	0.43	0.47
Centro de Salud	88	23.25	1.76	0	17.5	0.43	0.48
Casa particular	90	24.85	1.54	0	13	0.44	0.48
Municipalidad	92	36.07	1.54	0	15	0.4	0.5

Punto de Muestreo	Amonio mg/L	Dureza mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	0.21	66	21	6.1	0.16	0.009
Centro de Salud	0.21	78	22.6	6.4	0.1	0.11
Casa particular	0.2	76	22.8	6.2	0.14	0.11
Municipalidad	0.21	70	22.4	6.4	0.13	0.014

Tabla VI Parámetros químicos obtenidos para el agua de la Planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 2

Punto de Muestreo	Alcalinidad mg/L	Calcio mg/L	Nitratos Mg/L	Nitritos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Sulfatos mg/L
Tanque de distribución	94	18.44	1.1	0	17	0.34	0.45
Centro de Salud	90	20.8	1.54	0	16	0.47	0.45
Casa particular	92	22.44	1.54	0	14	0.4	0.44
Municipalidad	90	23.25	1.54	0	12	0.4	0.44

Punto de Muestreo	Amonio mg/L	Dureza mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	0.22	80	17.4	6.1	0.14	0.009
Centro de Salud	0.17	88	18	6.4	0.14	0.04
Casa particular	0.2	88	17.5	19.2	0.14	0.016
Municipalidad	0.2	90	22.4	6.4	0.14	0.02

Tabla VII Parámetros químicos obtenidos para el agua de la Planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 3

Punto de Muestreo	Alcalinidad Mg/L	Calcio mg/L	Nitratos Mg/L	Nitritos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Sulfatos Mg/L
Tanque de distribución	104	28.06	1.54	0	12.5	0.11	0.45
Centro de Salud	102	24.03	1.98	0	11	0.2	0.44
Casa particular	84	24.03	1.98	0	12	0.32	0.44
Municipalidad	104	23.25	1.54	0	12.5	0.4	0.44

Punto de Muestreo	Amonio Mg/L	Dureza mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	0.21	76	21	6.5	0.1	0.05
Centro de Salud	0.21	80	18	6.7	0.12	0.011
Casa particular	0.2	82	20	6.9	0.12	0.011
Municipalidad	0.2	78	20	6.7	0.13	0.014

Tabla VIII Parámetros químicos obtenidos para el agua de la Planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 4

Punto de Muestreo	Alcalinidad mg/L	Calcio mg/L	Nitratos Mg/L	Nitritos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Sulfatos mg/L
Tanque de distribución	86	25.65	2.2	0	14.5	0.36	0.45
Centro de Salud	94	28.06	1.76	0	14.5	0.25	0.44
Casa particular	96	25.65	1.2	0	15.5	0.26	0.44
Municipalidad	94	24.85	2.2	0	15	0.26	0.44

Punto de Monitoreo	Amonio mg/L	Dureza mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	0.28	78	23.6	6.4	0.17	0.029
Centro de Salud	0.28	80	24.3	6.5	0.26	0.017
Casa particular	0.31	76	24.2	6.5	0.17	0.021
Municipalidad	0.27	80	25.1	6.8	0.26	0.029

Tabla IX Parámetros químicos obtenidos para el agua de la Planta de tratamiento “La Carbonera” en el muestreo 5

Punto de Muestreo	Alcalinidad mg/L	Calcio mg/L	Nitratos Mg/L	Nitritos mg/L	Cloruros mg/L	Fluoruros mg/L	Sulfatos mg/L
Tanque de distribución	92	18.44	1.15	0	17	0.34	0.45
Centro de Salud	90	20.8	1.5	0	16	0.47	0.45
Casa particular	90	22.44	1.5	0	14	0.4	0.44
Municipalidad	92	23.25	1.48	0	12	0.4	0.44

Punto de Muestreo	Amonio mg/L	Dureza mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	0.22	80	17.4	6.2	0.14	0.009
Centro de Salud	0.17	88	18	6.1	0.14	0.004
Casa particular	0.2	88	17.5	5.9	0.14	0.16
Municipalidad	0.2	90	19.2	6	0.14	0.02

Tabla X Parámetros químicos del agua promedio de los cinco muestreo que abastece la planta de tratamiento “La Carbonera”

Punto de Muestreo	calcio mg/L	alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Amonio mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L
Tanque de distribución	21.44	94	76	0.23	0.14	0.21
Centro de Salud	23.39	92.8	82.8	0.21	0.16	0.16
Casa particular	23.88	90.4	82	0.22	0.14	0.15
Municipalidad	26.13	94.4	81.6	0.22	0.16	0.19

Punto de Muestreo	Cloruros mg/L	Sodio mg/L	Potasio Mg/L
Tanque de distribución	16.5	21	6.1
Centro de Salud	17.5	22.6	6.4
Casa particular	13	22.8	6.2
Municipalidad	15	22.4	6.4

Tabla XI Índice de Saturación de Langelier promedio de los distintos puntos de muestreo.

punto de monitoreo	Indice de Saturación Langelier
tanque de distribución	-1.5
centro de salud	-1.94
casa particular	-1.15
municipalidad	-1.2

Tabla XII Parámetros bacteriológicos obtenidos para el agua de la planta de tratamiento “La Carbonera” en los cinco muestreo.

Punto de monitoreo	Prueba presuntiva		
	10	1	0.1
Tanque de distribución	-----	-----	-----
Centro de salud	-----	-----	-----
casa particular	-----	-----	-----
municipalidad	-----	-----	-----

Tabla XIII Cloro residual del agua que abastece la planta de Tratamiento “La Carbonera”

Cloro residual (mg/L)	Monitoreos				
	1	2	3	4	5
Tanque de distribución	0.6	0.6	1.2	0.1	0.2
Centro de Salud	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
Casa particular	0.05	0.2	0.1	0.1	0.2
Municipalidad	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2

Figura 1. Comportamiento de la Temperatura en función del tiempo del tanque de distribución

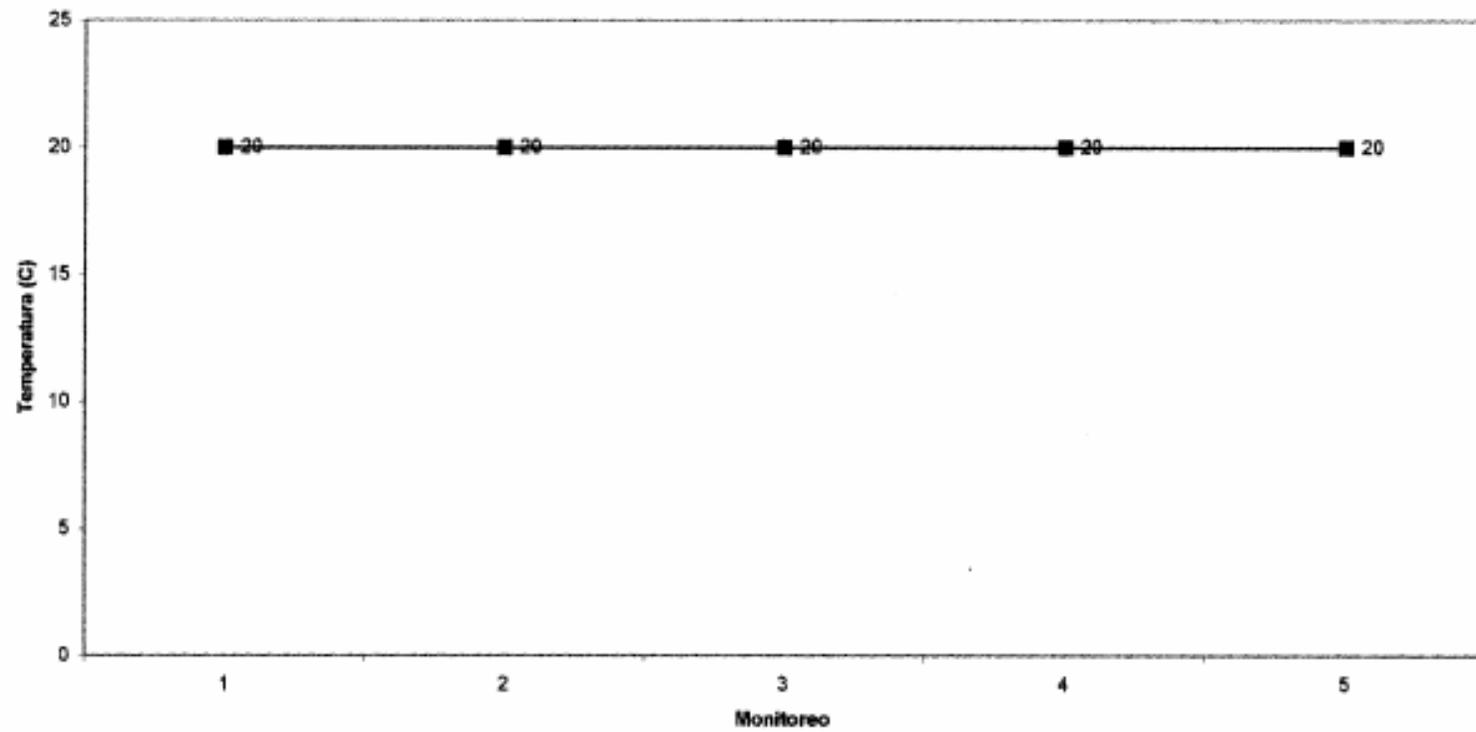


Figura 2. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del tanque de distribución

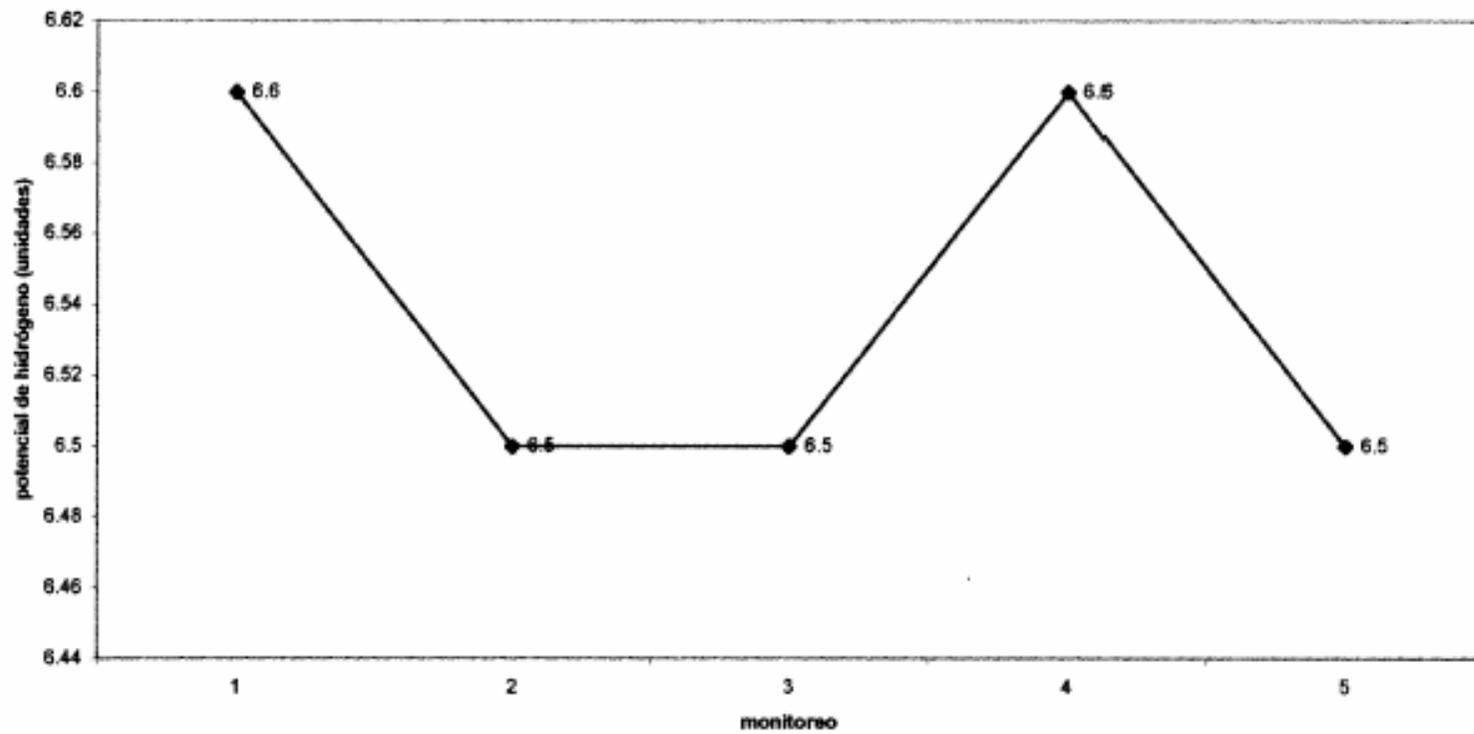


Figura 3. Comportamiento de la conductividad en función del tiempo del tanque de distribución

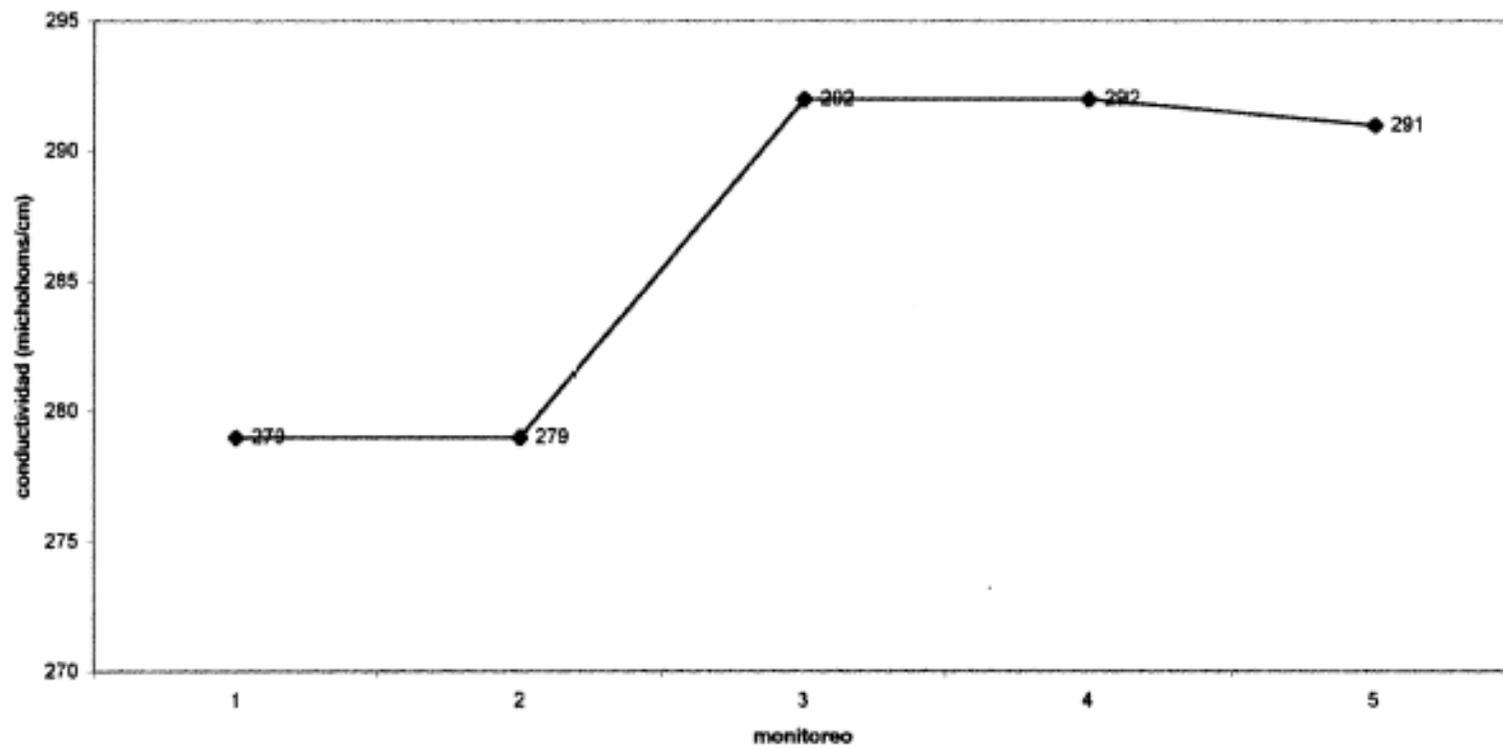


Figura 4. Comportamiento de los sólidos en función del tiempo del tanque de distribución

