



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

***Caracterización Física y Química del Agua del
Manantial Cerro Colorado Como Fuente de
Suministro***

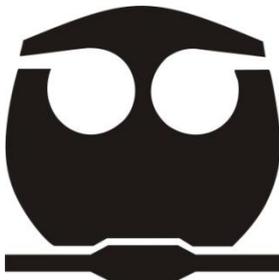
TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

Adriana Verónica Lemus Flores



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Q.F.B. MARIA DE LOURDES GOMEZ RIOS

VOCAL: M. EN C. LUCIA CORNEJO BARRERA

SECRETARIO: DRA. BLANCA E. JIMÉNEZ CISNEROS

1ER. SUPLENTE: M. EN C. ARMANDO CONCA TORRES

2° SUPLENTE: DRA. CLAUDIA TERESA TOVAR PALACIO

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO DE INGENIERIA,
EDIFICIO 5, UNAM. LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICOS.**

ASESOR DEL TEMA: DRA. BLANCA JIMENEZ CISNEROS

SUSTENTANTE: ADRIANA VERONICA LEMUS FLORES

Agradecimientos

Hay tantas personas a las cuales agradecer, todas igual de importantes. Iniciare entonces con mis padres Olga y José Antonio quienes me han brindado su apoyo no solo durante la carrera, sino a lo largo de los años y aunque no siempre los escuché, han sido esa voz que me alienta a seguir adelante, a cerrar todos los círculos, pero sobre todo a no tener miedo de enfrentar nuevos retos. Hoy por fin pueden cosechar el fruto de su esfuerzo, sí ya estaban orgullosos de mi solo por ser su hija, ahora les ofrezco la culminación de este trabajo.

A mi Hermana, Alejandra, ¿qué le puedo decir? Si ha estado a mi lado desde siempre, apoyando, regañando, sabe mejor que nadie el esfuerzo realizado para poder llegar hasta donde estoy. ¡Gracias Hermana!

A mis primos, tíos, sobrinos, abuelos que son el pensamiento constante para no darme por vencida.

A mis Maestros quienes me dieron las herramientas y me inculcaron los valores de la Universidad para ser una excelente profesionista y retribuir a esta lo que me ha dado.

A mi Asesora la Dra. Blanca Jiménez y a la Dra. Laura Quezada del Instituto de Ingeniería, que me brindaron la oportunidad de realizar el presente trabajo, así como orientarme en la elaboración del trabajo escrito.

A mis sinodales, quienes con sus comentarios y observaciones contribuyeron a mejorar el presente trabajo.

A Joaquín que sin saberlo fue mi apoyo en los momentos difíciles y cuyo cariño fue el incentivo principal para cerrar el círculo para convertirme en profesionista, ser una mejor persona y buscar nuevas metas para seguir creciendo.

A mis amigos Kike, Rafa, Neri, Paco, Haide, Pedro, Myrna, Jeny, Carlos, Diana, Miguel, Clau, Mine, Lalo, Enrique, Alfonso. Aunque los conocí en diferentes momentos comparto con ellos sueños y metas, formando vínculos que nos mantendrán unidos a lo largo de la vida.

Contenido

	Página
1. Introducción	1
2. Justificación	2
3. Hipótesis	2
4. Objetivos	2
5. Antecedentes	3
5.1. Características y Especificaciones del Agua potable	4
5.1.1. Criterios Ecológicos del Agua	5
Potable	
5.2. Parámetros Físicos y Químicos del Agua	
5.2.1. Temperatura	6
5.2.2. pH	6
5.2.3. Alcalinidad	7
5.2.4. Conductividad Eléctrica	7
5.2.5. Sólidos Disueltos Totales	7
5.2.6. Nitrógeno	8
5.2.6.1. Nitritos	9
5.2.6.2. Nitratos	10
5.2.6.3. Nitrógeno Amoniacal	10
5.2.7. Dureza	11
5.2.8. Sulfatos	12
5.2.9. Cloruros	12

Contenido

	Página
5.2.10. Carbono Orgánico Total	13
5.2.11. Absorción UV 254 nm	14
6. Metodología	16
7. Resultados Y Discusión	
7.1. Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua	29
7.2. Parámetros Relacionados con la Salinidad	30
7.3. Parámetros Relacionados con Salud Publica	40
7.4. Análisis Estadístico	43
8. Conclusiones	45
Anexo 1 Análisis de Varianza	46
Anexo 2 NOM-127-SSA1-1994	47
Bibliografía	54

1. Introducción

Por más de cien años, la producción de aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se ha incrementado de manera notable, a la par que la cantidad de contaminantes que ella contiene. Sin embargo, del total de aguas residuales que se producen en la ZMVM, sólo el 11% ($7.7 \text{ m}^3/\text{s}$) recibe un tratamiento, mientras que el 89% restante ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) se envía al Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, para su riego agrícola (8).

La utilización de las aguas residuales no tratadas en el Valle del Mezquital ha dado como resultado la recarga del acuífero local y ha propiciado la formación de nuevos depósitos de agua; los cuales son empleados por la población para uso doméstico, industrial y agrícola. Cabe mencionar que sólo el 55% de estas nuevas fuentes son cloradas y que de ellas 52% se encuentran localizadas en las zonas de riego o cerca de los canales, por lo que reciben influencia directa de las aguas residuales. Como resultado la calidad del agua se ve alterada, no sólo en sus características físicas y químicas sino también microbiológicas.

El presente trabajo se enfocó a caracterizar el agua de estas fuentes de acuerdo con algunos parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana "NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Limites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

2. Justificación

Es importante caracterizar el agua del manantial Cerro Colorado, ya que este se forma por la infiltración de aguas residuales usadas para el riego de cultivos de la zona. Y sirve de suministro de agua “potable” a 2.345.514 habitantes de la localidad de los cuales el 52% de la población es urbana y el 48% rural (INEGI 2005).

3. Hipótesis

Debido al origen del Manantial Cerro Colorado y a las descargas no controladas provenientes de riego con aguas residuales existe la posibilidad de que su agua no cumpla algunos de los criterios Físicos y Químicos establecidos para su consumo por la normatividad Mexicana.

4. Objetivos

- Evaluar la calidad física y química del Manantial Cerro Colorado, ubicado en el Valle de Tula, Hidalgo.
- Seleccionar parámetros Físicos y Químicos de relevancia para la evaluación del agua del manantial Cerro Colorado como fuente de Suministro.
- Definir si los parámetros seleccionados, cumplen con los criterios de calidad que establece la NOM- 127-SSA1-1994.

5. Antecedentes

La zona del Mezquital se localiza en el Valle de Tula, al sur del estado de Hidalgo, aproximadamente a 100 km al norte de la ciudad de México, entre los 19°54' y los 20°30' de latitud norte y 99°22' y 98°56' longitud oeste, a una altitud promedio de 1900 msnm. La zona de riego abarca 85, 000 hectáreas y destaca por ser el área más grande del mundo regada con aguas residuales. Comprende los distritos de riego 03 (Tula), 100 (Alfajayucan) y 25 (Ixmiquilpan). La época de lluvias se limita a los meses de junio a septiembre. Con una precipitación pluvial del orden de 550 mm y evotranspiración de 1750 mm. Por esta razón, el Valle de Tula carece de agua para la agricultura. Afortunadamente, a finales del siglo XVIII el agua residual de la Ciudad de México comenzó a ser enviada a esta zona a través de tres conductos: el Interceptor Poniente (1789), el Gran Canal (1898) y el Emisor Central (1975), con el doble propósito de desalojar rápidamente los excedentes de agua de lluvia, para evitar inundaciones en la Zona central y desalojar las aguas residuales crudas. En 1989 comenzó a ser empleada de manera oficial en la irrigación de los cultivos. El empleo de las aguas residuales mejoró la economía de la región. Por ello en 1920, se construyó un sistema para distribuir y regular el flujo del agua residual para la agricultura, que incluyó la presa Requena y que fue complementado en 1936, por las presas Taxhimay y Endho. Conforme fue aumentando el volumen generado de aguas residuales de la ciudad de México, se incrementó la superficie de riego de 14,000 hectáreas en 1926 hasta alcanzar en la actualidad 85,000 hectáreas (3).

Las elevadas laminas de riego (1.5-2.2m/ha-año), usadas para lavar las sales de los suelos, dañinas para la agricultura así como el transporte de las aguas negras a lo largo de canales sin revestir, han resultado en la recarga del acuífero local e incluso, la formación de nuevos depósitos de extensiones mucho mayores a la original. Estas nuevas fuentes de agua, se han constituido en el único suministro para todas las actividades de la región. Tal es el caso del Manantial Cerro Colorado, el cual cuenta con un volumen de 600 L/s, abasteciendo a los poblados de Mangas Tezontepec, Ajacuba y San Salvador (3)

5.1 Características y Especificaciones del Agua Potable

De acuerdo a la NOM-127-SSA1, el agua para uso y consumo humano, es aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano. Dicha norma cuenta con al menos 40 parámetros para determinar la calidad del agua potable, a partir de los cuales se eligieron: la temperatura, el pH, la turbidez y la conductividad, por ser parámetros indicadores de la calidad. Por otro lado, se consideraron los sólidos disueltos totales, dureza total, sulfatos, cloruros y alcalinidad por ser indicadores de la salinidad del agua. Aunado a estos, se decidió cuantificar el nitrógeno presente en sus diferentes formas; de nitratos, nitritos y amoniacal; debido a la importancia que presentan en salud pública. También se incluyó la medición de la Absorción UV a 254 nm, por ser una medida indirecta de los compuestos aromáticos provenientes de las aguas residuales. Por último se midió Carbono Orgánico Total, como medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

5.1.1 Criterios Ecológicos del Agua Potable

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua en México de 1989, contienen 126 parámetros, principalmente orgánicos sintéticos, metales, minerales, físicos y microbiológicos. Dichos criterios, hacen referencia a la calidad del agua, recomendable para los diferentes usos: fuente de abastecimiento de agua potable, recreativo con contacto primario, riego agrícola, pecuario, protección a la vida acuática de agua dulce, protección a la vida acuática en agua marina.

