



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de ingeniería
Escuela de ingeniería química

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA
CONSUMO HUMANO Y USO INDUSTRIAL, OBTENIDA DE
POZOS MECÁNICOS EN LA ZONA 11, MIXCO, GUATEMALA**

Byron Marel Gramajo Cifuentes

Asesorado por M.Sc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y
USO INDUSTRIAL, OBTENIDA DE POZOS MECÁNICOS EN LA ZONA 11,
MIXCO, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BYRON MAREL GRAMAJO CIFUENTES

ASESORADO POR M. Sc. Ing. ZENÓN MUCH SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
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
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
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, OBTENIDA DE POZOS MECÁNICOS EN LA ZONA 11, MIXCO, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 16 de marzo de 2004.

Byron Marel Gramajo Cifuentes

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor M. Sc. Ing. Zenón Much Santos por todo el apoyo brindado en la realización de este trabajo de graduación y por sus valiosas sugerencias.

A mis padrinos de graduación: Ing. Otto Raúl de León de Paz y Dra. Amparo Gramajo Cifuentes de Domínguez por haberme incentivado a esforzarme más y por todo su apoyo durante mi carrera profesional.

A M. Sc. Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, y por las sugerencias y correcciones en el planteamiento de la investigación y el desarrollo de la misma y en la presentación de los resultados.

A todo el personal del Laboratorio de Aguas por su colaboración y apoyo en la realización de la parte experimental, en especial a Moisés Dubón, Víctor Menard y David Mijangos.

A todo el personal de AIVPEM, en especial a Alberto Yos López por permitirme realizar este estudio en la asociación y por el apoyo brindado en el desarrollo del mismo.

A todo el personal de la Asociación de Desarrollo Comunitario Aldea de Lo de Fuentes ONG, en especial a José de la Cruz Arias por su ayuda en la realización de este trabajo.

A todo el personal de la Cooperativa Integral de Vivienda de los Trabajadores Municipales Primero de Mayo R. L. en especial a Carlos Augusto Salguero Ortiz por su decidida colaboración en la realización de este estudio en el pozo de esta cooperativa.

DEDICATORIA

- A Dios** Por haberme permitido vivir todo este tiempo e iluminar mi mente para alcanzar este anhelado triunfo.
- A mi madre** María Engracia Cifuentes. Por todo el amor que me ha brindado, lo que me ha dado fuerzas para continuar en la lucha. Madre, recibe este triunfo como muestra de mi agradecimiento.
- A mi padre** Rómulo Gramajo. Por el apoyo que me ha dado y por el esfuerzo que ha hecho por darme todo lo necesario. He aquí el fruto de ese esfuerzo.
- A mis hermanas** Lanchi, Aury, Amparito, Mimi y Normy por su valiosa ayuda en los momentos que más la necesité. Especialmente a Amparito que con su guía me ayudó a obtener la victoria de una manera más rápida
- A mi hermano** Elder Salomón. Por ese gran apoyo en todo momento. ¡Hermano, este triunfo es de ambos!
- A mis sobrinos** Por todo el cariño y amistad que me han brindado, espero que esto los incentive a llegar aun más alto.
- A mis primos** Por la gran amistad y el gran cariño que nos une.
- A mis cuñados** Lucas, César, Fredy y Maco por su amistad y apoyo
- A mis tíos y familia en general** Por su valiosa ayuda y cariño en todo momento.
- A mis amigos en general** Por brindarme esa gran amistad en todas las circunstancias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VII
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Calidad del agua.....	3
2.2 Características físicas.....	3
2.3 Características químicas.....	3
2.3.1 Dureza del agua.....	3
2.4 Características microbiológicas.....	4
2.4.1 Pruebas bacteriológicas de contaminación.....	5
2.5 Cloración.....	7
2.5.1 Equipo actual de cloración para pozos mecánicos.....	9
2.5.2 Bomba dosificadora de diafragma.....	9
3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN PARA UN POZO MECÁNICO	11
3.1 Introducción.....	11
3.2 Diseño.....	11

4. UNIVERSO DE TRABAJO	15
4.1 Área objeto de estudio.....	15
4.2 Puntos de muestreo de agua.....	15
4.3 Tratamiento de cloración utilizado en los diferentes pozos.....	18
4.4 Recolección, transporte y almacenamiento de las muestras de agua.....	19
4.4.1 Muestras para análisis fisicoquímico.....	19
4.4.2 Muestras para examen bacteriológico.....	20
5. RESULTADOS	21
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
6.1 Determinación de la calidad del agua para consumo humano.....	23
6.1.1 Análisis físico.....	23
6.1.2 Análisis químico.....	23
6.1.3 Análisis bacteriológico.....	26
6.2 Determinación de la calidad del agua para uso industrial.....	26
6.2.1 Dureza e índice de Langelier.....	26
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31
APÉNDICE	33
ANEXO	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sistema de cloración sugerido.....	12
2	Curva de demanda de cloro.....	14
3	Mapa del área objeto de estudio.....	16
4	Mapa de los puntos de muestreo de agua.....	17
5	Diagrama del sistema de cloración del pozo 1.....	18
6	Diagrama del sistema de cloración del pozo 2.....	18
7	Diagrama del sistema de cloración del pozo 3.....	19
8	Diagrama del sistema de cloración del pozo 4.....	19
9	Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 1).....	37
10	Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 2).....	37
11	Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 3).....	38
12	Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 4).....	38
13	Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 1).....	39
14	Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 2).....	39
15	Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 3).....	40
16	Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 4).....	40
17	Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo1).....	41
18	Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo2).....	41
19	Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 3).....	42
20	Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 4).....	42
21	Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 1).....	43
22	Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 2).....	43
23	Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 3).....	44

24	Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 4).....	44
25	Fotografía del pozo 1.....	45
26	Fotografía del pozo 4.....	45
27	Fotografía del pozo 2 (vista frontal).....	46
28	Fotografía del pozo 2 (vista posterior).....	46
29	Fotografía de la bomba dosificadora de diafragma (vista lateral).....	47
30	Fotografía de la bomba dosificadora de diafragma (vista frontal).....	47

TABLAS

I	Estabilidad de las soluciones de hipoclorito de sodio.....	10
II	Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.....	22
III	Comparación de resultados con la norma propuesta CATIE.....	27
IV	Parámetros químicos del agua de los cuatro pozos.....	33
V	Parámetros físicos del agua de los cuatro pozos.....	35
VI	Análisis bacteriológico de los cuatro pozos.....	36
VII	Valores promedio de los flujos de los cuatro pozos.....	36
VIII	Características generales de los cuatro pozos.....	36
IX	Norma COGUANOR NGO 29001.....	48
X	Norma propuesta CATIE.....	49
XI	Clasificación descriptiva del índice de Langelier.....	50
XII	Clasificación descriptiva de la dureza.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cc	Centímetros cúbicos o mililitros
pH	Potencial de hidrógeno
pHs	Potencial de hidrógeno de saturación
mg/l	Miligramos por litro
μS/cm	Micro Siemens por centímetro

GLOSARIO

Coliformes	Grupo de bacterias que comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa.
Dureza del agua	Como aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente.
Índice de Langelier	Parámetro utilizado para evaluar la corrosividad del agua.
NMP/100cc	Es el número más probable de microorganismos coliformes que se pueden encontrar estadísticamente en una muestra de agua de 100 cc.
pH	Logaritmo negativo de base 10 de la concentración acuosa de iones hidrógeno: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Conociendo este parámetro se puede decir si una sustancia es ácida o alcalina.
CATIE	Siglas de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de cuatro pozos mecánicos ubicados en la zona 11 de Mixco, específicamente en las colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo. Para ello se determinaron las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua de cada uno de los pozos, posteriormente estos valores se compararon con la norma para agua potable NGO 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, y también se compararon con los requerimientos de calidad del agua para uso industrial contenidos en la norma propuesta CATIE.

Para el análisis bacteriológico se usó el método de tubos múltiples de fermentación. Todos los parámetros evaluados se encontraron dentro de los límites aceptados en la norma para agua potable, por lo que se concluyó que el agua de estos cuatro pozos es adecuada para consumo humano.

En cuanto a la calidad del agua para uso industrial, se encontró que es adecuada para uso en la industria de alimentos en general, no así para las industrias de bebidas carbonatadas, destilerías y cervecerías, y calderas por no cumplir con los requerimientos para estas industrias.

En promedio, el agua de estos pozos se clasifica como dura y ligeramente corrosiva.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad del agua para consumo humano y uso industrial que se obtiene de 4 pozos en las colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo de la zona 11 de Mixco, Guatemala.

Específicos

1. Determinar la dureza e índice de Langelier en el agua de cada uno de los pozos en estudio.
2. Determinar si la cloración del agua en cada uno de los pozos es la adecuada.
3. Determinar si el agua de estos pozos está libre de contaminación bacteriológica.

HIPÓTESIS

El agua obtenida de pozos mecánicos en la zona 11 de Mixco, no cumple con los requisitos de potabilidad establecidos en la Norma NGO 29001 de COGUANOR y no es apta para uso industrial por tener mucha dureza.

INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto muy importante en la vida diaria, se necesita para la subsistencia de todos los seres vivos, para la mayoría de procesos industriales es el fluido de trabajo. Por ser el solvente universal es común encontrar en aguas superficiales y subterráneas un gran número de compuestos que en determinadas concentraciones pueden ser nocivos para la salud de los consumidores, además, puede contener microorganismos indeseables.

En los últimos años, el crecimiento demográfico y los procesos industriales han creado una fuerte demanda de agua de buena calidad, lamentablemente muchas fuentes de aguas superficiales se han contaminado y en la actualidad es necesario explotar las aguas subterráneas. En la zona 11 de Mixco, Colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo, el servicio de agua potable no ha llegado por parte de la Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, por lo que se han formado cooperativas que poseen pozos mecánicos y proveen de agua a los habitantes en estos sectores, pero no se cuenta con información acerca de la calidad de esta agua para consumo humano, ni para uso industrial.

El conocimiento de la calidad del agua es de vital importancia para todas las personas que la utilizan tanto en sus hogares como en la industria, ya que puede ocasionar severos daños a la salud de los consumidores o a los equipos industriales. En este trabajo se evalúan los principales factores que determinan la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, quedando como base para estudios más avanzados.

Para el análisis bacteriológico se usa el método de tubos múltiples de fermentación, para el análisis fisicoquímico se usa titrimetría, gravimetría, espectrometría de absorción, etc. Los valores obtenidos se comparan con la norma COGUANOR NGO 29001 para agua potable y con la norma propuesta CATIE para uso industrial del agua.

1. ANTECEDENTES

Al consultar la bibliografía relacionada al tema de la calidad del agua, se encuentran varios estudios realizados en varios sectores de la Ciudad Capital y algunos del interior del país, en los cuales se determina la calidad del agua que distribuye la Municipalidad a través de EMPAGUA. Sin embargo, no se cuenta con un estudio de la calidad del agua que se obtiene mediante pozos mecánicos en la zona 11 de Mixco, en donde la Municipalidad ha sido incapaz de prestar el servicio público de agua y hay muy poco o ningún control de la calidad del agua que se consume en este lugar. A continuación se mencionan algunos de los estudios realizados.

- En 1996 Héctor René Martín Gudiel Paniagua realizó el estudio titulado “Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de las fuentes de agua que abastecen el Municipio de Santa Catarina Pinula”. El estudio concluyó que el agua no es apta para consumo humano ni para uso industrial, recomendando que debe diseñarse un plan municipal de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de captación y distribución de agua potable que incluya procesos de tratamiento.
- En 1996 Victor Ernesto Cerdón Orellana realizó el estudio de tesis titulado “Determinación de la dureza total y el índice de Langelier del agua para uso industrial de los pozos de la empresa municipal de agua ubicados en la Ciudad de Guatemala”. El objetivo fue proporcionar información para la mejor ubicación de las plantas industriales en donde la calidad del agua sea factor importante. Se concluyó que el agua de los pozos de EMPAGUA en la ciudad de Guatemala es en promedio moderadamente dura y moderadamente corrosiva, se recomendó ablandar el agua dura con una unidad de ablandamiento con cal y zeolitas.

- En 1999 Jorge Luis Almengor realizó el estudio de tesis titulado “Calidad del agua para consumo humano que suministra la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA): determinaciones, análisis e índices de calidad”. En este estudio se concluye que el agua se encuentra dentro de los límites requeridos por la norma para agua potable de COGUANOR.
- En el año 2000 Aura Leticia López López realizó el trabajo de tesis titulado “Determinación de la calidad del agua de los tanques de distribución para uso industrial que suministra la empresa municipal de agua en la ciudad de Guatemala”. En este estudio se concluyó que el agua analizada es adecuada para uso industrial, a excepción de destilerías, cervecerías, cemento, textiles y calderas; recomendando un tratamiento en un intercambiador iónico con zeolitas de sodio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Calidad del agua

La calidad del agua se define de acuerdo al uso que vaya a dársele, este estudio se enfoca en la calidad del agua para consumo humano según la norma NGO 29001 de COGUANOR y la calidad del agua para uso industrial según la norma CATIE.

2.2 Características físicas

Son características sensoriales (detectadas por los sentidos) que pueden influir en la aceptación o el rechazo del agua por el consumidor; las siglas LMA (Límite Máximo Aceptable) se refieren a valores de características no detectadas por el consumidor, o si las detecta son consideradas despreciables; las siglas LMP (Límite Máximo Permisible) se refieren a valores máximos de características arriba de las cuales el agua es considerada como no potable (COGUANOR NGO 29001).

2.3 Características químicas

2.3.1 Dureza del agua

El agua que contiene una concentración relativamente alta de Ca^{++} , Mg^{++} y otros cationes divalentes se conoce como agua dura. Aunque la presencia de estos iones no constituye en general una amenaza para la salud, puede hacer que el agua sea inadecuada para ciertos usos domésticos e industriales. Por ejemplo, estos iones reaccionan con los jabones para formar una nata de jabón insoluble, que es lo que forma los anillos de las tinajas de baño. (Brown, 1998.683).