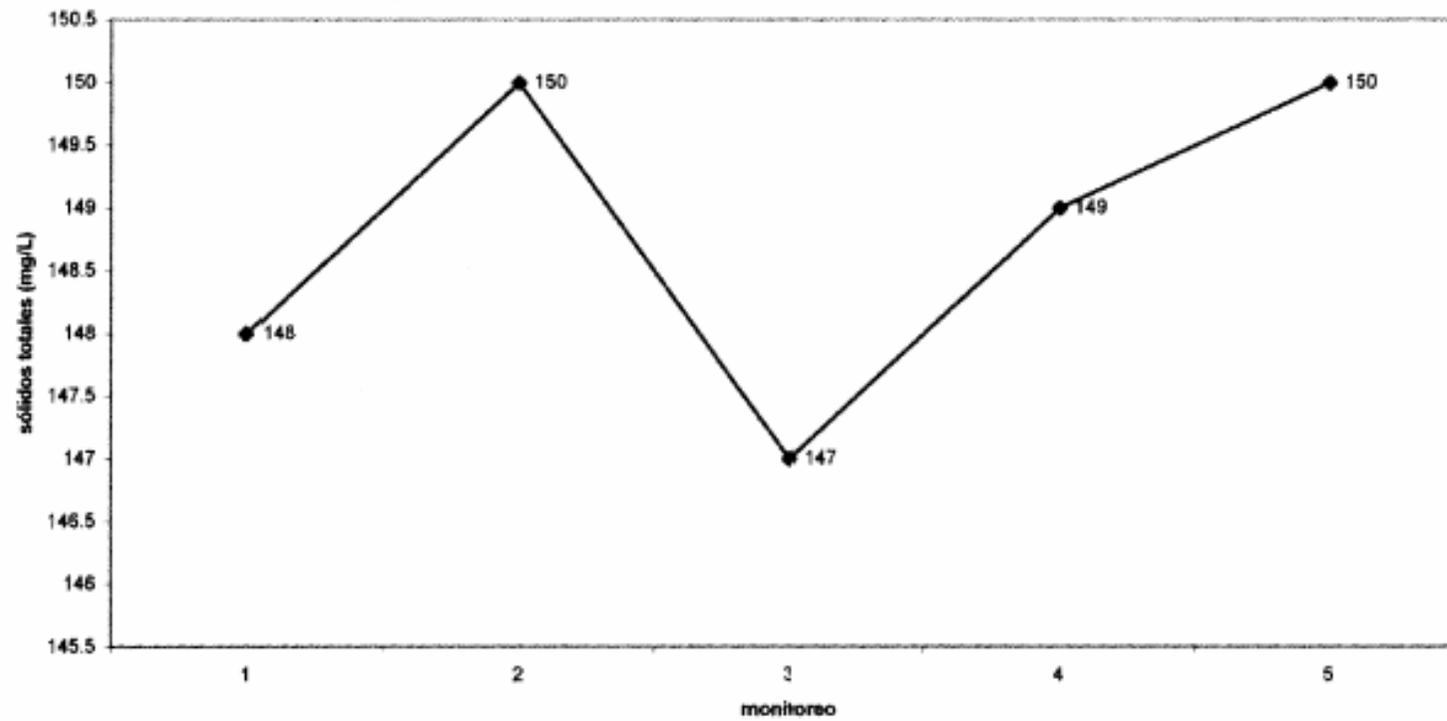


Figura 5. Comportamiento de la turbiedad del agua en función del tiempo del tanque de distribución

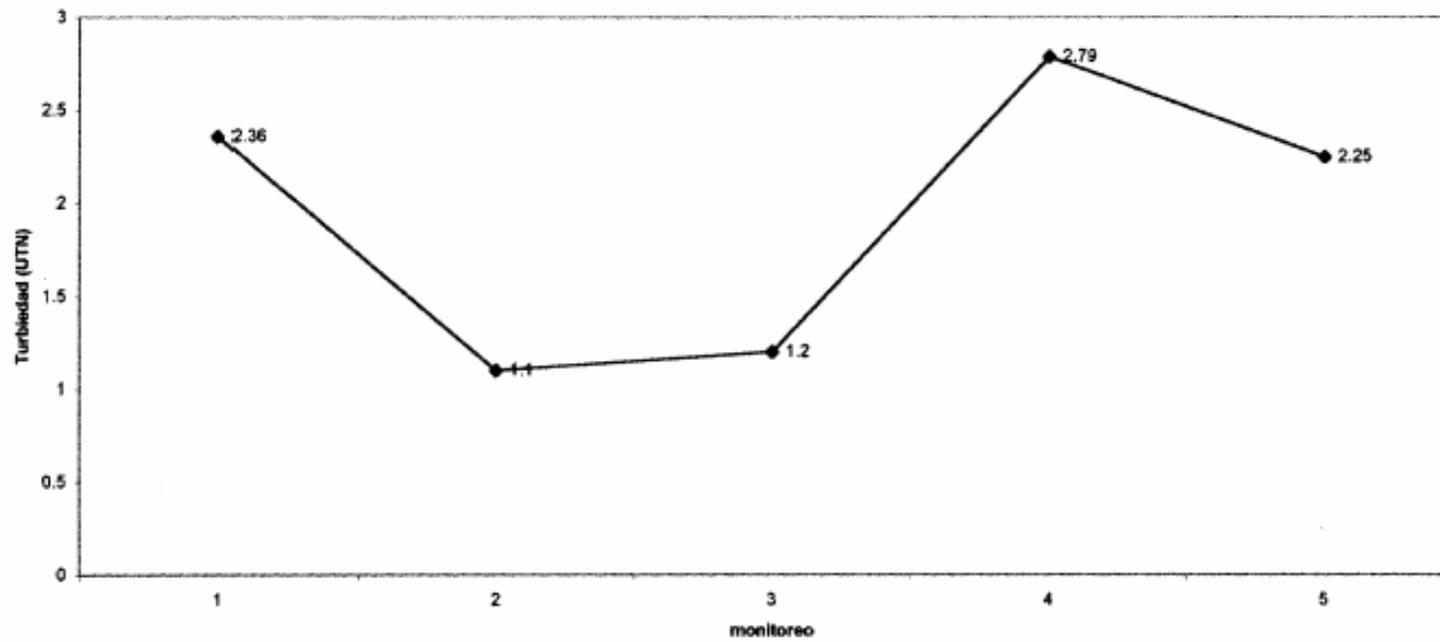


Figura 6. Comportamiento del color en función del tiempo del tanque de distribución

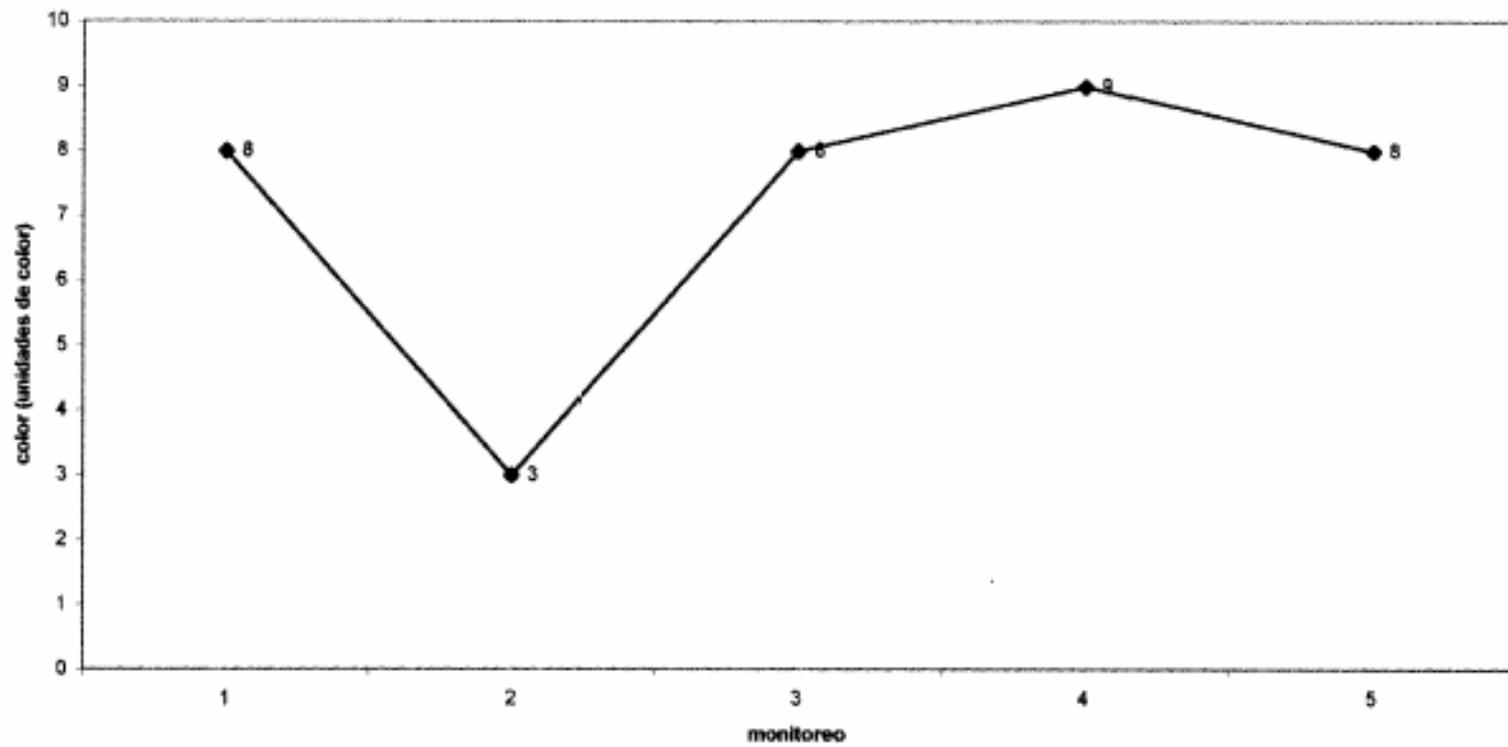


Figura 7. Comportamiento de la temperatura en función del tiempo del centro de salud

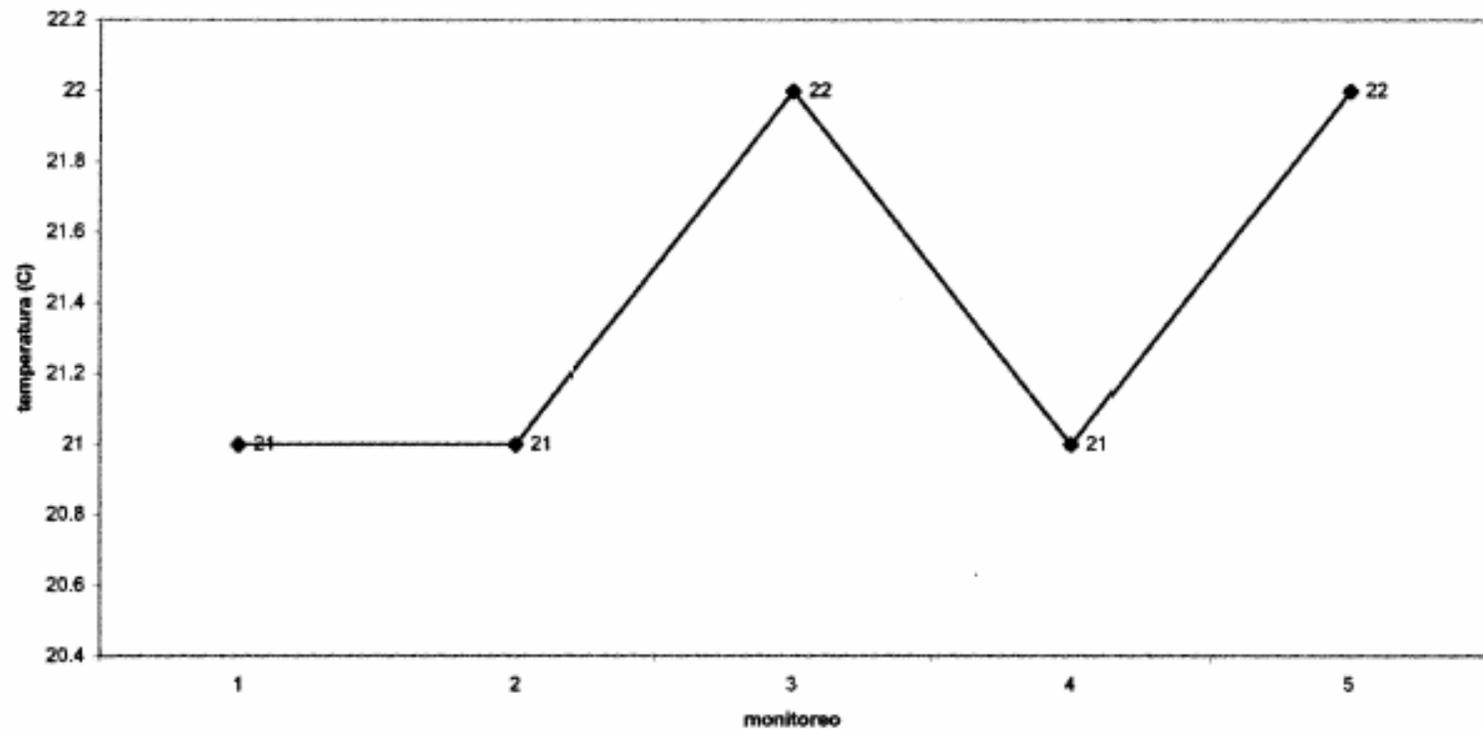


Figura 8. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo del Centro de Salud

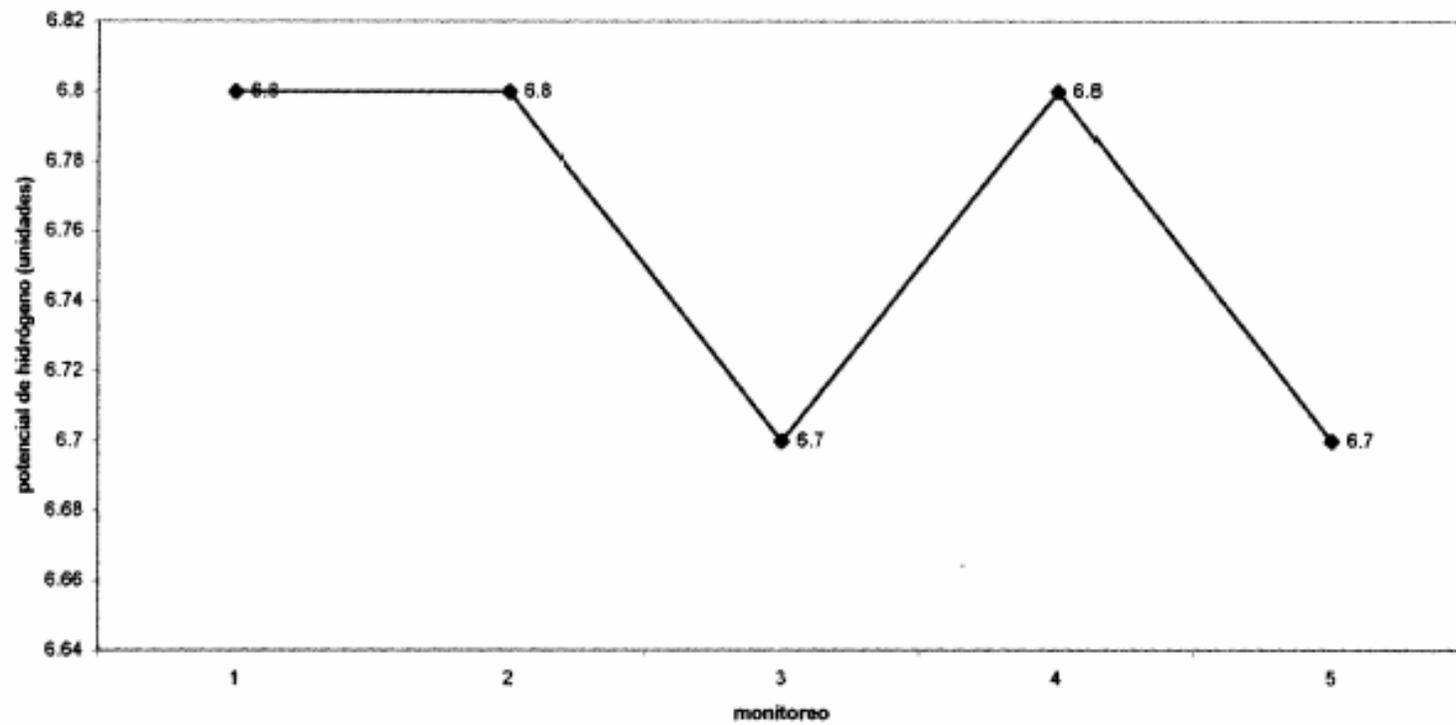


Figura 9. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo del Centro de Salud

