

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y
BACTERIOLÓGICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
QUE SE SUMINISTRA A LA POBLACION DEL MUNICIPIO
DE PALIN, ESCUINTLA**

Informe Final de Tesis

Elaborado por

Paola Ivanova Zanotti Guerra

Para optar al título de

Química Bióloga

Guatemala, Julio 2005

Dh
OC
T(2319)

JUNTA DIRECTIVA

M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Decano
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona	Secretaria
Licda. Gloria Elizabeth Navas Escobedo	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal II
Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez	Vocal III
Br. Roberto José Garnica Marroquín	Vocal IV
Br. Rodrigo José Vargas Rosales	Vocal V

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS)

A mis Asesores MSc. Zenon Much Santos, Lic. Raúl Paniagua por su apoyo, motivación, entusiasmo y dirección no hubiese sido posible esta tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS: Ser Omnipotente
- A mis padres: José Rolando Zanotti de León
Rosalba Guerra de Zanotti
- A mi esposo: José Rolando Fuentes Handal
- A mis hijos: Franz Fuentes Zanotti
Ivanova Fuentes Zanotti
- A mis hermanos: Giacomo Zanotti Guerra
Franco Zanotti Guerra
- A: M.Sc. Zenon Much Santos
Lic. Raúl Paniagua
- A mi familia en general
- A mis compañeros de promoción

INDICE

I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCION	3
III.	ANTECEDENTES	5
	A. Generalidades del agua	5
	B. Usos	6
	C. Impurezas	6
	D. Agua para consumo humano	7
	E. Análisis físicos, químicos y bacteriológicos	8
	F. Norma COGUANOR NGO 29001	8
	G. Límite máximo aceptable	9
	H. Límite máximo permisible	9
	I. Parámetros	9
	1 físicos	9
	2 químicos	15
	3 Total de sólidos disueltos	41
	4 Grifos de los consumidores	42
	5 Estabilidad de la muestra	42
	6 Definición de la precisión requerida	43
	7 Selección de métodos analíticos adecuados	44
	8 Aspectos relacionados con la aceptación del abastecimiento	45
	9 impurezas bacteriológicas	47
	10. Aspectos microbiológicos	48
	11. Desinfectantes y sus productos secundarios	74
	12. Protección y mejoramiento de la calidad del agua	75
	13. Redes de distribución	84
	14. Control de la corrosión	85
	15. Localización del municipio de Palin	89
	16. Estudios realizados en el municipio de Palin relacionados Con el tema de tesis	89
IV.	JUSTIFICACION	91
V.	OBJETIVOS	93
	A. OBJETIVO GENERAL	93
	B. OBJETIVOS ESPECIFICOS	93
VI.	HIPÓTESIS	94
VII.	MATERIALES Y METODOS	95
	A. UNIVERSO DE TRABAJO	95
	B. RECURSOS	95
	C. METODOLOGIA	96
VIII.	RESULTADOS	111
XI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	135
X.	CONCLUSIONES	139
XI.	RECOMENDACIONES	140
XII.	BIBLIOGRAFIA	141

XIII. ANEXOS

146

1. mapa de la Republica de Guatemala
2. mapa del municipio de Palín (nacimiento, grifo, tanque)
3. mapa del Municipio de Palín (red de distribución)
4. Norma COGUANOR
5. Normas Internacionales
 - 5.1 OMS
 - 5.2 AWWA
 - 5.3 Canadá, Comunidad Económica Europea y Japón
6. formato para los análisis de las muestras tomadas en la red del agua potable Palín, Escuintla

INDICE DE CUADROS

No.	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1.	Normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) para la detección y el recuento en el agua de bacterias indicadoras fecales	61
2.	Ejemplo que ilustra el nivel de resultados que puede alcanzar La eliminación de la turbiedad y las bacterias coliformes termorresistentes En el tratamiento tradicional del agua en las zonas urbanas	64
3.	Ejemplo de objetivos de eliminación de la turbiedad y las Bacterias coliformes termorresistentes en el tratamiento del agua en Pequeña escala	65
4.	Tratamiento recomendados para distintas fuentes a fin de obtener Agua con un riesgo insignificante de presencia de virus	68
5.	Lista de normas para la calidad del agua de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que proporcionan orientaciones sobre Muestreo	71
6.	Frecuencias mínimas de la toma de muestras del agua de Bebida en el sistema de distribución	71
7.	Mililitros gastados de ácido sulfúrico y volúmenes de muestra Utilizados	102
8.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico Para los tres nacimientos muestreados en época de verano e invierno	111
9.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico para los tanques muestreados en época de verano e invierno	114
10.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico puntos de la red de distribución muestreados en época de verano e invierno	117
11.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico para los tres nacimientos en época de verano e invierno	120
12.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico para los dos tanques en época de verano e invierno	124

No.	DESCRIPCIÓN	PAGINA
13.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico para los puntos de la red de distribución en época de verano e invierno	128
14.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los tres nacimientos en época de verano E invierno	132
15.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los tanques en época de verano e invierno	133
16.	Comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los puntos de la red de distribución en Época de verano e invierno	134

INDICE DE GRAFICAS

No.	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1.	Sólidos disueltos en época de verano e invierno para los tres nacimientos	112
2.	Conductividad eléctrica en época de verano e invierno para los tres nacimientos	113
3.	Sólidos disueltos en época verano e invierno en los tanques	115
4.	Conductividad eléctrica en época de verano e invierno para los tanques	116
5.	Sólidos disueltos en época de verano e invierno para los puntos de la red de distribución	118
6.	Conductividad eléctrica en época de verano e invierno para los puntos de la red de distribución	119
7.	Cloruros en época de verano e invierno para los tres nacimientos	121
8.	Dureza en época de verano e invierno para los tres nacimientos	122
9.	Alcalinidad en época de verano e invierno para los tres nacimientos	123
10.	Cloruros en época de verano e invierno en tanques	125
11.	Dureza en época de verano e invierno en tanques	126
12.	Alcalinidad en época de verano e invierno para los tanques	127
13.	Cloruros para los puntos de la red de distribución	129
14.	Dureza en época de verano e invierno para los puntos de la red	130
15.	Alcalinidad en época de verano e invierno para los puntos de la red	131

I. RESUMEN

La importancia de la investigación consistió en analizar la calidad del agua que se distribuye a un sector de la población en el municipio de Palín. El agua es contaminada de diferentes maneras, por lo que agentes etiológicos llegan a las comunidades donde es utilizada para consumo humano y otras actividades. Esta situación tiene como consecuencia, provocar enfermedades diarreicas, lo cual constituye uno de los problemas de la salud, que más afecta a la población, en especial a la infantil, sobrecargando los servicios de salud. Fue importante también en esta investigación, determinar si las fuentes de agua, donde se tomaron muestras de los nacimientos: El Amatillo, El Barretal y Palínche; Tanque 1 (Victorias); Tanque 2 (San Martín); y red de distribución, cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001.

El objetivo de la investigación, fue determinar la calidad del agua para consumo humano del municipio de Palín, Escuintla, desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico.

La metodología utilizada en el estudio, consistió en establecer un cronograma de actividades para la recolección de muestras de agua, en las tres fuentes de abastecimiento existentes en la población de Palín, tanques y red de distribución. El muestreo tuvo un período de duración de 6 meses, de abril a septiembre y se obtuvieron 10 muestras por cada punto muestreado; posteriormente fueron trasladadas dichas muestras al laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria (ERIS) del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, donde fueron analizados los parámetros físicos: (olor, color, conductividad eléctrica, turbiedad, potencial de hidrógeno, pH); químicos: (alcalinidad, dureza, calcio, cloruros, fosfatos, fluoruros, hierro, sulfatos, nitratos, magnesio); bacteriológico: (prueba presuntiva, prueba confirmativa), de acuerdo a los parámetros recomendados por la Asociación Americana del trabajo del agua -AWWA-, los cuales son aceptados en Guatemala.

Resultados: los datos obtenidos, fueron comparados con los límites máximos permisibles de la Norma COGUANOR NGO 29001, en donde se encontró que las muestras analizadas, del agua, que es distribuida por la municipalidad de Palín, no es bacteriológicamente potable, por lo que este líquido vital presenta un riesgo para la salud del consumidor, y de acuerdo a los registros de la Dirección de Área de Salud de Palín, en

el año 2001 reportaron que el 85% de los niños tratados presentaron, enfermedades diarreicas.

Conclusiones: El agua distribuida en el municipio de Palín cumple con los parámetros físicos, químicos establecidos en la Norma COGUANOR 29001. El agua que consume el sector estudiado en el municipio de Palín tiene presencia del grupo coniforme fecal y total la cual no es apta para el consumo humano y pone en riesgo la salud de los habitantes. Las enfermedades diarreicas son mas frecuentes en la época de invierno

II. INTRODUCCIÓN

La necesidad de analizar la calidad del agua que se distribuye a una población determinada, ha aumentado debido a la creciente intervención del hombre en la contaminación por diferentes maneras de los cuerpos de aguas naturales o artificiales, por lo que estos agentes etiológicos llegan a las comunidades donde es utilizada el agua para consumo humano y otras actividades. Esta situación tiene como consecuencia, provocar enfermedades diarreicas lo cual constituye uno de los problemas de salud que más afecta a la población en especial a la infantil, sobrecargando los servicios de salud.

Es importante hacer notar que en este rápido y desorganizado crecimiento de las ciudades, no se han producido medios adecuados para la aplicación de procesos de tratamiento para que disminuya la contaminación de los cuerpos de agua, como resultado el agua contaminada ya no puede ser usada para consumo humano, porque no cumple con la norma COGUANOR NGO 29001.

El presente trabajo de investigación consistió en analizar el agua que distribuye la municipalidad de Palín para consumo humano; se analizaron los nacimientos denominados El Amatillo, El Barretal, Palinche los tanques de distribución, y la red domiciliar del municipio de Palín, ya que este municipio no cuenta con una planta de tratamiento de agua, por lo que el agua llega contaminada a los consumidores finales (especialmente a los niños).

El muestreo y análisis de las fuentes de agua se llevaron a cabo tomando muestras cada 15 días durante la época de verano e invierno (abril a septiembre), en los nacimientos, tanques y red domiciliar. Los análisis y exámenes se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Las normas que se utilizaron para calificar la calidad del agua son: agua potable (Norma COGUANOR NGO 29001) y Normas para el agua Potable de O.M.S., Ginebra, 1964 (25, 26).

Los métodos que se utilizaron en los análisis fisicoquímicos y exámenes bacteriológicos del agua son descritos en el manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, recomendados por las asociaciones APHA-AWWA-WPCF. (3)

Como complemento se revisaron y analizaron los informes estadísticos de enfermedades gastrointestinales de la época de verano e invierno originada por el agua de Palín, esta información se recopiló de la Dirección de Área Del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, donde se pudo observar que el 85% de los niños fueron afectados con enfermedades diarreicas.

El objetivo general es: determinar la calidad física, química y bacteriológica del agua que se distribuye por el sistema de abastecimiento de la municipalidad de Palín, con el propósito de verificar si la misma es apta, para consumo humano. Es importante realizar este estudio como una ayuda preliminar y que sirva como base a las autoridades competentes, para realizar posteriores evaluaciones con el fin de llevar un programa de control y mejoras al sistema a corto plazo.