Además, se pueden formar depósitos minerales cuando se calienta el agua que contiene estos iones. Cuando se calienta agua que contiene iones calcio y iones bicarbonato, se desprende dióxido de carbono. En consecuencia, la solución se hace menos ácida y se forma carbonato de calcio, que es insoluble:



El CaCO_3 sólido recubre la superficie de los sistemas de agua caliente, lo cual reduce la eficiencia de calentamiento. Estos depósitos, llamados incrustaciones, pueden ser especialmente graves en las calderas donde el agua se calienta a presión en tubos que corren a través de un horno. La formación de incrustaciones reduce la eficiencia de la transferencia de calor y reduce el flujo de agua a través de los tubos. (Brown, 1998.683).

La composición del agua subterránea está relacionada con la química de las formaciones geológicas a través de las cuales haya pasado la misma, el agua como solvente universal puede contener un gran número de compuestos químicos disueltos, para los cuales se han establecido valores máximos de aceptación, tanto para uso industrial del agua norma CATIE y la norma para agua potable establecida por la COGUANOR.

2.4 Características microbiológicas

Las bacterias son los organismos vivos más numerosos que existen, por lo mismo están presentes casi en todas partes, el agua subterránea no es la excepción, por este motivo es necesario realizar pruebas bacteriológicas para determinar el grado de contaminación que tiene la misma.

El agua puede contener pequeñas contaminaciones de aguas negras, las cuales no pueden ser detectadas mediante análisis físicos o químicos, en cambio, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de tal manera que puedan detectarlas.

2.4.1 Pruebas bacteriológicas de contaminación

Se presupone que el objetivo de los análisis microbiológicos del agua es para determinar la existencia de microorganismos patógenos en ella. Sin embargo, esto no es verdad, por las siguientes razones:

- a) Los organismos patógenos llegan al agua en forma esporádica y no sobreviven mucho tiempo; por lo tanto, pueden no estar en una muestra analizada.
- b) Si se encuentran en pequeñas cantidades pueden pasar desapercibidos a los procedimientos empleados.
- c) Se necesitan 24 horas o más para obtener resultados de los exámenes y si se encuentran microorganismos patógenos, muchas personas pueden haber tomado agua antes de que se conozcan los resultados y así haberse expuesto a la infección. (Pelczar, 1998.684).

Los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua, proceden de las descargas intestinales de hombres y animales. Además, ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia coli*, y varios microorganismos similares, denominados *coliformes*, estreptococos fecales (como *Streptococcus faecalis* y *Clostridium perfringens*), son habitantes normales del intestino grueso del hombre y animales y en consecuencia siempre están en las materias fecales. Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua es evidencia de contaminación fecal y el camino está abierto a los patógenos ya que se encuentran en las materias fecales. (Pelczar, 1998.684).

Puesto que los exámenes de laboratorio para encontrar microorganismos patógenos en el agua tienen las desventajas anteriormente mencionadas, se han desarrollado técnicas para detectarlos en las excretas, particularmente los del grupo coliforme. Este propósito ha probado ser satisfactorio en la práctica y tiene las siguientes ventajas:

- Los microorganismos coliformes, sobre todo *E. coli*, habitan constantemente en el intestino humano en grandes cantidades. Se estima que una persona, en promedio, excreta al día miles de millones de estos microorganismos. (Pelczar, 1998.684).
- Estos microorganismos viven más tiempo en el agua que los patógenos.
- Obviamente, una persona sana en general no elimina microorganismos patógenos, pero puede desarrollársele una infección intestinal y esos microorganismos aparecerán en las materias fecales. Así, la presencia de coliformes en el agua se toma como señal de alarma, pues ha sido contaminada peligrosamente. (Pelczar, 1998.684).

El grupo coliforme comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa. Las especies clásicas de este grupo son *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*. *E. Coli*, como ya ha sido señalado, es un habitante normal del intestino humano y de los animales. *Ent. Aerogenes* es más frecuente en granos y plantas pero también en las materias fecales. (Pelczar, 1998.684)

Como estas especies tienen gran semejanza en su aspecto morfológico y características de cultivo, es necesario recurrir a pruebas bioquímicas para diferenciarlas. Reacciones que tengan las siguientes cuatro características son muy importantes para lograr este propósito:

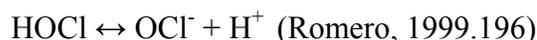
- Capacidad para producir indol. *E. Coli* lo produce, y *Ent. Aerogenes* no.
- Cantidad de ácido producida en un medio especial de caldo glucosado adicionado del indicador rojo de metilo. Los dos microorganismos producen ácido de la glucosa. Sin embargo, *E. Coli* produce un pH más bajo, lo que hace que vire al rojo de metilo, mientras que *Ent. Aerogenes* no cambia el color.
- Capacidad para producir acetilmetilcarbinol en un medio de peptona glucosado. Este compuesto químico se detecta por la reacción de Voges-Proskauer. *E. coli* no produce acetilmetilcarbinol mientras que *Ent. aerogenes* sí lo hace.
- Utilización de citrato de sodio. *Ent. aerogenes* es capaz de utilizar el citrato de sodio como su única fuente de carbono, esto es, se desarrollará en un medio de cultivo químicamente definido en el cual el citrato de sodio es el único compuesto de carbono. *E. coli* no se desarrollará en estas circunstancias. (Pelczar, 1998.684). Por conveniencia, a estas pruebas se les ha designado en forma colectiva reacciones IMViC (I=indol, M= rojo de metilo, Vi= reacción Voges-Proskauer y C= citrato). Con estas pruebas se puede detectar la contaminación del agua con materias fecales. (Pelczar, 1998.684).

1.5 Cloración

El cloro se ha usado como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo humano. Se puede usar como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio, NaOCl, y como sólido comúnmente hipoclorito de alto grado, HTH, o hipoclorito de calcio, Ca(OCl)₂. Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



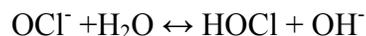
Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/l, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse en la ecuación anterior, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la acción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl. El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito:



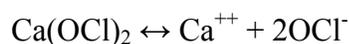
Como es evidente, la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ion hidrógeno, o sea del pH. A pH 6 o menor la disociación del HOCl se inhibe; el residual es predominantemente HOCl; a pH igual a 7.7 los residuales de HOCl y OCl⁻ son aproximadamente similares y a pH igual o mayor que 9.0 casi todo el residual es OCl⁻. (Romero,1999.196) Las especies HOCl y OCl⁻ en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual de cloro libre. Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene:



y,



En este caso se presentará un aumento de alcalinidad, dependiente de la magnitud con que el OCl⁻ reaccione con el agua. Finalmente, si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio, HTH, se tiene:



El efecto será entonces, un aumento tanto de la alcalinidad como de la dureza total del agua. Si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reaccionará con él para producir cloraminas, que es lo que se conoce como cloro combinado disponible o residual de cloro combinado. (Romero, 1999.197).

2.5.1 Equipo actual de cloración para pozos mecánicos

Actualmente se usa hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio dosificado mediante una bomba de diafragma, los puntos de aplicación de la solución varían de un pozo a otro, y la medición de cloro libre residual no se realiza rutinariamente. Debido a que un pozo mecánico es una instalación relativamente pequeña, se justifica el uso de hipoclorito de calcio o de sodio, los cuales son más caros que el cloro gaseoso pero son de fácil manejo. Para instalaciones grandes puede usarse cloro gaseoso, la inversión inicial es más cara y se necesita de personal especializado y un estricto control para un buen desempeño y seguridad, con la ventaja del menor costo del cloro gaseoso en relación con los hipocloritos.

En la actualidad, se dispone de varios tipos de bombas dosificadoras de cloro en el mercado, sin embargo, la más usada y que brinda resultados satisfactorios es la bomba dosificadora de diafragma (figuras 29 y 30).

2.5.2 Bomba dosificadora de diafragma

Existen dos tipos de bombas de diafragma: las de control manual y las de control automático; se prefiere el uso de las automáticas pues éstas responden a las variaciones en el caudal del agua que está siendo tratada, creando así una cloración regular.

El principio de operación de una bomba de diafragma se basa en un mecanismo electromagnético (solenoides), el cual está conectado a un diafragma. Cuando el solenoide es pulsado por el circuito de control, éste desplaza el diafragma, el cual, a través del uso de válvulas de cheque, mueve el fluido hacia fuera y descarga bajo presión. Cuando el solenoide se descarga, regresa el diafragma y succiona más solución y el ciclo se repite.

La velocidad de pulsación de la bomba se cambia al girar el perno de velocidad. La duración del pulso está controlada por el perno de duración de pulso. Al momento de instalar una bomba, debe ser calibrada según el requerimiento de cloro mediante las pruebas de cloro libre residual, después de esto se recomienda la medición diaria del cloro libre residual para hacer ajustes en caso necesario. El punto de inyección debe estar más alto que la superficie de la solución de cloro para evitar alimentación por gravedad. Una válvula antisifón evitará la alimentación por gravedad.

Si la tubería de descarga va a ser expuesta a la luz solar directa, se debe usar tubería negra, ya que la solución de hipoclorito de sodio se deteriora bajo los efectos de la luz solar. Se recomienda tener 2 cilindros de hipoclorito de sodio para no quedarse en ningún momento sin el mismo y así siempre proveer agua clorada a los consumidores. Debido a la inestabilidad de la solución de hipoclorito de sodio, el tiempo de almacenamiento debe tomarse muy en cuenta. La tabla I muestra la estabilidad de soluciones de hipoclorito de sodio a distintos porcentajes.

Tabla I. Estabilidad de las soluciones de NaOCl

Porcentaje de cloro	Cloro (g/l)	Vida media a 25°C (días)
3	30	1700
6	60	700
9	90	250
12	120	180
15	150	100
18	180	60

Fuente: Romero Rojas. **Calidad del agua**. Pag. 214.

3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN PARA UN POZO MECÁNICO

3.1 Introducción

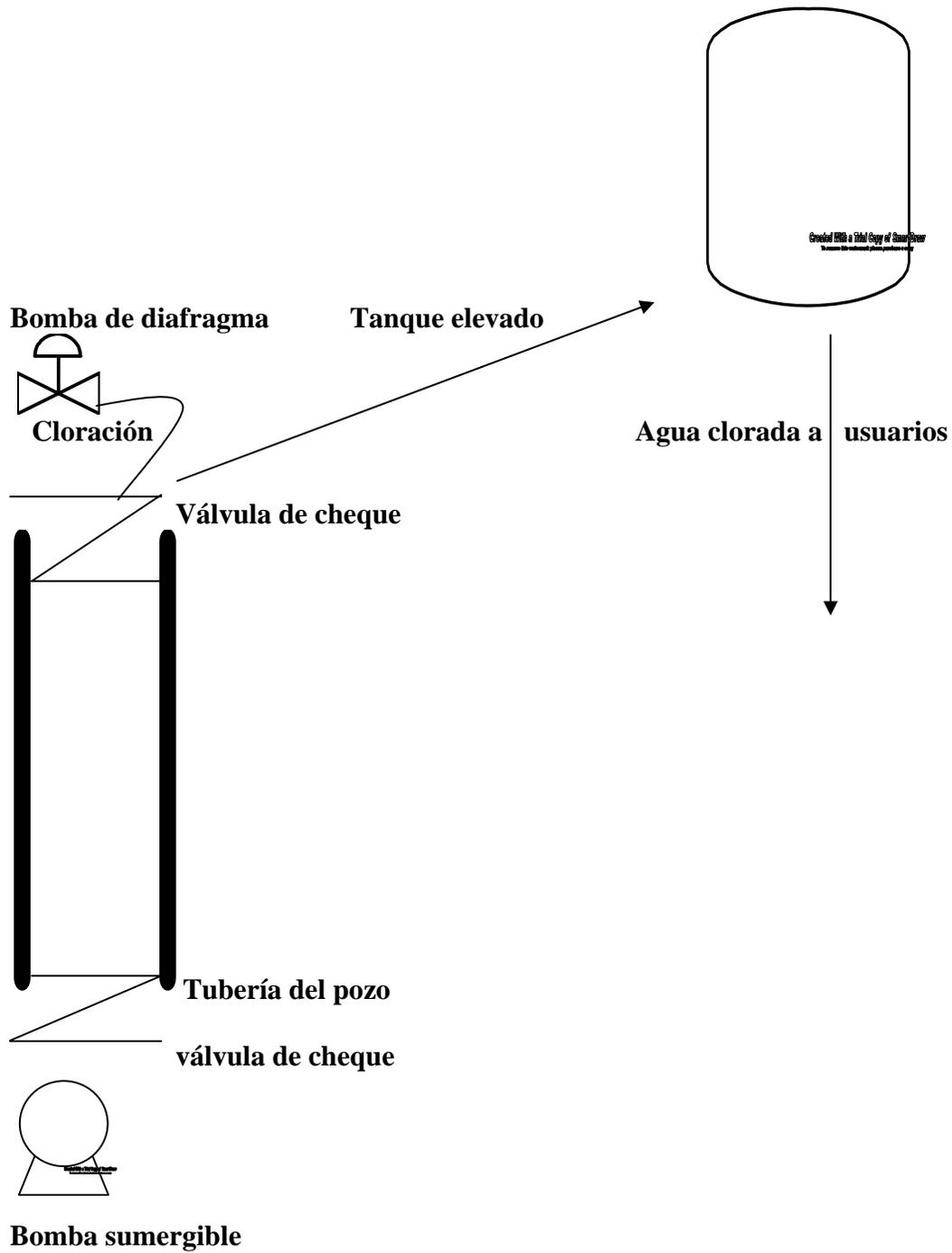
Existe una gran cantidad de diseños posibles para una instalación de cloración, aquí se desarrolla uno en particular, que es sencillo, efectivo y de costo relativamente bajo.

3.2 Diseño

La cloración se lleva a cabo mediante la aplicación de una solución de hipoclorito de calcio, dosificada con una bomba de diafragma automática (figuras 29 y 30), la solución se aplica a la tubería de descarga del pozo (figuras 25 a 28), y luego es conducida hacia un depósito elevado donde el cloro termina de mezclarse y reaccionar con el agua; finalmente el agua clorada se distribuye a los usuarios por medio de la gravedad. La figura 1 muestra el sistema de cloración sugerido.