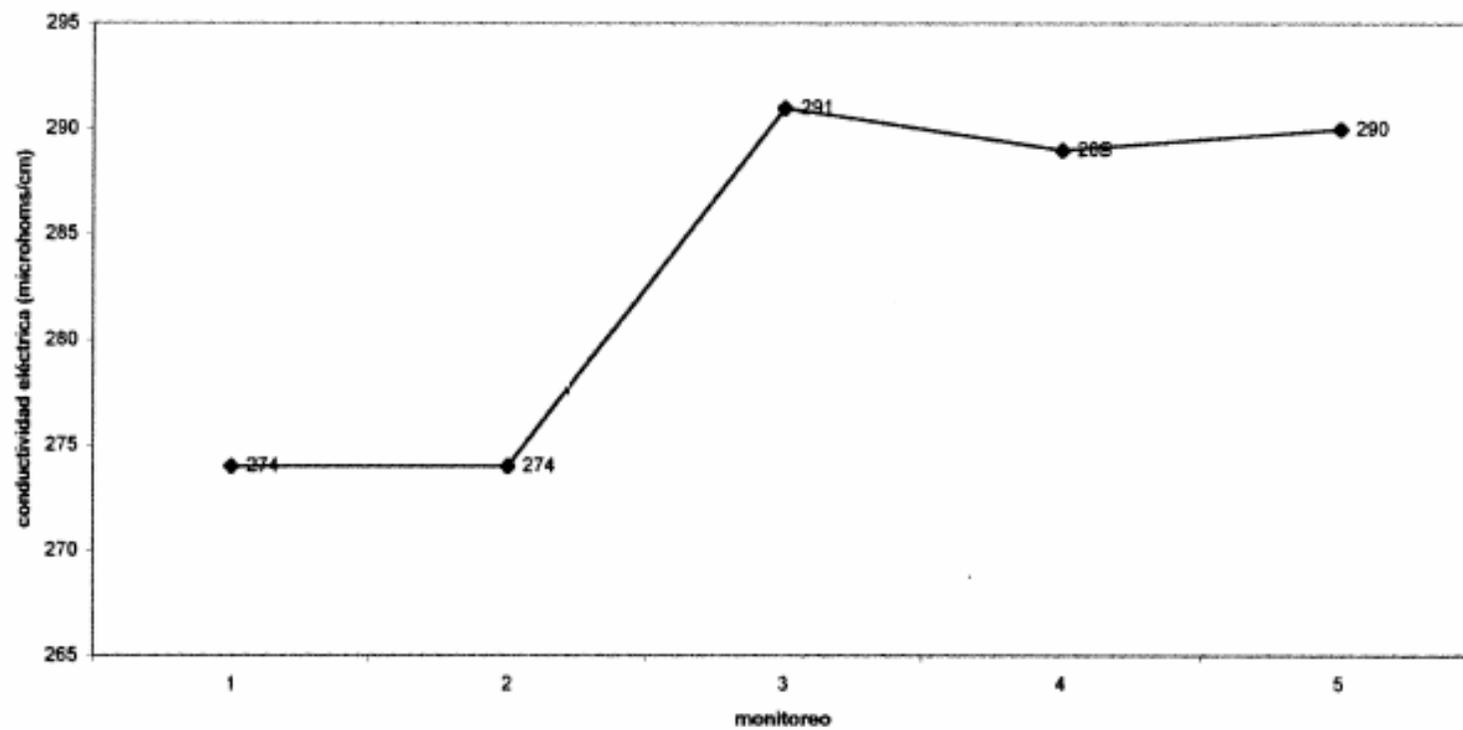


Figura 10. Comportamiento de los sólidos totales en función del tiempo del Centro de Salud

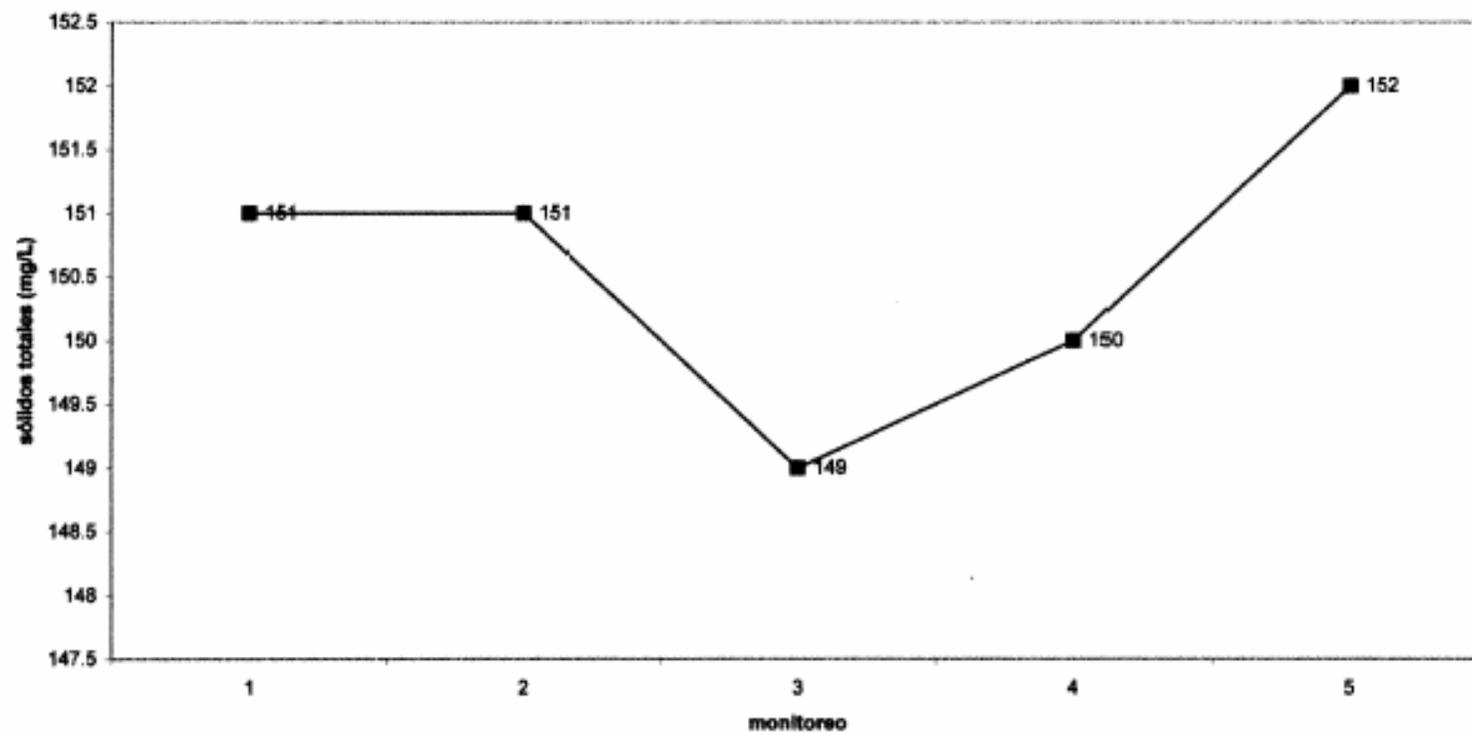


Figura 11. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo del Centro de Salud

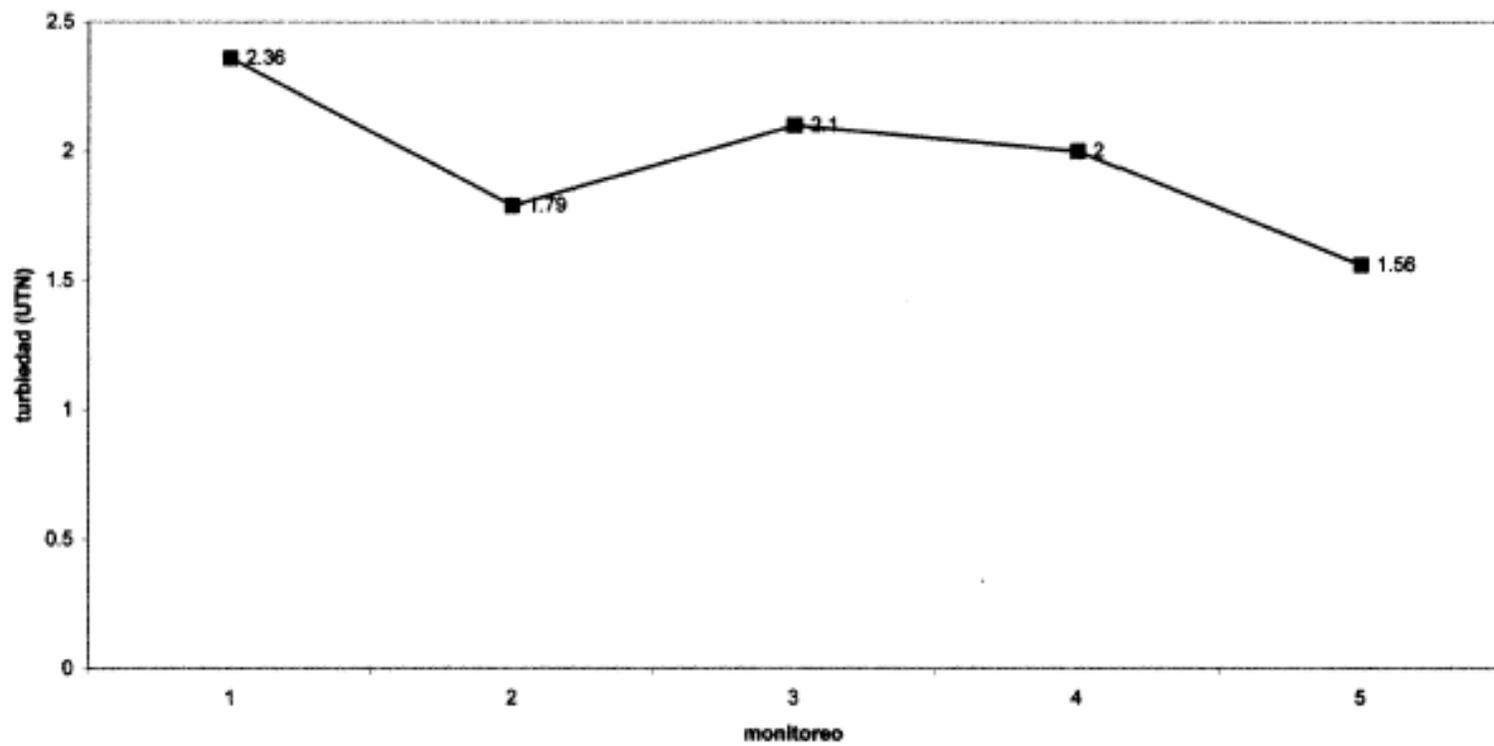


Figura 12. Comportamiento del color en funcion del tiempo del Centro de Salud

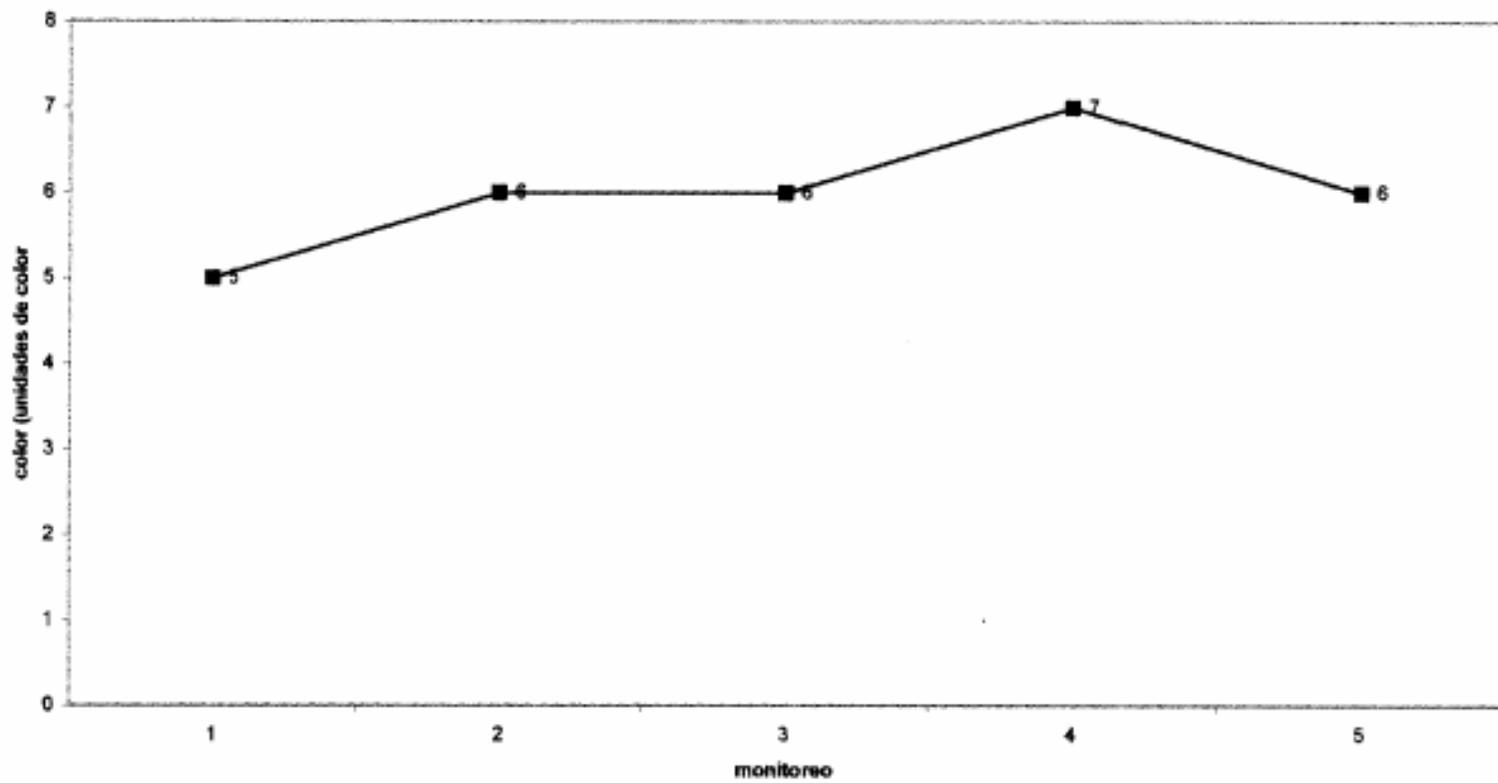


Figura 13. Comportamiento de la tempera en función del tiempo de una casa particular

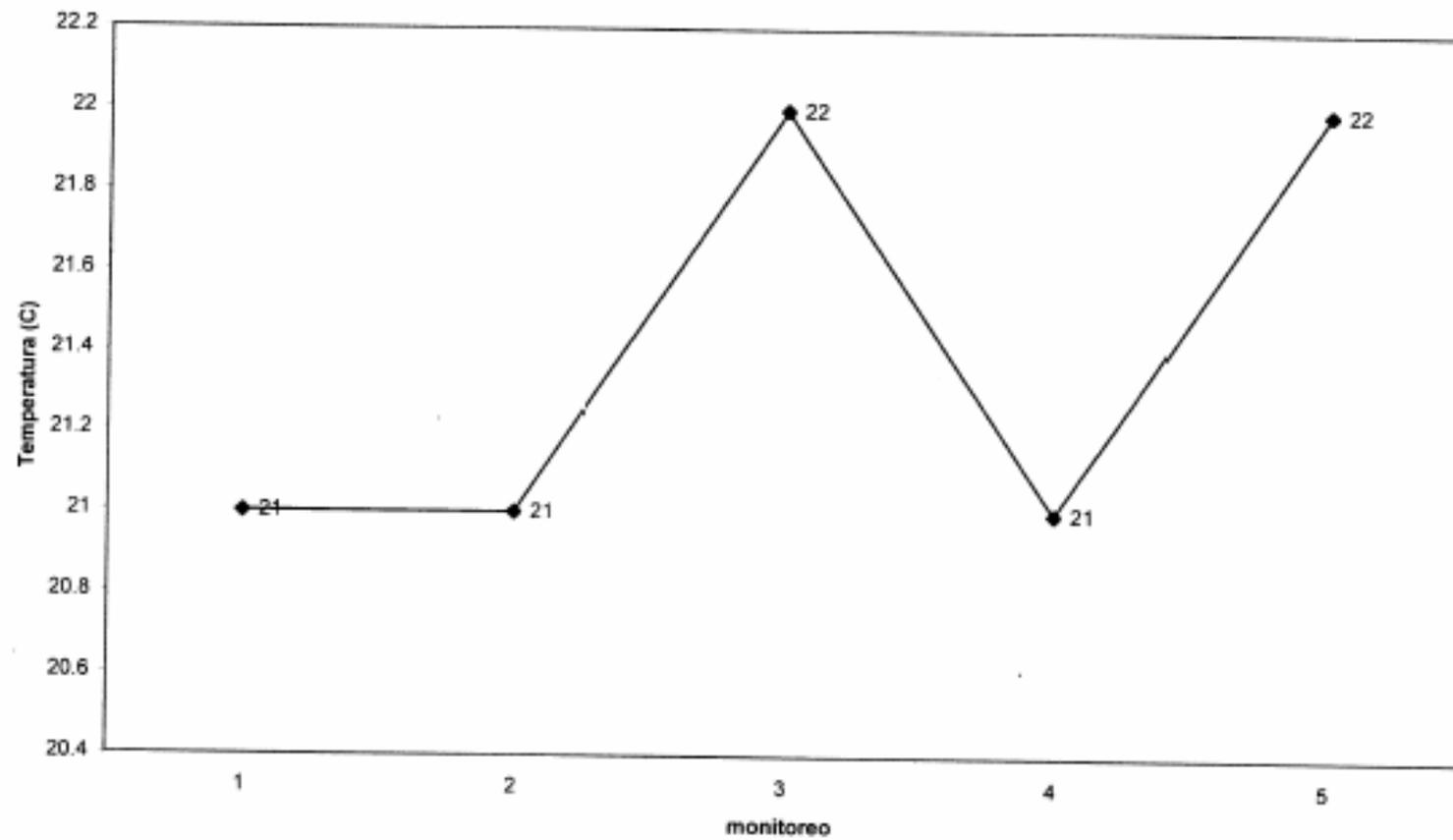


Figura 14. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de una casa particular