En la Tabla 1 se muestran algunos de los parámetros sugeridos en el análisis y evaluación del agua.

Tabla 1.- Parámetros para el análisis y evaluación del agua

Grupo	Parámetro
Físicos	Conductividad Eléctrica Materia Flotante Oxígeno Disuelto pH Temperatura Potencial Redox Sólidos Disueltos Totales Sólidos Suspendidos Totales Sólidos Volátiles Turbiedad Sólidos Totales
Inorgánicos	Alcalinidad Total Dureza Total Fosforo Total
Materia orgánica	Absorción UV Demanda Química de Oxígeno Carbono Orgánico Total Nitrógeno

5.2 Parámetros Físicos Y Químicos del Agua

5.2.1 Temperatura

La temperatura, es una propiedad termodinámica que influye notablemente en muchas de las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. Juega un papel importante en la autopurificación de los desechos orgánicos, afectando simultáneamente la rapidez de estabilización de la materia orgánica, el nivel de saturación del oxígeno disuelto y la rapidez de aeración. También influye en parámetros físicos y químicos de importancia sanitaria, como son la densidad, la conductividad y el pH.

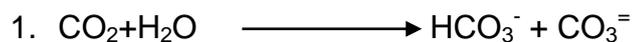
De acuerdo con la NMX-AA-007-SCFI-2000 la medición de la temperatura, debe realizarse en el sitio donde se encuentra el agua, y el resultado debe expresarse en grados Celcius ($^{\circ}\text{C}$). Las temperaturas elevadas indican actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica¹ de un cuerpo de agua.

5.2.2 pH

El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua, debido a que influye en varios procesos químicos y biológicos. El pH, es una medida del balance de acidez en una solución y está definido como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración del ión H_3O^+ , en una escala que va de 1 (muy ácido) a 14 (muy alcalino); el valor de 7 representa un agua neutra. En un agua no contaminada, el pH está controlado por el equilibrio que existe entre CO_2 , CO_3 y el HCO_3 , así como de otros compuestos naturales como los ácidos fúlvicos y húmicos (6).

¹ Determinación de los aspectos físicos, químicos, hidrológicos y biológicos del agua dulce.

Equilibrio de los carbonatos en el agua



5.2.3 Alcalinidad

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. La alcalinidad de las aguas naturales corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. También los hidróxidos y el amoníaco contribuyen a la Alcalinidad Total del Agua.

El monitoreo de la alcalinidad se lleva a cabo en dos partes, en primer lugar, con fenolftaleína, para conocer la cantidad de álcalis libres y bicarbonatos alcalinos cáusticos. En segundo lugar con anaranjado de metilo para determinar la alcalinidad total, la cual se relaciona con la cantidad de álcalis libres, carbonatos y bicarbonatos que contiene el agua (7).

5.2.4 Conductividad Eléctrica

Es la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica por la presencia de sólidos disueltos, en general de tipo mineral. En cuerpos de agua naturales, varía de 10 a 1000 $\mu\text{homs/cm}$, valor que es fácilmente excedido en aguas contaminadas o por la presencia de lixiviados o por una excesiva salinización del agua (6).

5.2.5 Sólidos Disueltos Totales

El término sólidos, hace alusión a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. Al determinar la cantidad de sólidos disueltos totales, se mide de manera específica el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) que pasan través de una membrana con poros de 2.0 μm .

Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua, tal es el caso de las características sensoriales que se vuelven indeseables para el consumidor.

El análisis de sólidos disueltos es importante como indicador de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

De acuerdo a la NOM-127, el límite máximo permitido es de 1000 mg/L de agua.

5.2.6 Nitrógeno

El nitrógeno molecular supone casi el 80% de la atmosfera terrestre, pese a ello, ningún microorganismo es capaz de utilizarlo de manera directa, por lo que es necesario que sea fijado con otros elementos, como oxígeno e hidrógeno, produciendo ion nitrato y el ión amonio; de esta manera puede ser empleado por los organismos autótrofos.

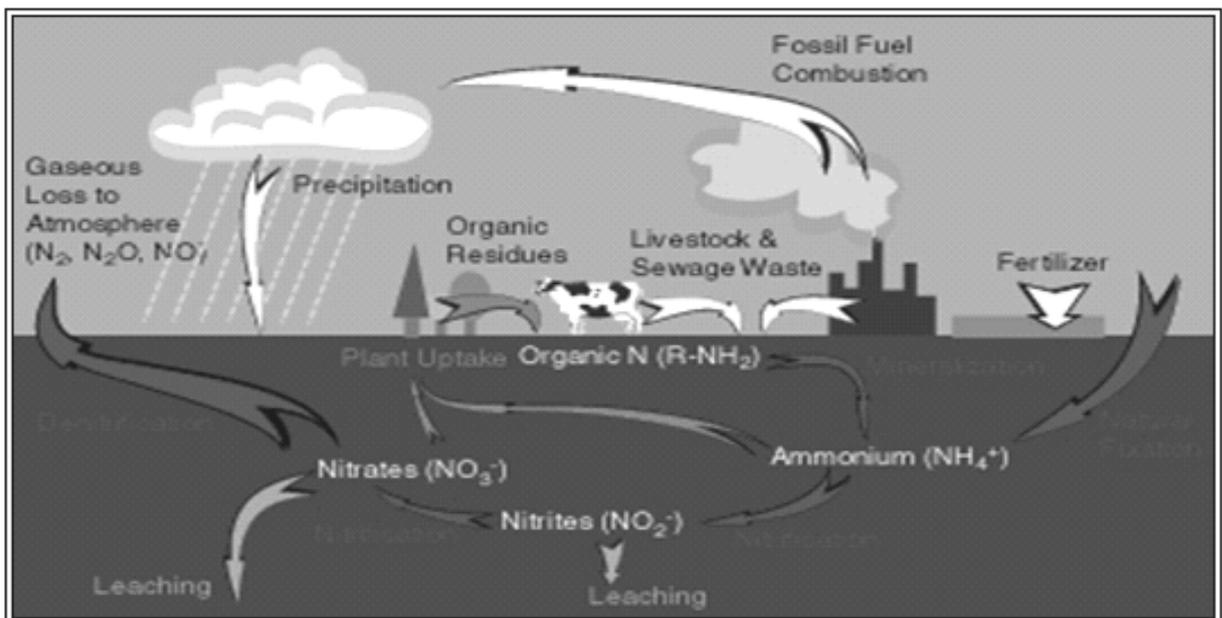


Figura1.-Ciclo del nitrógeno

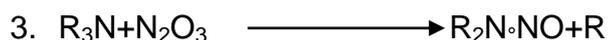
5.2.6.1 Nitritos

Los nitritos no sólo son producto de la oxidación del amoniaco o de la reducción de los nitratos, también provienen de la elaboración de diversos productos cárnicos. Esto se debe, a que los nitritos y los nitratos ayudan a desarrollar un color característico en los productos curados, al formar la nitrosilmioglobina y actuar como inhibidores específicos del crecimiento de *Clostridium butulinum*.

En concentraciones comúnmente empleadas, no presentan problemas de toxicidad sin embargo, al ser consumidos de manera excesiva causa cianosis, la cual se caracteriza por la síntesis de metahemoglobina en la sangre, impidiendo que la hemoglobina se combine con el oxígeno, de manera que cada uno de los órganos internos deja de recibir la cantidad de oxígeno necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales.

Otro de los grandes inconvenientes de los nitritos, es que pueden reaccionar con diferentes aminas secundarias y terciarias produciendo nitrosaminas, las cuales son sustancias que se consideran capaces de provocar cáncer en el ser humano.

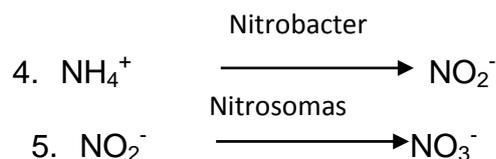
La síntesis de nitrosaminas se efectúa con el nitrato como agente nitrante.



Entre los compuestos producidos por este mecanismo, se encuentran la N-nitrosodietilamina $[(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{N}_2\text{O}]$ y la N-nitrosodimetilamina $[(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{O}]$, ambos identificados como potentes hepatocarcinógenos (1).

5.2.6.2 Nitratos

En el suelo viven bacterias autotrófas nitrificantes, como las de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Dichos microorganismos obtienen su energía oxidando amonio o nitrito. En primer lugar las *Nitrosomonas* oxidan el amonio a nitrito y en segundo lugar *Nitrobacter* oxida los nitritos a nitratos (10).



La importancia de la determinación de los nitratos, radica en que un gran número de plantas almacenan nitrato en sus tallos y hojas. En general el que las verduras contengan una elevada proporción de nitratos no representa problemas para el hombre adulto, sin embargo, para los lactantes representa un grave riesgo, Debido a que los nitratos pueden ser reducidos a nitritos en la primera porción del intestino delgado de los lactantes (1), dando lugar a la aparición de metahemoglobina, con lo que se impide la función respiratoria de los eritrocitos. El sistema enzimático que reduce nuevamente la metahemoglobina a hemoglobina (metahemoglobina-reductasa y NADH_2), es menos activo en los lactantes que en los adultos, de forma que se puede producir una intoxicación grave. Cerca de 6.5 mg de ion nitrato/kg de peso corporal, puede provocar envenenamiento en los lactantes de tres meses (4).