El hipoclorito de calcio puede almacenarse por un tiempo de 3 a 5 meses, si se conserva en envases bien cerrados. La solución puede prepararse a la concentración deseada pero debe mezclarse muy bien. Debe contarse con dos recipientes de mezcla para que cuando uno se esté acabando se pueda preparar el otro sin tener que parar la cloración.

Figura 1. Sistema de cloración sugerido



Para la instalación de la bomba debe elegirse un área que permita conexiones convenientes a los depósitos de solución de cloro y al punto de inyección de la solución. Se recomienda construir un cuarto donde pueda almacenarse el cloro y colocarse el equipo de cloración.

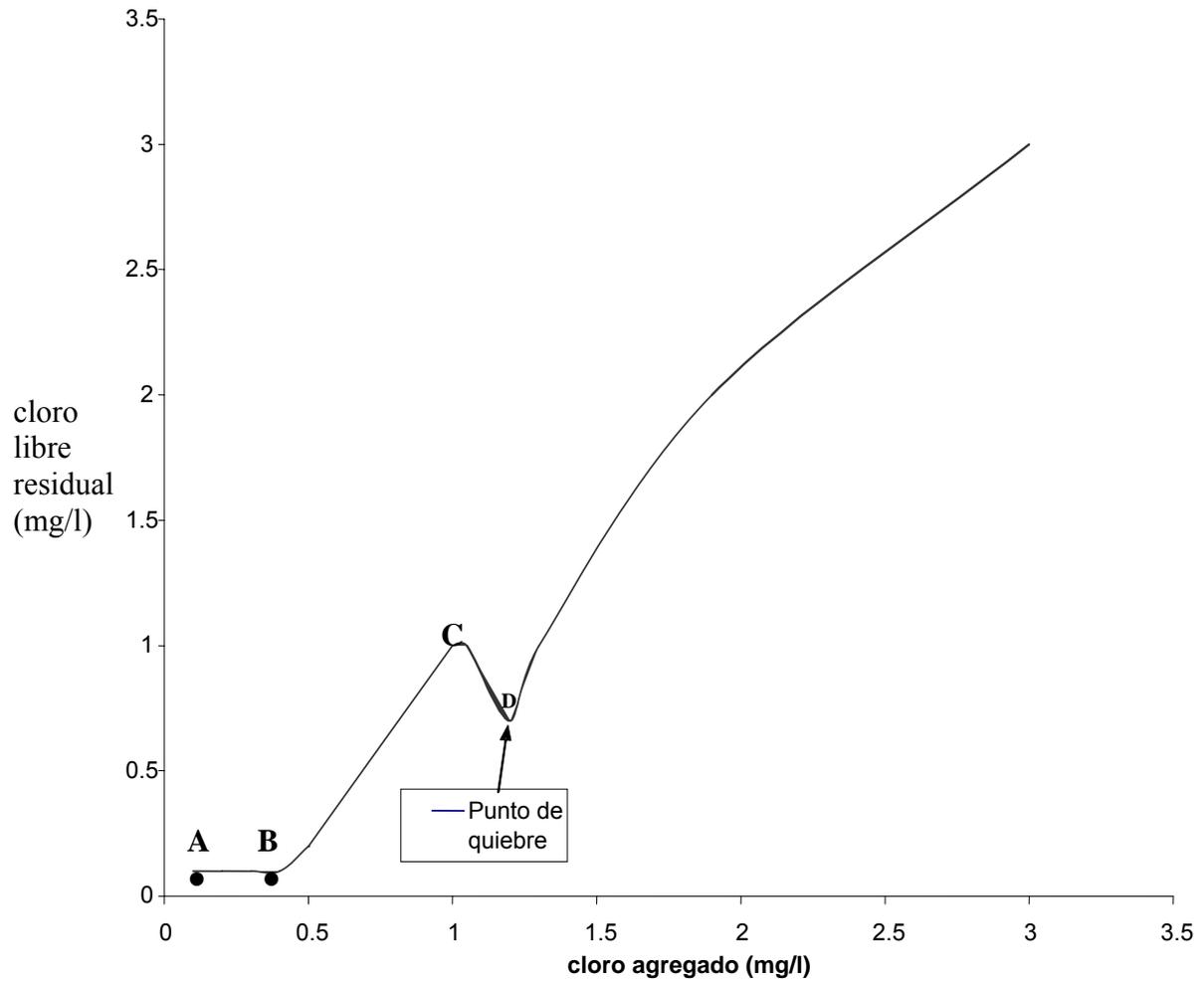
La medición de cloro libre residual en el agua que se distribuye a los usuarios debe realizarse de manera rutinaria, por lo que es necesario contar con el equipo para la medición del mismo, se recomienda la medición diaria de este parámetro.

La bomba dosificadora debe calibrarse previamente. Para comprobar la dosis se toma una muestra del agua clorada y se mide el cloro libre residual, se gradúa la bomba hasta obtener la dosis deseada. Para la determinación precisa de la dosificación se requiere efectuar el ensayo de demanda de cloro o curva del punto de quiebre (figura 2). Analizando la figura 2, en el segmento A-B el cloro reacciona inicialmente con los agentes reductores presentes (amoníaco y aminas orgánicas) y no forma un residual detectable. La dosis de cloro en el punto B representa la cantidad de cloro requerida para satisfacer la demanda ejercida por los agentes reductores del agua.

En el segmento B-C, el cloro reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas han reaccionado con el cloro, empieza a formarse un residual de cloro libre. A una cierta concentración crítica, punto C, la concentración de cloro libre es lo suficientemente alta como para oxidar las cloraminas.

Segmento C-D: oxidación de cloraminas. La destrucción de cloraminas reduce el cloro residual. Finalmente, al completarse la oxidación de compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. El punto D, en el cual la destrucción de los productos del amoníaco es completa, se conoce como punto de quiebre.

Figura 2. Curva de demanda de cloro



Fuente: José Pérez, Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Pag. 4

4. UNIVERSO DE TRABAJO

4.1 Área objeto de estudio

El área objeto de estudio en el trabajo se encuentra limitada entre la 8ª Av. entre 1ª y 10ª calle y la 20 Av. de la zona 11 de Mixco, abarcando las colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo. Ver figura 3. Aproximadamente se suministra agua a 5,000 personas con estos 4 pozos estudiados.

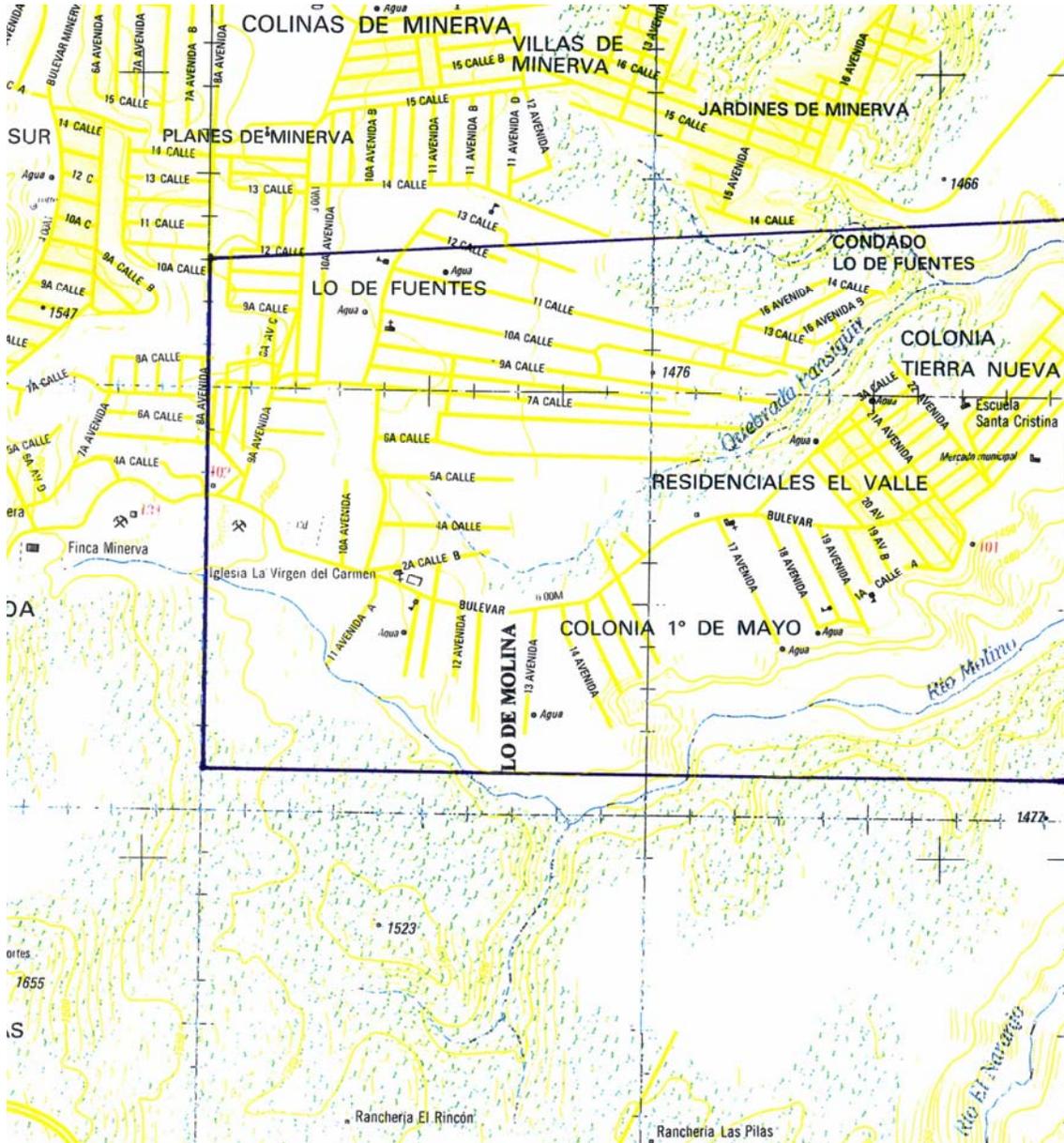
4.2 Puntos de muestreo de agua

Los puntos donde se recolectaron las muestras de agua son los siguientes

- Pozo 1: 14 Av. 1-78 zona 11 de Mixco. Asociación Integral de Vecinos por el Progreso Lo de Molina AIVPEM.
- Pozo 2: 10ª avenida. 3-40 zona 11 de Mixco. Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea Lo de Fuentes ONG.
- Pozo 3: Sexta calle 11-45 zona 11 de Mixco. Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea de Lo de Fuentes ONG.
- Pozo 4: Lote 203 manzana “A” colonia Primero de Mayo zona 11 de Mixco. Cooperativa Integral de Vivienda de los Trabajadores Municipales 1º de Mayo R.L.

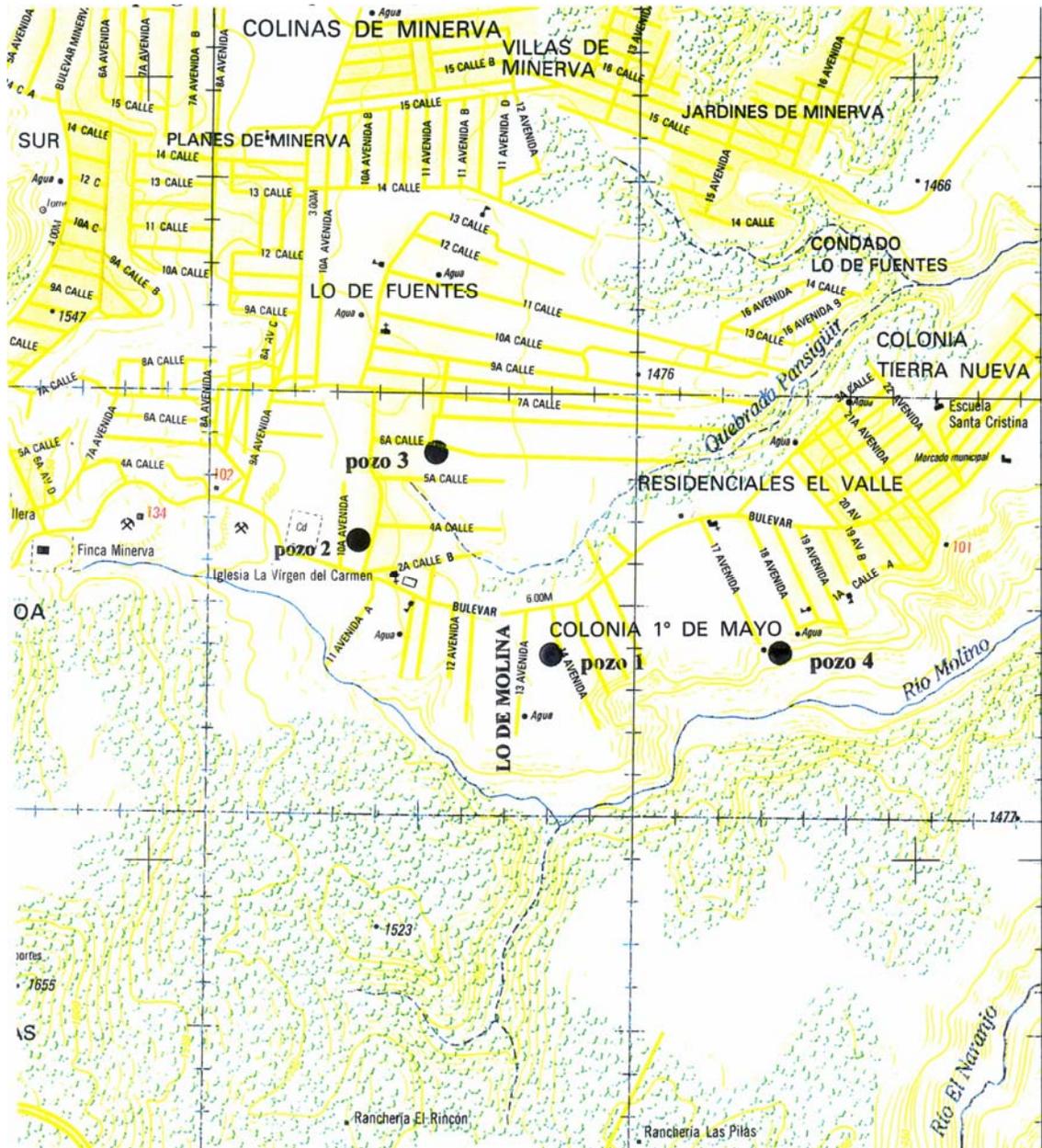
La ubicación de los 4 pozos se muestra en la figura 4.