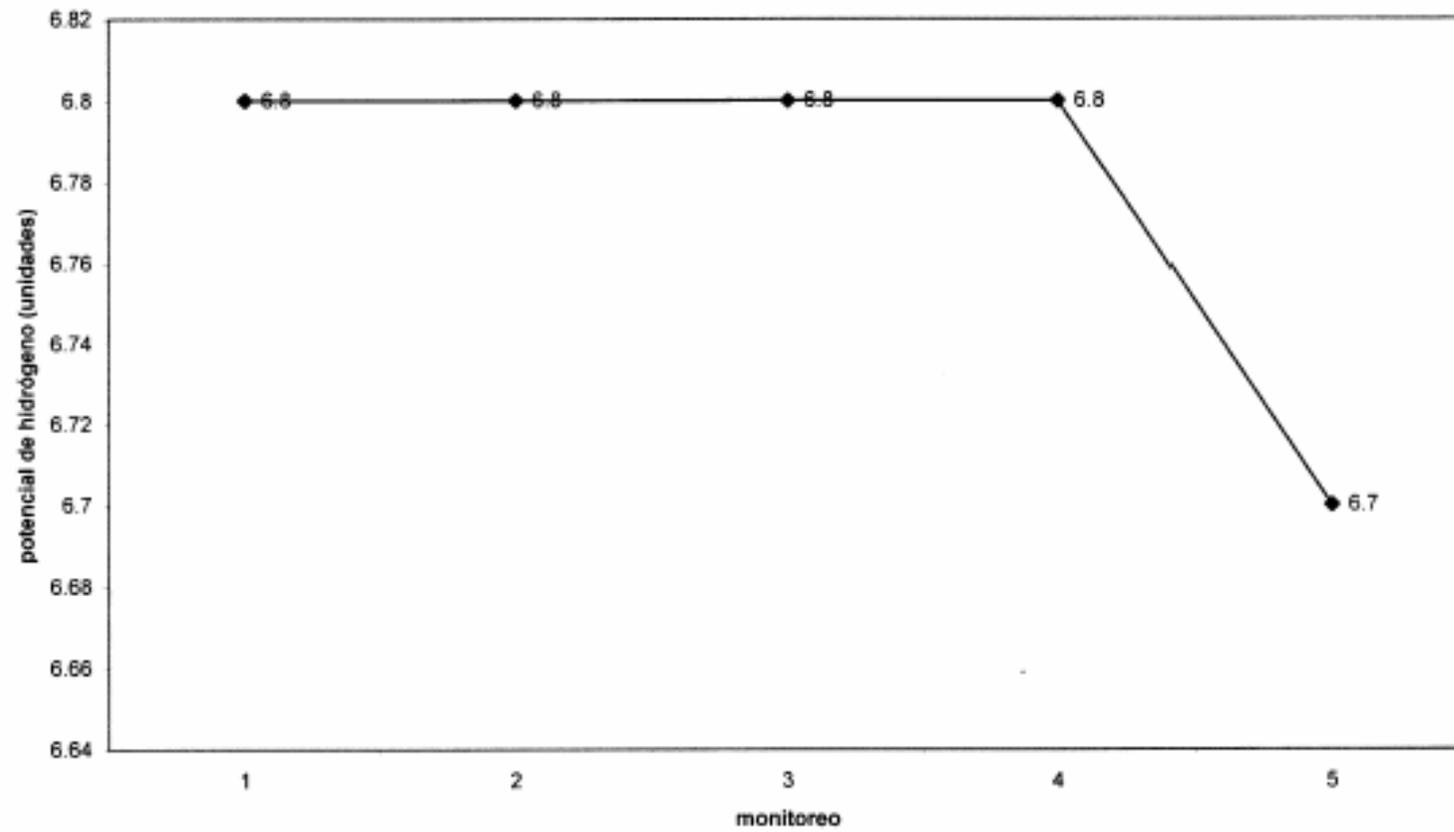


Figura 15. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de una casa particular

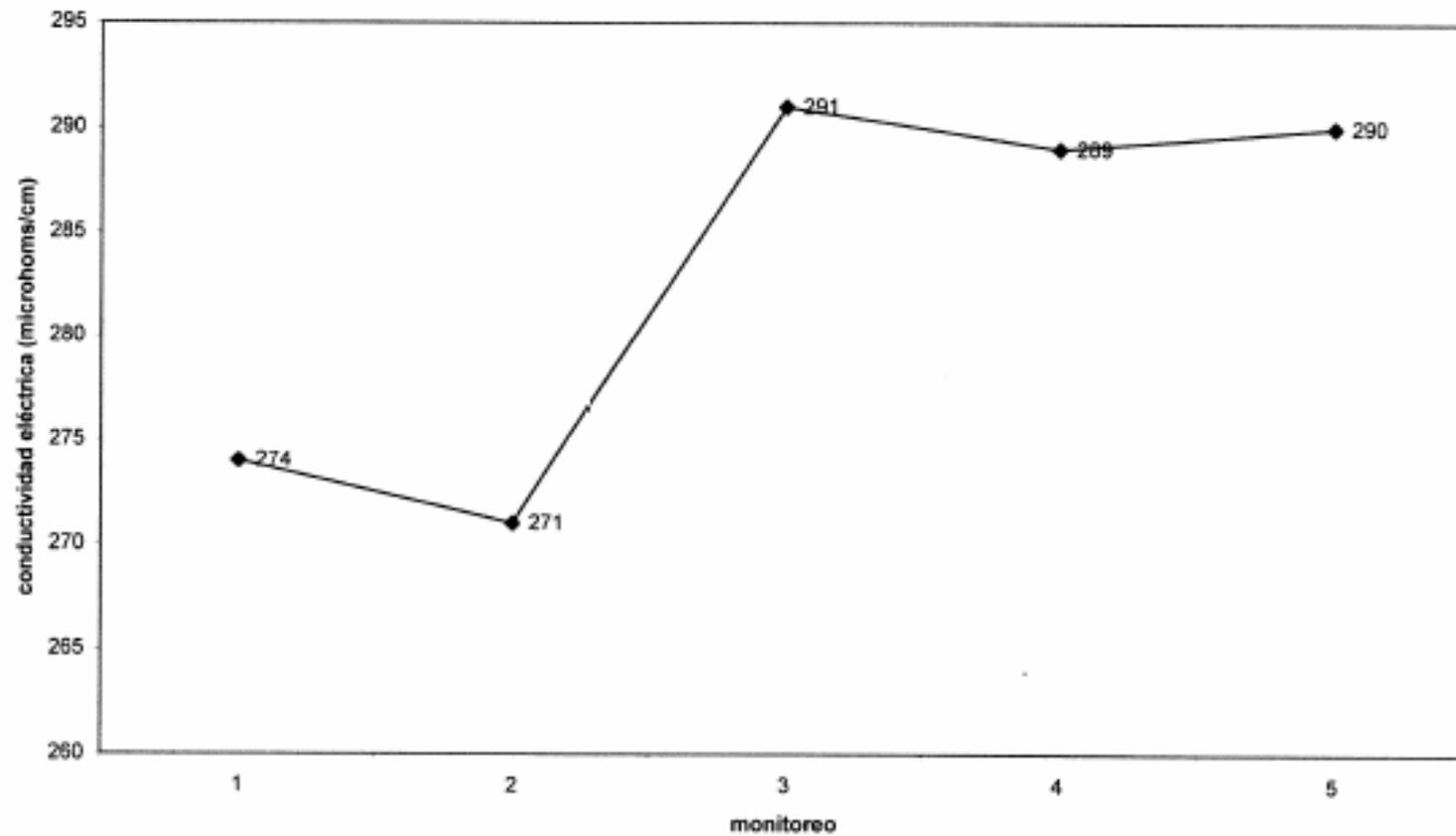


Figura 16. Comportamiento de sólidos totales en función del tiempo de una cada particular

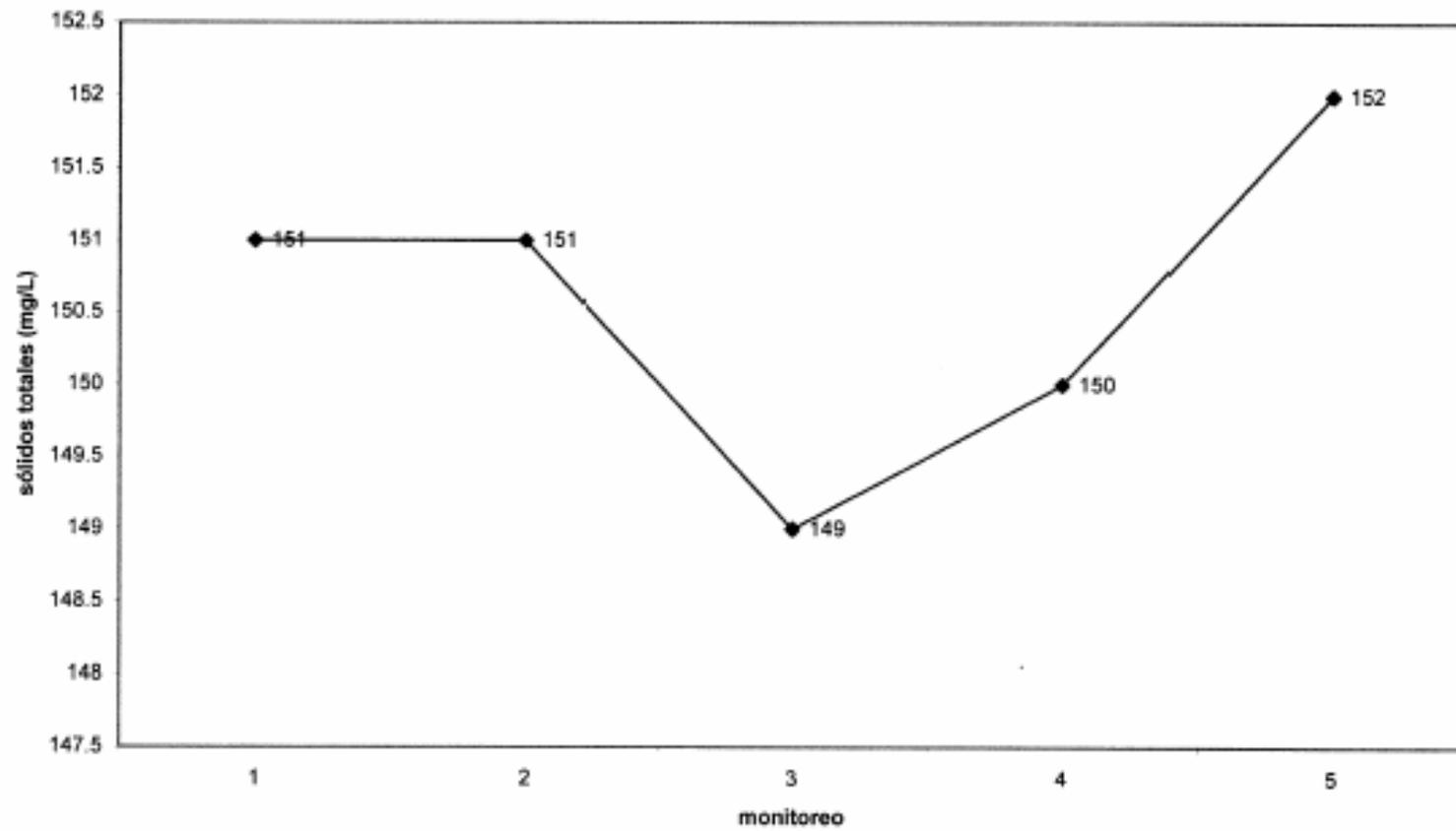


Figura 17. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de una casa particular

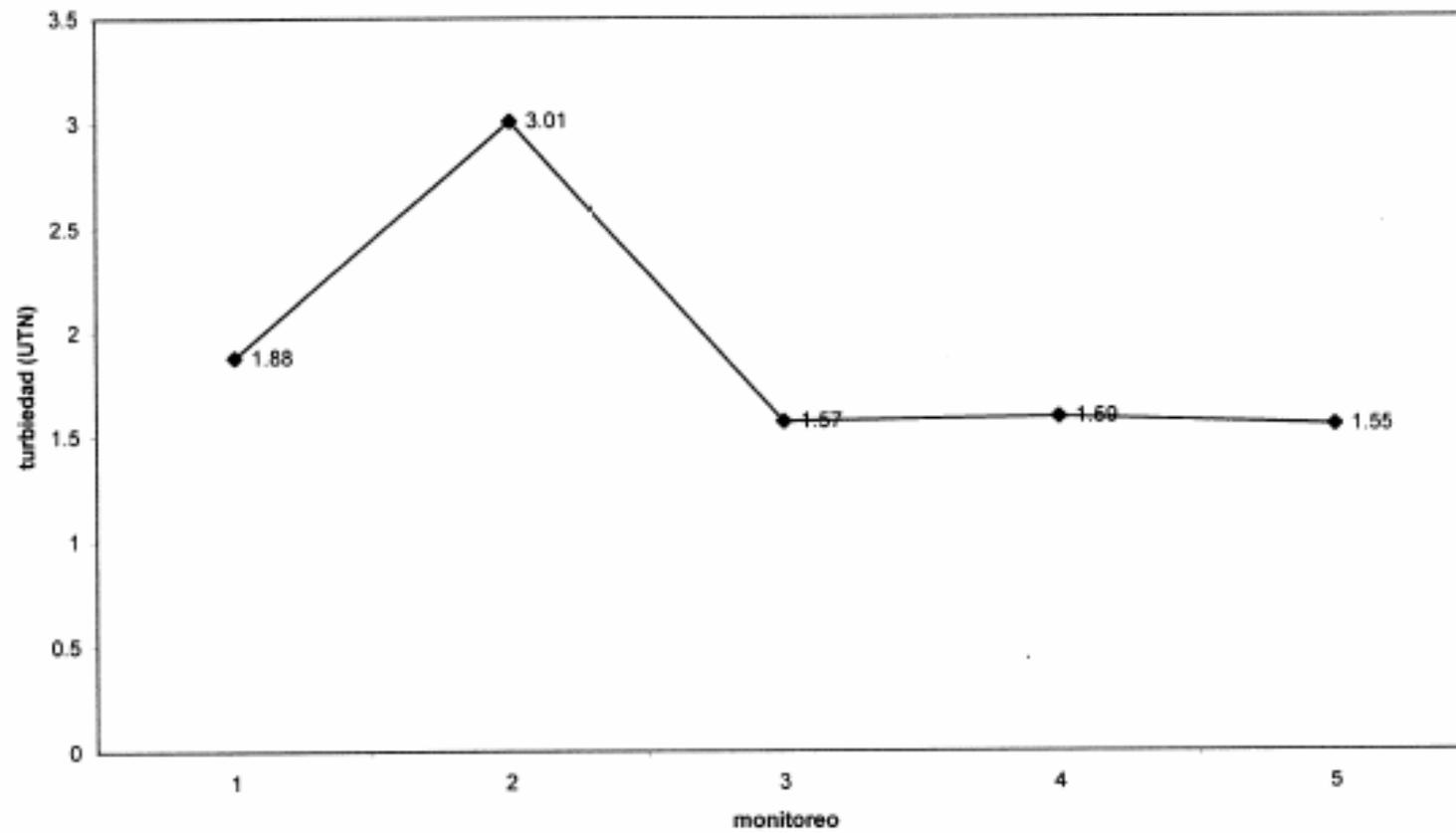


Figura 18. Comportamiento del color en función del tiempo de una casa particular

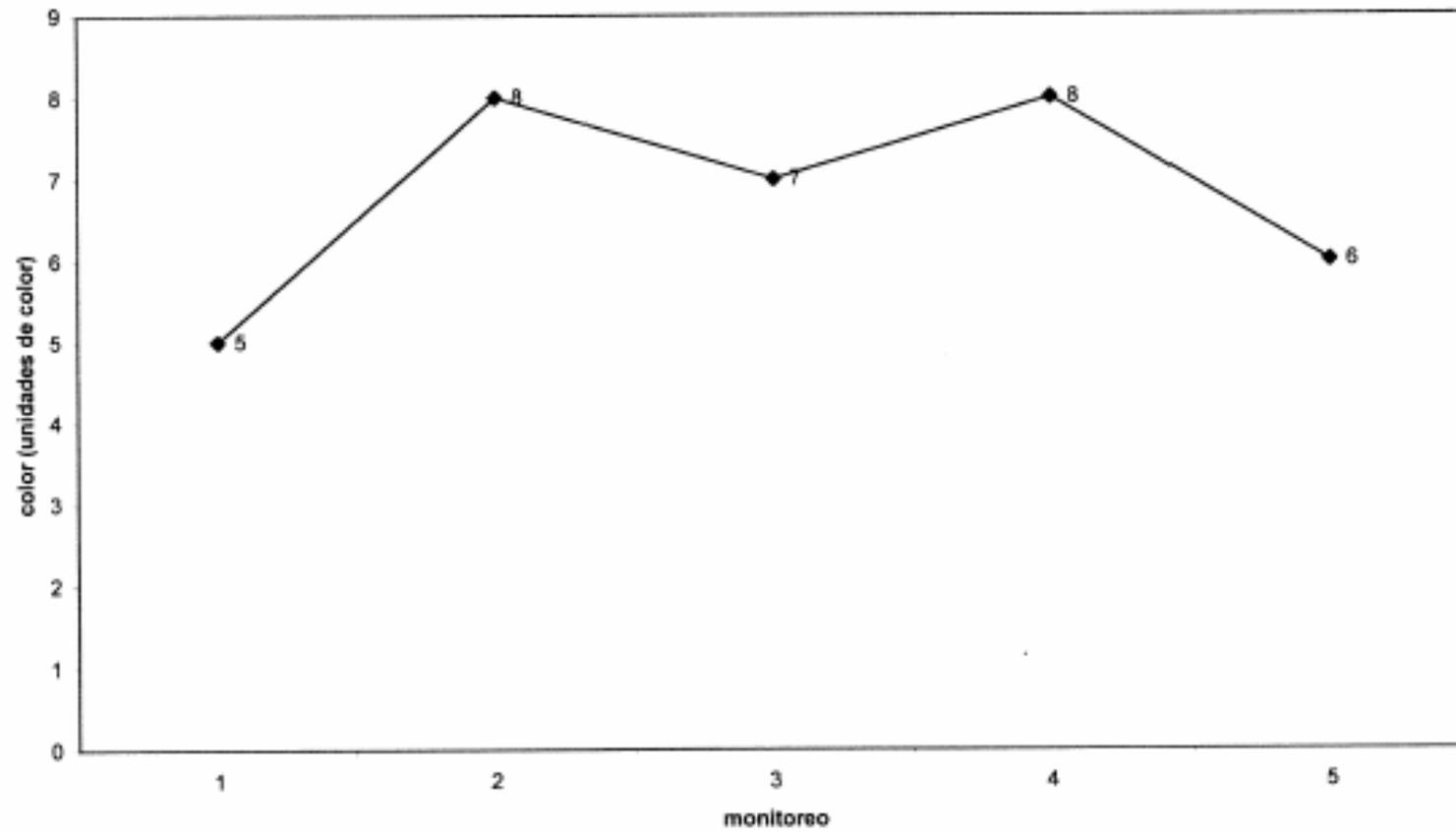


Figura 19: Comportamiento de la temperatura en función del tiempo de la municipalidad