III. ANTECEDENTES

A. Generalidades del agua

El agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno (H_2O) es un líquido insípido, incoloro e inodoro, que en su composición pura es difícil de obtener debido a que casi cualquier sustancia es soluble en ella. Es una mezcla de diferentes moléculas debido a la existencia de los diferentes isótopos del hidrógeno y oxígeno, esta complicación, unida a su polaridad hace que todas sus constantes físicas sean anormales. (8)

Se sabe que el agua se presenta corrientemente, en las condiciones naturales ambientales, en uno de los tres estados: gaseoso, líquido o sólido y su importancia físico química es tal, que las temperaturas de transformación de un estado en otro han sido tomadas como puntos fijos. Es, por lo tanto, un líquido con grandes anomalías, las más importantes son:

- El valor máximo de su densidad la presenta el agua líquida a la temperatura de $+3.98^{\circ}C$.
- Como consecuencia de la anterior, el agua sufre una expansión al solidificarse.
- Tiene una tensión superficial muy elevada.
- Calor específico alto.
- Un gran calor latente de fusión.
- Conductividad térmica elevada.
- Fuerte poder ionizante y constante dieléctrica elevada
- Gran poder disolvente
- Propiedades de combinación
- Propiedades oxidantes. (8)

B. Usos

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivientes sobre la tierra, siendo un elemento vital en la base de la vida. Ejerce una gran influencia en el desarrollo del ser humano. Atendiendo a su uso se clasifica de la manera siguiente:

Doméstico: bebidas, usos domésticos.

- Comercial: higiene, vías de comunicación, entre otros.
- Industrial: fuente de energía, incorporada a procesos de manufactura, como elemento auxiliar de fabricación, como refrigerante o transportador de calor, agua para fines generales.
- Agrícola: riegos, lavado de terrenos, entre otros.
- Público: control de incendios, higiene de las poblaciones, entre otros.(8)

Para la mayoría de estos usos, es primordial controlar la calidad de la misma, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias presentes pueden variar sensiblemente su calidad y hasta la puede convertir en inservible y, a veces, es altamente peligrosa para la salud. (8)

C. Impurezas

Conforme la lluvia cae puede absorber oxígeno, CO_2 , nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos. (25)

Las sustancias contenidas por el agua se clasifican en disueltas y en suspensión. En el grupo de las sustancias disueltas se incluyen los bicarbonatos cálcico, magnésico y sódico, sulfatos cálcico, magnésico y sódico, nitratos cálcico y magnésico, cloruros cálcico, magnésico y sódico, óxido de hierro, sílice, residuos industriales y gases tales, como oxígeno y bióxido de carbono. El grupo de las materias en suspensión comprende: lodo, arena, materia vegetal y residuos industriales. (25)

Las impurezas biológicamente activas se pueden clasificar como bacterias, virus, algas y protozoarios. (26)

D. Agua para consumo humano

El agua libre de microorganismos patógenos y sustancias químicas perjudiciales para la salud se denomina potable, y la contaminada con desperdicios domésticos o industriales agua no potable o contaminada. (14)

Las fuentes subterráneas abastecen la mayoría de las casas rurales. Es por esto importante que la fuente de agua subterránea este lejos de las posibles fuentes de contaminación como fosos, letrinas, fosas sépticas y patios de granjas o corrales. (14)

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

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

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

Las investigaciones revelan si el agua se está produciendo en las condiciones estipuladas. Estas condiciones varían, dependiendo del lugar donde se encuentra el sistema. La potabilidad del agua solo se puede determinar por medio de las pruebas físicas, químicas y bacteriológicas de la misma. (25)

E. Análisis físicos, químicos y bacteriológicos

El análisis físico y químico indica si el agua está contaminada y proporciona también otras informaciones útiles pero no es lo suficientemente preciso para detectar pequeños grados de contaminación con aguas negras. Por otro lado, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación. (26)

1. Análisis físico

Los sentidos organolépticos ayudan a analizar el agua relacionando parámetros que pueden ser medidos de esta forma y comparándolos con estándares que se disponen en los laboratorios. (17)

2. Análisis químico

Por medio de este análisis se determina el contenido de sales minerales y materia orgánica, para compararlo contra los estándares y poder determinar su calidad, usos y cualquier proceso a que deba ser sometida. (17)

3. Examen bacteriológico

Las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación, el objetivo de estos análisis rutinarios es para determinar la existencia de contaminación de origen fecal o presencia de los gérmenes del grupo coliforme. (29)

F. Norma COGUANOR NGO 29001

Actualmente se conocen los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos mediante los cuales se determina la calidad del agua, estos a su vez, tienen asociados valores cualitativos y cuantitativos, que deben estar comprendidos entre los límites que el estudio y la experiencia ha encontrado necesario o tolerable para el consumo humano, los cuales en su mayor parte han sido fijados por normas. (28)

En nuestro país han sido escritas todas estas normas y son publicadas por la Comisión Guatemalteca de Normas –COGUANOR-, y las denomina Norma COGUANOR NGO 29001 y son especificaciones para agua de consumo humano. (ver anexo No.2)

G. Límite máximo aceptable

Es el límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua pasa a ser rechazable para el consumidor, pero no implica daños a la salud del mismo (17)

H. Límite máximo permisible

Es el límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua no es adecuada para el consumo humano. (17)

I. Parámetros a analizar

1. Físicos

a) Temperatura - Es el parámetro que indica la transferencia de calor en un cuerpo de agua. Esta propiedad influye notablemente en las características físicas y químicas. Es por esta causa que es importante su determinación en cualquier intento de evaluar la calidad del agua. La temperatura máxima aceptable es de 30 °C, y la temperatura máxima permisible es de 34 °C. La temperatura es un factor en la proliferación de ciertas algas, en el grado de saturación del oxígeno disuelto y en la concentración de bióxido de carbono (CO₂). (10)

El agua fresca es generalmente más agradable que el agua caliente. Las elevadas temperaturas favorecen la proliferación de microorganismos y pueden agravar los problemas de sabor, olor, color y corrosión.

b) Olor - Los olores del agua son debidos a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles orgánicos, aunque también producen olores algunos inorgánicos como el hidrógeno sulfurado. Generalmente las causas de olores en el agua se deben a:

- Cuando se descompone la materia orgánica proveniente de escurrimientos superficiales.
- Otros olores de las aguas superficiales son producidos por desechos industriales.
- También hay olores que son aromáticos, otros aromáticos y dulzones, florales, olor a pescado y aún otros sugieren a chiqueros. Otros olores se producen por adición del cloro al agua, algunos olores se intensifican con el cloro. (17)

Por otro lado, el cloro destruye frecuentemente las sustancias que producen olor, especialmente cuando están en gran exceso. Por lo general el olor se determina en el agua cruda y tratada, aunque deben examinarse algunas muestras de los sistemas de distribución.

El olor es una medida de la aceptación por el consumidor de un abastecimiento, y el agua que se entregue debe tener una intensidad de (2) dos unidades o menos, generalmente se informa como umbral de olor, por la norma COGUANOR él limite máximo aceptable y él limite máximo permisible es no rechazable. (17)

El sabor y el olor proceden de fuentes o procesos naturales y biológicos (por ejemplo, la presencia de microorganismos acuáticos), de la contaminación por sustancias químicas o de la formación en el agua de productos secundarios del tratamiento (por ejemplo, de la cloración). El sabor y el olor pueden aparecer también durante el almacenamiento y la distribución.

El sabor y el olor del agua de bebida pueden indicar que ha tenido lugar algún tipo de contaminación o avería durante el tratamiento o la distribución. Se deben investigar sus causas y ha de consultarse a las autoridades sanitarias

competentes, en particular si se producen cambios repentinos o importantes. Un sabor o un olor extraño puede ser un indicio de la presencia de sustancias potencialmente peligrosas.

El sabor y el olor del agua potable no deben resultar desagradables para los consumidores. No obstante, los niveles y los tipos de sabor y olor que se consideran aceptables son sumamente variables.

No se propone para el sabor y el olor un valor guía basado en criterios sanitarios.

c) Turbiedad - La turbiedad de las aguas se debe a la presencia de sólidos suspendidos, tales como arcilla, limo, materia orgánica finamente dividida, algas y otros organismos microscópicos. Se debe entender claramente que la turbiedad es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan en línea recta a través de ella. No son prácticos los intentos para relacionar la turbiedad con la concentración, en peso, de los sólidos en suspensión, pues el tamaño, forma el índice de refracción de las partículas son, ópticamente, de mayor importancia que la concentración y peso específico de las materias suspendidas. (17)

El método normal para la determinación de la turbiedad es el método de bujía de Jackson; sin embargo, las suspensiones normalizadas por este método se pueden usar, con o sin dilución, en otros instrumentos. Por desgracia, los resultados obtenidos con otros aparatos no siempre concuerdan con los obtenidos con el turbidímetro de bujía, y por diferencias fundamentales en los sistemas ópticos, tampoco concuerdan, con suficiente aproximación, con las obtenidas en diversos tipos de instrumentos, aunque cada uno de ellos se haya precalibrado con el turbidímetro de Jackson. El límite máximo aceptable es 5 UTN y el límite máximo permisible es 25 UTN. (17)

La causa de la turbiedad del agua de bebida es la presencia de partículas, que puede deberse a que el tratamiento ha sido insuficiente o que el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución. En el caso de algunas

aguas subterráneas, puede deberse también a la presencia de partículas de materia inorgánica.

Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. Por lo tanto, cuando el agua ha de desinfectarse, la turbiedad debe ser baja para que la desinfección resulte eficaz. Los efectos de la turbiedad en la eficiencia de la desinfección se examinan con más detalle.

Generalmente, la apariencia del agua con turbiedad inferior a 5 unidades nefelométricas es aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar según las circunstancias locales. No obstante, se recomienda que la turbiedad se mantenga lo más baja posible. Debido a sus efectos microbiológicos. No se ha propuesto para ella un valor guía basado en criterios sanitarios.

d) Conductividad - La conductividad de una corriente eléctrica en agua puede explicarse por medio de la teoría de la disociación electrolítica. Esta teoría establece que cuando se disuelve en el agua un ácido, base o una sal, una porción considerable de la misma se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos.

El límite máximo aceptable es de 50 y el límite máximo permisible es de 1500 umhos/cm. La conductividad es una medida de la capacidad de un agua para transmitir la corriente eléctrica y esta propiedad está relacionada con la concentración total de substancia ionizadas. (17)

e) Sólidos en suspensión - En casos donde la turbiedad medida se considera adecuada para obtener la información necesaria, los sólidos suspendidos pueden ser determinados por filtración a través del crisol Gooch en la manera usual.

Este método se basa en pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos

suspendidos sea aproximadamente una micra (μm); La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables.