Figura 3. Mapa del área objeto de estudio



Fuente: Instituto geográfico nacional

Figura 4. Mapa de los puntos de muestreo de agua

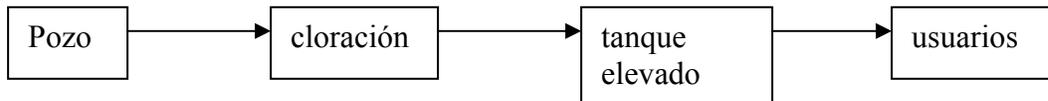


Fuente: Instituto geográfico nacional

4.3 Tratamiento de cloración utilizado en los diferentes pozos

En el pozo 1 que pertenece a la Asociación Integral de Vecinos por el Progreso Lo de Molina (AIVPEM) se utiliza una solución de hipoclorito de calcio que se dosifica mediante una bomba de diafragma. La solución es inyectada en la tubería de descarga que viene directamente de la bomba sumergible ubicada dentro del pozo, esta tubería conduce hacia un tanque aéreo en donde la solución de hipoclorito de calcio y el agua terminan de mezclarse. Posteriormente el agua ya tratada es distribuida a los usuarios valiéndose de la energía potencial ganada por la altura del tanque.

Figura 5. Diagrama del sistema de cloración del pozo 1



En los pozos 2 y 3 pertenecientes a la Asociación de desarrollo comunitario de la Aldea de Lo de Fuentes ONG se utiliza una solución de hipoclorito de sodio, dosificada por medio de bombas de diafragma, la solución es inyectada directamente a la tubería de distribución.

Figura 6. Diagrama del sistema de cloración del pozo 2

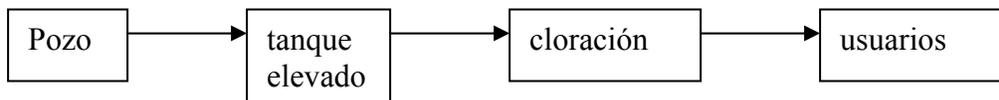
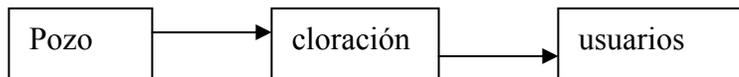
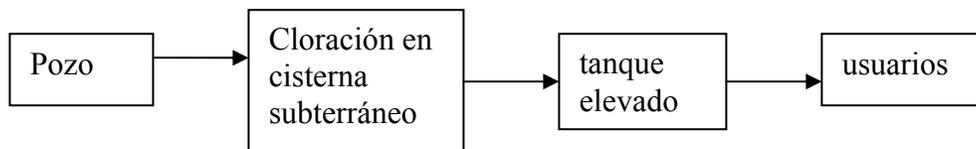


Figura 7. Diagrama del sistema de cloración del pozo 3



En el pozo 4, que pertenece a la Cooperativa Integral de Vivienda de los Trabajadores Municipales 1° de Mayo R.L. se utiliza una solución de hipoclorito de sodio dosificada mediante una bomba de diafragma, la solución se inyecta en un cisterna subterráneo donde se mezcla con el agua que viene del pozo, luego, el agua ya tratada se bombea hacia un depósito aéreo, desde donde finalmente es distribuida a los usuarios.

Figura 8. Diagrama del sistema de cloración del pozo 4



4.4 Recolección, transporte y conservación de las muestras de agua

4.4.1 Muestras para análisis físicoquímico

Para estas muestras se utilizan recipientes de polietileno de 3.78 litros de capacidad (1 galón), el procedimiento es lavar el recipiente 3 veces con agua del mismo pozo donde se va a tomar la muestra, luego se llena hasta su capacidad y se cierra bien con su tapa de rosca. Se le coloca una ficha de identificación al recipiente, en la cual se indica la fecha, hora, fuente, dirección, temperatura, condiciones de transporte, tipo de examen requerido, nombre de la persona que tomó la muestra, etc.

De preferencia las muestras deben conducirse al laboratorio de análisis de aguas en un tiempo menor de una hora, si esto no es posible deben transportarse a una temperatura de cero a 5 grados centígrados para un tiempo máximo de 24 horas. Algunos parámetros como temperatura, pH, cloro residual, etc. deben ser medidos directamente en la fuente ya que varían durante el transporte, debe evitarse el contacto de la muestra con el aire y evitar la exposición de la misma a la luz solar directa.

4.4.2 Muestras para examen bacteriológico

Para la recolección de estas muestras se utilizan frascos de vidrio de 125 ml de capacidad, los cuales han sido previamente esterilizados, poseen tapadera de vidrio esmerilado y además se recubren con una capucha de papel amarrado con un trozo de cáñamo, todo lo cual está esterilizado.

Debe tenerse mucho cuidado antes, durante y después de la toma de la muestra, ya que cualquier descuido puede resultar en contaminación de la misma y reflejar resultados falsos. Si la muestra se toma de un grifo, debe practicarse la técnica de flameo, la cual consiste en flamear el grifo durante un minuto con un mechero de alcohol o similar para evitar cualquier contaminación ajena al agua. Luego se llena el frasco dejando un pequeño volumen de aire para posteriormente homogenizar.

Las muestras para examen bacteriológico deben ser transportadas en un tiempo menor de una hora hasta el laboratorio, pudiendo transportarse a temperatura ambiente, para tiempos mayores a una hora, deben transportarse a una temperatura de cero a 5 grados centígrados para un máximo de 12 horas, para tiempos mayores, la muestra debe ser mantenida a una temperatura de -20 ° C.

5. RESULTADOS

La tabla II muestra los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos obtenidos al evaluar el agua de los cuatro pozos analizados, los que se identifican a continuación:

- Pozo 1: 14 Av. 1-78 zona 11 de Mixco. Asociación Integral de Vecinos por el Progreso Lo de Molina AIVPEM.
- Pozo 2: 10ª avenida. 3-40 zona 11 de Mixco. Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea Lo de Fuentes ONG.
- Pozo 3: Sexta calle 11-45 zona 11 de Mixco. Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea de Lo de Fuentes ONG.
- Pozo 4: Lote 203 manzana “A” colonia Primero de Mayo zona 11 de Mixco. Cooperativa Integral de Vivienda de los Trabajadores Municipales 1º de Mayo R.L.

La dureza promedio de los 4 pozos dio un valor de 175.4 mg/l de CaCO₃, por lo que el agua es dura, el valor promedio del índice de Langelier fue -0.1495, lo que indica que el agua es ligeramente corrosiva y el resultado de la prueba presuntiva de coliformes (inoculación en caldo laurilsulfato en cantidades de 10ml, 1ml, y 0.1ml) resultó negativa (no hubo producción de gas ni turbiedad) para cada uno de los pozos.

Tabla II. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de los 4 pozos

Características	Pozo 1	Pozo2	Pozo3	Pozo 4
Flujos (metros cúbicos/día)	612.4	907.2	376.7	544.3
Color (unidades de color en la escala platino-cobalto)	1	1	1	1
Olor y sabor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable
Turbiedad (NTU:unidades nefelométricas de turbiedad)	0.23	0.29	0.20	0.16
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	398	403	401	342
Cloro libre residual en el punto más cercano (mg/l)	0.33	0.30	0.30	0.78
Cloro libre residual en el punto más alejado (mg/l)	0.10	0.18	0.15	0.68
Cloruros (mg/l Cl^-)	7.8	11.5	10.3	11.4
Fluoruros (mg/l F^-)	0.13	0.14	0.21	0.09
Sulfatos (mg/l SO_4^{2-})	14.0	8.3	2.0	6.8
Nitratos (mg/l NO_3^-)	5.01	6.71	7.54	6.66
Nitritos (mg/l NO_2^-)	0.2	0.1	0.3	0.1
Calcio (mg/l Ca)	59.6	58.8	60.2	51.4
Hierro (mg/l Fe)	0.013	0.003	0.008	0.180
Manganeso (mg/l Mn)	0.014	0.012	0.014	0.015
Sólidos totales (mg/l)	256	251	275	228
Alcalinidad (mg/l CaCO_3)	209.5	234	224	191
Dureza total (mg/l CaCO_3)	176.5	181	189	155
Temperatura °C	24.8	23.8	24.0	24.4
pH (unidades)	7.264	7.370	7.262	7.157
pHs (pH de saturación)	7.400	7.300	7.350	7.600
Índice de Langelier	-0.137	0.070	-0.088	-0.443
Prueba presuntiva de coliformes (prueba de 15 tubos. Número Más Probable NMP)	< 2 coliformes en 100 ml de agua	< 2 coliformes en 100 ml de agua	< 2 coliformes en 100 ml de agua	< 2 coliformes en 100 ml de agua

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Determinación de la calidad del agua para consumo humano

En la tabla IX de la sección de anexos se encuentran las especificaciones físicas, químicas y bacteriológicas para el agua potable, obtenidas de la norma NGO 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR. Estos valores se comparan con los correspondientes obtenidos en los análisis efectuados al agua de los 4 pozos y que se presentan en la tabla II de la sección de resultados.

6.1.1 Análisis físico

El análisis de olor y sabor que se efectúa mediante los sentidos del olfato y el gusto, dio como resultado que no se detectó ningún sabor ni olor en el agua de los 4 pozos, por lo que cumple con los requerimientos. A simple vista, el agua de estos pozos se nota sin ningún color y sin turbiedad, se ve completamente transparente, sin embargo se realizaron los análisis de color y turbiedad obteniendo resultados que superan la calidad requerida por la COGUANOR. La conductividad eléctrica promedio del agua de los 4 pozos dio un valor de 386 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual está dentro de los límites aceptables.

6.1.2 Análisis químico

Se determinaron las características químicas siguientes: conductividad eléctrica, cloro libre residual en el punto más cercano y en el punto más alejado de la distribución, contenido de cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, hierro, manganeso, sólidos totales, alcalinidad, dureza total, temperatura, pH, pH de saturación (calculado gráficamente), índice de Langelier.

Los cloruros están en un promedio de 10.25 mg/l, mientras que el límite máximo aceptable (LMA) es de 100 mg/l y el límite máximo permisible (LMP) es de 250 mg/l, es decir que la cantidad de cloruros está abajo del límite arriba del cual llega a ser perceptible por el consumidor LMA y por supuesto muy por abajo del límite arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano LMP. (COGUANOR NGO29001).

Los valores de cloro libre residual para los pozos 1, 2 y 3 están en un promedio de 0.31 mg/l en el punto más cercano, y 0.14 mg/l en el punto más alejado del sistema de distribución. Al revisar las especificaciones se encuentra que el límite máximo aceptable de cloro libre residual es de 0.5 mg/l, por lo que dicho resultado está por debajo del L.M.A., aunque con su presencia en el agua se puede tener la confiabilidad de que está libre de microorganismos que puedan afectar la salud. El valor de 0.5 mg/l de cloro libre residual, también es el valor seguro y deseable en los puntos más alejados del sistema de distribución después de por lo menos 30 min de contacto (para asegurar que esta concentración se mantiene), a un pH menor de 8 (para asegurar la presencia de ácido hipocloroso que tiene un gran poder bactericida), con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia Coli* y ciertos virus. (COGUANOR NGO29001).

En el pozo 1 se obtuvo 0.1 mg/l de cloro libre residual en los puntos más alejados de distribución, valor aceptable, pero que está debajo del óptimo que es de 0.5mg/l, el problema debe estar en el control de la concentración y dosificación de cloro. En los pozos 2 y 3 se obtuvo 0.18 mg/l y 0.15 mg/l respectivamente de cloro libre residual en los puntos más alejados del sistema de distribución, valores aceptables, pero que se encuentran debajo del óptimo que es de 0.5 mg/l, el problema debe estar en la dosificación de cloro y en el punto de aplicación, ya que se aplica directamente a la tubería de distribución, teniendo así una mezcla incompleta. El pozo 4 tiene un valor de cloro libre residual de 0.78 mg/l en el punto más cercano y un valor de 0.68 mg/l en el punto más alejado del sistema de distribución, por lo que la dosificación de cloro está muy bien.

El valor de pH para los cuatro pozos se mantuvo entre 7.000 y 7.502 unidades en los diferentes muestreos realizados, la alcalinidad estuvo variando en cada uno de los muestreos, el valor mínimo encontrado fue de 186 mg/l CaCO₃, y el valor más alto fue de 254 mg/l CaCO₃. Estas variaciones se graficaron con respecto al tiempo para cada uno de los pozos y se presentan en las figuras 9 a 12 del apéndice.

Con respecto a los sólidos totales, se tiene un promedio de 252.5 mg/l, el valor más bajo es para el pozo 4 con un valor de 228 mg/l y el más alto corresponde al pozo 3 con un valor de 275 mg/l. Los sólidos totales incluyen toda la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. Las variaciones en los distintos muestreos se graficaron y se presentan en el apéndice, de la figura 17 a la 20.

En general, todos los parámetros químicos del agua analizados, se encuentran dentro de los límites aceptables según la norma NGO 29001 de COGUANOR para agua de consumo humano.

Además de los parámetros químicos analizados, hay otras sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua, así como también contaminación radiactiva en cantidades perjudiciales para la salud de los consumidores, por lo que un estudio más avanzado puede cambiar las conclusiones que se dan en este trabajo, las conclusiones se dan únicamente con base en los parámetros analizados.

6.1.3 Análisis bacteriológico

Como se observa en la tabla II de la sección de resultados, en ninguno de los muestreos se encontró producción de gas en ninguno de los tubos de fermentación, por lo que el resultado se reporta como número más probable NMP menor de 2 coliformes en una muestra de 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. (COGUANOR NGO 29001).