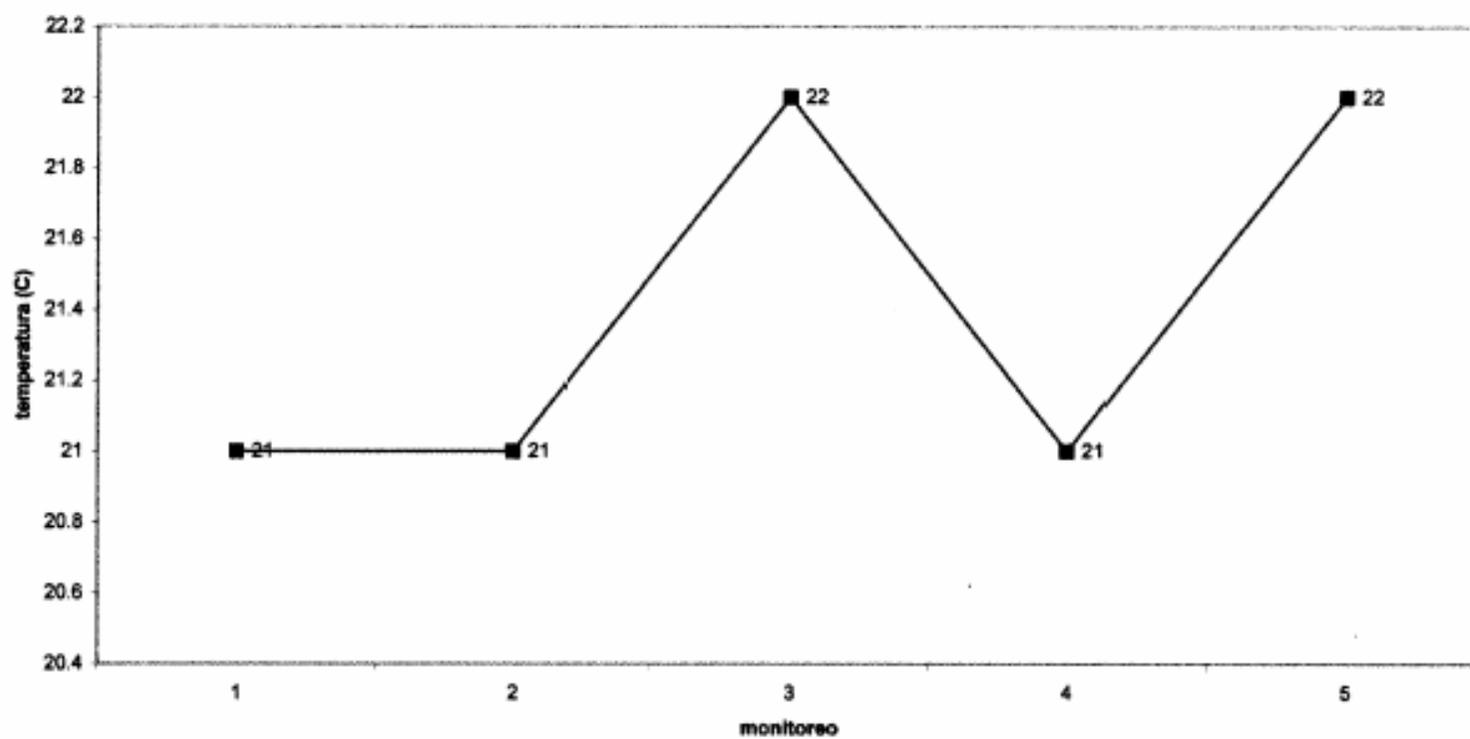


Figura 20. Comportamiento del potencial de hidrógeno en función del tiempo de la municipalidad

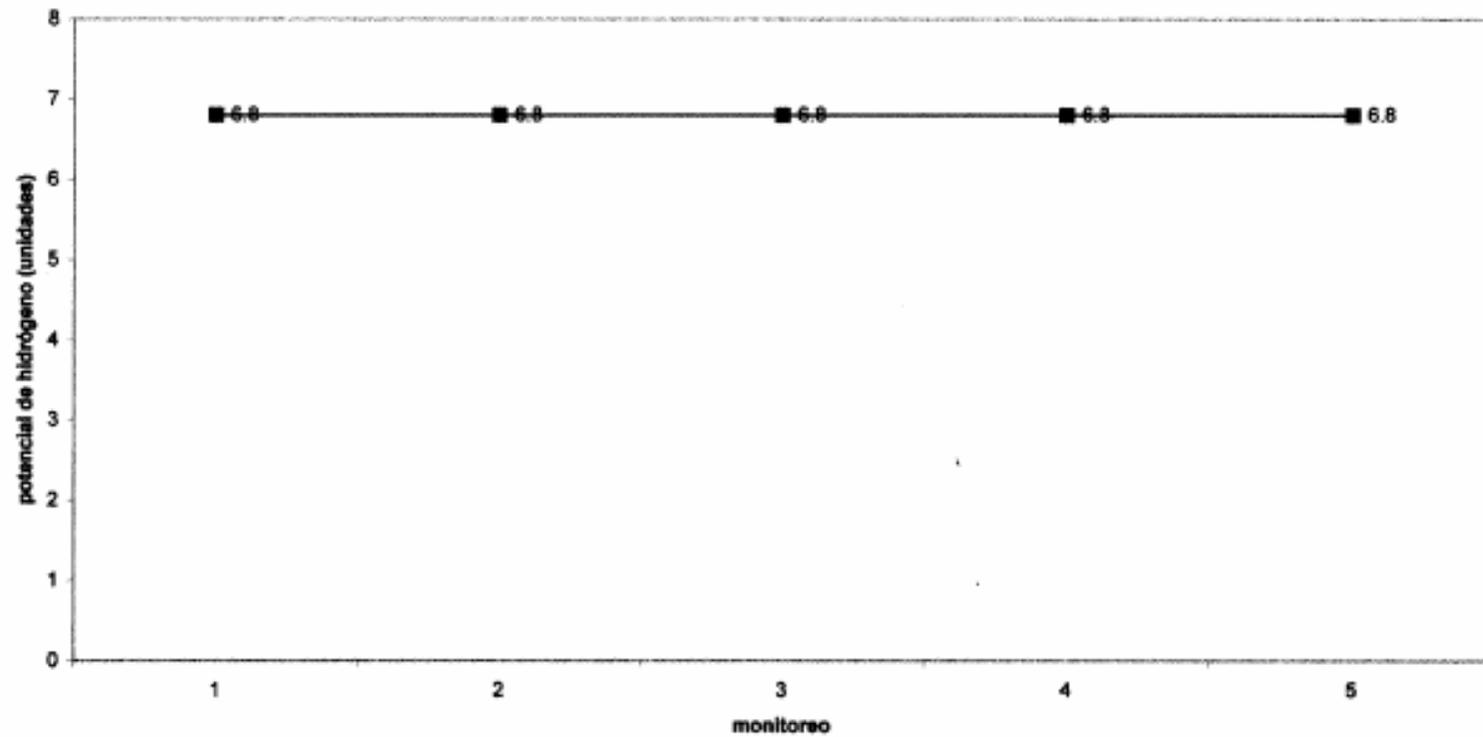


Figura 21. Comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo de la municipalidad

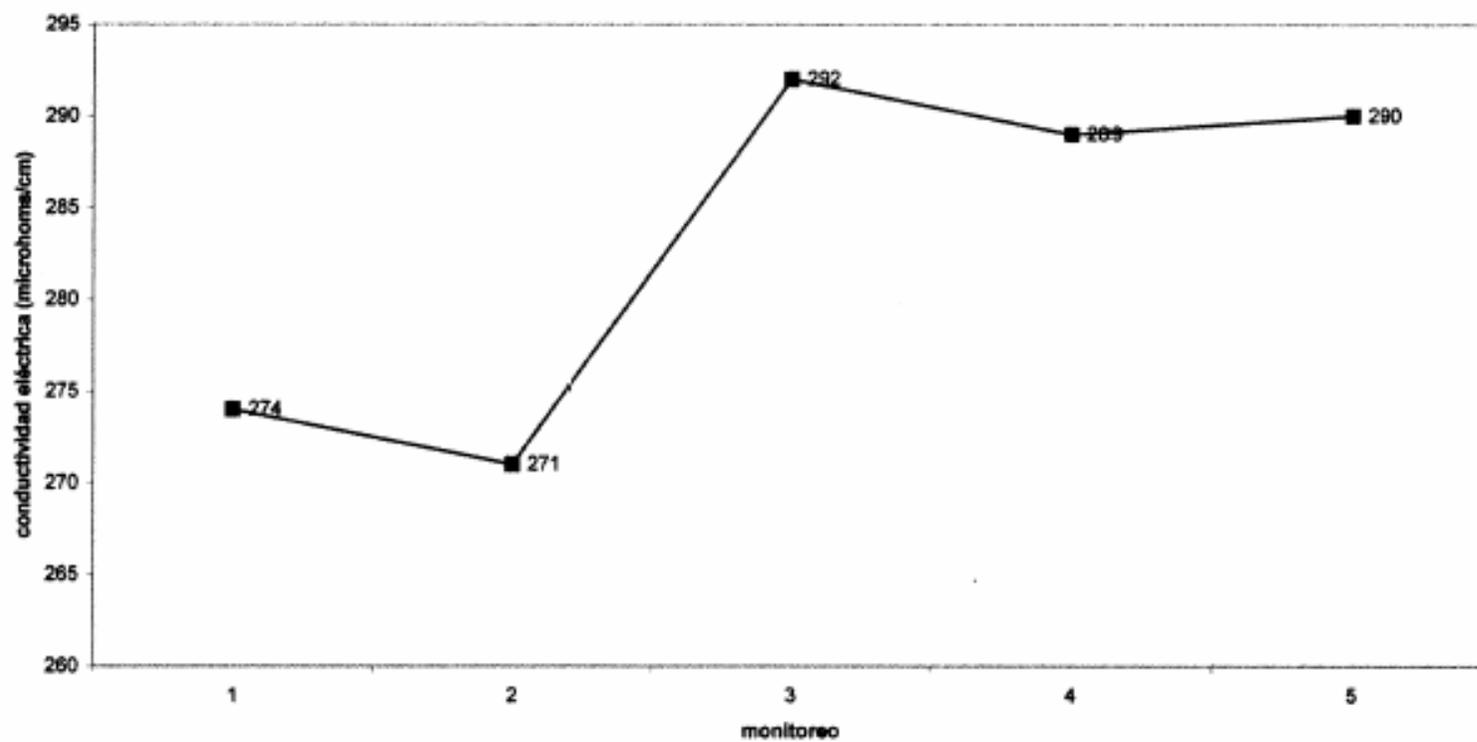


Figura 22. Comportamiento de sólidos totales en función del tiempo de la municipalidad

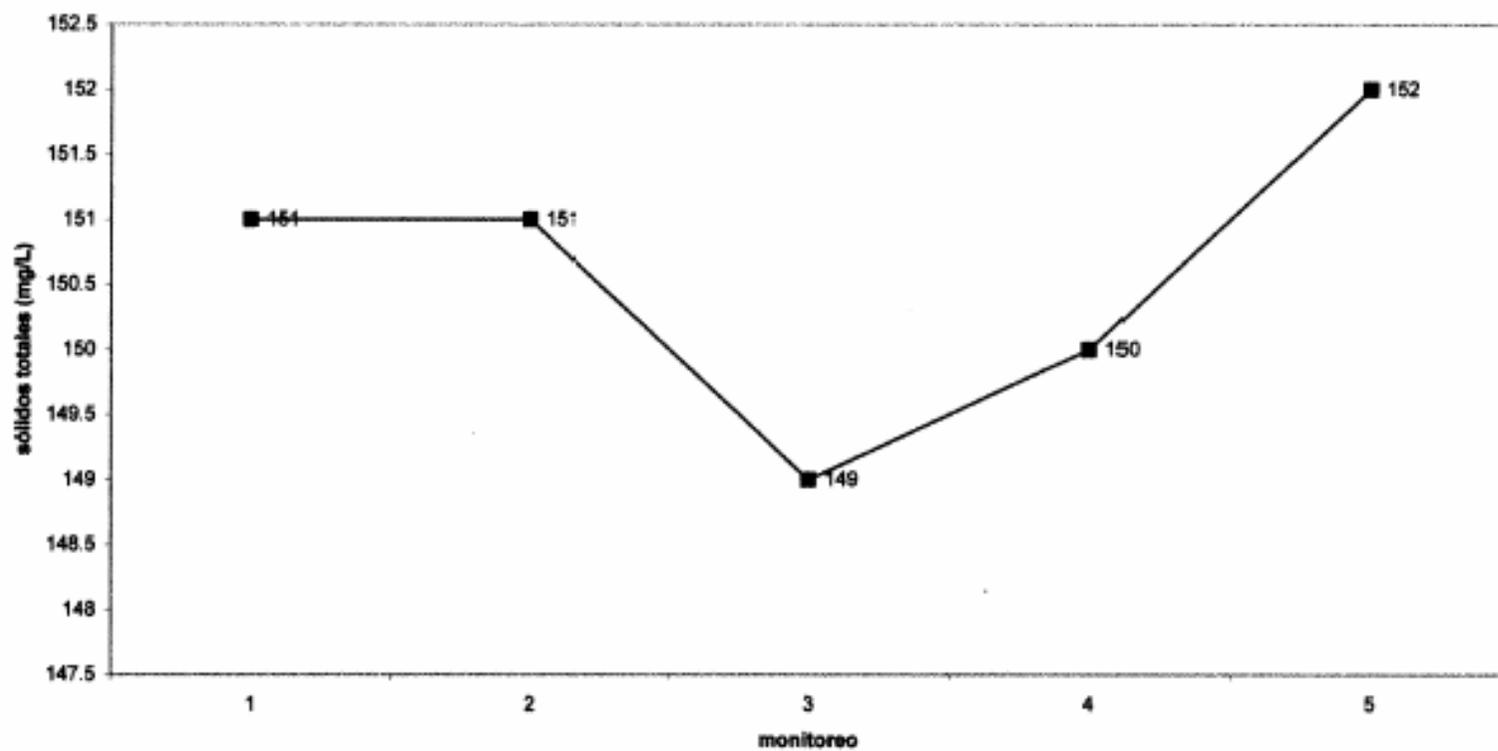


Figura 23. Comportamiento de la turbiedad en función del tiempo de la municipalidad