El límite máximo aceptable es 100 y el límite máximo permisible es de 220 a 350 mg/l. (17)

f) Potencial Hidrógeno (pH) - El pH es el logaritmo de la recíproca de la concentración del Ion hidrógeno, o más precisamente, de la actividad del Ion hidrógeno, en moles por litro. El pH interviene en el cálculo de carbonato, bicarbonato y bióxido de carbono, lo mismo que en el cálculo del índice de corrosión o estabilidad, y en el control de los procesos de tratamiento de agua. La escala práctica del pH comprende del 0, muy ácido, al 14 muy alcalino, con el valor medio de pH 7 que corresponde a la neutralidad exacta, a 25 °C. Mientras que los términos alcalinidad y acidez indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, el valor del pH representa la actividad instantánea del Ion hidrógeno. El límite máximo aceptable va de 7 a 8.5 y el límite máximo permisible va de 6.5 a 9.2 unidades. (17)

Aunque el pH no ejerce por lo general un efecto directo en los consumidores, es uno de los principales parámetros operativos de la calidad del agua, a la que se debe prestar gran atención en todas las fases del tratamiento, a fin de que el agua se clarifique y desinfecte satisfactoriamente. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea inferior a 8. Por otra parte, se debe controlar el pH del agua que llega al sistema de distribución, a fin de reducir al mínimo la corrosión de las tuberías maestras y domésticas. Si esto no se consigue, el agua de la bebida puede quedar contaminada, con los consiguientes efectos negativos en su sabor, su olor y su apariencia.

El pH óptimo varía según la composición del agua y el tipo de materiales de construcción utilizados en el sistema de distribución, pero con frecuencia se sitúa entre 6.5 y 9.5. Los valores extremos del pH pueden ser resultado de vertimientos accidentales, de interrupciones del proceso de tratamiento o del curado insuficiente del revestimiento de mortero de cemento utilizado en las tuberías.

g). Color - Generalmente cuando se habla de calidad del agua suele asociársele tres propiedades inherentes a ella, sabor, olor y color, al considerarse la primera de ellas se observa que en el agua para consumo humano tiene aceptación la transparencia, la carencia de color (incolora), pero en diversos abastecimientos el agua se encuentra coloreada y tiene el problema de que no es aceptada y es rechazada por el usuario, hasta que no se le trata removiendo dicha coloración.

Existe un color natural en el agua como producto de las partículas coloidales cuajadas negativamente, también del contacto de desechos orgánicos tales como hojas, principalmente de coníferas y materia en diferentes estados de descomposición, así como extractos vegetales de gran variedad, y algunas sustancias minerales disueltas, tales como sales de hierro y manganeso que se encuentran en aguas superficiales y subterráneas.

El origen de la presencia de color en el agua podría deberse a materia suspendida, denominada color aparente, una vez eliminado dicho color el resultante se conoce como color verdadero, siendo este último el de interés para su determinación.(17)

Para la determinación del color se ha adoptado una medida estándar, la cual es usada directa o indirectamente en la medida del color verdadero, así, en ocasiones es necesario remover la materia suspendida para la cual se selecciona cuidadosamente un sistema apropiado como la centrifugación. No siempre puede efectuarse una filtración común, debido a la marcada acción de colorante que se lleva a cabo.(17)

Los límites que se recomiendan en las aguas para consumo humano son las siguientes: Limite máximo aceptable 5 unidades, limite máximo permisible es de 50 unidades. (17)

El color del agua potable se debe por lo general a la presencia de materias orgánicas coloreadas (sobre todo ácidos húmicos y fúlvicos) relacionadas con el humus del suelo. Influye considerablemente en él la presencia de hierro y otros metales, ya sea en forma de impureza de origen natural o como productos de la

corrosión. El color también puede ser consecuencia de la contaminación de la fuente del agua por efluentes industriales y constituir el primer indicio de una situación peligrosa. Conviene investigar a qué se debe el color del agua, en particular si se produce una alteración importante.

Los colores superiores a 15 UCV (unidades de color verdadero) pueden ser determinados en un vado de agua por la mayor parte de la gente. Los inferiores a 15 UCV son por lo general aceptables para los consumidores, pero esto puede variar según las circunstancias locales. No se propone para el color del agua potable un valor guía basado en criterios sanitarios.

2. Químicos

a) **Dureza** - Originalmente, el concepto de la dureza de un agua era un índice de la capacidad del agua para precipitar el jabón. El jabón se precipita, principalmente, por los iones de calcio y magnesio que, comúnmente, se presentan en las aguas, pero igualmente se puede precipitar por los iones de otros metales polivalentes, como hierro, aluminio, manganeso, estroncio y cinc y también por los iones de hidrógeno.

Con excepción de los dos primeros, los restantes se encuentran presentes en concentraciones insignificantes en las aguas, se define la dureza como una característica del agua que representa la concentración total de los iones de calcio y magnesio, expresados bajo la forma de carbonato de calcio; sin embargo, si se encuentran presentes en cantidades de significación, se deben incluir también los otros iones metálicos productores de dureza.

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de la alcalinidad de carbonato y de la alcalinidad de bicarbonato, la cantidad de dureza que es equivalente a la alcalinidad total se denomina dureza de carbonato y la cantidad de dureza en exceso de la anterior recibe el nombre de dureza de no carbonato. Cuando la dureza es numéricamente igual o menor que la suma de la alcalinidad de

carbonatos y bicarbonatos, toda la dureza es dureza de carbonato y no se tiene dureza de no carbonato.

Expresión de los resultados: cuando se reporte la dureza, el analizador debe indicar los iones determinados o el método que se haya aplicado, por ejemplo, dureza (Ca, Mg), dureza (Ca, Mg, Sr, Fe, Al), dureza EDTA. El límite máximo aceptable es 100 y límite máximo permisible es de 500 mg/l. (26).

Según el pH y la alcalinidad, la dureza superior a 200 mg/litro puede dar lugar a incrustaciones, en particular en el sistema de calefacción. Las aguas blandas, con una dureza inferior a unos 100 mg/litro, tienen una baja capacidad de amortiguación y pueden resultar más corrosivas para las tuberías.

Aunque en varios estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos se ha observado que existe una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua potable y las enfermedades cardiovasculares, la información de que se dispone no es suficiente para llegar a la conclusión de que la relación es de carácter causal. Algunos datos parecen indicar que las aguas muy blandas tienen efectos negativos en el equilibrio mineral, pero no se cuenta con estudios detallados, que permitan realizar una evaluación.

No se propone para la dureza un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el grado de dureza del agua puede influir en las aceptaciones de ésta por el consumidor, debido a sus efectos sobre el sabor y la aparición de incrustaciones.

b) Alcalinidad - La alcalinidad indica la capacidad que posee el agua de neutralizar los ácidos y es una medida de los constituyentes alcalinos del agua expresados como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos; siendo la alcalinidad total la suma de estos constituyentes.

Las alcalinidades inferiores a las recomendadas aumentan las posibilidades de corrosión, y las superiores a las recomendadas las posibilidades de formación de costras.

En las normas consultadas el límite máximo aceptable va de 50 a 100 y el límite máximo permisible es de 200 mg/l. (5)

c) Cloruros - El Ion cloruro es uno de los principales aniones de las aguas y de las aguas negras. En concentraciones excesivas, el cloruro puede impartir al agua un sabor salino.

El límite máximo aceptable es 200 y el límite máximo permisible es 600 mg/l. (5)

d) Fluoruros - El aumento en la práctica de fluoración de los abastecimientos de agua, como una medida de higiene pública, ha dado mayor importancia a la determinación exacta de Ion fluoruro en las aguas. Para mantener la efectividad y seguridad del procedimiento de fluoruración es esencial conservar constante la concentración de fluoruro.

Entre los diferentes métodos que se han sugerido para la determinación del Ion fluoruro en las aguas, se considera que, en la actualidad, los métodos colorimétricos son los más satisfactorios. Se basan en la reacción entre el ion fluoruro y la laca de zirconio-alizarina; el fluoruro reacciona con la laca del colorante, disociando una porción de ella en un anión complejo incoloro ($2FF_6$) y en el colorante y, al aumentar la concentración de fluoruro, el color resultante es, progresivamente, más claro o de diferente tono, dependiendo del reactivo que se use.

El límite máximo permisible es 1.700mg/l.(5)

El flúor representa aproximadamente 0.3 g/kg. de la corteza terrestre. Sus compuestos inorgánicos se utilizan en la producción de aluminio, y la fabricación y utilización de fertilizantes fosfatados, que contienen hasta un 4% de flúor, liberan fluoruro. Los niveles de exposición diaria a este compuesto dependen de la zona

geográfica. Si el pescado y el té forman parte del régimen de alimentación, la exposición alimentaria puede ser especialmente alta. En ciertas zonas, contribuirán en buenas medidas a la exposición total otros alimentos, así como la contaminación del aire en interiores. El uso de pasta de dientes fluorada dará lugar a una ingesta adicional.

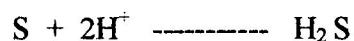
La exposición al fluoruro presente en el agua de bebida depende considerablemente de circunstancias naturales. En agua no tratada, las concentraciones son, por lo común, inferiores a 1.5 mg/litro pero, en las zonas ricas en minerales que contienen flúor, las aguas subterráneas pueden contener unos 10 mg/litro. Este compuesto se agrega también en ocasiones al agua potable para prevenir la caries dental.

Tras su ingestión en el agua, los fluoruros solubles se absorben fácilmente a través del tracto gastrointestinal.

En 1987, el CIIC clasificó los fluoruros inorgánicos en el grupo 3. Aunque en un estudio con ratas machos se obtuvieron datos poco claros que parecían indicar la existencia de carcinogenicidad, los extensos estudios epidemiológicos realizados no han aportado ninguna prueba de que el fluoruro sea carcinógeno para los seres humanos.

Los datos disponibles no parecen indicar que el valor guía de 1.5 mg/litro establecido en 1984 deba ser revisado. Las concentraciones superiores a ese valor llevan consigo un riesgo creciente de fluorosis esquelética. El valor es superior al recomendado para la fluoración artificial del abastecimiento de agua. Al establecer normas nacionales para el fluoruro, es especialmente importante tener en cuenta las condiciones climáticas, la cantidad de agua consumida y el aporte de fluoruro por otras fuentes (por ejemplo, los alimentos o el aire). En las zonas con gran presencia de fluoruros en la naturaleza, se reconoce que puede ser difícil respetar el valor guía en ciertas circunstancias con la tecnología de tratamiento disponible

e) **Sulfatos** - Uno de los aniones más importantes que se encuentran presentes en las aguas naturales, es el ión sulfato. Su importancia radica en la tendencia que tiene a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor en el agua para abastecimiento público e industrial. Pueden considerarse a los sulfatos como indirectamente responsables de dos serios problemas relacionados con el manejo y tratamiento de aguas residuales: Olor y corrosión de tuberías, resultado de la reducción de los sulfatos a sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias, tal como se muestra en las reacciones siguientes:



Significado Sanitario: la presencia o exceso de sulfatos en agua para consumo humano, provoca efectos purgativos en las personas que la ingieren. Otro problema causado por este anión es la corrosión de los drenajes, provocado por el tiempo de retención de los desechos domésticos en estos conductos, lo que origina una elevada concentración de sulfatos que al ser reducidos y posteriormente oxidados por acción bacteriana o ácido sulfúrico, da lugar a la corrosión en la corona de concreto de las alcantarillas.

El límite máximo aceptable es de 200 y el límite máximo permisible es de 400 mg/l.

(26)

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se descargan en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante, las mayores concentraciones se dan por lo común, en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales. En general, los alimentos son la fuente principal de exposición a los sulfatos, aunque, en las zonas con niveles altos, la ingesta procedente del agua de bebida puede sobrepasar la alimentaria. La contribución del aire a la ingesta total es insignificante.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. El sulfato magnésico, también denominado sales de Epsom, se ha utilizado como purgante durante muchos años.