6.2 Determinación de la calidad del agua para uso industrial

6.2.1 Dureza e índice de Langelier

La dureza total de los cuatro pozos dio un promedio de 175.4 mg/l de CaCO_3 , lo que indica que es un agua dura. La dureza más baja la tuvo el pozo 4 con un valor de 155 mg/l de CaCO_3 , la dureza más alta la tuvo el pozo 3 con un valor de 189 mg/l de CaCO_3 . En general los 4 pozos poseen agua dura según la clasificación de dureza presentada en la tabla XII de la sección de anexos. Las variaciones obtenidas en los diferentes muestreos se encuentran graficadas en el apéndice, figuras 21 a la 24.

En lo que respecta al índice de Langelier, se tiene un promedio de -0.1495, lo que se interpreta como agua ligeramente corrosiva, de acuerdo a la clasificación descriptiva del índice de Langelier presentado en la tabla XI de la sección de anexos.

Individualmente, el único pozo con un índice de Langelier positivo fue el pozo 2 con un valor de 0.070 que corresponde a un agua ligeramente incrustante; el pozo con índice de Langelier más bajo es el pozo 4 con un valor de -0.443 que se clasifica como agua ligeramente corrosiva.

Luego de tener todos los valores de las características químicas más importantes para la determinación de la calidad del agua para uso industrial, se procede a la comparación de los mismos con la propuesta de norma CATIE. Tanto los resultados como la norma se presentan en la tabla III de esta sección.

Para la industria de alimentos en general, los requerimientos de pH están de 6.5 a 8.5 unidades de pH, por lo que se cumple con este requisito, alcalinidad de 250 mg/l, sólidos totales 500 mg/l y dureza de 250 mg/l, por lo que se cumple ya que los valores obtenidos están debajo de los máximos permitidos.

Para bebidas carbonatadas, el valor de alcalinidad requerido es de 85 mg/l, lo cual no se cumple para ninguno de los pozos, pues el valor más bajo es de 191 mg/l, lo mismo sucede en la industria de destilerías y cervecerías en donde se requiere una alcalinidad de 75 mg/l.

Por último, para las calderas, la dureza debe estar entre 20 y 80 mg/l, lo que no se cumple.

Tabla III. Comparación de resultados con la propuesta de norma CATIE.

Parámetros	Resultados				Propuesta de norma CATIE			
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Alimentos en general	Bebidas carbonatadas	Destilerías y cervecerías	Calderas
pH (unidades)	7.264	7.37	7.262	7.157	6.5 - 8.5	-	6.5 - 7	8.0 - 9.6
Alcalinidad (mg/l)	209.5	234	224	191	250	85	75	-
Sólidos totales (mg/l)	256	251	275	228	500	850	500	500-2500
Dureza total (mg/l)	176.5	181	189	155	250	250	-	20 - 80
Otros	Corrosiva	Incrustante	Corrosiva	Corrosiva	-	-	-	No incrustante

CONCLUSIONES

1. El agua analizada de los cuatro pozos muestreados cumple con los límites de la norma COGUANOR NGO 29001, por tanto, desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico, el agua es potable y adecuada para consumo humano, por lo que se rechaza la hipótesis planteada.
2. Los valores de cloro libre residual de los dos pozos de la Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea de Lo de Fuentes ONG, y del pozo de la Asociación Integral de Vecinos por el Progreso Lo de Molina, están por debajo del valor deseable y seguro que es de 0.5 mg/l en los puntos más alejados del sistema de distribución.
3. El agua de los cuatro pozos analizados es apta para uso en la industria de alimentos en general según la norma propuesta CATIE.
4. El agua proveniente de los cuatro pozos estudiados no es adecuada para uso en las industrias de bebidas carbonatadas, destilerías y cervecerías, y calderas según los límites de la norma propuesta CATIE.
5. En promedio, el agua de los cuatro pozos estudiados puede clasificarse como dura y ligeramente corrosiva.

RECOMENDACIONES

1. Para el pozo de la Asociación Integral de Vecinos por el Progreso Lo de Molina se debe medir el cloro libre residual y calibrar la bomba dosificadora para obtener 1.0 mg/l de cloro libre residual en el punto de cloración ó 0.5 mg/l en los puntos más alejados del sistema de distribución, además se debe realizar cuidadosamente la solución de hipoclorito de calcio para que siempre se obtenga la misma concentración.
2. La inyección de cloro en los dos pozos de la Asociación de Desarrollo Comunitario de la Aldea de Lo de Fuentes ONG, no debe ser directamente a la tubería de distribución. La cloración debe efectuarse en un depósito y dejar que la solución de hipoclorito de sodio esté en contacto con el agua por lo menos 20 min, además debe medirse el cloro libre residual y calibrar la bomba dosificadora para obtener 1.0 mg/l de cloro libre residual en el punto de cloración ó 0.5 mg/l en los puntos más alejados del sistema de distribución.
3. Los resultados muestran que los valores de cloro libre residual para el pozo 4 están muy bien, sin embargo, la medición de este parámetro debe realizarse diariamente para corregir cualquier desviación que ocurra.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA-AWWA-WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th edition: USA. American public health association.1995.
2. 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. Qco. Guatemala , Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.1982. 70pp.
3. BROWN, Theodore L. y otros. **Química la ciencia central**. 7^a ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1998. 991pp.
4. CARBONELL Lara, Juan Fernando. Evaluación de la calidad del agua del río el Zapote y sus posibles usos. Tesis Ing. Qco. sanitario. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 189pp.
5. CIFUENTES Hidalgo, Milton Lisandro. Determinación de los parámetros físicos químicos y bacteriológicos , para evaluar la calidad del agua para consumo humano y su uso industrial en la población de Nuevo San Carlos Retalhuleu. Tesis Ing. Qco. Guatemala , Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1985. 80pp.
6. GUDIEL Paniagua , Héctor René. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula. Tesis Ing. Qco. Guatemala , Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.
7. LÓPEZ López , Aura Leticia. Determinación de la calidad del agua de los tanques de distribución para uso industrial que suministra la Empresa Municipal de Agua en la ciudad de Guatemala. Tesis Inga. Qca. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 55pp.
8. ORDOÑEZ 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. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 84pp.

9. PELCZAR, Michael J. y otros. **Microbiología**. 4^a ed. México: McGraw Hill. 1998. 826pp.
10. ROMERO Rojas, Jairo Alberto. **Calidad del agua**. 2^a ed. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. 1999. 273pp.
11. SUASNÁVAR Gavilán, María Montserrat. Determinación de la calidad del agua de los laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala y sus posibles tratamientos. Tesis Inga. Qca. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 102pp.

APÉNDICE

Tabla IV. Parámetros químicos del agua de los 4 pozos estudiados

Valores de pH (unidades de pH)					Promedio	pHs ¹
Pozo 1	7.191	7.502	7.125	7.236	7.264	7.400
Pozo 2	7.320	7.483	7.371	7.304	7.370	7.300
Pozo 3	7.195	7.488	7.233	7.131	7.262	7.350
Pozo 4	7.058	7.381	7.188	7.000	7.157	7.600
Valores de alcalinidad (mg/l CaCO ₃)					Promedio	
Pozo 1	224.0	194.0	222.0	198.0	209.5	
Pozo 2	254.0	232.0	224.0	226.0	234.0	
Pozo 3	220.0	234.0	224.0	218.0	224.0	
Pozo 4	196.0	194.0	188.0	186.0	191.0	
Valores de dureza (mg/l CaCO ₃)					Promedio	
Pozo 1	170.0	188.0	174.0	174.0	176.5	
Pozo 2	170.0	190.0	184.0	180.0	181.0	
Pozo 3	180.0	200.0	190.0	186.0	189.0	
Pozo 4	144.0	160.0	164.0	152.0	155.0	
Contenido de calcio (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	63.0	63.3	51.3	60.9	59.6	
Pozo 2	54.0	62.5	60.9	57.7	58.8	
Pozo 3	59.0	63.3	60.1	58.5	60.2	
Pozo 4	50.0	52.9	52.9	49.7	51.4	
Contenido de manganeso (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	0.008	0.010	0.008	0.028	0.014	
Pozo 2	0.001	0.006	0.007	0.034	0.012	
Pozo 3	0.009	0.009	0.008	0.031	0.014	
Pozo 4	0.007	0.008	0.009	0.035	0.015	
Contenido de hierro (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	0.010	0.030	0.000	0.010	0.013	
Pozo 2	0.010	0.000	0.000	0.000	0.003	
Pozo 3	0.010	0.000	0.020	0.000	0.008	
Pozo 4	0.010	0.030	0.010	0.020	0.018	
Contenido de sodio (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	14.9	17.0	12.6	11.1	13.9	
Pozo 2	15.0	16.7	9.6	11.1	13.1	
Pozo 3	11.4	11.7	10.7	7.9	10.4	
Pozo 4	12.7	14.0	12.8	11.1	12.7	
Contenido de potasio (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	2.9	3.0	2.2	1.9	2.5	
Pozo 2	2.6	2.8	2.4	2.3	2.5	
Pozo 3	2.7	3.0	1.8	2.0	2.4	
Pozo 4	2.2	2.3	2.4	1.3	2.1	

¹ pH de saturación calculado gráficamente

Continuación 2/2

Contenido de amoniaco (mg/l)					Promedio
Pozo 1	0.171	0.012	0.037	0.012	0.058
Pozo 2	0.207	0.000	0.073	0.012	0.073
Pozo 3	0.256	0.012	0.000	0.037	0.076
Pozo 4	0.183	0.012	0.000	0.000	0.049
Contenido de sulfatos (mg/l)					Promedio
Pozo 1	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
Pozo 2	8.0	8.0	8.0	9.0	8.3
Pozo 3	1.0	3.0	2.0	2.0	2.0
Pozo 4	8.0	7.0	4.0	8.0	6.8
Contenido de cloruros (mg/l)					Promedio
Pozo 1	13.0	8.0	2.0	8.0	7.8
Pozo 2	13.5	7.5	15.0	10.0	11.5
Pozo 3	15.0	7.0	11.0	8.0	10.3
Pozo 4	20.0	7.5	8.0	10.0	11.4
Contenido de fluoruros (mg/l)					Promedio
Pozo 1	0.19	0.04	0.16	0.13	0.13
Pozo 2	0.25	0.12	0.09	0.09	0.14
Pozo 3	0.25	0.16	0.11	0.30	0.21
Pozo 4	0.20	0.03	0.13	0.00	0.09
Contenido de nitritos (mg/l)					Promedio
Pozo 1	0.0	0.3	0.4	0.1	0.2
Pozo 2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
Pozo 3	0.0	0.5	0.4	0.2	0.3
Pozo 4	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1
Contenido de nitratos (mg/l)					Promedio
Pozo 1	1.54	4.84	7.92	5.72	5.01
Pozo 2	3.52	5.72	10.12	7.48	6.71
Pozo 3	5.06	7.48	9.24	8.36	7.54
Pozo 4	3.30	7.92	3.96	11.44	6.66
Cloro libre residual (mg/l) en el punto más cercano a la cloración					
					Promedio
Pozo 1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.33
Pozo 2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.30
Pozo 3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.30
Pozo 4	0.8	0.8	0.7	0.8	0.78
Cloro libre residual (mg/l) en el punto más alejado a la cloración					
					Promedio
Pozo 1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
Pozo 2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.18
Pozo 3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.15
Pozo 4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.68

Tabla V. Parámetros físicos del agua de los 4 pozos estudiados

Temperatura (° C)						Promedio
Pozo 1	25.0	25.0	24.0	25.0	25.0	24.8
Pozo 2	22.0	25.0	23.0	24.0	25.0	23.8
Pozo 3	23.0	25.0	23.0	24.0	25.0	24.0
Pozo 4	24.0	25.0	23.0	25.0	25.0	24.4
Color (unidades de color en la escala platino-cobalto)						Promedio
Pozo 1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pozo 2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pozo 3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pozo 4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Turbiedad (UNT: unidades nefelométricas de turbiedad)						Promedio
Pozo 1	0.29	0.18	0.29	0.18	0.24	0.23
Pozo 2	0.80	0.19	0.11	0.20	0.16	0.29
Pozo 3	0.27	0.25	0.11	0.20	0.20	0.20
Pozo 4	0.20	0.15	0.12	0.10	0.22	0.16
Olor y sabor						
Pozo 1	No rechazable					
Pozo 2	No rechazable					
Pozo 3	No rechazable					
Pozo 4	No rechazable					
Conductividad eléctrica (µS/cm)					Promedio	
Pozo 1	399	397	399	397	398	
Pozo 2	404	404	403	402	403	
Pozo 3	402	401	401	399	401	
Pozo 4	346	342	341	338	342	
Sólidos totales (mg/l)					Promedio	
Pozo 1	258	229	282	256	256	
Pozo 2	238	245	267	254	251	
Pozo 3	272	270	280	276	275	
Pozo 4	220	220	239	231	228	

Tabla VI. Análisis bacteriológico de los 4 pozos estudiados

	Primer muestreo			Segundo muestreo		
	prueba presuntiva ¹			prueba presuntiva		
	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml
Pozo 1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Tercer muestreo			Cuarto muestreo		
	prueba presuntiva			prueba presuntiva		
	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml
Pozo 1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pozo 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----

¹ Inoculación en caldo laurilsulfato, cada signo menos indica un tubo de ensayo que presentó resultado negativo (no se enturbió ni hubo producción de gas), por lo tanto no hay coliformes y ya no se realiza la prueba confirmativa.