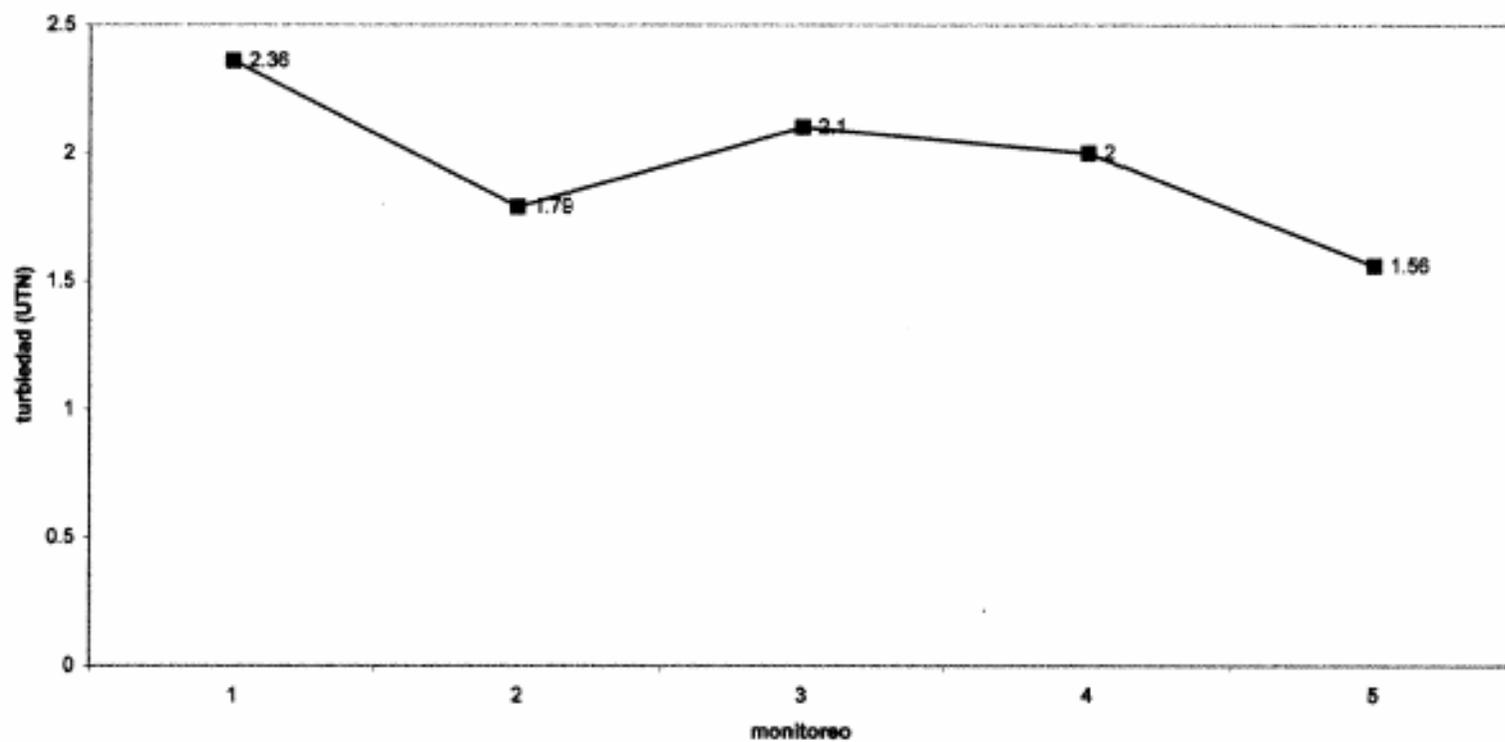


Figura 24. Comportamiento del color en función del tiempo de la municipalidad

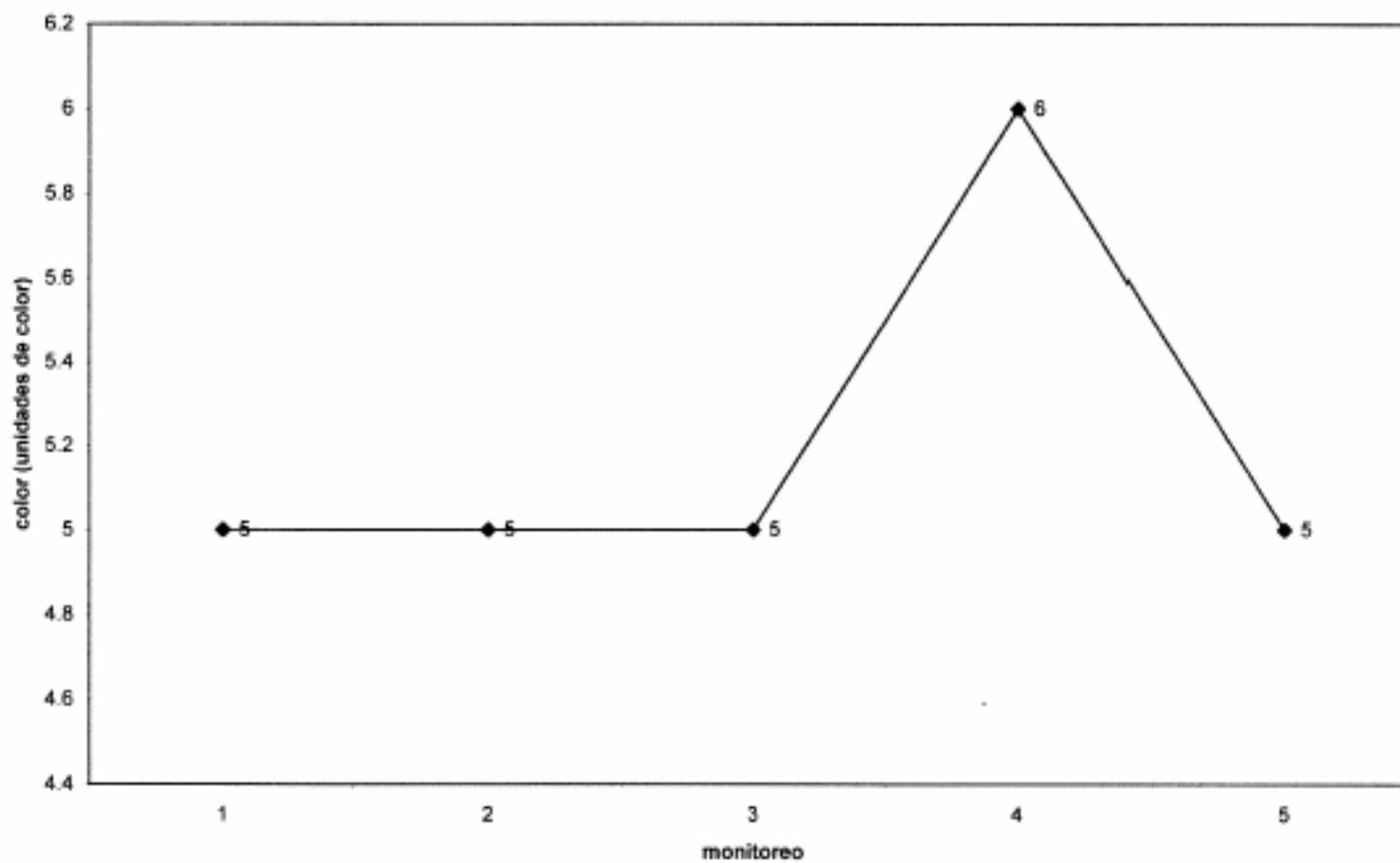


Figura 25. Comportamiento promedio del calcio, alcalinidad y dureza del agua en distintos puntos de monitoreo

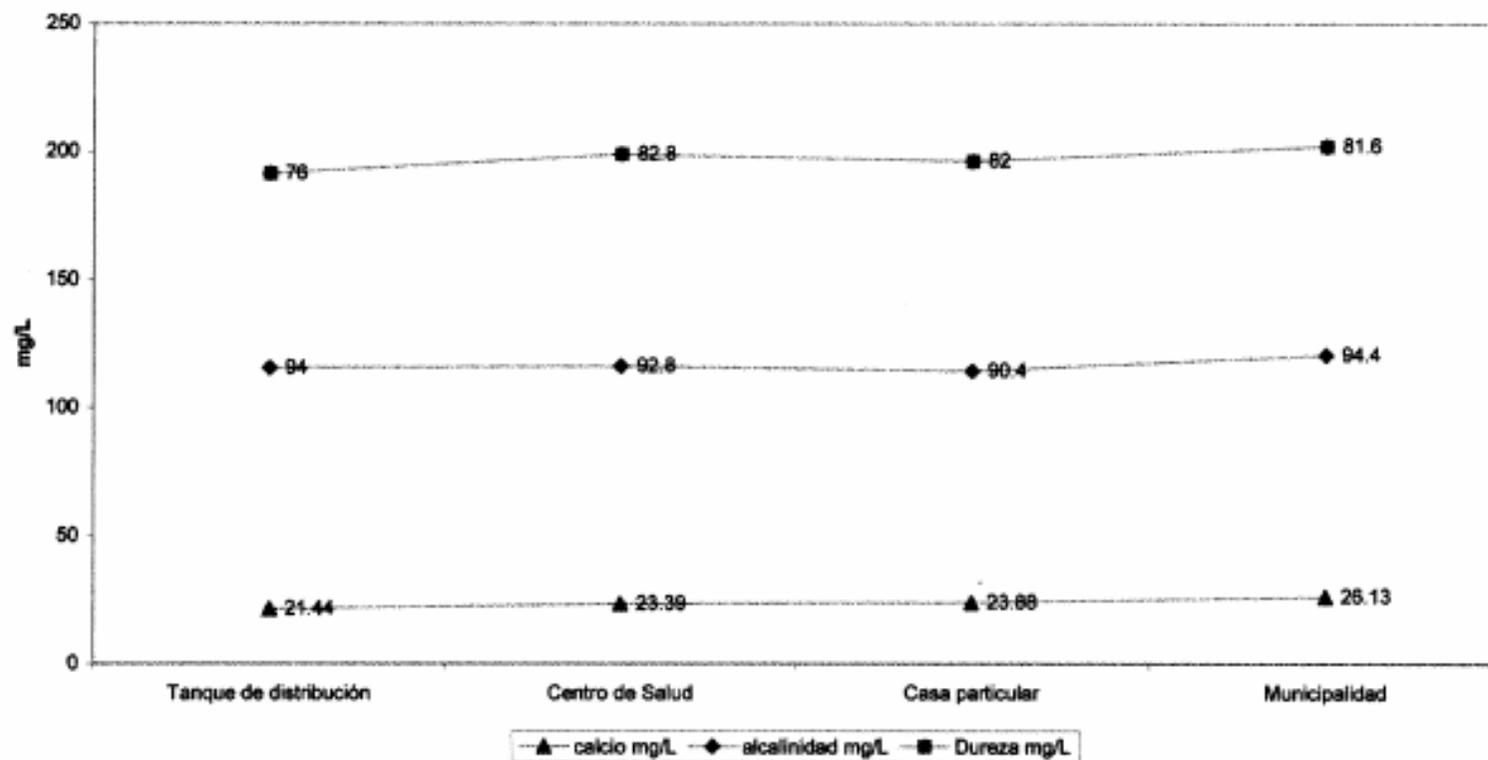


Figura 26. Comportamiento promedio de nitratos, fluoruros y sulfatos del agua en distintos puntos de monitoreo

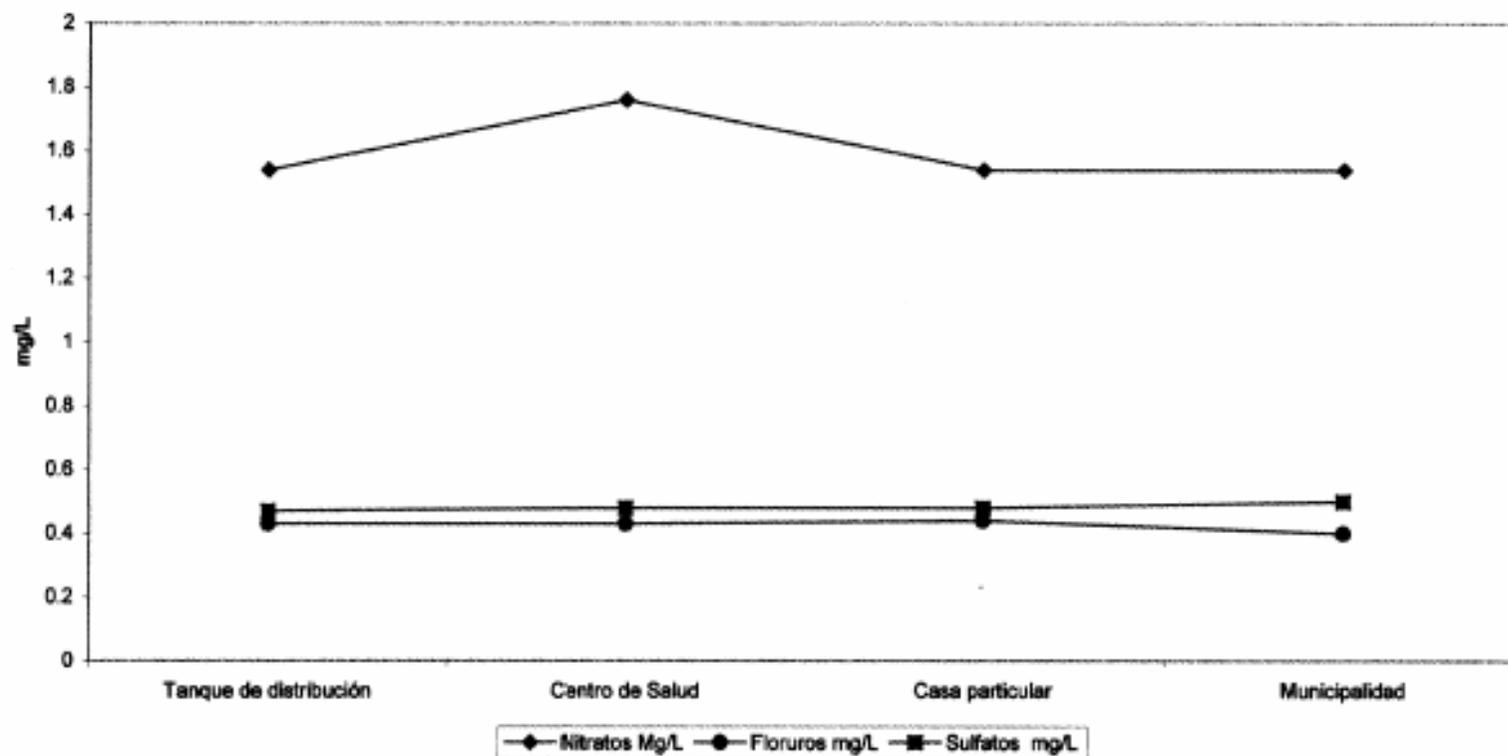


Figura 27. Comportamiento promedio del amonio, hierro y manganeso del agua en distintos puntos de monitoreo

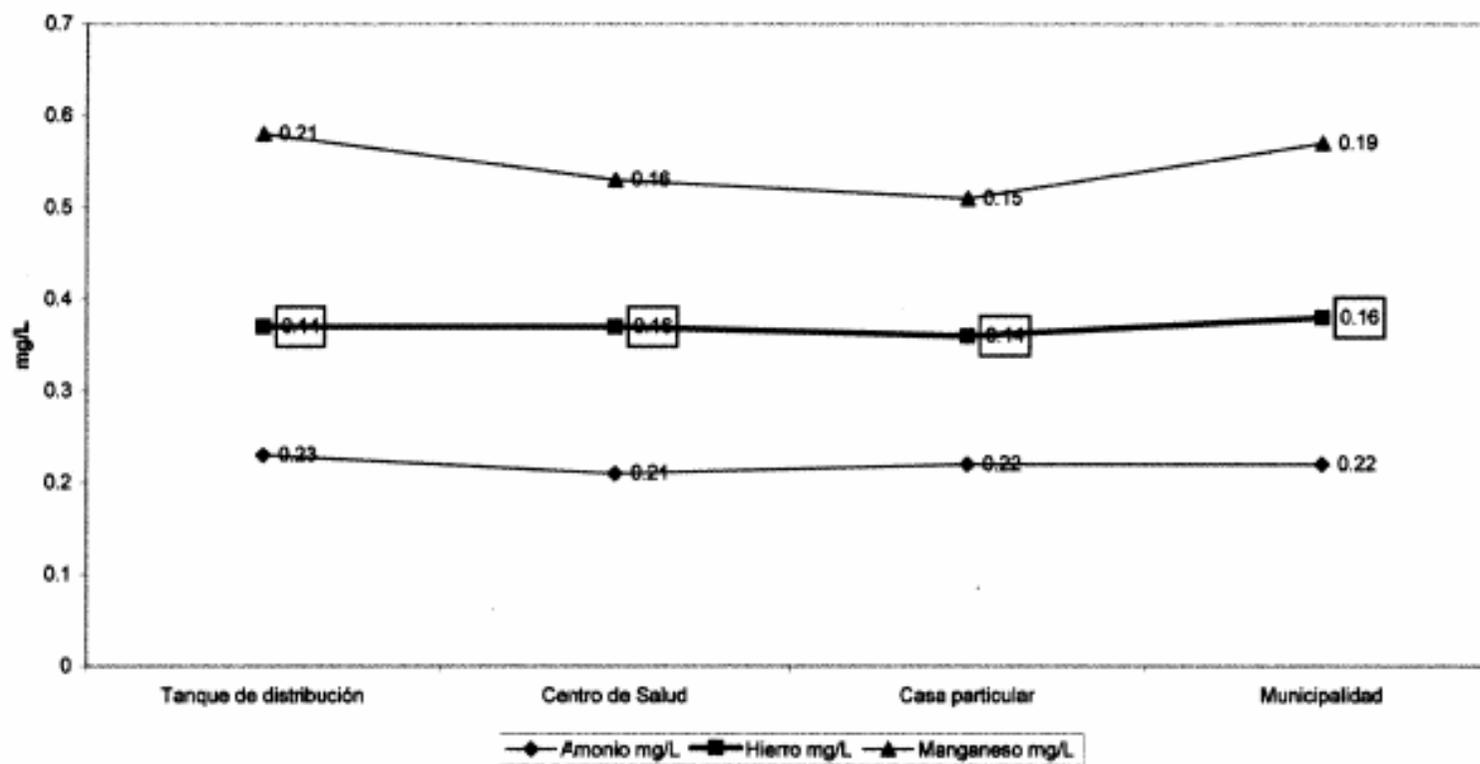


Figura 28. Comportamiento promedio de cloruros, sodio y potasio del agua en distintos puntos de monitoreo