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el sulfato. No obstante, dado los efectos gastrointestinales resultantes de la ingestión de agua que lo contiene en elevadas concentraciones, se recomienda que se notifique a las autoridades sanitarias la existencia de fuentes de agua de bebida que contengan concentraciones de sulfato superiores a 500 mg/litro. La presencia de sulfato en el agua potable puede causar también un sabor perceptible y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

f) Nitratos - El nitrógeno en nitratos se encuentra en pequeñas cantidades en aguas residuales domésticas recientes, sin embargo, raramente se encuentran en afluentes de plantas de tratamiento, debido a que los nitratos sirven como fuente de oxígeno en el agua residual inestable biológicamente. Sin embargo, en las afluentes de las plantas de tratamiento biológico, debido a que presentan la etapa final de la oxidación de los compuestos nitrogenados orgánicos, si están presentes.

Sanitariamente los nitratos solos son peligrosos para ciertos niños menores de un año. La ingestión del agua con nitratos en concentración superior a 45 mg/l puede producir metahemoglobinemia infantil.

En razón de la pequeña cantidad de agua que suelen consumir los niños directamente como tal o indirectamente en la preparación de sus alimentos, no será difícil encontrar para ellos agua de otra procedencia con un contenido bajo de nitratos.

La remoción económica de nitratos está aun en vías de experimentación; por lo que se hace necesario que las autoridades sanitarias de la zona donde el contenido de nitratos sobrepase la concentración limite se mantenga alerta y adviertan a la población sobre los peligros que supone la utilización del agua en los alimentos de los niños e indiquen otras fuentes que pueden utilizarse sin peligro. El límite de concentración máxima aceptable es 20 y el límite máximo permisible es de 45 mg/l. (26)

g) Nitritos - Son una etapa intermedia en el ciclo de nitrógeno. Pueden estar en el agua como resultado de la descomposición biológica de los materiales proteicos, cuando está correlacionada con otros tipos de nitrógeno puede indicar contaminación orgánica.

Sanitariamente indica que existe la presencia de materia orgánica.

El límite de concentración máxima permisible es de 0.01 mg/l. (26)

h) Hierro - Se encuentra disuelto en muchas aguas naturales, fundamentalmente en las aguas subterráneas, ya que las sales solubles son en general las ferrosas. Principalmente se encuentra disuelto en forma de bicarbonato ferroso $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. El hierro también da origen a microorganismos que presentan acumulaciones de óxido férrico en las canalizaciones y en los depósitos. Es un constituyente normal del organismo y sus sales no son tóxicas en pequeñas cantidades. Comunica al agua un sabor astringente, aunque este sabor no quiere decir que el agua sea impotable. (8)

Los suministros de agua que contienen más de 0.1 mg/l de hierro son perjudiciales para casi todos los usos industriales y para muchos de ellos la tolerancia no debe exceder a 0.1 mg/l. El hierro produce problemas en casi todo tipo de industria al exceder estas cantidades, por ejemplo en las industrias de cuero les produce manchas y decoloraciones y causa pérdidas en el blanqueo.

El límite máximo aceptable es 0.100 y el límite máximo permisible es 1.00 mg/l. (8)

El hierro es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Se encuentra en las aguas, corrientes naturales, en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/litro. También puede estar presente en el agua de bebida debido a la utilización de coagulantes de hierro o a corrosión de las tuberías de acero y hierro fundido durante el proceso de distribución.

El hierro es un elemento indispensable de la nutrición humana. Las necesidades diarias mínimas de este metal dependen de la edad, el sexo, el estado fisiológico y la biodisponibilidad del hierro y oscilan entre 10 y 50 mg diarios.

Como precaución contra la acumulación de un volumen excesivo de hierro en el organismo, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios estableció en 1983 una ingesta diaria tolerable máxima provisional (IDTMP) de 0.8 mg/kg. de peso corporal, que se aplica al hierro de todas las fuentes con excepción de los óxidos de hierro utilizados como colorantes y los suplementos de hierro administrados durante el embarazo y la lactancia o por razones clínicas concretas. La asignación del 10% de esta IDTMP al agua potable proporciona un valor de unos 2 mg/litro, que no representan un riesgo para la salud. Por lo general, concentraciones inferiores afectan ya al sabor y la apariencia del agua.

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el hierro presente en el agua potable.

i) Manganeso - En las aguas potables, el manganeso produce, aun en pequeñas cantidades, manchas muy tenaces e inconvenientes en los muebles sanitarios, siendo necesarios medios especiales para su eliminación, como la precipitación química, la aeración, la supercloración y el uso de materiales especiales de permutación iónica.

Selección del método: se prefiere el método del persulfato para la cuantificación de manganeso, en muestras desconocidas, porque se afecta menos por las interferencias de cloruros y por ser más rápido en presencia de bajas concentraciones de manganeso. El método del peryodato es adecuado para muestras que contengan

más de 0.01 mg de manganeso y que se encuentren exentas de cloruros y materia orgánica.

El límite máximo aceptable es 0.050 y el límite máximo permisible es 0.500 mg/l.

(8)

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con hierro. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por filtro. En presencia de oxígeno, el manganeso formará óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables y causar problemas de color en los sistemas de distribución. Las ingesta diaria de manganeso procedente de los alimentos es de 2 a 9 mg para los adultos.

El manganeso es un oligoelemento indispensable, del que, según las estimaciones, se necesitan diariamente de 30 a 50 μ g/kg. de peso corporal. Su tasa de absorción puede variar considerablemente según la ingesta efectiva, la forma química y la presencia de otros metales, como el hierro y el cobre, en el régimen de alimentación. En los lactantes y los animales jóvenes se han detectado tasas de absorción muy altas.

Se han observado que el manganeso parece ser neurotóxico para los mineros, tras una prolongada exposición a polvo que lo contiene. No hay datos convincentes que indiquen la aparición de efectos tóxicos en los seres humanos debido al consumo de manganeso en el agua de bebida, pero sólo se dispone de estudios limitados.

La ingesta de manganeso puede llegar a 20 mg diarios sin efectos perjudiciales aparentes. Con una ingesta de 12 mg diarios, un adulto que pese 60 Kg recibirá 0.2 mg diarios/kg. de peso corporal. Si se asigna el 20% de la ingesta al agua potable y se aplica un factor de incertidumbre de 3 para tener en cuenta el posible aumento de

la biodisponibilidad del manganeso procedente del agua, se obtiene un valor de 0.4 mg/litro.

Aunque no existe ningún estudio que permita por sí solo calcular un valor guía, el conjunto de los datos obtenidos de la ingesta diaria efectiva y de estudios realizados con animales de laboratorio a los que se administró manganeso en el agua, con la consiguiente aparición de efectos neurotóxicos y otros efectos tóxicos, apoya la idea de que un valor guía provisional basado en criterios sanitarios de 0.5 mg/litro debería ser suficiente para proteger la salud pública.

Debe señalarse la posibilidad de que la presencia de manganeso provoque quejas de los consumidores, incluso en concentraciones inferiores al valor guía provisional.(32)

j) Componentes inorgánicos - El ácido sulfhídrico es un gas de olor desagradable a: <<huevos podridos>>, que percibe incluso con concentraciones muy bajas, inferiores a 8 ug/m^3 en el aire. Se forma por hidrólisis de sulfuros de agua. No obstante, la concentración de ácido sulfhídrico en el agua de bebida será generalmente reducida porque los sulfuros se oxidan fácilmente en el agua bien aireada. La toxicidad aguda del ácido sulfhídrico es considerable para los seres humanos cuando éstos lo absorben por inhalación; hay irritación ocular con concentraciones de 15 a 30 mg/m^3 . Aunque no se dispone de datos sobre la toxicidad por vía oral, es poco probable que pueda consumirse una dosis perjudicial de ácido sulfhídrico en el agua de bebida. Por consiguiente, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, en el agua potable no deben ser detectables el sabor ni el olor de este compuesto.(32)

k) Aluminio - El aluminio es un elemento abundante y difundido, que representa alrededor del 8% de la corteza terrestre. En el tratamiento del agua utilizada para el abastecimiento público se usan ampliamente compuestos de aluminio, y la presencia de éste en el agua de bebida se debe con frecuencia a deficiencias del control y el funcionamiento del proceso. La exposición de los seres humanos puede producirse

por diversas vías, y probablemente corresponde al agua potable menos del 5% de la ingesta total.

El metabolismo del aluminio en los seres humanos no es bien conocido pero, al parecer, el aluminio inorgánico se absorbe mal y la mayor parte del absorbido se excreta rápidamente en la orina. En los estudios realizados con animales de laboratorio, la toxicidad del aluminio es reducida, y el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios establecido en 1988 una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 7 mg/kg. de peso corporal. Sin embargo, este valor se basó en estudios sobre el fosfato aluminico (ácido); en el agua potable, la forma química del aluminio es diferente.

En algunos estudios, se ha observado una relación entre la presencia de aluminio y la aparición de lesiones cerebrales características de la enfermedad de Alzheimer y, en varios estudios epidemiológicos ecológicos, la incidencia de esta enfermedad se ha puesto en relación con la presencia de aluminio en el agua de bebida. Estos análisis ecológicos deben interpretarse con precaución y debería conformarse mediante estudios epidemiológicos analíticos.

Son necesarios nuevos estudios, pero, por el momento, el conjunto de los datos epidemiológicos y fisiológicos disponibles no parece corroborar la idea de que el aluminio tiene una fusión causal en la enfermedad de Alzheimer. Por lo tanto, no se recomienda un valor guía basado en los efectos sanitarios. No obstante, una concentración de aluminio en el agua potable de 0.2 mg/litro permite llegar a una solución de transacción entre la necesidad de práctica de utilizar sales de aluminio para el tratamiento del agua y la conveniencia de evitar la coloración del agua distribuida.(32)

1) Amianto - El amianto presente en el agua procede de la disolución de minerales y minas que lo contienen, de efluentes industriales, de la contaminación atmosférica y de la existencia en el sistema de distribución de tuberías de cemento de amianto. La

exfoliación de las fibras de amianto de esas tuberías está relacionada con la corrosividad del agua. Se poseen datos limitados que indican que la exposición al amianto liberado en el aire por el agua de los grifos durante la ducha o la humidificación es insignificante.

Se sabe que el amianto absorbido por inhalación es carcinógeno para los seres humanos. Aunque la cuestión se ha examinado a fondo, los estudios epidemiológicos realizados con poblaciones cuyo abastecimiento de agua contiene altas concentraciones de amianto no han proporcionado pruebas convincentes de la carcinogenicidad de esta sustancia por vía de ingestión. Además, en los extensos estudios realizados con especies animales, no se ha observado que el amianto aumente la incidencia de tumores del tracto gastrointestinal. Por consiguiente, no existen pruebas consistentes de que el amianto ingerido sea peligroso para la salud, por que se llegó a la conclusión de que no es necesario establecer un valor guía basado en criterios sanitarios para el amianto presente en el agua potable.(27)

II) Amoniaco - Se denomina amoniaco tanto la especie no ionizada (NH_3) como la ionizada (NH_4^+). El amoniaco que existe en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agrícolas e industriales y de la desinfección con cloramina. Las concentraciones naturalmente existentes en las aguas subterráneas y superficiales se sitúan, por lo común, por debajo de 0.2 mg/litro. Las aguas subterráneas anaeróbicas pueden contener hasta 3 mg/litro. La cría intensiva de animales en explotaciones agrícolas puede hacer que las concentraciones en las aguas superficiales sean mucho mayores. La contaminación por amoniaco puede deberse también a los revestimientos de las tuberías de mortero de cemento. La presencia de amoniaco en el agua es un indicador de una posible contaminación por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal.