Tabla VII. Valores promedio de los flujos de los 4 pozos

	Flujo gal/min	Flujo l/s	Horas de trabajo/día	Flujo total (m ³ /día)
Pozo 1	180	11.34	15	612.4
Pozo 2	200	12.60	20	907.2
Pozo 3	151	9.51	11	376.7
Pozo 4	160	10.08	15	544.3

Tabla VIII. Características generales de los 4 pozos estudiados

	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4
Profundidad (pies)	900	990	700	700
Diámetro de tubería (in)	4	4	3	3
Caballaje de bomba (HP)	30	50	40	30
Descarga de bomba (gal/min)	180	200	151	160

Figura 9. Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 1)

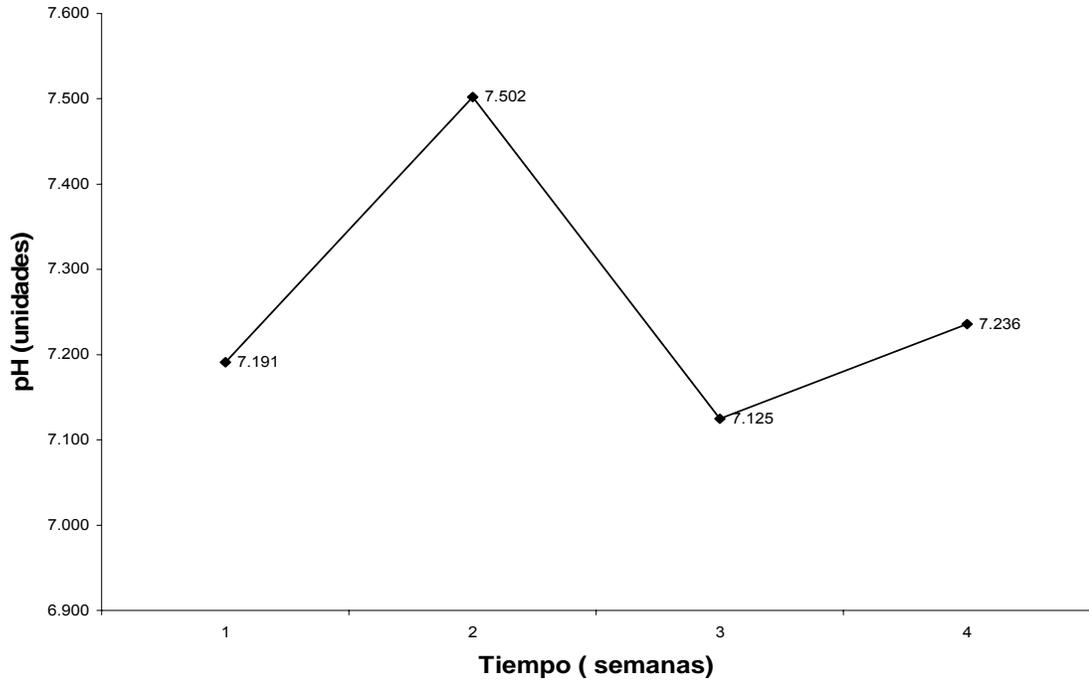


Figura 10. Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 2)

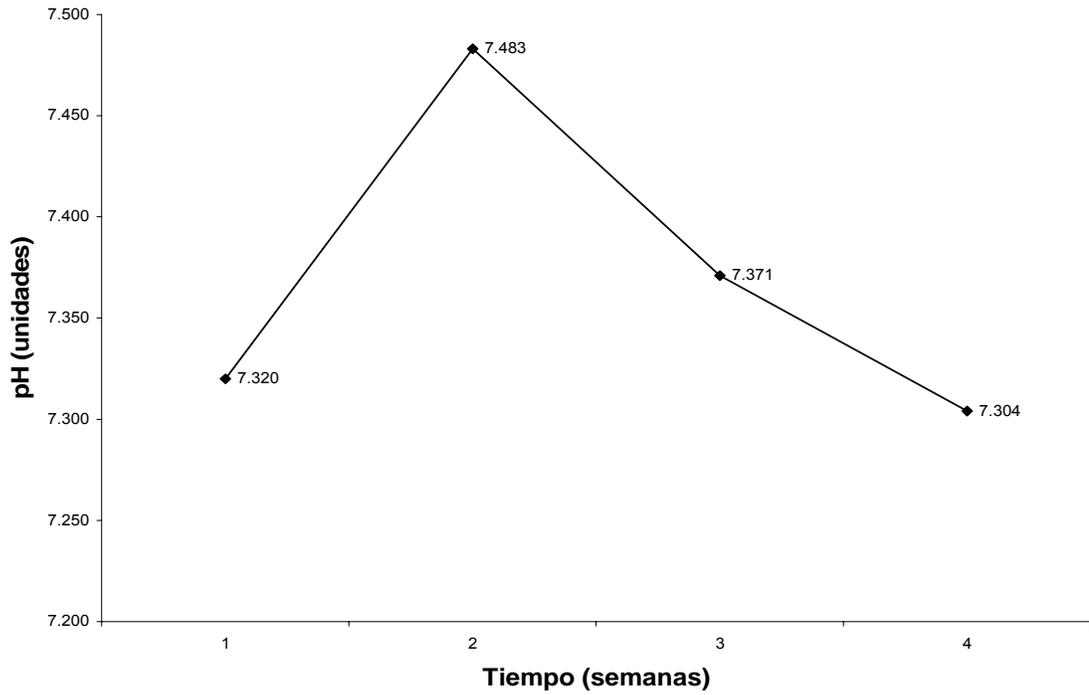


Figura 11. Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 3)

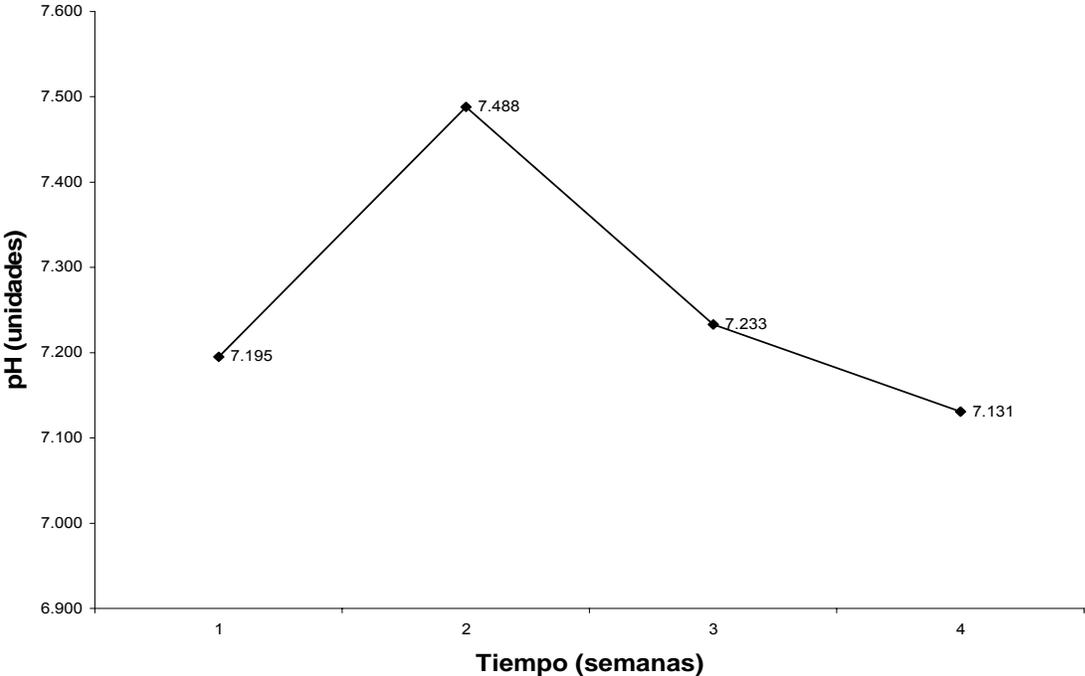


Figura 12. Variación del pH con respecto al tiempo (pozo 4)

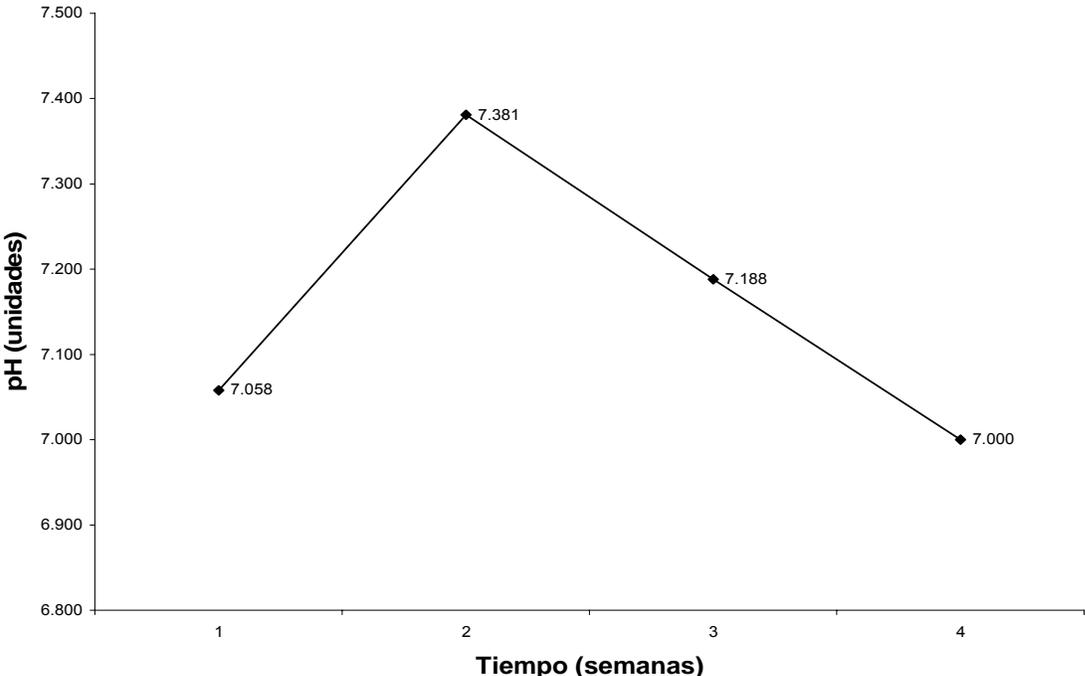


Figura 13. Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 1)

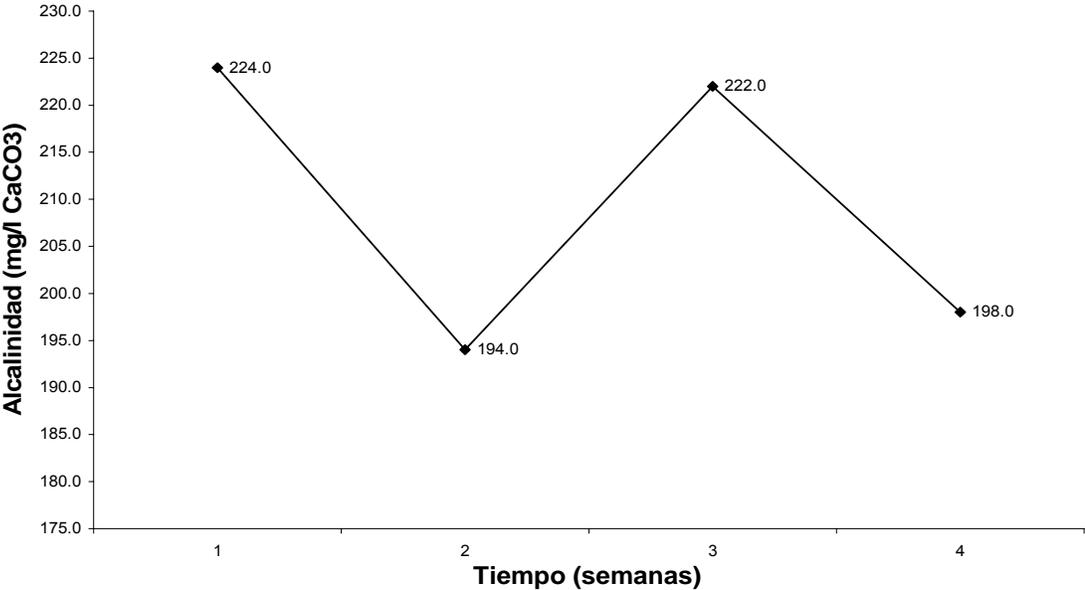


Figura 14. Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 2)

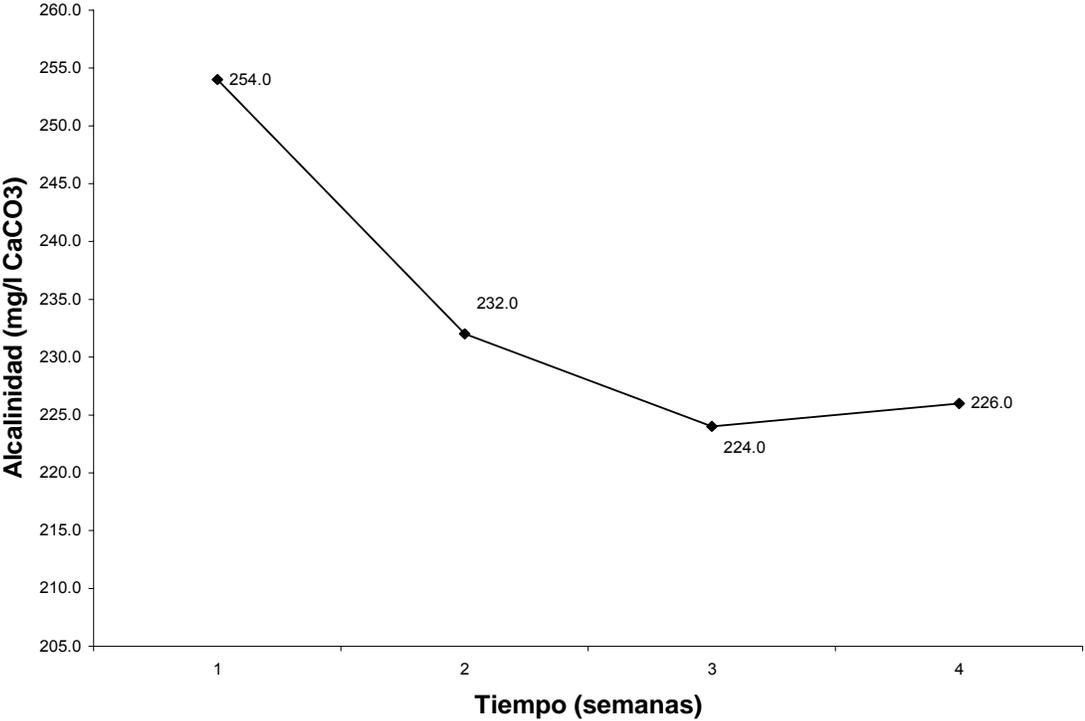


Figura 15. Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 3)