5.2.6.3 Nitrógeno Amoniacal

Casi todo el nitrógeno del suelo se encuentra formando moléculas orgánicas, principalmente proteínas. Cuando un organismo muere, el proceso de descomposición consiste en la hidrólisis de proteínas en aminoácidos, con la

posterior formación de amoníaco. Por ser el amoníaco un gas, puede desaparecer rápidamente del suelo seco, pero en el suelo húmedo se solubiliza en el agua formando iones de amonio, los cuales pueden ser usados por las bacterias y las plantas en la síntesis de aminoácidos (10) o puede ser oxidado a nitritos, lo cual representa un gran riesgo por lo expuesto anteriormente.

5.2.7 Dureza

La dureza es la suma de la concentración total de iones de calcio y magnesio expresados como CaCO_3 . Se denominan aguas duras, aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma, además de provocar incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calderas, evaporadores, intercambiadores de calor y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua. En la Tabla 2 se muestra la clasificación del agua en función al grado de dureza que presenta.

Tabla 2.- Clasificación del Agua de Acuerdo con el Grado de Dureza

mg/L CaCO_3	Tipo de agua
0-75	Suave
75-150	Poco Dura
150-300	Dura
> 300	Muy Dura

5.2.8 Sulfatos

Los iones sulfato, están frecuentemente en las aguas naturales debido al poder de dilución que tiene el agua, sobre los minerales contenidos en la corteza terrestre. Su presencia puede ser perjudicial, debido a que puede formar incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor y en equipos de enfriamiento. También son responsables, en forma indirecta, de problemas de olor y corrosión en tuberías; fenómenos que están relacionados con el manejo y tratamiento de aguas residuales, originados por una reducción química en condiciones anaerobias.

El oxígeno disuelto, tiene la capacidad de oxidar los sulfitos a sulfatos en un ámbito de pH superior a 8, por tal motivo, debemos ajustar el pH de las muestras antes de que sean analizadas.

5.2.9 Cloruros

Las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, pasa rápidamente a la fase acuosa, llegando a alcanzar concentraciones muy altas, provocando que el agua no sea apta para consumo humano o para el ganado (6), al afectar las características organolépticas del producto, o por la formación de compuestos orgánicos clorados como los trihalometanos.

El ión cloruro posee una gran solubilidad en agua, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal. La concentración de cloruros en aguas subterráneas, varía desde menos de 10 mg/L a más de 3000 mg/L.

5.2.10 Carbono Orgánico Total

El Carbono Orgánico Total, está referido a los compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos presentes en el agua residual (celulosa, azúcares, aceites, entre otros). No importa que el agua se haya filtrado, de cualquier modo se obtendrá el carbono disuelto o carbón total. Esto nos permite facilitar la estimación de la demanda de oxígeno debida a los vertidos, es decir a los materiales de deshecho que se arrojan a vertederos o al agua, y establece una correlación con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Dichas determinaciones son producto de la cantidad de materia orgánica presente, propiciando el crecimiento de las algas mediante la utilización de los minerales liberados de la materia orgánica, lo que lleva a la producción de oxígeno durante las horas de luz. Ocasionando variaciones de oxígeno, hasta que finalmente este se acerca a la saturación. Esta demanda de oxígeno se expresa como *Demanda Bioquímica de Oxígeno*, la cual se define como la *cantidad de oxígeno disuelto necesario para que los microorganismos oxiden la materia orgánica biodegradable*. La materia orgánica en una muestra puede también reaccionar directamente con oxígeno a temperatura elevada, para formar CO_2 , el cual rápidamente se mide por técnicas sensibles de rayos infrarrojos o métodos potenciométricos para dar una medida del Carbono Orgánico Total (COT) (5).

La ventaja en la determinación del COT se debe a que está menos sujeta a interferencias, particularmente en presencia de materias nitrogenadas (7).

5.2.11 Absorción UV 254nm

La razón por la cual se lleva a cabo la medición de la absorción UV a 254 nm se debe a que la espectroscopia ultravioleta detecta las transiciones electrónicas de sistemas conjugados, proporcionando información acerca de la longitud y estructura de la parte conjugada de una molécula. Es decir, puede ser considerada como una medida indirecta de la cantidad de compuestos aromáticos presentes en el agua, provenientes de las aguas residuales.

La NOM 127, no considera este parámetro en la calidad del agua potable. Sin embargo, es recomendado por los Criterios Ecológicos de Agua Potable, debido a que la fuente de abastecimiento empleada recibe influencia directa de las aguas residuales, incrementándose la cantidad de compuestos aromáticos en ella.

En la Tabla 3 se muestran los límites permitidos para cada parámetro por la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 3. Límites permitidos para cada parámetro a evaluar

Parámetro	Límite permitido
Temperatura	NA
PH	6.5-8.5
Conductividad	NA
SDT	1000 mg/L
Sulfatos	400 mg/L
Cloruros	250 mg/L
Alcalinidad	NA
Dureza	500 mg/L

Parámetro	Límite permitido
Nitrógeno	Nitratos 10 mg/L Nitritos 0.05 mg/L Amoniacal 0.50 mg/L
COT	NA
Absorción UV a 254 nm	NA

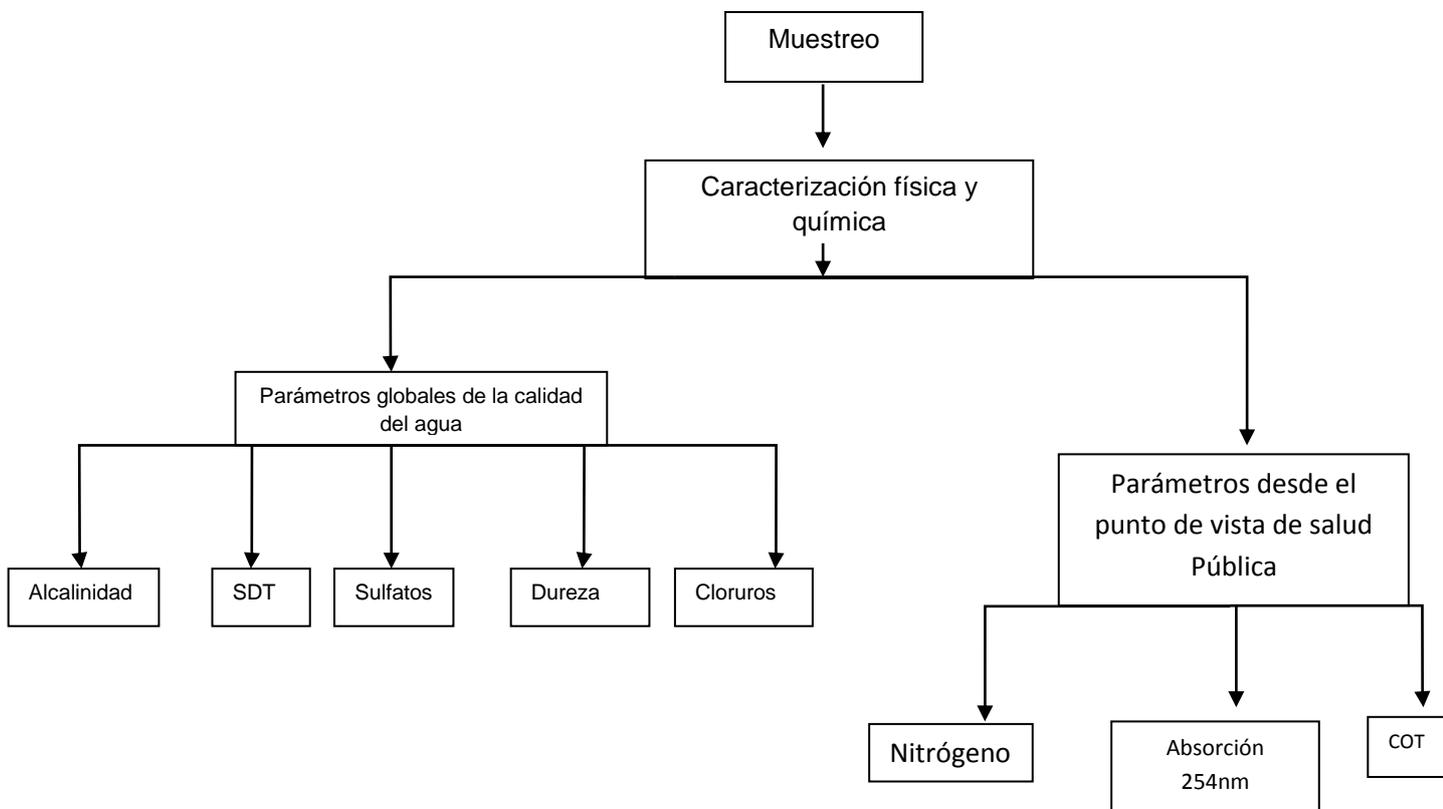
SDT: Sólidos Disueltos Totales
COT: Carbono Orgánico Total
NA: No Aplica

6. Metodología

En este capítulo hablaremos de cada una de las metodologías que se siguieron para llevar a cabo la determinación de los diferentes parámetros a evaluar (Fig.2). De acuerdo al fundamento establecido en el capítulo anterior para cada uno.

Cabe señalar que los reactivos empleados en cada determinación fueron proporcionados por el laboratorio del edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, en las concentraciones requeridas, por lo que no hubo necesidad de prepararlos.

Figura 2. Diagrama de trabajo en la determinación de las características Físicas y Químicas del agua del Manantial Cerro Colorado



Muestreo

Se realizaron 5 muestreos en el manantial Cerro Colorado, correspondientes a los meses de Noviembre y Diciembre de 2008. En campo se realizó la medición de: pH, temperatura y conductividad eléctrica, ya que son parámetros que pueden variar con el tiempo. Para los análisis de laboratorio, las muestras fueron recolectadas en recipientes de plástico y de vidrio, limpios y secos para evitar interferencias por factores externos. A continuación se describe cada una de las metodologías.

Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua

Alcalinidad (Realizarse dentro de las 24 h después de su recolección)

Fundamento:

La determinación de la alcalinidad, se realiza conforme al método establecido en los métodos estándar de APHA el cual, se basa en la medición de la acidez o alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante ácido sulfúrico de concentración conocida. Es importante señalar, que no deben eliminarse los sólidos suspendidos de la muestra, ya que éstos pueden contribuir a su acidez o alcalinidad.

Material	Reactivos
4 matraces Erlenmeyer de 250 mL	Hidróxido de sodio 0.01N
1 Probeta de 100 mL	Ácido Sulfúrico 0.02 N
1 Bureta de 10 mL	Fenolftaleina
1 Bureta de 50 mL	Anaranjado de metilo.

Procedimiento:

La muestra se recolectó en un recipiente de plástico, el cual fue llenado por completo, con la finalidad de conservar al máximo las características que poseía el agua en el manantial.

Se tomaron 50 mL del agua de Cerro Colorado, sin filtrar, los cuales se colocaron en un matraz de 250 mL (por triplicado); se realizó un blanco con 50 mL de agua destilada; a cada matraz se le adicionaron 0.2 mL de fenoftaleína y 0.1 mL de hidróxido de sodio 0.01 N, y se tituló con ácido sulfúrico 0.02 N, hasta que desapareció por completo el color rosa. Posteriormente, a cada matraz se le añadieron 0.2 mL de anaranjado de metilo, y se continuó la titulación, con H_2SO_4 , hasta que el color de la muestra se tornó canela. Se registró el volumen gastado

Cálculos:

$$\frac{((V1 + V2 \text{ mL}) - \text{mL blanco})}{\text{mL muestra}} * N H_2SO_4 * 50 * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \frac{\text{mg}}{L} CaCO_3$$

Sólidos Disueltos Totales (SDT).

Fundamento:

La determinación de los SDT, se realiza mediante los métodos estándar de APHA, cuyo principio radica en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada.

Material	Equipo
3 Capsulas de Porcelana a Peso Constante 1 Probeta de 100 mL Balanza Analítica	Estufa

Procedimiento:

En tres cápsulas de porcelana, a peso constante, se colocaron 50 mL del agua de Cerro Colorado. A continuación, se metieron en la estufa a 100 °C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo y una vez que se enfriaron, se determinó el peso final.

Cálculos:

$$\frac{(\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)})}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = \text{SDT mg/L}$$

Sulfatos

Fundamento:

La determinación de los sulfatos se realiza mediante un método gravimétrico, que se basa en precipitar los sulfatos en un medio ácido, como sulfato de bario. Esta precipitación es función de la temperatura y ocurre en un periodo de digestión de 18 horas. En este sistema se pueden encontrar, ciertas interferencias como son: la precipitación de nitratos y sulfitos, con la posibilidad de que los sulfitos sean oxidados a sulfatos, ocasionando la sobreestimación de los resultados. Otra situación que puede afectar los resultados, es la presencia de los metales alcalinos, debido a que pueden interaccionar con el sulfato de bario, mediante reacciones de sustitución. Tanto el cromo como el hierro, disminuyen los resultados al interferir con la completa precipitación de los sulfatos (9).

Material	Reactivos	Equipo
Papel filtro # 40 4 matraces Erlenmeyer de 250 mL con tapa 1 Probeta de 100 mL 1 Pipeta de 10 mL Parrilla de Calentamiento Papel Filtro del 40 4 Capsulas de Porcelana a Peso Constante Balanza Analítica	Ácido Clorhídrico 0.3M Cloruro de Bario	Parrilla de agitación/calentamiento Barnstead/Thermolyne. CIMAREC. STIR Horno Felisa R Estufa

Procedimiento:

Se agregaron 100 mL del agua de Cerro Colorado a un matraz erlenmeyer con tapa (por triplicado). Al blanco se le agregaron 100 mL de agua destilada. Posteriormente se acidificaron las muestras, con ácido clorhídrico 0.3M, hasta alcanzar un pH de 4.5

Cada uno de los matraces se sometió a calentamiento hasta ebullición. Una vez en ebullición, se retiraron del fuego y se le adicionaron 5 mL de cloruro de bario. Finalmente, se colocaron en la estufa a 100° durante 18 horas.

Al término de las 18 horas las muestras se filtraron, usando papel filtro del número 40 y se lavaron con agua destilada caliente. El papel filtro se colocó en capsulas de porcelana, previamente colocadas a peso constante, y se calcinó a 800°C durante una hora. Se registró el peso final de las cápsulas.

Cálculos:

$$\frac{(\Delta \text{Peso} - \text{blanco})}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} * \frac{Pm \text{SO}_4^{2-}}{Pm \text{BaSO}_4} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = \text{SO}_4^{2-}\text{-mg/L}$$

Dureza

Fundamento:

El método usado en este trabajo es complexométrico, y su principio radica en la formación de un quelato, entre los alcalinotérreos presentes en el agua y la sal disódica del ácido etilen diamino tetracético (EDTA). A medida que avanza la titulación y los elementos libres forman complejos con el EDTA, poniéndose de manifiesto por el viraje del indicador eriocromo T, esto se lleva a cabo en un medio tamponado para impedir la precipitación del magnesio, permitiendo de esta forma, determinar la suma de los iones calcio y magnesio (7).

En el caso de la determinación de la dureza de calcio, el principio es el mismo, excepto que se lleva a cabo a pH 12 ó 13, ocasionando que el magnesio precipite en forma de hidróxido de magnesio, de esta forma se evita que participe en la reacción. El indicador que se utiliza es murexina, el cual sólo se combina con el calcio (7). La dureza por magnesio se obtiene mediante la diferencia de la dureza total y la dureza de calcio.

Material	Reactivos
3 Matraces Erlenmeyer de 100 mL	<i>Hidróxido de sodio 0.1N</i>
1 probeta de 100 mL	<i>Hidróxido de amonio</i>
1 Bureta de 10 mL	<i>Negro de eriocromo</i>
1 Espátula	<i>MurexidaT</i>
	<i>EDTA 0.1M</i>

Dureza Total

Se colocaron, por triplicado, 50 mL del agua de Cerro Colorado sin filtrar, en matraces de 100 mL. Se preparó un blanco al cual se le agregaron 50 mL de agua destilada. Se ajustó el pH a 10 con hidróxido de sodio 0.1 N y se agregaron 0.2 g del indicador negro de eriocromo T. La titulación se llevó a cabo con EDTA 0.1 M hasta que se observó una coloración azul en la muestra. Se registró el volumen de EDTA gastado.

Cálculos:

$$\frac{V_{\text{gastado mL EDTA}}}{V \text{ mL muestra}} * \frac{0.1 \text{ mol EDTA}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} * \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} * \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \text{mg/L CaCO}_3$$

Dureza de Calcio

Se colocaron, por triplicado, 50 mL del agua de Cerro Colorado sin filtrar en matraces de 100 mL. Se preparo un blanco con 50 mL de agua destilada. En cada una de las muestras, incluido el blanco, se ajustó el pH a 13 con hidróxido de amonio y se agregaron 0.2 g del indicador Murexida y se tituló con EDTA 0.1M hasta que la muestra se torno rosa mexicano. Se registró el volumen de EDTA gastado.

Cálculos:

$$\frac{V_{\text{gastado mL EDTA}}}{V \text{ mL muestra}} * \frac{0.1 \text{ mol EDTA}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} * \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} * \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \text{mg/L CaCO}_3$$

La dureza por magnesio se determinó mediante la diferencia entre la dureza total y la dureza de calcio

Cloruros

Fundamento:

Los cloruros se determinan mediante una solución valorada de nitrato de plata en presencia de cromato de potasio, la coloración roja correspondiente al cromato de plata indica el final de la reacción (7).

Material	Reactivos
3 matraces Erlenmeyer de 250 mL 1 Probeta de 100 mL 1 Pipeta de 1 mL Bureta de 50 mL	Solución de cromato Nitrato de plata 0.14 N

Procedimiento:

En tres matraces Erlenmeyer de 250 mL, se agregaron 50mL del agua de Cerro Colorado. Se realizó un blanco con 50 mL de agua destilada. A cada matraz, incluido el blanco, se le adicionaron 0.2 mL de una solución de cromato como indicador. Se tituló cada una de las muestras con nitrato de plata 0.14N. Se registró el volumen gastado para producir la coloración roja.

Cálculos:

$$\frac{(mL \text{ gastados} - mL \text{ blanco})}{mL \text{ muestra}} * N \text{ AgNO}_3 * \frac{1 \text{ eq Cl}^-}{1 \text{ eq AgNO}_3} * \frac{35.45 \text{ g Cl}}{1 \text{ eq Cl}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \frac{mg}{L} \text{ Cl}^-$$

Parámetros Indicadores Desde el Punto de Vista de Salud Pública

Nitrógeno (Realizarse dentro de las 24 h después de su recolección)

Nitritos

Fundamento:

La determinación de este parámetro se llevo acabó conforme al método de diazonización 8507 del manual HACH. Esté método consiste en hacer reaccionar los iones nitrito con ácido sulfamilico para formar un intermediario cromóforo de la sal de diazonio, presentando una coloración rosa proporcional a la concentración de nitritos, la cual se lee a 507 nm en el programa 371. Las interferencias que pueden presentarse se deben, entre otras, a los iones antimonio y a los iones bismuto con los cuales se produce un precipitado de la muestra. Así como también los iones cúpricos, que producen lecturas bajas, y los iones nitrato que se reducen a nitritos, produciendo lecturas elevadas. La sensibilidad de este método es de 0.002mg/L.