El amoniaco es un componente importante del metabolismo de los mamíferos. La exposición correspondiente a fuentes ambientales es insignificante

en comparación con la síntesis endógena. Sólo se observan efectos toxicológicos con exposiciones superiores a unos 200 mg/kg. de peso corporal.(27)

El amoníaco presente en el agua potable no tiene una importancia inmediata para la salud, por lo que no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el amoníaco puede poner en peligro la eficacia de la desinfección, dar lugar a la formación de nitritos en los sistemas de distribución, averiar los filtros para la eliminación del manganeso y crear problemas de sabor y de olor.(27)

m) Antimonio - Las sales de antimonio y los complejos orgánicos de este elemento se hallan habitualmente en los alimentos y en el agua en bajas concentraciones. Las concentraciones observadas en el agua potable son generalmente inferiores a 4 μ g/litro. La ingesta alimentaria estimada para los adultos se sitúa alrededor de 0.02 mg diarios. En los lugares en que la soldadura de antimonio -estaño está comenzando a sustituir a la de plomo, es posible que la exposición al antimonio aumente en el futuro.

En su evaluación global basada en la exposición por inhalación, el CIIC llegó a la conclusión de que el trióxido de antimonio es posible carcinógeno para los seres humanos y el trisulfuro de antimonio no es clasificable sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos.

En un estudio limitado realizado con ratas expuestas durante toda su vida a antimonio en el agua de bebida, en dosis únicas de 0.43 mg diarios/ Kg de peso corporal, los efectos observados fueron un descenso de la longevidad y alteraciones de las concentraciones de glucosa y colesterol en sangre. No se detectaron efectos en la incidencia de tumores benignos o malignos.

Se aplicó al NICENO de 0.43 mg diarios/ Kg de peso corporal un factor de incertidumbre de 500 (100 para tener en cuenta las variaciones entre especies y dentro de la especie y 5 por la utilización de un NICENO en lugar de un NSENO),

con lo que se obtuvo una IDT de 0.86 $\mu\text{g}/\text{kg}$. de peso corporal. Si se asigna al agua potable el 10% de la IDT, se obtiene una concentración de 0.003 mg/litro (cifra redondeada), que se sitúa en la práctica por debajo del límite del análisis cuantitativo. Por lo tanto, el valor guía provisional se ha fijado en una concentración cuantificable en la práctica de 0.005 mg/litro. Esto proporciona un factor de seguridad de aproximadamente 250 en lo que respecta a los posibles efectos en la salud, sobre la base del NICESO de 0.43 mg diarios/kg. de peso corporal observado en el estudio limitado realizado con ratas expuestas a la sustancia durante toda la vida. (27)

n) Arsénico - El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y se utiliza comercialmente, sobre todo en agentes aleadores. El presente en el agua procede de la disolución de minerales y menas, de efluentes industriales y de la atmósfera; en algunas zonas, las concentraciones que existen en las guías subterráneas son elevadas, de resultas de la erosión. Se estima que la ingesta diaria media de arsénico inorgánicos en el agua es similar a la procedente de los alimentos; la aportación del aire es insignificante.

Está demostrado que el arsénico inorgánico es carcinógeno para los seres humanos, y el CIIC lo ha clasificado en el grupo 1. En poblaciones que consumen agua con altas concentraciones de arsénico, se ha observado una incidencia relativamente elevada de cáncer de la piel y posiblemente de otros tipos, que aumenta con la dosis y la edad.

En la biovaloraciones limitadas realizadas con especies animales disponibles no se ha demostrado que el arsénico sea carcinógeno pero se ha obtenido resultados positivos en estudios encaminados a evaluar el potencial de promoción tumoral. No se ha comprobado que el arsénico sea mutagénico en valoraciones efectuadas con bacterias y mamíferos, aunque se ha confirmado que provoca aberraciones cromosómicas en diversos tipos de cultivos celulares, en particular de células humanas; esos efectos no se han observado *in vivo*.

Los datos disponibles sobre la relación entre el cáncer de órganos internos y la ingestión de arsénico en el agua de bebida eran suficientes para realizar una estimación cuantitativa del riesgo. En cambio, dada la carcinogenicidad demostrada del arsénico presente en el agua de bebida para las poblaciones humanas, se estimó el riesgo de cáncer de la piel durante toda la vida mediante un modelo en fases múltiples. Sobre la base de observaciones realizadas con una población que bebía agua contaminada con arsénico, se calculó que la concentración asociada con un riesgo adicional de cáncer de la piel durante toda la vida de 10^{-5} era de $0.17 \mu\text{g/litro}$. Sin embargo, esto puede ser una sobreestimación del riesgo real, debido a la posible contribución de otros factores a la incidencia de esa enfermedad en la población y a posibles variaciones metabólicas dependientes de la dosis, que no pudieron tenerse en cuenta. Además, este valor queda por debajo del límite práctico de cuantificación de $10 \mu\text{g/litro}$.

A fin de reducir la concentración de este contaminante carcinógeno, se ha establecido un valor guía provisional para el arsénico en el agua potable de 0.01 mg/litro . El riesgo adicional estimado de cáncer de la piel durante toda la vida asociada con la exposición a esa concentración es de 6×10^{-4} .

Se puede obtener un valor similar (partiendo de una asignación del 20% al agua potable) a partir de la ingesta diaria tolerable máxima provisional (IDTMP) de $2 \mu\text{g/kg}$ de peso corporal, establecida por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios para el arsénico inorgánico y confirmada como ISTP de $15 \mu\text{g/kg}$ de peso corporal en 1988. El Comité de Expertos señaló, no obstante, que el margen entre la ISTP y las ingestas que producen efectos tóxicos según los estudios epidemiológicos era estrecho(27).

o) Bario - Aunque en un estudio epidemiológico ecológico se llegó a la conclusión de que existe una relación entre la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y el contenido de bario del agua de bebida, un estudio epidemiológico analítico con la misma no confirmó esos resultados. Además, en un estudio de corta duración

realizado con un pequeño número de voluntarios, no se obtuvieron datos que indicaran consistentemente la aparición de efectos cardiovasculares negativos tras la exposición a concentraciones de bario de hasta 10 mg/litro de agua. No obstante, en ratas expuestas a concentraciones relativamente bajas de bario en el agua de bebida, se observó un aumento de la presión sanguínea sistólica.

Se calculó un valor guía de 0.7 mg/litro (cifra redondeada), utilizando el NSENO de 7.3 mg/litro procedente del estudio epidemiológico más sensible realizado hasta el momento, en el que no se observaron diferencias significativas de presión sanguínea o prevalencia de enfermedades cardiovasculares entre una población que bebía agua con una concentración media de bario de 7.3 mg/litro y otra que consumía agua con 0.1 mg/litro. Se incorporó un factor de incertidumbre de 10 para tener en cuenta la variación dentro de la especie.

Este valor se aproxima al obtenido a partir de los resultados de estudios toxicológicos realizados con especie animales. Se calculó una IDT de 51 μ g/kg. De peso corporal basada en un NSENO de 0.51 mg diarios/kg. De peso corporal observado en un estudio de los efectos crónicos efectuado con ratas y en la incorporación de factores de incertidumbre de 10 para la variación dentro de la especie de 1 para la variación entre especies, ya que los resultados de un estudio epidemiológicos bien realizado indican que los seres humanos no son más sensibles que las ratas al bario presente en el agua de bebida. El valor calculado a partir de esta IDT, sobre la base de la asignación del 20% al agua potable, sería 0.3 mg/litro (cifra redondeada). El valor guía para el bario en el agua potable es 0.7 mg/litro.(27)

p) **Berilio** - El berilio se absorbe mal a través del tracto gastrointestinal. El CIIC lo ha clasificado, junto con sus compuestos, como probablemente carcinógeno para los seres humanos (grupo 2 A), sobre la base de estudios de la exposición ocupacional y estudios de la inhalación realizados con animales de laboratorio. No se poseen datos suficientes para determinar si este elemento es carcinógeno por vía oral.

Se ha demostrado que el berilio interactúa con el ADN, causando mutaciones genéticas, aberraciones cromosómicas e intercambiando entre cromátidas hermanas en cultivos de células somáticas de mamíferos, aunque no se ha comprobado que sea mutagénico en sistema de pruebas bacterianas.

No se poseen datos suficientes sobre la absorción por vía oral que proporcionen una base toxicológica para la adopción de un valor guía. No obstante, parece poco probable que las bajísimas concentraciones de berilio que suelen hallarse en el agua potable representen un riesgo para los consumidores.(27)

q) **Boro** - El elemento boro se utiliza principalmente en materiales estructurales compuestos. Los compuestos del boro se usan en algunos detergentes y procesos industriales y llegan al agua en los efluentes industriales y domésticos. Las concentraciones de boro que suelen hallarse en el agua de bebida son inferiores a 1 mg/litro, pero se han observado niveles superiores, debido a la presencia de boro natural. Se estima que la ingesta diaria total se sitúa entre 1 y 5 mg

Cuando se administra en forma de borato o ácido bórico, el boro se absorbe rápida y casi completamente a través del tracto gastrointestinal. La excreción tiene lugar sobre todo por el riñón

La exposición prolongada de los seres humanos a compuestos del boro produce irritación gastrointestinal leve. En estudios a corto y largo plazo realizados con animales y en estudios de la reproducción con ratas, se ha observado atrofia testicular. En diversos sistemas de pruebas *in vitro*, no se ha demostrado que el ácido bórico y los boratos sean mutagénicos. En estudios a largo plazo de la

carcinogenicidad realizados con ratones y ratas tampoco se ha observado un aumento de la incidencia de tumores.

Se calculó una IDT de $88 \mu\text{g}/\text{kg}$. de peso corporal. Aplicando un factor de incertidumbre de 100 (para tener en cuenta la variación entre especies y dentro de la especie) a un NSENO de $8.8 \text{ mg diarios}/\text{kg}$ de peso corporal obtenido para la atrofia testicular en un estudio de alimentación de dos años de duración realizada con perros. Si se asigna el 10% de la IDT al agua potable, se obtiene un valor guía de 0.3 mg/litro (cifra redondeada). No obstante, debe señalarse que la ingesta de boro procedente de los alimentos no es bien conocida y que, al parecer, el tratamiento del agua de bebida no elimina adecuadamente este elemento.(27)

r) Cadmio - Este metal se utiliza en la industria siderúrgica y en los plásticos. También se usan ampliamente sus compuestos en las pilas. Las aguas residuales liberan cadmio en el medio ambiente, y hay una presencia difusa del elemento debida a los fertilizantes y a la contaminación local del aire. La contaminación del agua de bebida puede deberse asimismo a impurezas del zinc que contienen las tuberías galvanizadas y las soldaduras, así como algunos accesorios de metal, aunque, en el agua potable, las concentraciones son por lo general inferiores a $1 \mu\text{g/litro}$. Los alimentos son la principal fuente de exposición cotidiana al cadmio. La ingesta diaria por vía oral es de 10 a $35 \mu\text{g}$. El hábito de fumar es una importante fuente adicional.

La absorción de los compuestos del cadmio depende de su solubilidad. Este elemento se acumula principalmente en los riñones y tiene una vida media biológica prolongada de 10 a 35 años en los seres humanos.