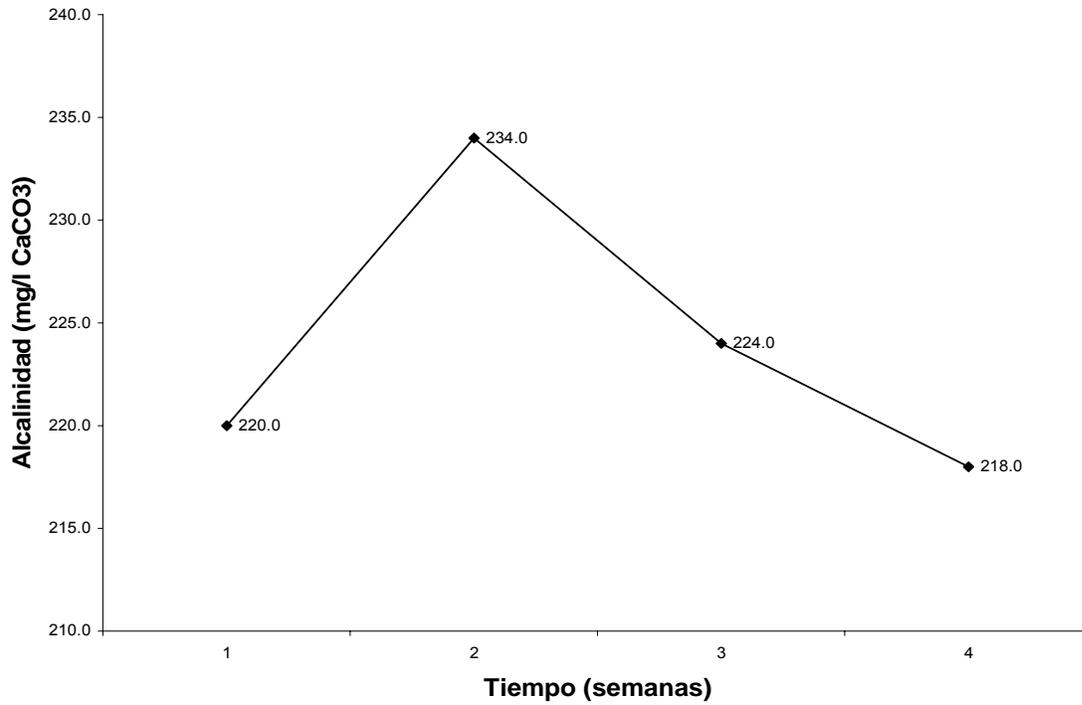


Figura 16. Variación de la alcalinidad con respecto al tiempo (pozo 4)

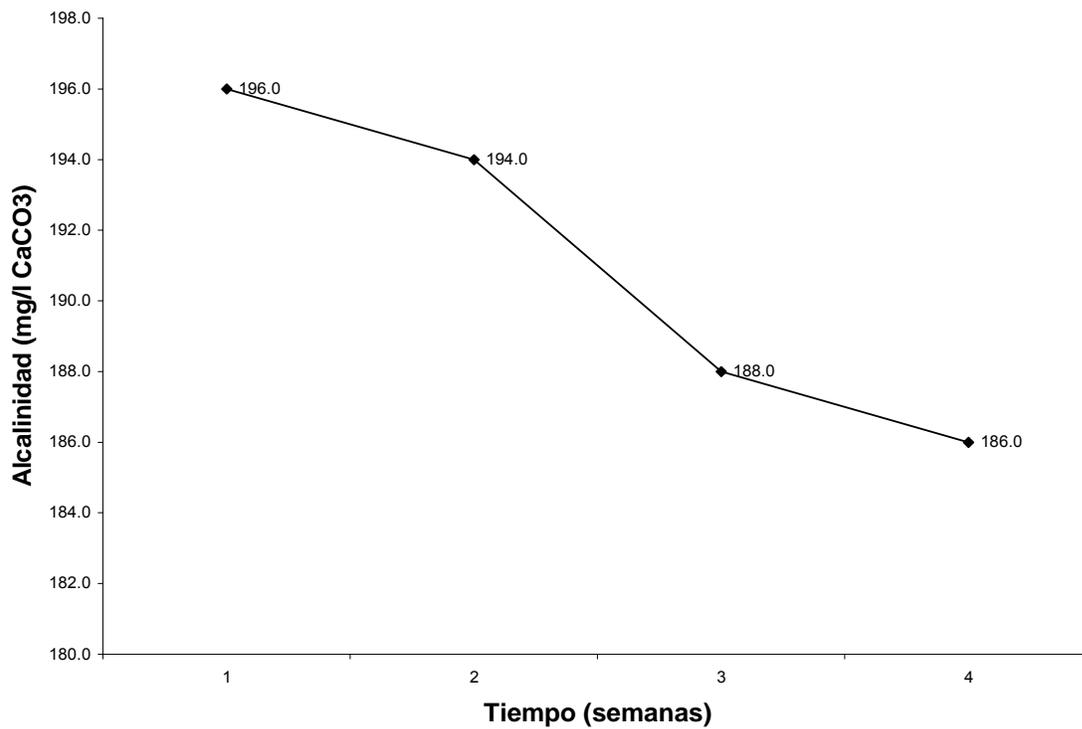


Figura 17. Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 1)

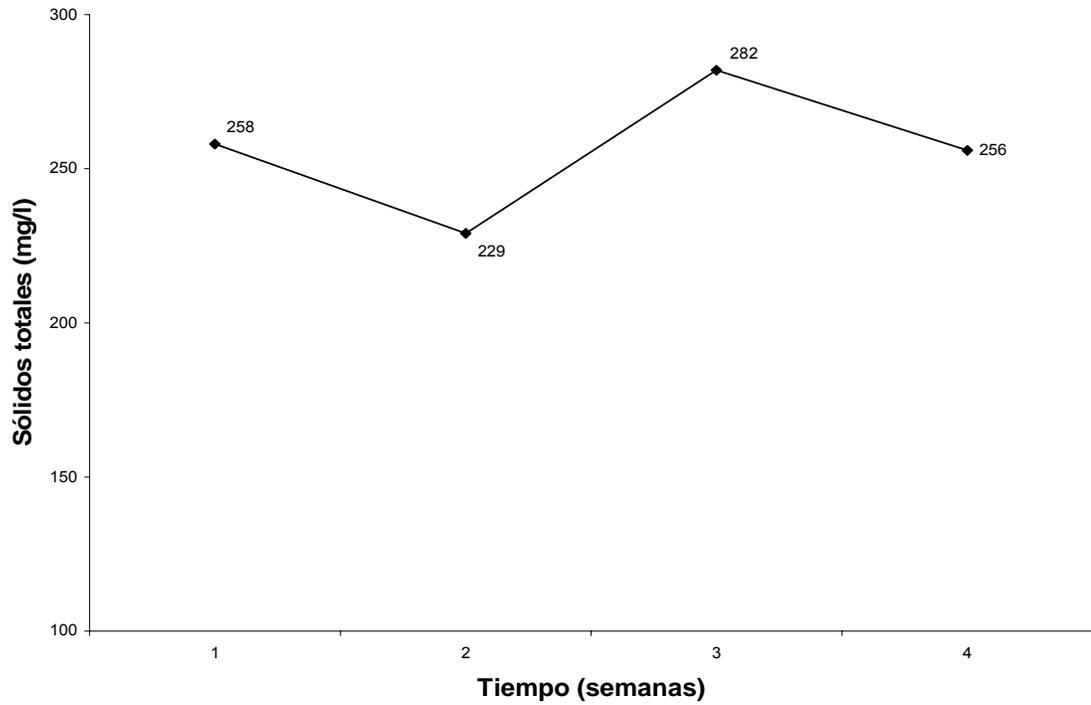


Figura 18. Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 2)

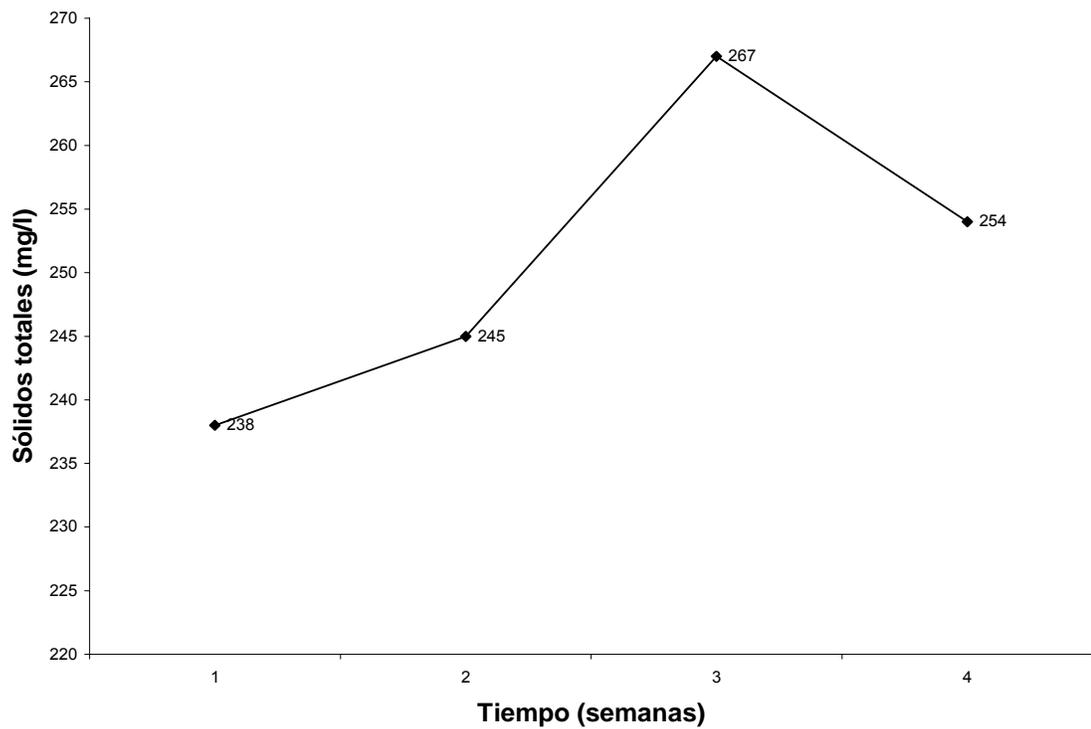


Figura 19. Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 3)

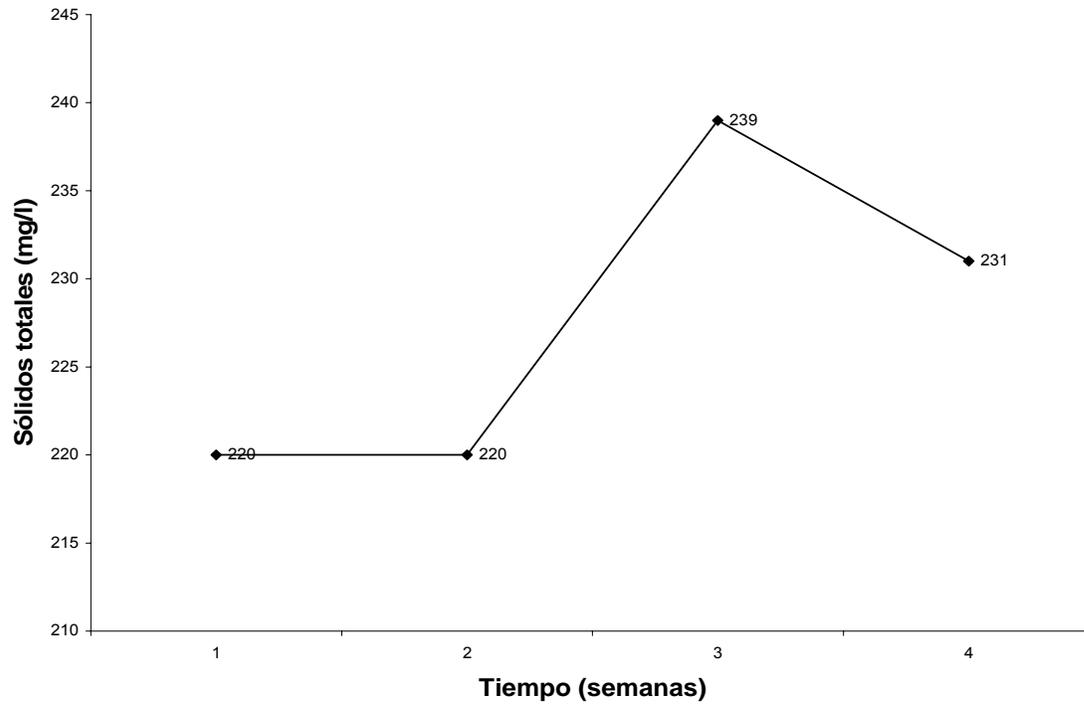


Figura 20. Variación de los sólidos totales con respecto al tiempo (pozo 4)

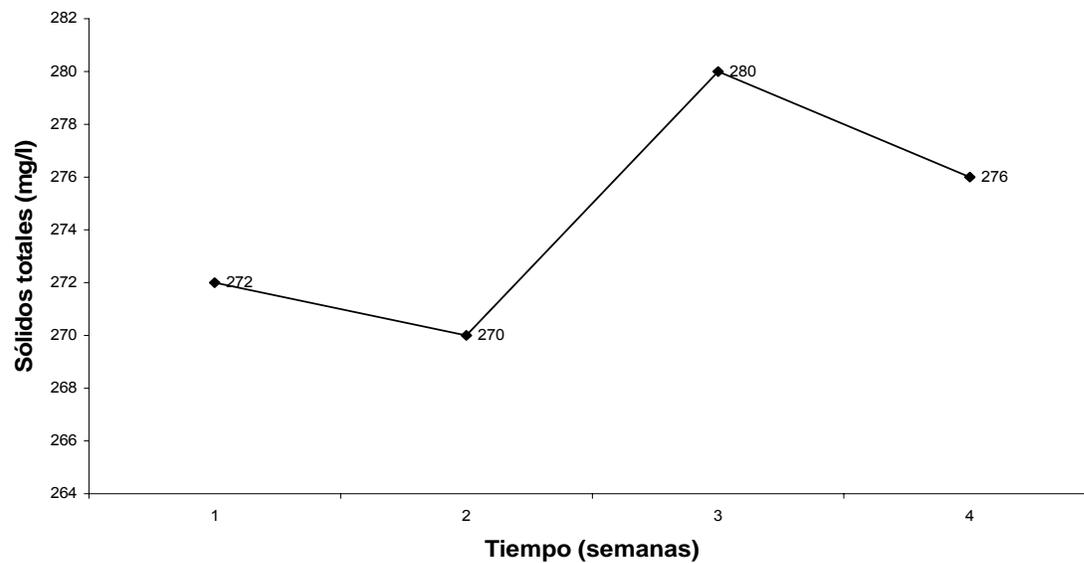


Figura 21. Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 1)