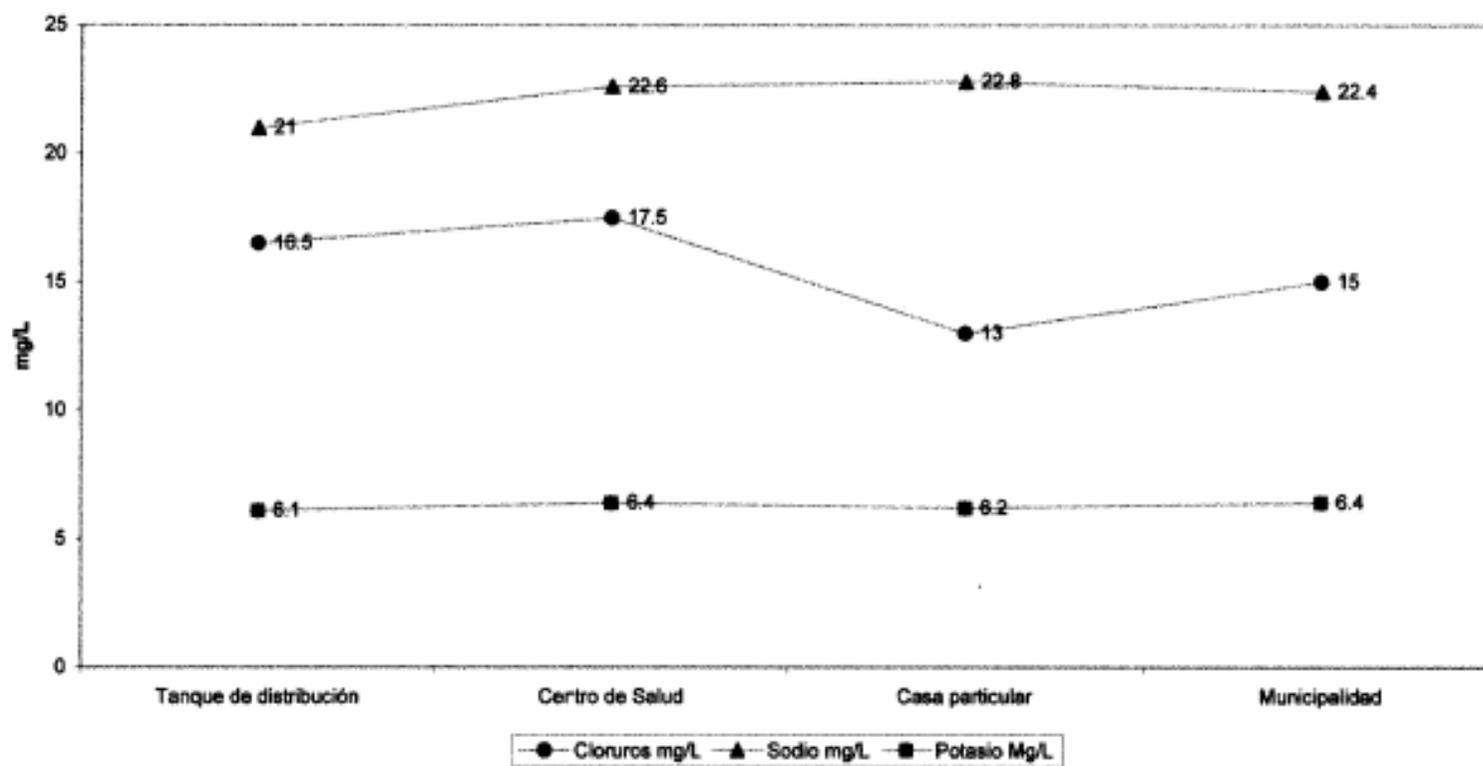


Figura 29. Comportamiento del cloro residual del agua en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo

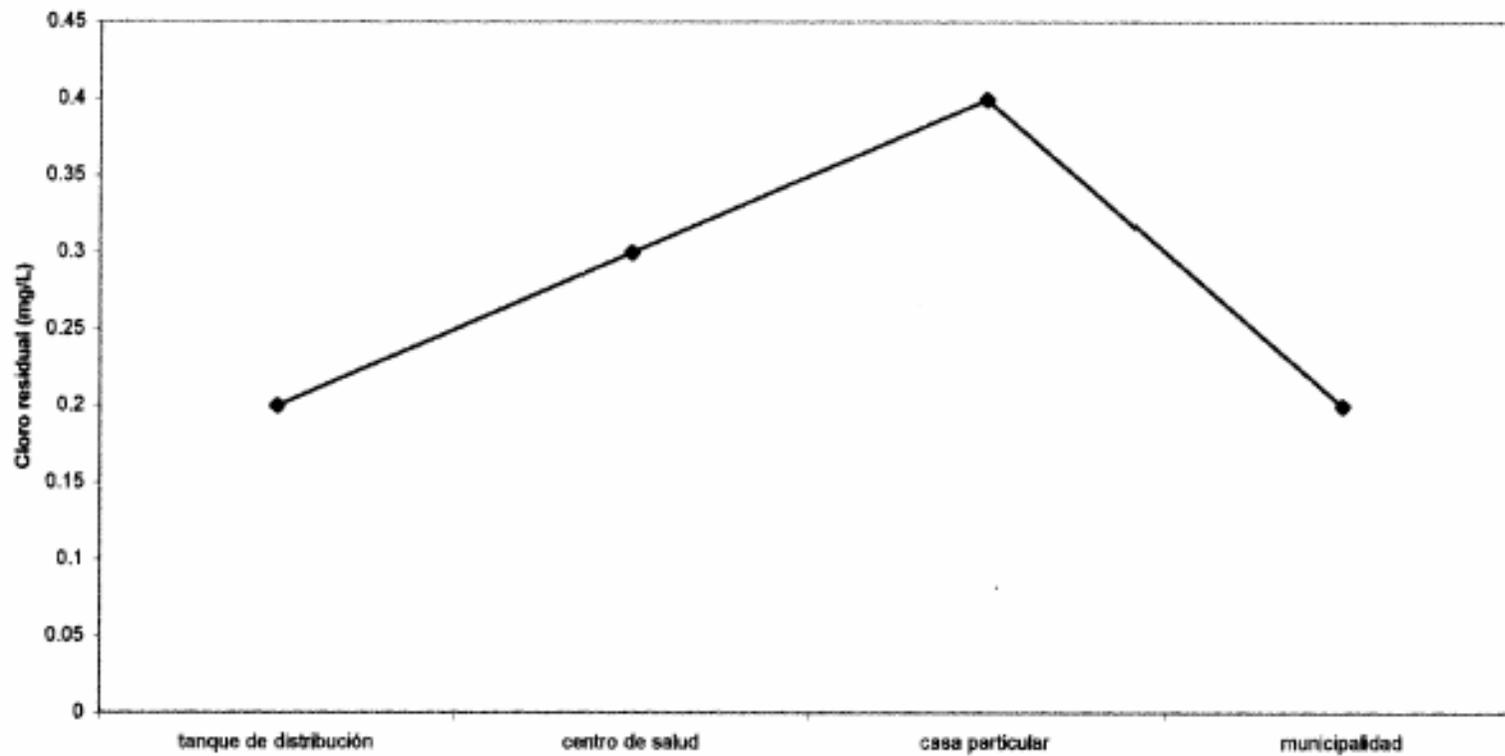


Figura 30. Comportamiento del índice de saturación de Langelier en función del tiempo en los cuatro puntos de muestreo.

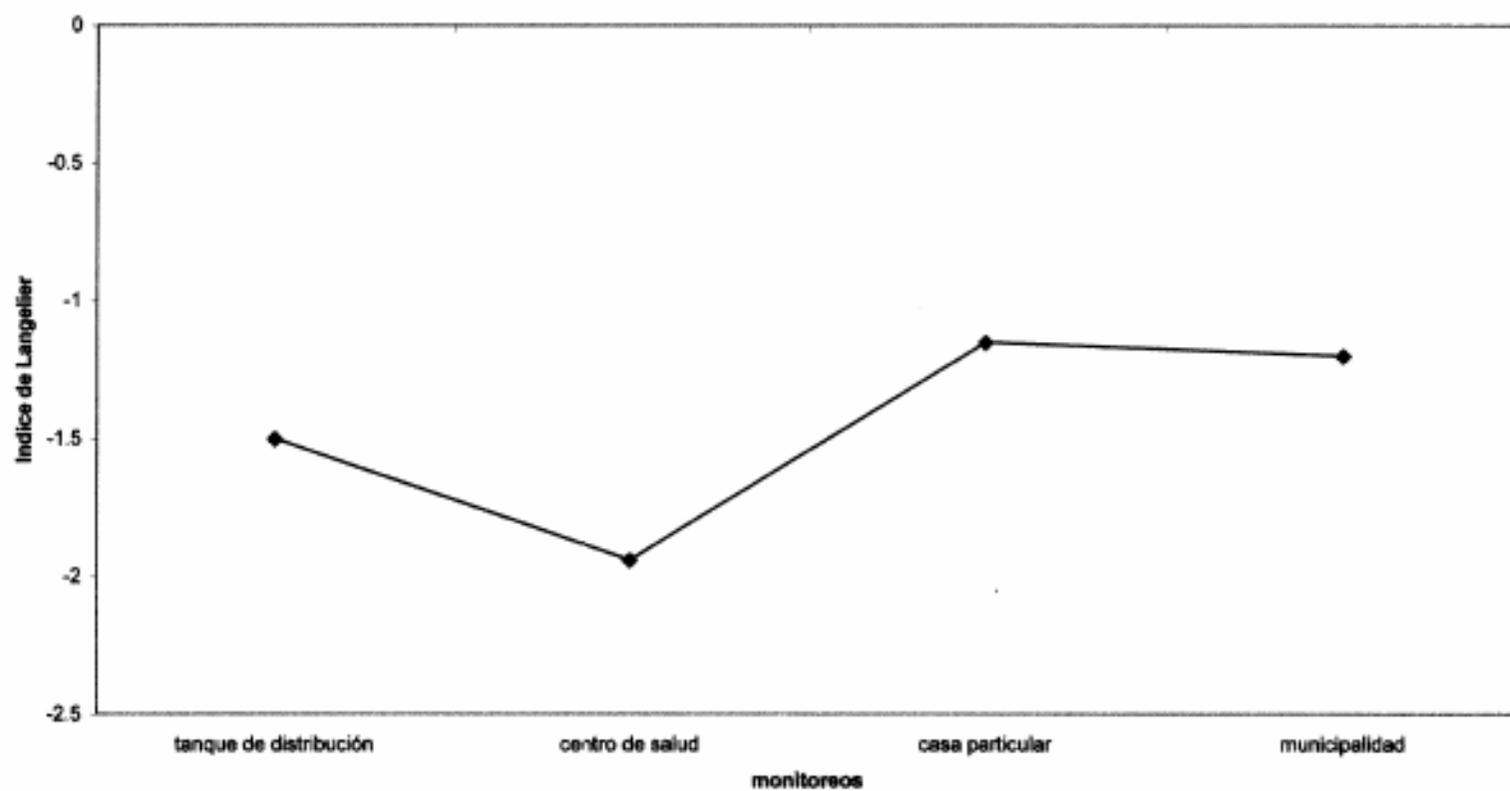


Figura 31. Comportamiento del cloro residual del tanque de distribución en los cinco monitoreos

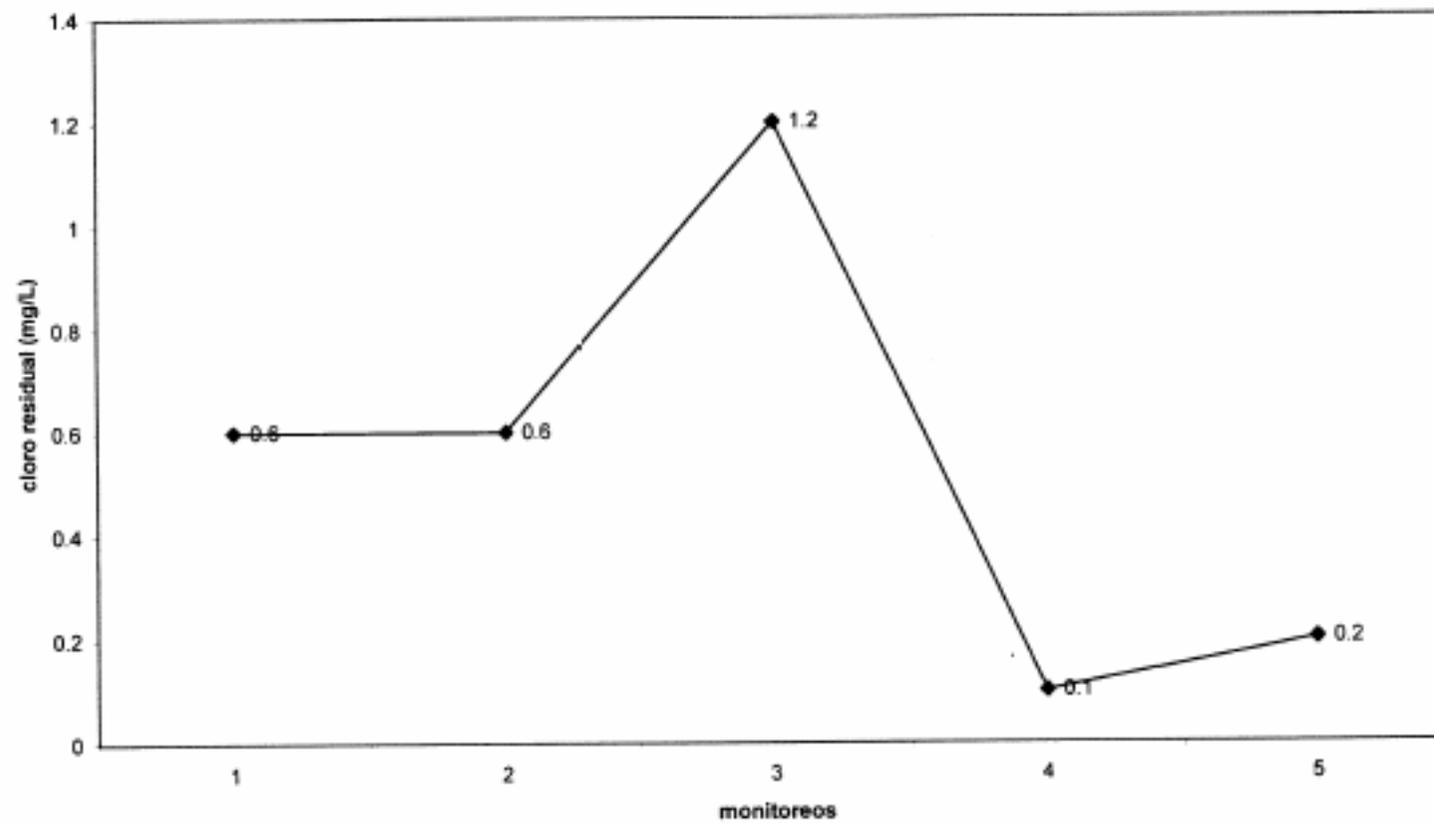


Figura 32. Comportamiento del cloro residual del Centro de Salud de los cinco monitoreos

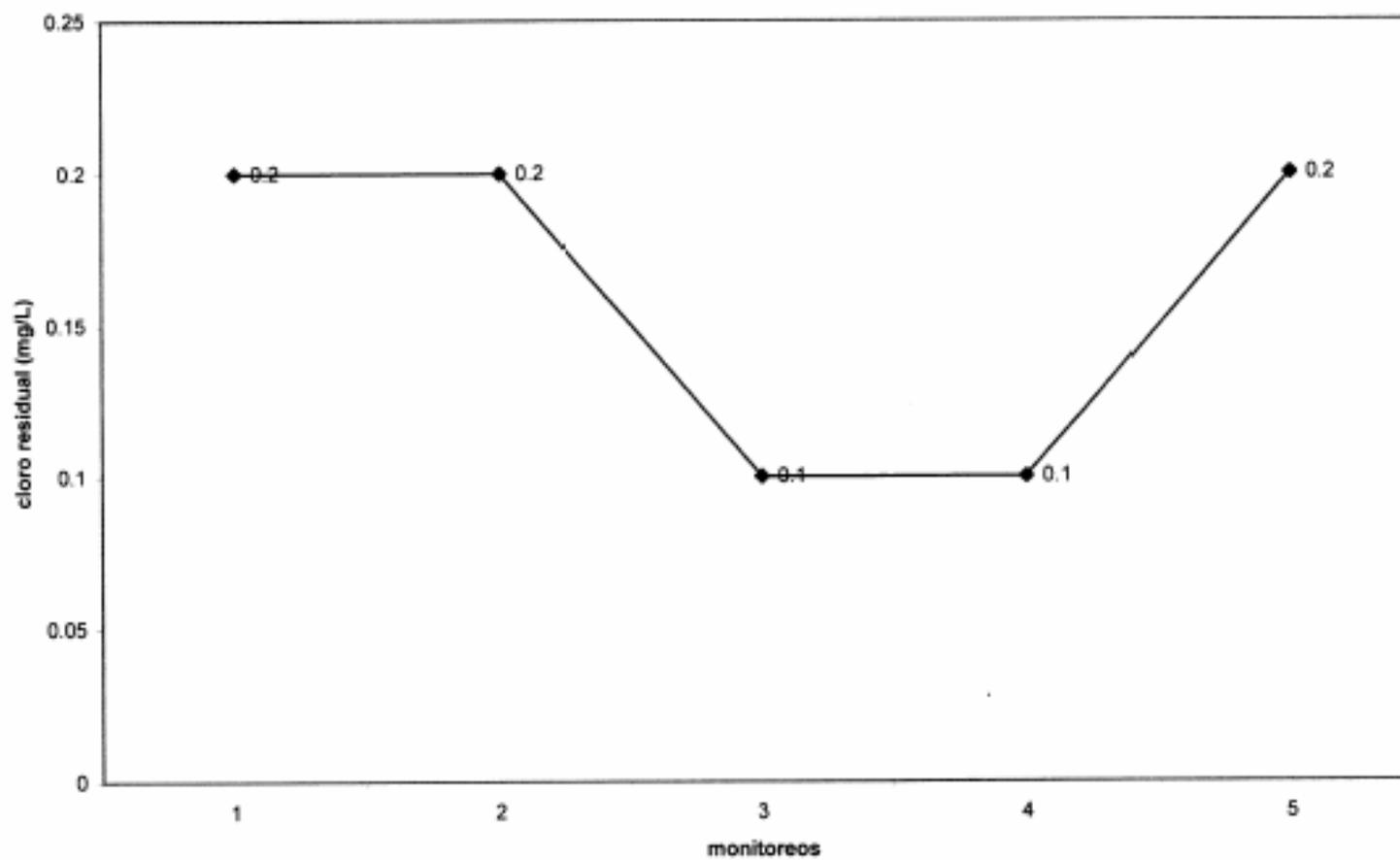


Figura 33. Comportamiento del cloro residual de una casa particular en los cinco monitoreos