Hay pruebas de que el cadmio es carcinógeno por vía de inhalación, y el CIIC lo ha clasificado, junto con sus compuestos, en el grupo 2 A. No obstante, no se ha demostrado la carcinogenicidad por vía oral y no existen pruebas claras de la genotoxicidad.

El riñón es el órgano más afectado por la toxicidad del cadmio. La concentración crítica en la corteza renal, que da lugar a una prevalencia del 10% de proteinuria de bajo peso molecular en la población en general, es aproximadamente de 200 mg/kg y se alcanza con una ingesta alimentaria diaria de unos 175 μ g por persona durante 50 años.

Partiendo de una tasa de absorción del cadmio alimentario del 5% y de una tasa diaria de excreción del 0.005% de la carga corporal, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios llegó a la conclusión de que, para que las concentraciones de cadmio en la corteza renal no sobrepasen 50 mg/kg, la ingesta total de este elemento no debe ser superior a 1 μ g diario/kg de peso corporal. Por lo tanto, se estableció una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 7 μ g/kg de peso corporal. Se reconoce que el factor de seguridad entre la ISTP y la ingesta semanal efectiva de cadmio de la población en general es pequeño, inferior a 10, y puede ser incluso menor en los fumadores. Se ha establecido un valor guía de 0.003 mg/litro sobre la base de la asignación del 10 % de la ISTP al agua potable.(27)

s) **Cobre** - La presencia de cobre en el agua puede dificultar el uso de ésta para fines domésticos. El cobre contenido en el sistema de abastecimiento público aumenta la corrosión de los accesorios de hierro galvanizado y acero. Cuando las concentraciones de este elemento son superiores a 1 mg/litro, ocasionan la aparición de manchas en la ropa lavada y las instalaciones de fontanería. En concentraciones superiores a 5 mg/litro, el cobre también colorea el agua y le da un sabor amargo poco agradable.

Aunque el cobre puede crear problemas de sabor, éste debería ser aceptable si la concentración no sobrepasa el valor guía provisional basado en criterios sanitarios.(27)

Contrariamente a lo que ocurre en los adultos, en los lactantes el metabolismo del cobre no está bien desarrollado, y el hígado del recién nacido contiene más del 90% de la carga corporal, con concentraciones mucho mayores que en los adultos. Desde 1984, se ha sentido cierta inquietud ante la posible participación del cobre presente en el agua de bebida en la aparición de cirrosis hepática durante la primera infancia en lactantes alimentados con biberón, aunque el temor no se ha confirmado.

En 1982, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos Aditivos Alimentarios propuso una ingesta diaria tolerable máxima provisional (IDTMP) de 0.5 mg/kg de peso corporal, a partir de un estudio bastante antiguo realizado con perros. Asignado al agua potable el 10% de la IDTMP, se calcula un valor guía provisional basado en criterios sanitarios de 2 mg/litro (cifra redondeada). En este estudio no se tomaron en cuenta las diferencias que presentan el metabolismo del cobre en el neonato. No obstante, una concentración de 2 mg/litro proporciona un margen de seguridad suficiente para los lactantes alimentados con biberón, porque la ingesta de cobre de éstos por exposición a otras fuentes es generalmente baja. Dado que sigue habiendo incertidumbre sobre la toxicidad del cobre para los seres humanos, el valor guía se considera provisional. El cobre puede crear problemas de sabor. (27)

t) Cromo - El cromo está ampliamente distribuido en la corteza terrestre, con valencias de +2 a +6. Las concentraciones totales en el agua de bebida son habitualmente inferiores de 2 μ g/litro, aunque se ha notificado concentraciones de hasta 120 μ g/litro. En general, los alimentos parecen ser la principal fuente de la ingesta de este elemento.

La absorción de cromo tras la exposición por vía oral es relativamente baja y depende del estado de oxidación. El cromo (VI) se absorbe más fácilmente a través del tracto gastrointestinal que el cromo (III) y puede atravesar las membranas celulares.

No se dispone de suficientes estudios sobre la toxicidad para establecer un NSENO. En un estudio a largo plazo de la carcinogenicidad, en el que se administró a las ratas cromo (III) por vía oral, no se observó un aumento de la incidencia de tumores. El cromo (VI) es carcinógeno para las ratas por inhalación, aunque los datos limitados con que se cuenta no indican que sea carcinógeno por vía oral. En los estudios epidemiológicos, se ha hallado una relación entre la exposición al cromo (VI) por inhalación y el cáncer de pulmón. El CIIC ha clasificado el cromo (VI) en el grupo 1 (carcinógeno para los seres humanos) y el cromo (III) en el grupo 3.

En una amplia gama de pruebas de la genotoxicidad *in vitro e in vivo*, los compuestos del cromo (VI) resultaron activos, pero no los del cromo (III). Agentes reductores como los jugos gástricos humanos pueden disminuir o impedir la acción mutagénica del cromo (VI).

En un principio se consideró que deberían determinarse valores guía distintos para el cromo (III) y el cromo (VI). Sin embargo, los actuales métodos de análisis favorecen el establecimiento de un solo valor guía para el total de cromo.

Dada la carcinogenicidad del cromo (VI) cuando se absorbe por inhalación y su genotoxicidad, se ha puesto en duda el actual valor guía de 0.05 mg/litro, pero los datos toxicológicos disponibles no parecen justificar el cálculo de un nuevo valor. Como medida práctica, se ha conservado como provisional el valor guía de 0.05 mg/litro, considerando poco probable que presente riesgos importantes para la salud, hasta que se obtenga información adicional, que permita una reevaluación.(27)

u) Estaño inorgánico - El estaño se utiliza principalmente en los revestimientos que emplea la industria alimentaria. Por lo tanto, los alimentos, en particular los enlatados, representan la principal vía de exposición de los seres humanos a este metal. Para la población en general, el agua de bebida no es una fuente importante

de estaño, ya que las concentraciones superiores a 1 ó 2 $\mu\text{g/litro}$ son excepcionales. No obstante, se usan cada vez más soldaduras de estaño, que puede emplearse en los sistemas domésticos de fontanería.

Los compuestos del estaño y el estaño inorgánico se absorben mal a través del tracto gastrointestinal, no se acumulan en los tejidos y se excretan con rapidez, principalmente en las heces.

En estudios sobre la carcinogenicidad a largo plazo realizados con ratones y ratas a los que se administró cloruro estañoso no se observó un aumento de la incidencia de tumores. Tampoco se ha demostrado que el estaño sea teratogénico o fetotóxico para los ratones, las ratas o el hámster. Para las ratas se determinó, en un estudio de alimentación de larga duración, un NSENO de 20 mg diarios/kg de peso corporal.

El principal efecto negativo observado en seres humanos de resultados de concentraciones excesivas de estaño (superiores a 150 mg/kg) en los alimentos, por ejemplo en frutas enlatadas, ha sido irritación gástrica aguda. No existen pruebas de que la exposición crónica al estaño tenga efectos perjudiciales en los seres humanos.

Se llegó a la conclusión, de que, dada la baja toxicidad del estaño inorgánico, se podía calcular un valor guía provisional tres órdenes de magnitud por encima de la concentración normal del estaño en el agua potable. Por lo tanto, la presencia de estaño en el agua de bebida no representa un riesgo para la salud humana. Por este motivo, no se consideró necesario establecer un valor guía numérico para el estaño inorgánico.(27)

v) Mercurio - Se encuentra mercurio en su forma inorgánica en las aguas superficiales y subterráneas, en concentraciones generalmente inferiores a 0.5 $\mu\text{g/litro}$. Las concentraciones en el aire son del orden de 2 a 10 ng/m^3 . La ingesta alimentaria media de mercurio en varios países oscila entre 2 y 20 diarios por persona.

El órgano más afectado por el mercurio inorgánico es el riñón; el metilmercurio actúa principalmente sobre el sistema nervioso central.

En 1972, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios estableció una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) del total del mercurio de

5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal, en la que el metilmercurio no debería representar más de 3.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal para la población en general, pero señalando que las embarazadas y las madres lactantes están probablemente más expuestas a los efectos negativos de este compuesto. Se consideró que los datos disponibles eran insuficientes para permitir la recomendación de una ingesta determinada de metilmercurio para ese grupo de población.

En aras de la prudencia, en el cálculo del valor para el mercurio inorgánico presente en el agua potable se utilizó la ISTP establecida para el metilmercurio. Como la exposición más importante es la relacionada con los alimentos, se asignó al agua potable el 10% de la ISTP. El valor guía para el total de mercurio es de 0.001 mg/litro. (Cifra redondeada).(27)

w) Molibdeno - La concentración de molibdeno en el agua de bebida es generalmente inferior a 0.01 mg/litro. No obstante, en las zonas próximas a minas, se ha notificado la presencia de concentraciones de hasta 200 $\mu\text{g}/\text{litro}$. La ingesta alimentaria de esta sustancia es aproximadamente de 0.1 mg diarios por persona. Se considera que el molibdeno es un elemento indispensable, del que los adultos necesitan, según las estimaciones, de 0.1 a 0.3 mg diarios.

No se dispone de datos sobre la carcinogenicidad del molibdeno por vía oral. En un estudio de dos años de duración sobre seres humanos expuestos a través del agua de bebida, se llegó a la conclusión de que el NSENO era de 0.2 mg/litro. Existe cierta inquietud acerca de la calidad de ese estudio. Normalmente, se aplicaría un factor de incertidumbre de 10 para reflejar la variación dentro de la especie. No obstante, como el molibdeno es un elemento indispensable, se considera suficiente un factor de 3. Esto proporciona un valor guía de 0.07 mg/litro (cifra redondeada).

Este valor se sitúa entre los límites de variación del obtenido a partir de los resultados de estudios toxicológicos realizados con especies animales y está conforme con las necesidades indispensables.(27)

x) **Plomo** - El plomo no se usa principalmente para la producción de acumuladores de plomo-ácido, soldaduras y aleaciones. Los compuestos orgánicos del plomo tetraetilplomo y tetrametilplomo se ha utilizado también ampliamente en la gasolina, como agentes antidetonantes y lubricantes, aunque ese uso está desapareciendo en muchos países. Debido a la disminución de los aditivos de la gasolina que contienen plomo y de las soldaduras que contienen plomo empleadas en la industria alimentaria, están descendiendo las concentraciones en el aire y los alimentos, con lo que la ingesta procedente del agua de bebida constituye una proporción mayor de la ingesta total.

El plomo presente en el agua de los grifos procede, en cierta medida, de fuentes naturales por disolución pero, sobre todo, de los sistemas de fontanería domésticos, cuyas tuberías, soldadura y accesorios contienen este elemento, o de las conexiones con las viviendas. La cantidad de plomo disuelta en el agua que procede de las instalaciones de fontanería depende de varios factores, en particular el pH, la temperatura, la dureza del agua y el tiempo que ésta permanece en las tuberías; el agua blanda y ácida es la que mejor disuelve el plomo.

La transferencia de plomo a través de la placenta se produce en los seres humanos a partir de la duodécima semana de gestación y continúa durante todo el desarrollo del feto. Los niños pequeños absorben de 4 a 5 veces más plomo que los adultos, y es posible que la vida media biológica de este elemento sea considerablemente más prolongada en la infancia.