Procedimiento:

Se colocó, por triplicado, 10 mL del agua filtrada de Cerro Colorado en celdas Hach. Se realizó un blanco que contenía 10 mL de agua destilada; a cada una de las celdas que contenían a la muestra y, se les agregó el agente para nitritos de bajo rango. Se homogeneizó y dejó en reposo durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo se leyó el resultado con el programa 371, del equipo Hach DR5000. Ajustando a cero con un blanco.

Nitratos

Fundamento:

La cuantificación de nitrógeno proveniente de nitratos se realizó conforme al método de reducción con cadmio 8192, del manual HACH. Este método consiste en la reducción del nitrato a nitritos mediante una sal de cadmio en medio ácido, los nitritos forman una sal de diazonio, dando como resultado un compuesto cromóforo que le brinda a la muestra una coloración rosa, la cual se lee a 507 nm en el programa 351. Las interferencias que pueden presentarse en esta determinación pueden deberse a la presencia de calcio y cloro en concentraciones ≥ 100 mg/L, la presencia de nitritos y pH extremo. La sensibilidad del método es de 0.004 mg/L.

Procedimiento:

Se colocaron, por triplicado, 25 mL del agua filtrada de Cerro Colorado en celdas HACH. Se realizó un blanco, el cual contenía 25 mL de agua destilada. A cada una de las celdas que contenían a la muestra se le agregó el agente para nitratos y se homogeneizó y dejó en reposo durante 1 minuto. Transcurrido el tiempo se leyó el resultado con el programa 351, del equipo Hach DR5000. Se ajusto a cero con un blanco

Nota: el blanco no lleva agente para nitratos.

Nitrógeno amoniacal

Fundamento:

La determinación de este parámetro se realizó conforme al método Nessler 8038, del manual HACH, en el cual el estabilizante mineral forma complejos en la muestra, mientras que el alcohol polivinílico dispersa los agentes ácidos. La formación de color en la reacción está dada por la interacción del reactivo de

Nessler con los iones amonio, produciéndose una coloración amarilla la cual es proporcional a la concentración de amonio. La lectura se realiza a 425nm con el programa 380. Las interferencias están dadas, entre otras cosas, por la presencia de iones hierro a elevadas concentraciones, produciendo turbiedad con el reactivo de Nessler; la glicina al igual que las aminas aromáticas y alifáticas, provocan una coloración verdosa o turbiedad. La sensibilidad de este método es de 0.02mg/L.

Procedimiento:

Se colocaron, por triplicado, 25mL del agua filtrada de Cerro Colorado en celdas HACH. Se realizó un blanco, el cual contenía 25mL de agua destilada. En cada una de las celdas con muestra e incluyendo la del blanco, se le agregaron los siguientes reactivos de manera consecutiva: 3 gotas de estabilizador mineral, 3 gotas de alcohol polivinílico y 1 mL del reactivo de Nessler. Se dejó reposar durante 1 minuto y se leyó el resultado, ajustando a cero con el blanco, en el programa 380 del equipo HACH DR5000.

Parámetro	Material	Reactivos	Equipo
Nitritos	4 celdas HACH	Agente para nitritos	HACH DR 5000.
Nitratos	4 celdas HACH	Agente para nitratos	LPG4089900012.
Nitrógeno Amoniacal	4 celdas HACH	Estabilizador mineral Alcohol polivinilico Reactivo de Nessler	Serie 1231778

Carbono Orgánico Total

Fundamento:

La determinación del Carbono Orgánico Total se realizó por el método directo 10129 del manual HACH. En este método la muestra debe ser sometida a condiciones ácidas, lo cual remueve el carbono inorgánico en el interior del frasco vial, el carbono orgánico de la muestra es digerido por el persulfato y el ácido para formar dióxido de carbono. Durante la digestión el dióxido de carbono se difunde en un indicador de pH, el cual se encuentra ubicado dentro de la ampolleta contenida en el frasco vial, esta adsorción del dióxido de carbono en el indicador, forma ácido carbónico el cual causa un cambio en el pH y color de la solución indicador, proporcionando una lectura del COT a 430nm con el programa 427. La sensibilidad de este método es de 0.3 mg/L.

Material	Reactivos	Equipo
3 Matraces Erlenmeyer de 50 mL 1 Agitador Magnético Pipeta de 1 mL	Buffer a pH 2 Reactivo TOC Ampolleta con azil de metileno Para el blanco: Agua desionizada	Parrilla de agitación/calentamiento Barnstead/Thermolyne. CIMAREC. STIR HACH DRB 200. LTG 825442001. Serie 1244741 HACH DR 5000. LPG4089900012. Serie 1231778

Procedimiento:

Se colocaron, por triplicado, 10 mL del agua de Cerro Colorado en matraces Erlenmeyer de 50 mL, y se adicionaron 0.4 mL de buffer para mantener un pH 2. Se agitó durante 10 minutos a velocidad media, se transfirió 1 mL de la muestra a un frasco vial y se adicionó el reactivo TOC, teniendo cuidado que

no quedara reactivo pegado a las paredes. Finalmente, se añadió la ampolleta que contenía azul de metileno, la cual fue previamente lavada y secada, para que no hubiera interferencias al momento de la lectura.

Para preparar el blanco, al frasco vial se le agregaron los mismos reactivos, pero en lugar de 1 mL de muestra se le añadió 1 mL de agua des ionizada.

Tanto la muestra como el blanco, se digirieron a 105°C durante 120 minutos.

Transcurrido este tiempo se leyó con el programa 427 del equipo HACH DR5000.

A continuación, en la Tabla 4, se mencionan las técnicas empleadas en cada una de las determinaciones de los parámetros relacionados con la salinidad.

Tabla 4.- Técnicas empleadas en las determinaciones de los parámetros relacionados con la salinidad

Parámetro	Método	Técnica
Dureza	Titulometría	3500-Ca D. Standard Methods
Alcalinidad		
Cloruros		4500-Cl. Standard Methods
Sulfatos	Gravimetría	4500-SO ₄ ²⁻ C. Standar Methods
SDT		2540 C. Standard Methods
Nitrógeno Amoniacal	Nessler	8038 HACH ²
Nitritos	Diazonización	8507 HACH
Nitratos	Reducción con Cadmio	8192 HACH
Absorbancia	Absorción 254nm	---
Carbono orgánico total	Método Directo	10129 HACH

² Técnica obtenida de el manual HACH para análisis de agua (ver bibliografía)

7 Resultados y Discusión

7.1 Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua

Se promediaron los resultados obtenidos en el análisis experimental para cada uno de los parámetros relacionados con la calidad del agua. Cabe señalar que de estos parámetros, sólo el pH está considerado dentro de la NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-Limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe ser sometida el agua para su potabilización”. Por lo que el resto de los parámetros se compararon solamente con las referencias históricas, es decir datos previos obtenidos por el Instituto de Ingeniería durante el mes de julio de 2007. El promedio de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.- Promedio de los Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua

Muestreo	Temperatura °C	pH	Conductividad μS/cm-1
NOM-127	NA	6.5-8.5	NA
Histórico	21	7	734
nov -2008	16	7	974
dic-08	19	7	941
Desviación Estándar	2,40	0,24	130,16

En la Tabla 5 se observa que no hay variación respecto de la Temperatura, al comparar los resultados experimentales con los valores históricos. Con respecto al pH, se observa que se mantiene dentro del rango establecido en la Norma de Agua Potable, lo que indica que el agua es neutra, así como tampoco hay actividad biológica significativa.

De los valores de la conductividad obtenidos de manera experimental se observa que para los meses noviembre y diciembre de 2008 la conductividad eléctrica es mayor que la del mes de julio de 2007. Lo que es atribuible a que la cantidad de Sólidos Totales aumentó en las aguas residuales.

7.2 Parámetros Relacionados con la Salinidad

Los resultados obtenidos experimentalmente en las pruebas físicas y químicas se muestran de la Tabla 6 a la Tabla 9, así como un ejemplo del cálculo realizado. Mismos que se concentran por mes en la Tabla 10.

Tabla 6.- Sólidos Disueltos Totales

Muestreo	Repetición	Capsula Después	Capsula Antes	SDT(mg/L)	Promedio Muestreo	Desviación Estándar
18-nov-08	1	53,08	53,03	1050	1083,3	36,3
	2	45,97	45,91	1122		
	3	51,59	51,54	1078		
24-nov-08	1	45,98	45,92	1066	1062,7	15,3
	2	52,56	52,50	1046		
	3	53,09	53,04	1076		
01-dic-08	1	53,09	53,04	1108	1087,3	23,4
	2	45,98	45,93	1092		
	3	52,56	52,51	1062		
08-dic-08	1	53,11	53,05	1142	1141,3	1,2
	2	52,58	52,52	1140		
	3	46,00	45,94	1142		
15-dic-08	1	53,11	53,06	1080	1081,3	8,1
	2	46,00	45,95	1074		
	3	52,59	52,53	1090		
				Total	1091,2	29,6

Cálculos

$$\frac{(\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)})}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = \text{SDT mg/L}$$

$$\frac{(53.0797\text{g} - 53.0272\text{g})}{50\text{mL}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = 1050\text{mg/L}$$

Tabla 7.- Sulfatos

Muestreo	Repetición	Capsula Después	Capsula Antes	Sulfatos (mg/L)	Promedio Muestreo	Desviación Estándar
18-nov-08	Blanco	51,53	51,53	0,00	94,4	78,6
	1	47,51	47,50	5,35		
	2	50,71	50,68	123,89		
	3	43,33	43,29	153,94		
24-nov-08	Blanco	51,55	51,54	0,00	136,9	17,5
	1	47,54	47,50	131,71		
	2	50,71	50,68	122,66		
	3	43,33	43,29	156,41		
01-dic-08	Blanco	47,49	47,49	0,00	196,3	13,9
	1	50,72	50,67	211,97		
	2	51,59	51,54	191,81		
	3	43,33	43,28	185,22		
08-dic-08	Blanco	47,49	47,49	0,00	171,2	49,7
	1	50,71	50,67	150,23		
	2	51,59	51,53	228,03		
	3	43,32	43,28	135,42		
15-dic-08	Blanco	47,49	47,48	0,00	143,9	1,7
	1	51,57	51,53	145,71		
	2	50,71	50,67	142,41		
	3	43,33	43,29	143,65		
				Total	148,6	38,4