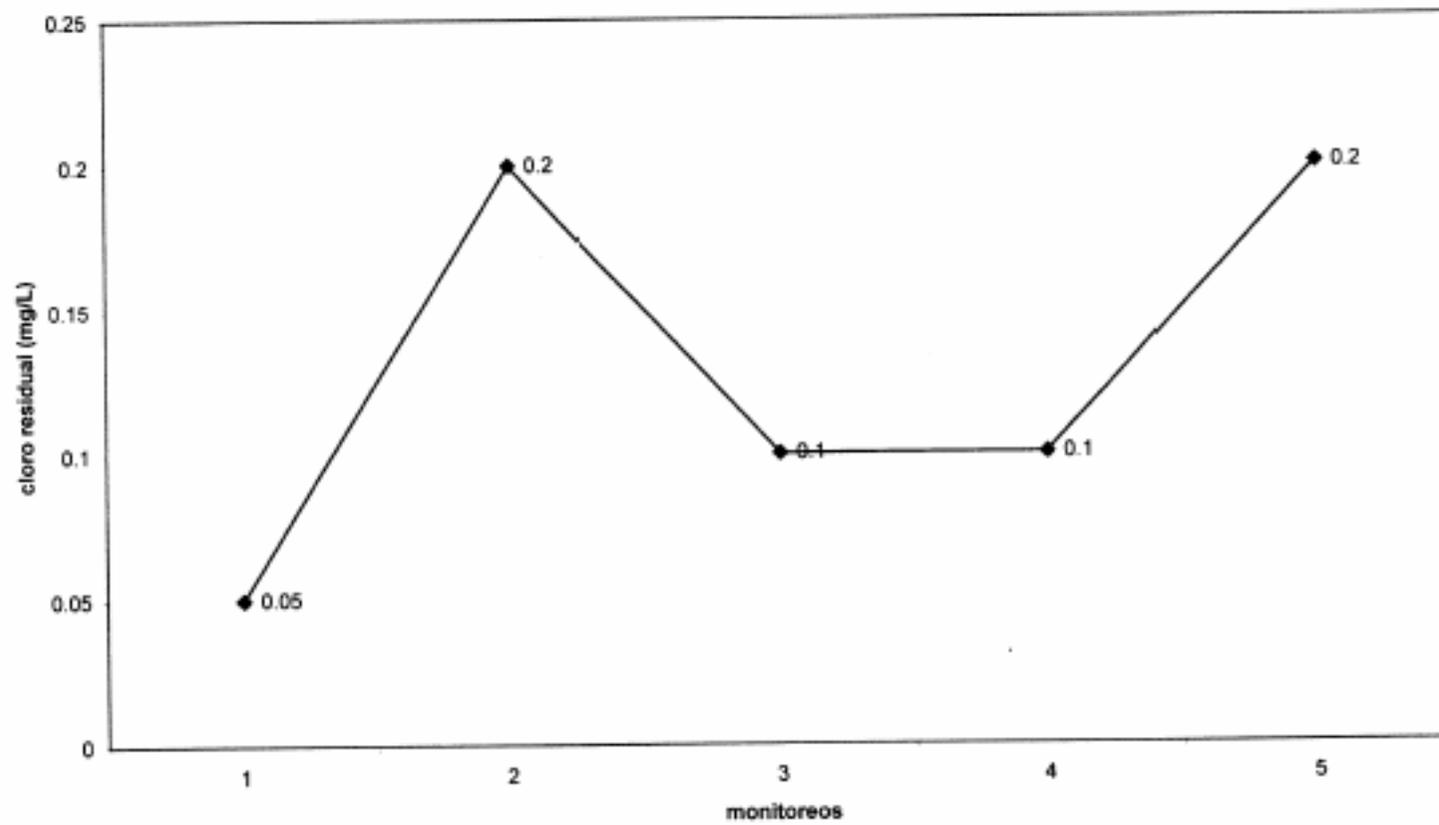
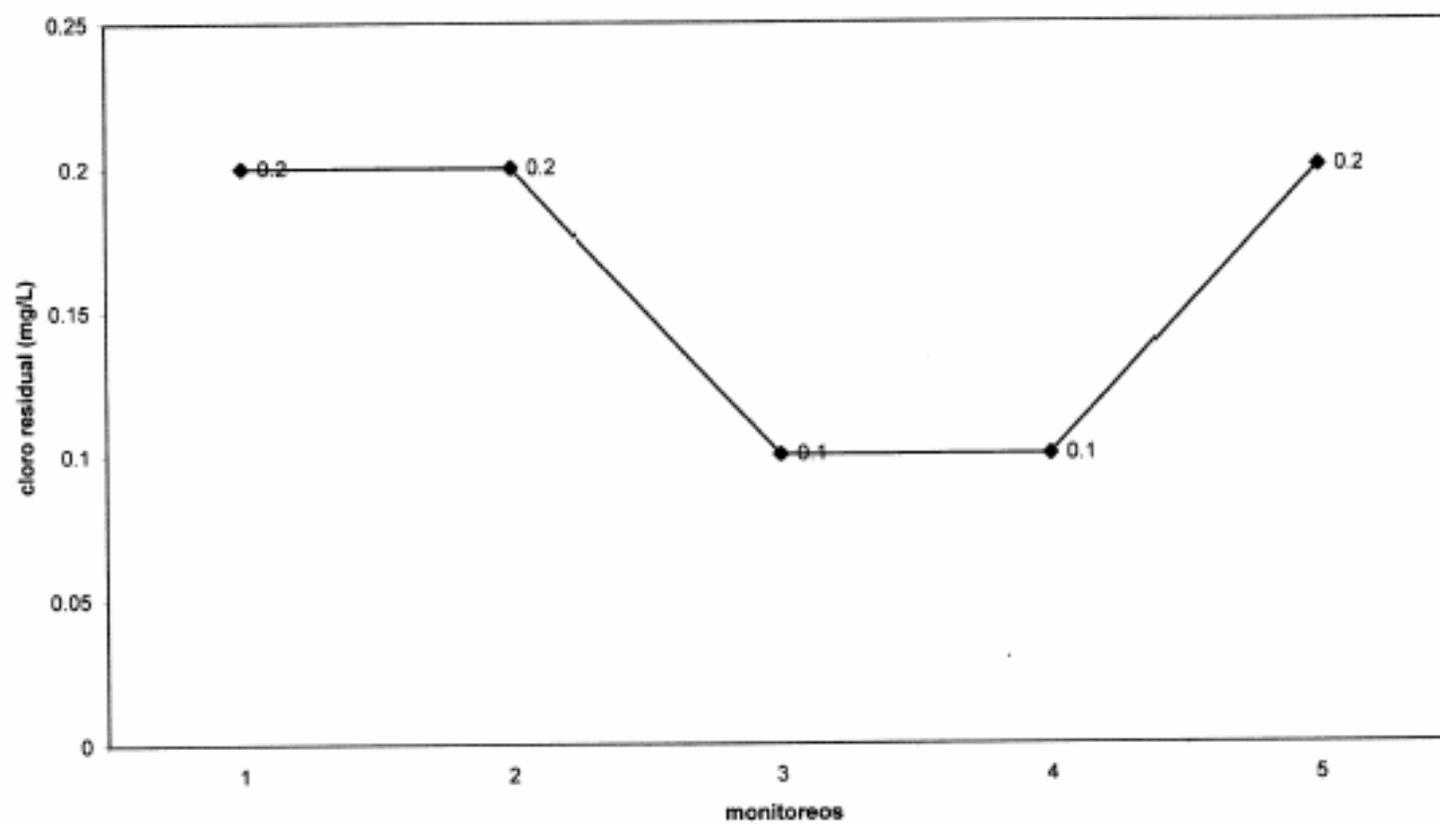


Figura 34. Comportamiento del cloro residual de la municipalidad en los cinco monitoreos



APÉNDICE 2

NORMA COGUANOR NGO 29001 DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO 1ª. REVISIÓN AGUA POTABLE

Objeto

Esta norma tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

Normas COGUANOR A consultar

COGUANOR NGO 4010	Sistema internacional de unidades (SI)
COGUANOR NGO 29 011 h2	Aguas. Ensayos físicos. Determinación del color método de referencia.
COGUANOR NGO 29 011 h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de la turbiedad.
COGUANOR NGO 29 012 h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza.
COGUANOR NGO 29 012 h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro.
COGUANOR NGO 29 013 h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos.

COGUANOR NGO 29 013 h7	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro.
COGUANOR NGO 29 013 h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Fluoruro.
COGUANOR NGO 29 013 h18	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrato).
COGUANOR NGO 29 013 h19	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrito).
COGUANOR NGO 29013 h23	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencia I de hidrógeno (pH)

Definiciones

Agua Potable

Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.

Cloro

Es el elemento numero 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

Límite máximo aceptable (LMA)

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde e un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

Límite máximo permisible (LMP)

Es el valor de la concentración de cualquier característica de la calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

Características físicas

Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad.

Características químicas

Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad.

Características bacteriológicas

Son aquellas características relativas a presencia de bacterias, que determinan su calidad

Grupo coliforme total

Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35°C ±0.5°C en un periodo de 24 h-48 h, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.

Características y especificaciones físicas y químicas

Características físicas

Tabla XIV. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP)^P que debe tener el agua potable.

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u
Sólidos totales	500.0 mg/l	1000.0 mg/l
Temperatura	15.0 °C – 25.0 °C	34.0 °C
Potencial de hidrógeno (pH)	7.0 – 7.5 unidades	6.5 – 8.5 unidades
Turbiedad	5.0 UTN	15.0 UTN

Características químicas del agua potable

Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla siguiente.

Tabla XV. Sustancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP)

Características	LMA	LMP
Cloro (Cl ⁻)	100.0 mg/l	250.0 mg/l
Dureza total (CaCO ₃)	100.0 mg/l	500.0 mg/l
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	100.0 mg/l	250.0 mg/l
Fluoruro (F ⁻)	---	1.7 mg/l
Calcio (Ca)	75.0 mg/l	150.0 mg/l

Tabla XVI. Sustancias no deseadas Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP)

Características	LMA	LMP
Hierro total (Fe)	0.1 mg/l	1.0 mg/l
Nitrato (NO ₃)	---	10.0 mg/l
Nitrito (NO ₂)	---	1.0 mg/l

Características bacteriológicas

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes fecales en términos de porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes:

Método de los tubos múltiples de fermentación

Para nuevas introducciones de agua, en la evaluación de las plantas de tratamiento y evaluaciones anuales, se debe proceder como indica en las literales a) y b) siguientes:

- a) Prueba de los 15 tubos: se examinan 5 tubos con porciones de 10mL, 5 tubos con porciones de 1mL y 5 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.0 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.
- b) Prueba de los 9 tubos: se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1mL y 3 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 mL, lo cual se interpreta como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano. En el caso de análisis rutinarios y cuando se analizan cantidades grandes de muestras se podrá emplear el método de 9 tubos, pero en caso de discrepancia o inconformidad con los resultados obtenidos, deberá emplearse la prueba la prueba de los 15 tubos como método de referencia.

Límites

Método de los tubos múltiples de fermentación

Según se indique por las muestras que se examinen, la presencia de microorganismo del grupo coliforme, no debe de exceder los siguientes límites:

- a) Cuando se examine porciones de 10 mL, no más del 10% deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme.

- b) No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10 mL de una muestra normal cuando ocurran:
- En dos muestras consecutivas
 - En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras.
 - En más de 3% de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.

Tabla XVII. Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan 5 porciones de 10mL, 5 porciones de 1 mL y cinco porciones de 0.1 mL.

NUMERO DE TUBOS QUE DAN REACCION POSITIVA			
5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP
2.0	1.0	1.	9.0
2.0	2.0	0.0	9.0
2.0	3.0	0.0	12.0
3.0	0.0	0.0	8.0
3.0	0.0	1.0	11.0
3.0	1.0	0.0	11.0
3.0	1.0	1.0	14.0
3.0	2.0	0.0	14.0
3.0	2.0	1.1	17.0
4.0	0.0	0.0	13.0
4.0	0.0	1.0	17.0
4.0	1.0	0.0	17.0
4.0	1.0	1.0	21.0
4.0	1.0	2.0	26.0
4.0	2.0	0.0	22.0
4.0	2.0	1.0	26.0

5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP
4.0	3.0	1.0	33.0
4.0	4.0	0.0	34.0
5.0	0.0	0.0	23.0
5.0	0.0	0.0	30.0
5.0	0.0	1.0	40.0
5.0	0.0	1.0	30.0
5.0	0.0	2.0	40.0
5.0	1.0	0.0	60.0
5.0	1.0	1.0	50.0
5.0	1.0	2.0	60.0
5.0	2.0	0.0	50.0
5.0	2.0	1.0	70.0
5.0	2.0	2.0	90.0
5.0	3.0	0.0	80.0
5.0	3.0	1.0	110.0
5.0	3.0	2.0	140.0
5.0	3.0	3.0	170.0
5.0	4.0	0.0	130.0
5.0	4.0	1.0	170.0
5.0	4.0	2.0	220.0
5.0	4.0	3.0	280.0
5.0	4.0	4.0	350.0
5.0	5.0	0.0	240.0
5.0	5.0	1.0	300.0
5.0	5.0	2.0	500.0
5.0	5.0	3.0	900.0
5.0	5.0	4.0	1600.0
5.0	5.0	5.0	>1600.0

APÉNDICE 3

NORMA CATIE PARA ALGUNAS INDUSTRIAS

Tabla XVIII. Parámetros físico-químicos del agua para ciertas industrias, según la norma CATIE.

Industria	PH (unidades)	Sólidos totales (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Otros
Alimentos en general	6.5 – 8.5	500.0	250.0	250.0	
Bebidas Carbonatadas	---	850.0	85.0	250.0	
Destilerías y Cervecerías	6.5 – 7.0	500.0	75.0	---	
Jabón y detergentes	6.5 – 8.5	270.0 – 300.0	50.0 – 100.0	130.0 – 150.0	
Cemento	6.0 – 10.0	200.0 – 300.0	---	50.0 – 150.0	No corrosiva
Papel	6.0 – 10.0	200.0 – 300.0	---	50.0 – 150.0	
Tenerías	6.0 – 8.0	---	135.0	50.0 – 150.0	
Textiles	6.0 – 8.0	100.0 – 200.0	---	25.0	No corrosiva
Calderas	8.0 – 9.6	200.0 – 25.0	---	280.0	No incrustante

APÉNDICE 4

ÍNDICE DE LANGELIER Y DUREZA DEL AGUA

Tabla XIX. Clasificación del agua en base al índice de saturación de Langelier

Índice de saturación	Calidad del agua
-0.96 en adelante	Corrosiva
-0.95 a - 0.51	Moderadamente corrosiva
-0.50 a 0.02	Ligeramente corrosiva
-0.02 + 0.02*	Corrosión e incrustación mínimas
+0.02 a +0.50	Ligeramente incrustante
+0.51 a + 0.95	Moderadamente incrustante
+ 0.96 en adelante	Incrustante

Fuentes Kemmer, Frank & John McCallion. Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Pág. 13-7.

*Fe de errata (deberá de ser -0.02 a +0.02)

Tabla X Clasificación del agua según, su dureza

Dureza como mg/l CaCO ₃	Clasificación del agua
0.0 - 50.0	Suave
50.0 - 150.0	Moderadamente dura
150.0 - 300.0	Dura
300.0 y más	Muy dura

Fuente Juan Fernando Carbonell: Evaluación de la calidad de agua del río El Zapote y sus posibles usos Pág. 87.

APÉNDICE 5

- Figura 35. Vista de la Planta de tratamiento La Carbonera
- Figura 36. Filtros de agua de la planta de tratamiento La Carbonera
- Figura 37. Ubicación del municipio de Sanarate departamento de El Progreso.
- Figura 38. Fragmento del plano gráfico escala 1:50,000 del municipio de Sanarate y sus alrededores.
- Figura 39. Ubicación de los cuatro puntos de muestreo 1. Tanque de distribución. 2 Centro de Salud. 3. Casa particular. 4. Municipalidad.

Figura 35. Vista de la Planta de Tratamiento “La Carbonera”



Figura 36. Filtros de agua de La Planta de Tratamiento "La Carbonera"



GUATEMALA 1:50,000

NAD 83 / WGS 84