El plomo es un tóxico general, que se acumula en el esqueleto. Los lactantes, los niños hasta los 6 años de edad y las mujeres embarazadas son los más vulnerables a sus efectos negativos para la salud. En los niños se ha observado, con concentraciones en sangre de sólo 5 $\mu\text{g}/\text{dl}$, inhibición de la actividad de la deshidratasa δ -aminolevulínica (porfobilinógeno sintasa; una de las principales enzimas que intervienen en la biosíntesis del hemo), aunque no se atribuyen efectos perjudiciales a la inhibición a este nivel. El plomo dificulta también el metabolismo del calcio, tanto directamente como a través de su acción sobre el metabolismo de la vitamina D. Estos efectos se han observado en los niños con concentraciones en sangre de 12 a 120 $\mu\text{g}/\text{dl}$, sin que se haya determinado un umbral.

El plomo es tóxico para el sistema nervioso, tanto central como periférico, y tiene efectos neurológicos subencefalopáticos y comportamentales. Hay datos electrofisiológicos que indican que concentraciones en sangre muy por debajo de 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ o más y déficit de unos 4 puntos en los cocientes de inteligencia. Los resultados de estudios epidemiológicos prospectivos (longitudinales) parecen indicar que la exposición prenatal al plomo puede tener efectos tempranos en el desarrollo mental, que no persiste hasta la edad de 4 años. Investigaciones realizadas con primates apoyan los resultados de esos estudios epidemiológicos, ya que se han observado efectos comportamentales y cognitivos significativos tras una exposición postnatal reflejada en niveles en sangre que oscilaban entre 11 y 33 $\mu\text{g}/\text{dl}$.(27)

En animales de experimentación expuestos a elevadas concentraciones de compuestos del plomo en la alimentación se han inducido tumores renales, y el CIIC ha clasificado el plomo y sus compuestos inorgánicos en el grupo 2B (posible carcinógeno para los seres humanos). No obstante, los estudios realizados con seres humanos parecen demostrar que concentraciones muy bajas de plomo tienen efectos neurotóxicos perjudiciales distintos del cáncer y que un valor guía calculado sobre esa base protegería también de los efectos carcinógenos.(27)

En 1986, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios estableció para el plomo una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal (equivalente a 3.5 μg diarios/kg de peso corporal) para los lactantes y los niños, con la idea de que se trata de un veneno acumulativo, por lo que no se debe acumularse una carga de plomo en el organismo. Partiendo de la asignación del 50% al agua potable para un lactante alimentado con biberón que pese 5 kg y consuma 0.75 litros diarios de agua, el valor guía basado en criterios sanitarios es de 0.01 mg/litro (cifra redondeada). Como se considera que los lactantes con el subgrupo más sensible, este valor guía protegerá también a los demás grupos de edad.

El plomo representa un problema particular, puesto que la mayor parte del existente en el agua de bebida procede de las instalaciones de fontanería de los edificios, y el remedio consiste principalmente en eliminar las tuberías y accesorios

que lo contienen. Esto requiere mucho tiempo y dinero, por lo que hay que administrar que no toda el agua se ajustará inmediatamente a la guía. Entretanto, deberán aplicarse todas las demás medidas prácticas encaminadas a reducir la exposición total, en particular las de control de la corrosión.(27)

y) **Selenio** - Las concentraciones de selenio en el agua de bebida son muy variables según la zona geográfica pero, por lo común, se sitúan muy por debajo de 0.01 mg/litro. La principal fuente de selenio para la población en general son alimentos como los cereales, la carne y el pescado. Las concentraciones en los alimentos son muy distintas según la zona geográfica en que éstos se producen.

El selenio es un elemento indispensable para los seres humanos y es parte integrante de la enzima glutatión peroxidasa y probablemente también de otras proteínas. La mayor parte de los compuestos del selenio son hidrosolubles y se absorben bien a través del intestino. Su toxicidad parece ser del mismo orden en los seres humanos y los animales de laboratorio.

Los datos experimentales no indican que el selenio sea carcinógeno, salvo en forma de sulfuro de selenio, que no está presente en el agua potable. El CIIC ha clasificado el selenio y sus compuestos en el grupo 3. Se ha demostrado la genotoxicidad de esos compuesto en sistemas *in vitro* con activación metabólica, pero no en los seres humanos. *In vivo*, este efecto depende quizá de la dosis. No se han hallado pruebas de efectos teratogénicos con monos, pero no se dispone de datos al respecto sobre seres humanos.

La toxicidad a largo plazo en las ratas se caracteriza por la reducción del crecimiento y la aparición de una patología hepática para concentraciones de selenio de 0.03 mg diarios/kg de peso corporal en los alimentos.

En los seres humanos, los efectos tóxicos de la exposición prolongada al selenio se manifiestan en las uñas, el pelo y el hígado. Datos obtenidos en China indican que los signos clínicos aparecen cuando la ingesta diaria es superior a 0.8 mg. Sobre la base del nivel en sangre y de los datos procedentes de China sobre la relación entre ese nivel y la ingesta, se estimó que la ingesta diaria de niños venezolanos que mostraban signos clínicos era aproximadamente de 0.7 mg. En un

pequeño número de personas que padecían artritis reumatoide, a las que se administró selenio en dosis de 0.25 mg diarios, además del que recibían en los alimentos, se observaron efectos en la síntesis de una proteína hepáticas. En un grupo de 142 personas con una ingesta diaria media de 0.24 mg (máximo: 0.72 mg), no se detectaron signos clínicos ni bioquímicos de toxicidad.

A partir de todos estos datos, se estimó que el NSENO para los seres humanos es de unos 4g diarios/kg de peso corporal para los adultos. La asignación del 10% de ese NSENO al agua potable proporciona un valor guía basado en criterios sanitarios de 0.01 mg/litro (cifra redondeada).(27)

z) Sodio - Prácticamente todos los alimentos (que son la principal fuente de exposición cotidiana) y el agua de bebida contiene sales de sodio (por ejemplo, cloruro sódico). Aunque las concentraciones típicas de sodio en el agua consumida son inferiores a 20 mg/litro, en algunos países pueden ser mucho mayores. Las concentraciones de sales de sodio en el aire son, por lo común, bajas en comparación con las que se encuentran en los alimentos o el agua. Debe señalarse que algunos ablandadores del agua pueden aumentar apreciablemente el contenido de sodio de ésta.

No se ha podido llegar a una conclusión firme sobre la posible relación entre el sodio contenido en el agua potable y la hipertensión. Por lo tanto, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, las concentraciones superiores a 200 mg/litro pueden dar lugar a un sabor inaceptable.(27)

3. Total de sólidos disueltos

El total de sólidos disueltos (TSD) en el agua comprende sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. El TSD en el agua potable procede de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentías urbanas y desechos industriales. La sal utilizada para deshelar las carreteras en algunos países también puede contribuir al TSD. Las concentraciones del TSD en el agua varían

considerablemente en diferentes regiones geológicas, debido a la distinta solubilidad de los minerales.

No se dispone de datos fiables sobre los posibles efectos en la salud de la ingestión del TSD en el agua de bebida y no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, la presencia de altas concentraciones del TSD puede provocar quejas de los consumidores.(27)

4. Grifos de los consumidores

Cuando se utiliza para el muestreo el caudal normalmente usado por el consumidor, puede resultar difícil comparar las calidades observadas en grifos diferentes si las muestras se toman con caudales distintos. Por otra parte, si se adopta un caudal normalizado para evitar este inconveniente, tal vez las calidades observadas no reflejen la calidad del agua tal como la usa el consumidor.

Cuando se toman las muestras en momentos en que se producen modificaciones rápidas o sistemáticas de la calidad del agua, el volumen de la muestra recogida puede influir en la calidad observada. En estas circunstancias una solución práctica es especificar el volumen de la muestra que se va a recoger.(24)

5. Estabilidad de la muestra

Las concentraciones de las sustancias que se van a determinar en una muestra puede modificarse entre el muestreo y el análisis, como consecuencia de 1) contaminación externa durante la toma de la muestra, 2) contaminación causada por el recipiente, o 3) procesos químicos, físicos y biológicos dentro de la muestra.

Pueden producirse errores graves a menos que se tomen las precauciones adecuadas pero, en general, existen métodos uniformes o recomendados para evitar la contaminación causada por el recipiente y reducir al mínimo la modificación de las concentraciones durante el almacenamiento. Además, el método de preservación de la muestra con frecuencia está determinado por el método de análisis empleado. No obstante, deben realizarse pruebas para verificar que la concentración de la sustancia en cuestión no se modifica en medida inaceptable en el período entre la toma de la muestra y su análisis.

Cuando se analiza una muestra representativa de agua para detectar una determinada sustancia, la exactitud del resultado depende por completo de los errores que surgen durante el análisis.

Los estudios internacionales de laboratorio han demostrado que en algunos laboratorios se producen graves errores de análisis, algunas veces de varios cientos por ciento. Comúnmente, este error analítico es mayor para las sustancias que se encuentran en concentraciones bajas. El control de calidad debe ser una parte fundamental de todo programa de muestreo y análisis, en especial cuando los resultados se van a comparar con normas o valores numéricos. Por lo general, se cuenta con procedimientos analíticos adecuados para alcanzar la precisión requerida; el problema práctico es asegurar su aplicación correcta. En algunos países, también existirán dificultades en cuando a la disponibilidad del equipo necesario. Si se desea evitar estos problemas es importante que se establezca cuál es el error total máximo tolerable para cada sustancia, sobre la base de la información que se desea obtener mediante la labor de vigilancia (o identificación), y que se empleen y se apliquen en forma apropiada métodos analíticos adecuados para lograr la precisión requerida.

En las secciones siguientes, se consideran varios aspectos generales relacionados con estos dos puntos.(22)

6. Definición de la precisión requerida

La precisión requerida de un procedimiento analítico está, en principio, determinada por los objetivos del programa de muestreo y análisis, que serán diferentes en distintas circunstancias. En consecuencia, no se puede dar una definición de la precisión requerida aplicable a todos los casos y se considerarán aquí únicamente cuatro puntos de particular importancia.

La precisión requerida debe definirse en forma cuantitativa y explícita, de tal modo que se disponga de criterios inequívocos para la selección de métodos analíticos adecuados. Cuando no existen esos criterios, el procedimiento de

selección de métodos en un laboratorio puede obedecer a otros factores (por ejemplo, la rapidez y el costo), en detrimento de la precisión.(22)

Cuanto mayor es la precisión exigida en cualquier análisis, mayores son el tiempo y el esfuerzo requeridos (y, por consiguiente, también el costo), a menudo en forma desproporcionada con el aumento de precisión. Una práctica frecuente y costosa consiste en fijar el límite de precisión únicamente sobre la base de consideraciones estadísticas y analíticas, sin tener en cuenta el significado real de un error dado. En el caso de algunas sustancias presentes en concentraciones bajas, incluso un error de $\pm 50\%$ puede no tener verdadera importancia desde el punto de vista del saneamiento o de la salud. Por consiguiente, se debe evitar establecer metas innecesariamente estrictas.

Muchas de las sustancias consideradas en estas guías pueden estar presentes en el agua en concentraciones muy bajas, y en consecuencia, es probable que el límite de detección sea a menudo el criterio más importante para seleccionar un método de análisis. Es esencial que se identifique que la concentración de interés más pequeña, que se considerará, en general, el límite de detección requerido. Por consiguiente, puede ser conveniente fijar el límite requerido en el 20% del valor guía recomendado.(22)

Es preciso considerar cuidadosamente la forma de definir la precisión buscada. Esta debe expresarse como error total máximo tolerable con un nivel de confianza definido.