Cálculos

$$\frac{(\Delta \text{Peso} - \text{blanco})}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} * \frac{Pm \text{SO}_4^{2-}}{Pm \text{BaSO}_4} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = \text{SO}_4^{2-}\text{-mg/L}$$

$$\frac{(50.7088\text{g} - 50.6771\text{g}) - (51.5337 - 51.5321\text{g})}{100\text{mL}} * \frac{96.13\text{gBaSO}_4}{233.43\text{gSO}_4^{2-}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}}$$

$$= 123.95 \text{SO}_4^{2-}\text{-mg/L}$$

Tabla 8.- Cloruros

Muestreo	Repetición	mL de AgNO ₃ gastados	Cloruros mg/L	Promedio Muestreo	Desviación Estándar
24/11/2008	Blanco	0,00		165,8	2,6
	1,00	16,60	164,77		
	2,00	16,50	163,78		
	3,00	17,00	168,74		
24/11/2008	Blanco	0,90		150,2	33,1
	1,00	12,20	112,16		
	2,00	17,60	165,76		
	3,00	18,30	172,71		
01/12/2008	Blanco	1,20		164,4	7,6
	1,00	17,10	157,82		
	2,00	18,60	172,71		
	3,00	17,60	162,79		
08/12/2008	Blanco	0,90		162,5	3,8
	1,00	17,00	159,81		
	2,00	17,10	160,80		
	3,00	17,70	166,76		
15/12/2008	Blanco	0,90		161,1	1,5
	1,00	17,00	159,81		
	2,00	17,10	160,80		
	3,00	17,30	162,79		
			total	160,8	6,2

Cálculos

$$\frac{(mL \text{ gastados} - mL \text{ blanco})}{mL \text{ muestra}} * N \text{ AgNO}_3 * \frac{1 \text{ eq Cl}^-}{1 \text{ eq AgNO}_3} * \frac{35.45 \text{ g Cl}}{1 \text{ eq Cl}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \frac{mg}{L} \text{ Cl}^-$$

$$\frac{(12.20 \text{ mL} - 0.90 \text{ mL})}{50 \text{ mL muestra}} * \frac{0.014 \text{ eq AgNO}_3}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ eq Cl}^-}{1 \text{ eq AgNO}_3} * \frac{35.45 \text{ g Cl}}{1 \text{ eq Cl}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$= 112.16 \frac{mg}{L} \text{ Cl}^-$$

Tabla 9.- Alcalinidad

Muestreo	Repetición	Vol1. H2SO4 0.02N	Vol2. H2SO4 0.02N	Alcalinidad Total CaCo3 (mg/L)	Promedio	Desv Est.
24/11/2008	blanco	0,00	0,15		461,0	30,8
	1	1,05	21,75	456		
	2	0,75	23,95	494		
	3	0,90	20,75	433		
24/11/2008	blanco	0,40	0,40		629,3	23,4
	1	3,80	28,70	650		
	2	2,80	28,90	634		
	3	2,30	27,90	604		
01/12/2008	blanco	0,40	0,10		474,7	21,9
	1	1,10	23,50	492		
	2	1,10	23,00	482		
	3	0,70	21,80	450		
08/12/2008	blanco	0,50	0,20		546,0	2,0
	1	2,00	25,40	548		
	2	1,80	25,40	544		
	3	2,00	25,30	546		
15/12/2008	blanco	1,60	0,70		496,7	8,1
	1	0,40	24,80	504		
	2	1,90	23,00	498		
	3	0,40	24,00	488		
				Total	521,5	68,4

Cálculos

$$\frac{((V1 + V2 \text{ mL}) - \text{mL blanco})}{\text{mL muestra}} * N \text{ H}_2\text{SO}_4 * 50 * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CaCO}_3$$

$$\frac{((1.5 + 21.75 \text{ mL}) - 0.15 \text{ mL})}{50 \text{ mL muestra}} * \frac{0.02 \text{ eq H}_2\text{SO}_4}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq CaCO}_3}{2 \text{ eq de H}_2\text{SO}_4} * \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ eq CaCO}_3} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$= 461 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CaCO}_3$$

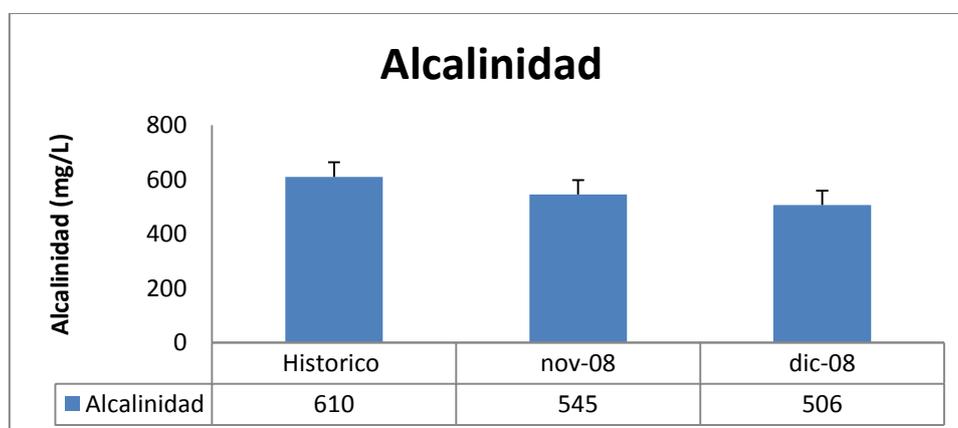
En la Tabla 10 se compara por mes, el promedio de los valores obtenidos de manera experimental para SDT, Sulfatos, Cloruros y la Alcalinidad con los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 y con datos obtenidos anteriormente por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tabla 10.- Comparación de los valores experimentales con datos ya establecidos. Tanto en la NOM-127-SSA1-1994 como en el Históricos.

Monitoreo	SDT(mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)
NOM-127-SSA1-1994	1000	400	250	-----
Histórico (jul-2007)	1061	378	175	610
nov-2008	1073	131	158	545
dic-2008	1103	170	163	506
Desviación Estándar	21.8	132.7	8.8	53

Como se observa en la Tabla 10 los valores de SDT están por arriba de los 1000 mg/L de SDT que permite la NOM-127-SSA1-1994. Así mismo se observa que la cantidad de Sulfatos y de Cloruros presentes en el Manantial Cerro Colorado esta por debajo del valor establecido en dicha norma.

En lo que se refiere a la alcalinidad, no hay un valor determinado por la norma. Sin embargo, al compararlo con los datos históricos (Grafica 1) observamos que la alcalinidad del agua del Manantial Cerro Colorado es menor en la temporada de estiaje (sequia) que en la temporada de lluvia (Histórico).



Grafica 1.- Comparación de los resultados de alcalinidad experimentales con valores históricos.

Con los datos de alcalinidad obtenidos de manera experimental, se realizó el cálculo de los carbonatos y bicarbonatos que se encuentran en equilibrio; contribuyendo a la alcalinidad del agua (Tabla 11)

Tabla 11.- Cantidad de carbonatos y bicarbonatos en cada uno de los muestreos

	Alcalinidad total	CO₃²⁻	HCO₃⁻
	mg CaCO ₃)	mg/L	mg/L
18-nov-2008	461	36	439
24-nov-2008	629	94	448
01-dic-2008	318	102	517
08-dic-2008	382	44	208
15-dic-2008	497	54	445

En la Tabla 12 podemos observar los resultados obtenidos en la determinación de la dureza, mismos que se concentran por mes en la Tabla 13 para una mejor apreciación.

Tabla 12.- Dureza

Muestreo	Repetición	Dureza Total		Dureza total mg/L	Dureza de Calcio mg/L	Dureza de Magnesio mg/L	Dureza Total		Dureza de calcio		Dureza magnesio	
		EDTA 0.1M gastado (mL)					Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
18-nov-08	1	1,90	1,35	380	270	110	386,7	5,8	246,7	20,8	140,0	26,5
	2	1,95	1,20	390	240	150						
	3	1,95	1,15	390	230	160						
24-nov-08	1	2,20	1,80	440	360	80	443,3	5,8	336,7	20,8	106,7	25,2
	2	2,25	1,60	450	320	130						
	3	2,20	1,65	440	330	110						
01-dic-08	1	2,20	1,10	440	220	220	433,3	11,5	230,0	10,0	203,3	20,8
	2	2,20	1,15	440	230	210						
	3	2,10	1,20	420	240	180						
08-dic-08	1	2,05	1,15	410	230	180	413,3	5,8	226,7	5,8	186,7	11,5
	2	2,10	1,10	420	220	200						
	3	2,05	1,15	410	230	180						
15-dic-08	1	1,95	0,85	390	170	220	400,0	36,1	153,3	20,8	246,7	30,6
	2	1,85	0,65	370	130	240						
	3	2,20	0,80	440	160	280						
						total	415,3	23,3	238,7	65,5	176,7	54,7

Cálculos

Dureza Total

$$\frac{1.9 \text{ mL EDTA}}{50 \text{ mL muestra}} * \frac{0.1 \text{ mol EDTA}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} * \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} * \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \\ = 380 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Dureza de Calcio

$$\frac{1.35 \text{ mL EDTA}}{50 \text{ mL muestra}} * \frac{0.1 \text{ mol EDTA}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ mol Ca}^{2+}}{1 \text{ mol EDTA}} * \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{2+}} * \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \\ = 270 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Dureza de Magnesio

$$\frac{380 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ L}} - \frac{270 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ L}} = \frac{110 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ L}}$$

En la Tabla 13 se compara por mes, el promedio de los valores obtenidos de manera experimental para la Dureza Total, Dureza de Calcio y de Magnesio con los datos obtenidos anteriormente por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y, en el caso de la Dureza Total, los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 13.- Dureza del agua del Manantial Cerro Colorado

Monitoreo	Dureza Total(mg/L)	Dureza Ca++ (mg/L)	Dureza Mg++ (mg/L)
NOM-127	500	---	---
Histórico	299	240	59
nov-08	415	292	123
dic-08	516	203	212
Desviación Estándar	108,342	44,359	76,937

En esta Tabla podemos observar que los valores de Dureza Total obtenida de manera experimental rebasan el valor establecido por la norma, en el mes de diciembre.