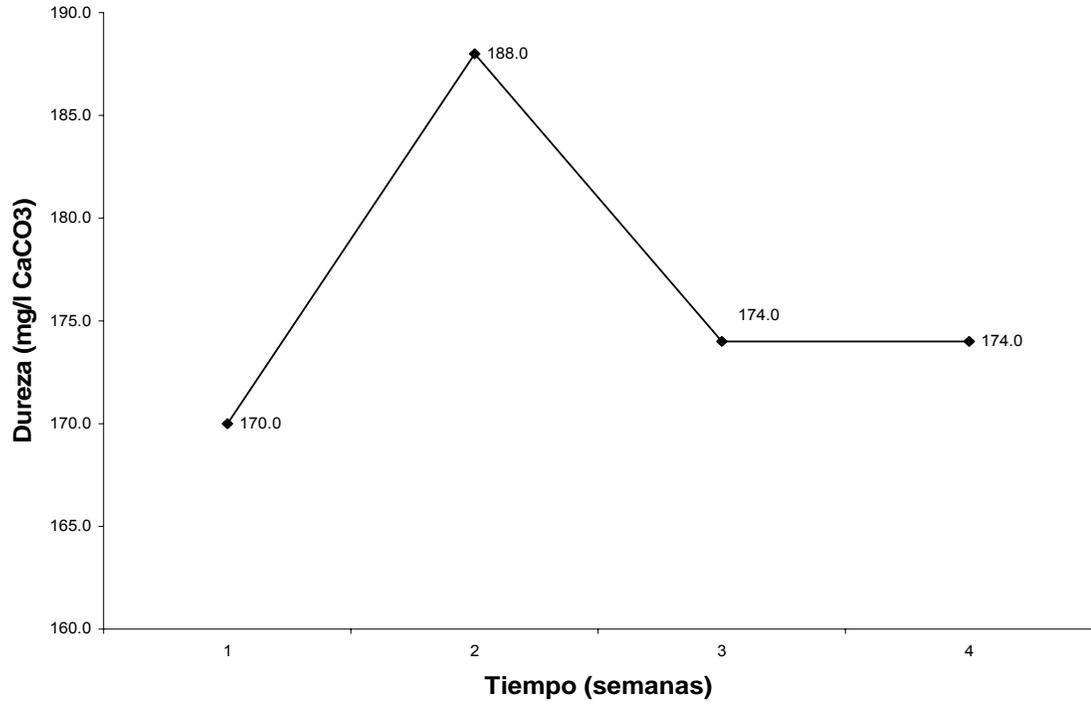


Figura 22. Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 2)

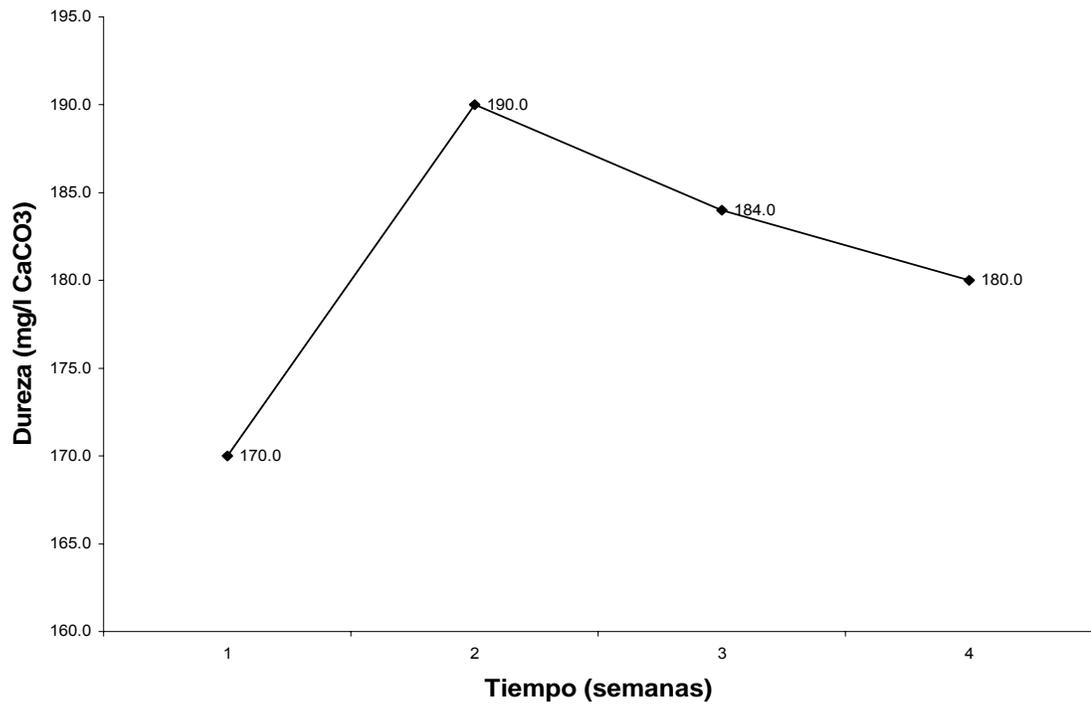


Figura 23. Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 3)

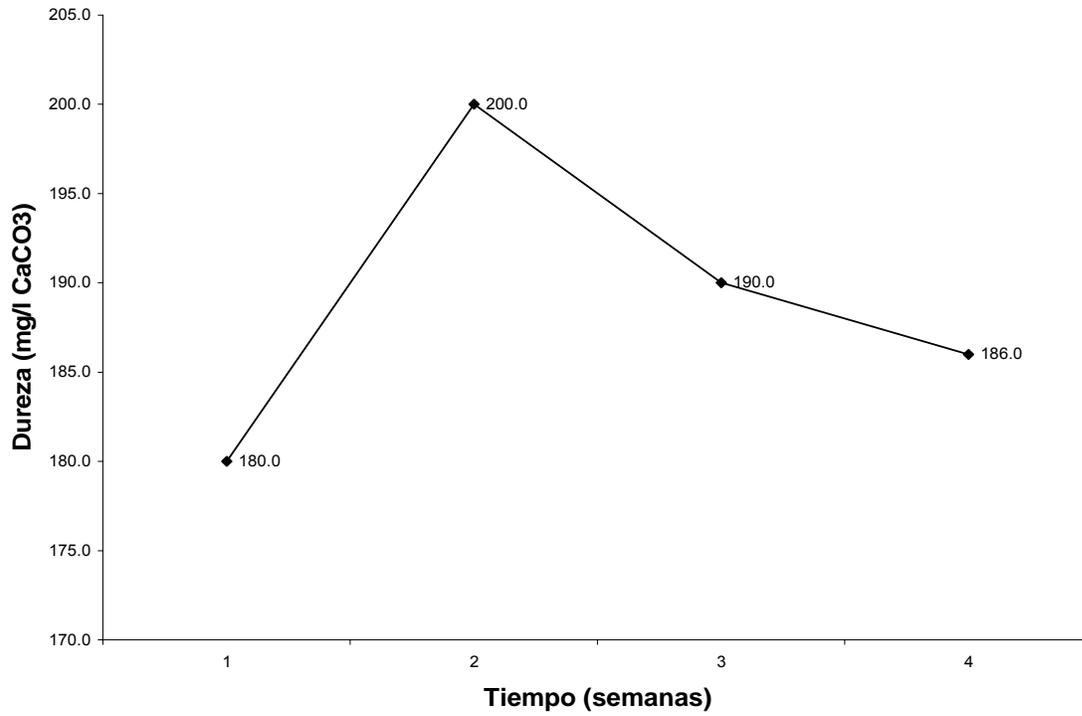


Figura 24. Variación de la dureza con respecto al tiempo (pozo 4)

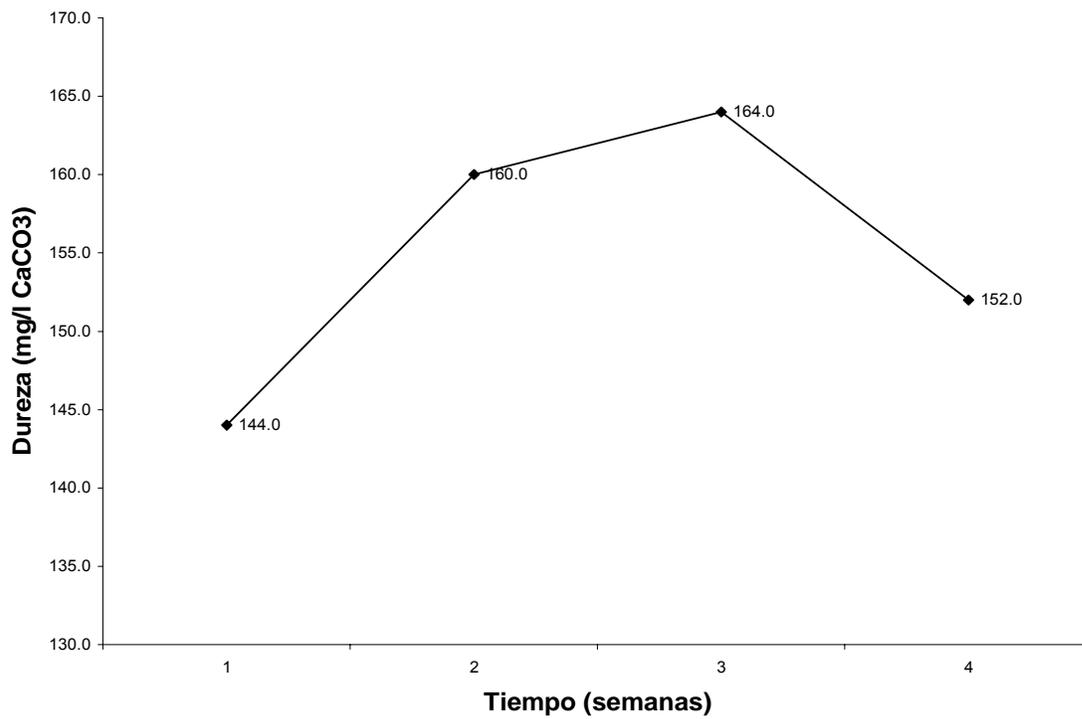


Figura 25. Fotografía del pozo 1



Figura 26. Fotografía del pozo 4



Figura 27. Fotografía del pozo 2 (vista frontal)



Figura 28. Fotografía del pozo 2 (vista posterior)



Figura 29. Fotografía de la bomba dosificadora de diafragma (vista lateral)



Figura 30. Fotografía de la bomba dosificadora de diafragma (vista frontal)



ANEXO

Tabla IX. Características y especificaciones físicas y químicas del agua potable norma COGUANOR NGO 29001

Características	LMA (1)	LMP(2)
Color	5.0 u	35.0 u (3)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (4)
Conductividad eléctrica	-----	< de 1 500 μ S/cm
Cloro libre residual (5) (6)	0.5 mg/l	1 mg/l
Cloruros (Cl^-)	100 mg/l	250 mg/l
Dureza total (CaCO ₃)	100 mg/l	500 mg/l
pH	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sólidos totales disueltos	500 mg/l	1 000 mg/l
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	100 mg/l	250 mg/l
Temperatura	15 - 25 °C	34 ° C
Calcio (Ca)	75 mg/l	150 mg/l
Fluoruros (F ⁻)	-----	1.7 mg/l
Hierro total (Fe)	0.1000 mg/l	1.000 mg/l
Manganeso (Mn)	0.050 mg/l	0.500 mg/l
Nitratos (NO ₃ ⁻)	-----	10 mg/l
Nitritos (NO ₂ ⁻)	-----	1 mg/l

Fuente: Norma COGUANOR NGO 29001

1. Límite máximo aceptable. Valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

2. Límite máximo permisible. Valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

3. Unidades de color en la escala platino-cobalto
4. Unidades nefelométricas de turbiedad
5. El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/l, después de por lo menos 30 min. de contacto, a un pH menor de 8, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia Coli* y ciertos virus.
6. En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/l haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo.

Tabla X. Parámetros físicos y químicos del agua según la norma propuesta CATIE

Industria	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	Dureza total (mg/l)	otros
Alimentos en general	6.5 - 8.5	250	500	250	-
Bebidas carbonatadas	-	85	850	250	-
Destilerías y cervecerías	6.5 - 7	75	500	-	-
Calderas	8.0 - 9.6	-	500 - 2500	20-80	no incrustante

Fuente: Aura López. **Determinación de la calidad del agua.**

Tabla XI. Clasificación descriptiva del índice de Langelier

Índice de Langelier	Descripción
≤ -0.076	Corrosiva
- 0.75 a -0.51	Moderadamente corrosiva
-0.50 a -0.02	Ligeramente corrosiva
0	Agua neutra, en equilibrio
0.02 a 0.50	Ligeramente incrustante
0.51 a 0.75	Moderadamente incrustante
≥ 0.76	Incrustante

Fuente: Bercidie Pérez. **Calidad del agua.**

Tabla XII. Clasificación de Dureza

Dureza (mg/l CaCO ₃)	Clasificación
0 a 75	Blanda
75 a 150	Moderadamente dura
150 a 300	Dura
> 300	Muy dura

Fuente: Jairo Romero. **Calidad del agua.** Pag.82