Con respecto a la Dureza de Calcio, al igual que la Dureza de Magnesio, al no tener establecido un límite máximo permitido, lo que se hizo fue compararlo

solamente con los resultados Históricos. Con esto se observa que la Dureza de Calcio está por debajo de los 300 mg/L de CaCO₃. En lo que respecta a la Dureza de Magnesio, esta no presenta incrementos abruptos en la cantidad presente en las Aguas de Cerro Colorado.

Con los valores de Dureza Total se puede establecer que el agua de Cerro Colorado es un agua muy dura al rebasar los 300 mg/L CaCO₃.

De acuerdo con la información obtenida se calcula el índice de Langelier (IS), el cual mide el estado de equilibrio del agua en relación con su carácter incrustante o corrosivo. Si el índice de Langelier tiene un valor negativo el agua se considera con tendencia corrosiva, mientras que para valores positivos el agua tiene una tendencia incrustante provocando la deposición de carbonato cálcico. Cuando el IS es cero el balance es ideal, es decir el agua no tiene tendencia corrosiva ni tampoco incrustante.

La determinación del IS se realiza mediante la siguiente ecuación

$$IS = pH + TF + HF + AF - 12.5$$

Donde

TF: Factor de la temperatura; HF: Factor de la dureza total; AF: Factor de la alcalinidad.

De las Tablas 5, 9 y 13 sabemos que: T= 17.5, pH=7, Dureza de Calcio=247.5, Alcalinidad= 525.5, de los cuales obtenemos el factor correspondiente al relacionarlos en la Tabla 14³.

³ Si los valores no son cerrados, se realiza un promedio entre los valores más cercanos a este.

Tabla 14.- Correlación entre los parámetros físicos y químicos del agua para la obtención del IS

<i>Temperatura</i>		<i>Dureza de calcio</i>		<i>Alcalinidad Total</i>	
<i>°C</i>	<i>TF</i>	<i>ppm</i>	<i>HF</i>	<i>Ppm</i>	<i>AF</i>
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuente: Instructivo de HANNA instruments

La Tabla 15 muestra la correlación de los parámetros físicos y químicos del agua con los factores de corrección empleados en el cálculo del **IS**.

Tabla 15.- Correlación entre los parámetros físicos y químicos con las variables del IS

Parámetro		Factor obtenido de tabla
Temperatura	17.5 °C	0,45
pH	7	7
Alcalinidad	457.4 ppm	2,65
Dureza	247.5 ppm	2,35

$$IS = 7 + 0,45 + 2,35 + 2,65 - 12,5 = -0,05$$

El Índice de Langelier es de -0.05, encontrándose dentro del balance ideal del agua (figura 3). Sin embargo presenta una tendencia corrosiva, por lo que es recomendable incrementar ligeramente el pH de la misma como medida de prevención.

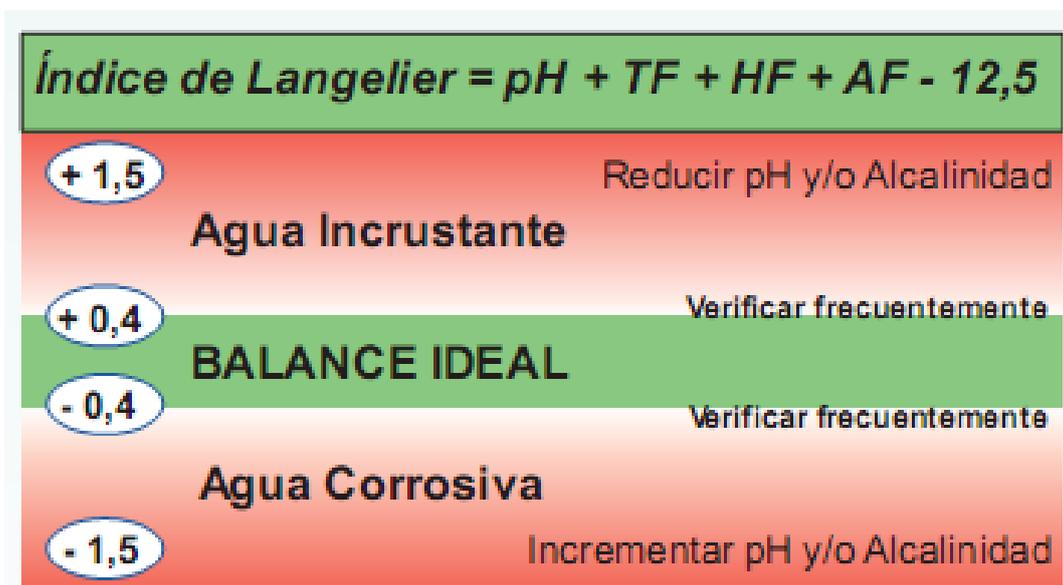


Figura 3. Muestra los valores para considerar un agua con tendencia incrustante o corrosiva.
Fuente: Instructivo de HANNA instruments

7.3 Parámetros relacionados con Salud Pública

En la Tabla 16 podemos observar la cantidad de Nitrógeno presente en las muestras en forma de Nitratos, Nitritos y Nitrógeno Amoniacal, valores que se determinaron de manera directa en el equipo HACH CR 5000. Y que se concentran en la Tabla 17.

Tabla 16.- Nitrógeno

Muestreo	Repetición	Nitrógeno de nitritos (NO ₂ ⁻ mg/L)			Nitrógeno de nitratos (NO ₃ ⁻ mg/L)			Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺ mg/L)		
		mg/L	Prom	D. E.	mg/L	Prom	D. E.	mg/L	Prom	D. E.
18-nov-08	1	0,007	0,012	0,004	0,15	0,130	0,026	0,11	0,097	0,01
	2	0,013			0,14			0,09		
	3	0,015			0,1			0,09		
24-nov-08	1	0,23	0,146	0,073	0,11	0,107	0,006	0,08	0,080	0,02
	2	0,099			0,1			0,1		
	3	0,108			0,11			0,06		
01-dic-08	1	0,006	0,007	0,002	0,1	0,113	0,012	0,07	0,057	0,01
	2	0,009			0,12			0,05		
	3	0,007			0,12			0,05		
08-dic-08	1	0,006	0,008	0,003	0,09	0,093	0,006	0,06	0,070	0,01
	2	0,011			0,1			0,07		
	3	0,006			0,09			0,08		
15-dic-08	1	0,006	0,005	0,001	0,13	0,130	0,000	0,01	0,027	0,02
	2	0,004			0,13			0,03		
	3	0,004			0,13			0,04		
		Total	0,04	0,06	Total	0,11	0,02	Total	0,07	0,03

En la Tabla 17 se observa que los valores de nitratos obtenidos en el laboratorio, durante los meses de noviembre y diciembre, están por debajo del valor establecido en la norma y el histórico. Este resultado es poco satisfactorio ya que la gran mayoría del nitrógeno presente se convierte en nitratos, por encontrarse en un medio reductor. Este descenso en los resultados puede deberse a que el agente para nitratos empleado era de alto rango (usado en el análisis de aguas residuales), por lo que habría sido conveniente disminuir la cantidad de reactivo utilizado.

Tabla 17.- Comparación de los valores promedio de Nitrógeno

Monitoreo	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NNO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
NOM-127	10	0.05	0.50
Histórico (mar-2008)	12	0.025	0.30
nov-2008	0.12	0.08	0.088
dic-2008	0.112	0.0066	0.051
Desviación estándar	6.803	0.038	0.134

En el caso de los nitritos se observan ligeras variaciones con respecto al valor de la norma, variaciones que no sobrepasan el límite máximo permitido. Con excepción del mes de noviembre, en el cual se observa un incremento considerable en la cantidad de ión Nitrito presente en el agua. Sin embargo, para el mes de diciembre la cantidad de nitritos vuelve a encontrarse por debajo del valor especificado de la norma.

Con respecto al nitrógeno amoniacal, los valores obtenidos de manera experimental se encuentran por debajo de los 0.5 mg/L por lo que cumple con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994. Lo mismo se observa en relación con los valores obtenidos en el laboratorio de Ingeniería edif.5 en el 2008 (Histórica), cuyo valor es considerablemente mayor que los valores obtenidos en el mes de noviembre y diciembre. Lo que significa que la mayoría del nitrógeno presente en esta forma es rápidamente oxidado a nitratos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de manera experimental para el COT y la Absorción UV, valores que se determinaron de manera directa en el equipo HACH CR 5000. Para estos datos no se tienen referencias históricas para comparar. Sin embargo en la literatura se pueden encontrar valores recomendados o valores obtenidos en aguas naturales de consumo humano.

Tabla 18.- Absorción UV 254 nm y Carbono Orgánico Total

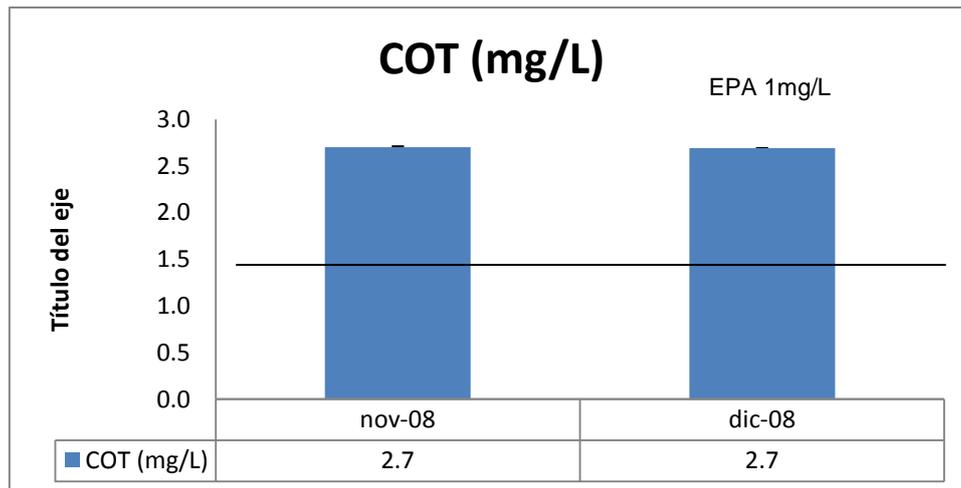
Muestreo	Repetición	Absorción UV 254nm			Carbono Orgánico Total (COT mg/L)		
		UV 254 nm	promedio	Desviación Estándar	mg/L	promedio	Desviación Estándar
18-nov-08	1	0,044	0,04	0,00	3,90	2,93	0,95
	2	0,041			2,00		
	3	0,039			2,90		
24-nov-08	1	0,068	0,07	0,00	2,80	2,47	0,67
	2	0,068			2,90		
	3	0,066			1,70		
01-dic-08	1	0,124	0,13	0,00	3,30	2,80	0,70
	2	0,124			2,00		
	3	0,127			3,10		
08-dic-08	1	0,058	0,06	0,00	2,80	2,87	0,12
	2	0,06			3,00		
	3	0,06			2,80		
15-dic-08	1	0,062	0,06	0,00	2,20	2,40	0,17
	2	0,062			2,50		
	3	0,06			2,50		
		Total	0,07	0,03		2,69	0,57

Los resultados presentados en la Tabla 18 se concentran por mes en la Tabla 19.

Tabla 19.- Valores Obtenidos Experimentalmente para el Carbono Orgánico Total y la Absorción UV a 254 nm

Muestreo	COT (mg/L)	Absorción UV 254nm
jul-2008	2,7	0,06
dic-2008	2,7	0,08
Desviación Estándar	0,01	0,02

De acuerdo a la literatura la cantidad de Carbono Orgánico Total (COT) que puede estar presente en un agua residual es de 1-2 mg/L como máximo, lo que significa que en el agua potable este valor debe estar por debajo de 1 mg/L. En la práctica observamos que la cantidad de COT en las muestras sobrepasa los 2 mg/L, indicando una gran cantidad de compuestos orgánicos.



Grafica 2.- Valores de Carbono Orgánico total en los meses de Noviembre y Diciembre 2008

7.4. Análisis estadístico

Se analizaron los resultados experimentales de los siguientes parámetros: Dureza Total, Nitrógeno, Sulfatos, Sólidos Disueltos Totales y Cloruros, mediante un análisis de varianza (ANEXO 1), para determinar si hay diferencia significativa entre cada una de las muestras y sus réplicas, de modo tal que no sea necesario evaluar la calidad del agua continuamente para corroborar si es apta para entrar al sistema de potabilización.

Ho: Si F calculada $<$ F Tablas, entonces no hay diferencia significativa entre cada muestreo, por lo que no será necesario monitorear el parámetro de manera continua.

En la Tabla 20 se observa que no hay diferencia significativa entre cada una de las replicas realizadas para cada parámetro evaluado.

Tabla 20.- Resultados del Análisis de Varianza.

		Nivel de significancia	Valor F de Tabla	comparativo	Valor F calculado	diferencia significativa
Sólidos Disueltos Totales	Muestreo	5%	3,84	<	4,9696	Si
	Replica	5%	4,46	>	0,0923	No
Sulfatos	Muestreo	5%	3,84	>	2,3070	No
	Replica	5%	4,46	>	0,7805	No
Dureza Total	Muestreo	5%	3,84	<	4,498	Si
	Replica	5%	4,46	>	0,240	No
Cloruros	Muestreo	5%	3,84	<	0,5700	No
	Replica	5%	4,46	>	1,8620	No
Nitritos	Muestreo	5%	3,84	<	10,216	Si
	Replica	5%	4,46	>	0,817	No
Nitrógeno Amoniacal	Muestreo	5%	3,84	<	8,531	Si
	Replica	5%	4,46	>	0,082	No

Con respecto a los muestreos no hubo diferencia significativa en la cantidad de Sulfatos y Cloruros durante los meses de noviembre y diciembre del 2008. Sin embargo hay variación en las muestras para determinar los Sólidos Disueltos Totales, Dureza Total, Nitratos y Nitrógeno Amoniacal, aunado a esto se encuentra el hecho de que los SDT en las muestras realizadas superan el límite máximo permitido en la Norma para una fuente de agua potable. En el caso de la dureza y el nitrógeno los valores no sobrepasan la norma sin embargo como ya se mencionó son valores que van a variar de manera considerable con respecto al tiempo de la toma de la muestra, por lo que no se puede garantizar que en algún momento sobrepasen los límites máximos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

8. Conclusiones

Los parámetros evaluados de la NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización”, para la determinación física y química del agua del Manantial Cerro Colorado, cumplen con lo establecido en dicha norma, excepto por la cantidad de Sólidos Disueltos Totales presentes, que superó los 1000 mg/L permitidos.

También se observó, por la cantidad de carbonatos presentes, que el agua es muy dura, sin embargo al calcular el índice de Langelier se encontró que esta dentro del balance ideal, aunque es necesario prevenir una tendencia corrosiva por lo que se debe monitorear de manera constante para detectar y prevenir dicha inclinación.

Al considerar los resultados del Carbono Orgánico Total y de la Absorción UV a 254 nm, parámetros que no están considerados en la Norma de Agua potable, se observa que el agua del Manantial Cerro Colorado contiene una gran cantidad de compuestos orgánicos. Por lo que no es recomendable la utilización de esta agua sin un sistema de filtros adecuados.

Anexo 1 Análisis de Varianza

Parámetro	CUADRO DE ANALISIS DE VARIANZA				
	FUENTE DE VARIACIÓN	GI	SC	CM	F
SDT	MUESTREO	4	10505,1	2626,3	5,0
	REPLICAS	2	97,6	48,8	0,1
	ERROR	8	4227,7	528,5	
	TOTAL	14	14830,4		
Sulfatos	MUESTREO	4	17660,6	4415,2	2,3
	REPLICAS	2	2987,5	1493,8	0,8
	ERROR	8	15310,6	1913,8	
	TOTAL	14	35958,7		
Dureza Total	MUESTREO	4	6506,7	1626,7	4,5
	REPLICAS	2	173,3	86,7	0,2
	ERROR	8	2893,3	361,7	
	TOTAL	14	9573,3		
Cloruros	MUESTREO	4	458,5	114,6	0,6
	REPLICAS	2	748,8	374,4	1,9
	ERROR	8	1608,6	201,1	
	TOTAL	14	2815,9		
Nitritos	MUESTREO	4	0,046	0,011	10,216
	REPLICAS	2	0,002	0,001	0,817
	ERROR	8	0,009	0,001	
	TOTAL	14	0,056		
Amoniacal	MUESTREO	4	0,008	0,002	8,531
	REPLICAS	2	0,000	0,00002	0,082
	ERROR	8	0,002	0,0002	
	TOTAL	14	0,010		

Bibliografía

1. Badui D. S. QUIMICA DE LOS ALIMENTOS. Longman de México Editores, S. A. de C. V. Tercera Edición, 1993. Pág. 467-469.
2. HACH Water Analysis Handbook. HACH company. 4° Edition, revisión 2, USA.
3. Jiménez B., Cruickshank C., Chávez A., Pérez R., Jiménez R., Estudio de la Factibilidad del Empleo del Agua del Acuífero del Valle del Mezquital para el Suministro del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1999.
4. Lindner E. TOXICOLOGIA DE LOS ALIMENTOS. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España). Segunda Edición, 1995. Pág 30-31
5. Prescott L.M., Harley J. P., Klein D.A., MICROBIOLOGÍA. Editorial Mcgraw- Hill. Interamericana. Cuarta Edición 1999. Pág. 902-905
6. Quezada J. M. L. Analisis Y Propuesta de los Criterios de Calidad Para Fuentes de Abastecimiento de Agua Para Uso Y Consumo Humanos. TESIS. Instituto De Ingeniería, UNAM, 2008.
7. Rodier J. ANÁLISIS DE LAS AGUAS: AGUAS NATURALES, AGUAS RESIDUALES, AGUA DE MAR. Ediciones omega, s.a. segunda reimpresión 1990.
8. Silva Castro V. Evaluación de Contaminantes Emergentes En Fuentes De Abastecimiento Del Valle De Tula. Instituto De Ingeniería UNAM, 2008.
9. Standard Methods: FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER. American Public Health Association. 19th edition, 1995. Pág. 52-53, 96,179-184,226,331.
10. Tortora G. J., Funke Berdell R., Case Christine L. INTRODUCCIÓN A LA MICROBIOLOGÍA. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España). Tercera Edición 1997. Pág. 667-681

Normas consultadas

NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN.

NMX-AA-036-SCFI-2001.ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.

Páginas de internet consultadas

INEGI 2009: <http://mapserver.inegi.org.mx/rni/index.cfm?s=geo&c=1311>

Water Affairs 2009; Republic of South Africa:

http://www.dwaf.gov.za/iwqs/water_quality/NCMP/repnata.asp