7. Selección de métodos analíticos adecuados

Varios organismos nacionales e internacionales han publicado diversas colecciones de métodos <<uniformes>> o <<recomendados>> para analizar el agua. A menudo se piensa que se puede lograr sin problemas una precisión analítica adecuada siempre que todos los laboratorios usen el mismo método uniforme. La experiencia muestra que no es así, ya que pueden influir en la precisión de los resultados diversos factores ajenos al método, entre ellos la pureza de los reactivos, el tipo de equipo y su funcionamiento, el grado de modificación del método en un determinado laboratorio y la habilidad y cuidado del analista. Estos factores suelen

variar, no sólo de un laboratorio a otro sino también en un mismo laboratorio con el transcurso del tiempo. Además, la precisión que puede alcanzarse con un método particular a menudo depende de la naturaleza y la composición de la muestra. No es esencial usar métodos uniformes salvo cuando se trata de variables <<no específicas>> como el sabor y el olor, el color y la turbiedad. En esos casos, el resultado depende del método que se emplea, y es necesario que todos los laboratorios usen métodos idénticos si se desea obtener resultados comparables.

Al seleccionar métodos de análisis, es preciso tener en cuenta una serie de factores importantes:

Un aspecto fundamental es que el método escogido permita alcanzar la precisión requerida. Otros factores, como la rapidez y la facilidad práctica, sólo deben considerarse al seleccionar entre métodos que respondan a este primer criterio esencial.(27)

Hay varios procedimientos muy diferentes para medir y comunicar los errores que suelen producir los métodos. Esto complica innecesariamente la selección y compromete su eficiencia, por lo que se han hecho una serie de sugerencias para normalizar esos procedimientos. Es conveniente que los detalles relacionados con todos los métodos de análisis se publiquen acompañados de características de precisión que puedan interpretarse de forma inequívoca.

Si los resultados analíticos de un laboratorio se van a comparar con los otros y/o con una norma numérica, obviamente es preferible que no incorporen un error sistemático. En la práctica, esto no es posible, pero cada laboratorio debe seleccionar métodos cuyos errores sistemáticos hayan sido minuciosamente evaluados para comprobar que no son considerables y pueden aceptarse.(27)

8. Aspectos relacionados con la aceptación del abastecimiento

Los componentes que más deben controlarse en el agua de bebida son indudablemente los que pueden tener repercusiones directas en la salud pública, y para ellos se han establecido valores guía. La ordenación de esas sustancias está en manos de la organización responsables del abastecimiento, que deben conseguir que

sus consumidores confien en que desempeñarán su misión con responsabilidad y eficiencia.

Los consumidores carecen, en gran medida, de medios para estimar por sí mismos la inocuidad del agua que deben, pero en su actitud hacia el abastecimiento y hacia los responsables de él influirán en grado considerable los aspectos de la calidad del agua que pueden percibir con sus propios sentidos. Es, pues, natural que sientan graves sospechas cuando el agua tiene una apariencia sucia o un color extraño, sabe mal o desprende un olor desagradable, aunque quizá estas características no tengan en sí mismas consecuencias directas para la salud.(24)

El abastecimiento de agua potable no sólo inocuo sino también de apariencia, sabor y olor agradables tiene gran prioridad. El agua insatisfactoria en este sentido provocará la desconfianza de los consumidores, dando lugar a quejas y posiblemente al uso de agua procedente de fuentes menos seguras. Quizá tenga también como consecuencia el recurso al agua embotellada, que es costosa, o la utilización de aparatos para tratar el agua en el hogar, que en algunos casos puede repercutir negativamente en la calidad de ésta.

En el recurso de aceptación del agua potable por los consumidores pueden influir muchos componentes distintos; ya se ha hecho referencia a la mayor parte de la sustancia para las que se han establecido valores guía y que pueden afectar también al sabor o el olor del agua. Existen otros componentes que, en las concentraciones normalmente presentes en el agua, no tienen consecuencias directas para la salud pero, no obstante, pueden provocar reacciones negativas de los consumidores por diversas razones.(24)

Las concentraciones de esos componentes que pueden resultar desagradables para los consumidores dependen de factores de carácter individual y local, en particular de la calidad del agua a que está acostumbrada la comunidad y de diversas consideraciones sociales, económicas y culturales. En esas circunstancias, no conviene establecer valores guía para las sustancias que influyen en la aceptación del agua pero que no tienen repercusiones directas sobre la salud.(24)

En las exposiciones resumidas que figuran a continuación, se hace referencia a las concentraciones que probablemente provoquen quejas de los consumidores.

No se proporcionan cifras exactas, ya que los problemas pueden surgir a niveles más bajos o mucho más altos según las condiciones individuales y locales. (24)

9. Impurezas bacteriológicas

Las impurezas bacteriológicas presentes en el agua son microorganismos Coliformes, estreptococos fecales, ferrobacterias, sulfobacterias, algas, bacterias productoras de limo y virus. (14)

Muchos de estos microorganismos forman costras en tuberías o se forman a menudo desprendiéndose en grandes masas bloqueando el flujo en válvulas, tuberías, bombas, etc. (14)

Las tolerancias para estos parámetros dependen del tipo de aplicación que se le va a dar al agua. (14)

Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre. Su presencia en el agua indica contaminación fecal. (14)

Muchas bacterias elaboran materiales gomosos o mucilaginosos, ya como estructuras capsulares o como excreciones extracelulares. (14)

Las ferrobacterias son uno de los microorganismos del agua más molestos. Transforman los compuestos solubles de hierro en insolubles. El depósito y acumulación de estos materiales en los sistemas de tuberías acaba por obstruir el paso del agua. Estas además de producir limo, colorean el agua y la hacen fétida y de sabor desagradable. (14)

Las sulfobacterias pueden producir y tolerar fuerte acidez, cuando el agua se expone a la luz, se desarrollan algas que según algunos microbiólogos equivalen a la maleza de un jardín, las hay en todos los ambientes acuáticos y entre sus características indeseables está producir turbiedad, coloración, olor y sabor al agua. Casi siempre tapan filtros. (14)

10. Aspectos microbiológicos

a) Agentes principales

i. infecciones transmitidas por el agua - Las enfermedades infecciosas se transmiten principalmente a través de las excretas de seres humanos y animales, en particular de las heces. Si hay casos activos o portadores en la comunidad, la contaminación fecal de las fuentes de agua hará que los organismos causantes estén presentes en ésta. El uso de esa agua para beber o preparar alimentos, el contacto con ella durante el baño o el lavado de ropa e incluso la inhalación de vapor de agua o aerosoles pueden producir la infección.(27)

ii. Infecciones muy prioritarias transmitidas por vía oral - Los patógenos humanos que pueden transmitirse por vía oral a través del agua que se debe se enumeran en el cuadro. En el que se resumen también su importancia para la salud y sus principales propiedades. Los que representan un riesgo grave de enfermedad siempre que se encuentran en el agua de bebida son *Salmonella* spp. , *Shigella* spp., *Escherichia coli* patógeno, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni* y *Campilobacter coli*, Los virus mencionados en el cuadro 1 y los parásitos *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., *Entamoeba histolytica* y *Dracunculus medinensis*. La mayor parte de estos patógenos existen en todo el mundo. No obstante, los brotes de cólera y la dracunculosis causada por *D. Medinensis* son regionales.

La eliminación de todos estos agentes del agua destinada a la bebida tiene gran prioridad. La erradicación de *D. Medinensis* es una meta explícita de la Asamblea Mundial de la salud (resolución WHA44.5 de la Asamblea Mundial de la salud, 1991).(27)

iii. Agentes - Hay otros agentes patógenos a los que se les concede una prioridad moderada o que figuran en él, ya sea porque su patogenicidad es baja y sólo provocan enfermedades oportunistas en sujetos de inmunidad reducida o deteriorada o porque, aunque pueden causar enfermedades graves, la vía de infección primaria es el contacto o la inhalación, más que la ingestión.

Los patógenos oportunistas están presentes naturalmente en el medio ambiente y no están catalogados como agentes patógenos en sentido propio, aunque pueden causar enfermedades a las personas cuyos mecanismos de defensa locales o generales son deficientes, por ejemplo a los ancianos o los muy jóvenes, a quienes han sufrido quemaduras o heridas extensas, a los enfermos sometidos a un tratamiento inmunosupresor o a los que padecen en síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). Si el agua que estas personas utilizan para bebida o el baño contiene un gran número de estos organismos, puede producirles diversas infecciones cutáneas y de las membranas mucosas del ojo, el oído, la nariz y la garganta? Ejemplos de estos agentes son *Pseudomonas aeruginosa* y especies de *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Aeromonas*, así como ciertas micobacterias “ de desarrollo lento “. (27)

Algunas enfermedades graves que pueden contraerse de resultas de la inhalación de agua en la que se han multiplicado los organismos causantes debido a las altas temperaturas y a la presencia de nutrientes son la enfermedad del legionario (*Legionella* spp.) y las causadas por las amebas *Naegleria fowleri* (meningoencefalitis amebiana primaria) y *Acanthamoeba* spp. (Meningitis amebiana, infecciones pulmonares).

La esquistosomiasis (*bilharziasis*) es una importante enfermedad parasitaria no existe en las regiones tropicales y subtropicales y se difunde principalmente por contacto con el agua durante el baño o el lavado de ropa. En su fase larvaria (cercaria) el parásito, liberado por caracoles acuáticos infectados, penetra en el organismo a través de la piel. Si es fácil obtener agua pura para beber, ésta se podrá usar también para lavar, reduciendo así la necesidad de recurrir a aguas superficiales contaminadas. (27)

Es concebible que el agua de bebida no inocua, contaminada por tierra o heces, sea portadora de otras infecciones parasitarias, como la balantidiasis (*Balantidium coli*), y de ciertas infecciones por helmintos especies de (*Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascaris*, *trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma*, *Strongyloides* y *Taenia solium*). No obstante, en la mayor parte de estos casos, en el modo de transmisión habitual es la ingestión de huevos en

alimentos o tierra contaminados por heces (en el caso de *taenia solium*, la ingestión de la fase larvaria de cisticerco en la carne cruda de cerdo), más que la ingestión de agua contaminada.(27)

iv. Toxinas procedentes de Cianobacteria - En los lagos y depósitos utilizados para el abastecimiento de agua de bebida se desarrollan formaciones de Cynobacteria (habitualmente denominadas verdiazules). Que pueden producir tres tipos de toxinas, según la especie: hepatoxinas, producidas por especies de *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena* y *Ondularia*, cuyo ejemplo típico es la microquistina LR: R, que produce la muerte por choque circulatorio y hemorragia hepática masiva en las 24 horas siguientes a su ingestión; neurotoxinas, producidas por especies de *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Cylindrosppermum* y *Aphanizomenon*; lipopolisacáridos(27)

Ha habido cierto número de informes no confirmados sobre los efectos negativos para la salud de la ingestión con el agua de toxinas procedentes de algas, y en particular un estudio epidemiológico de lesiones hepáticas leves y reversibles observadas en pacientes de un hospital que consumían agua procedente de un depósito en el que existían grandes formaciones tóxicas de *Microcystis aeruginosa*. Al parecer, sólo el carbón activado y la ozonación eliminaban o reducían la toxicidad; no obstante, el conocimiento de esta cuestión se ve dificultado por la falta de métodos analíticos adecuados. Los datos disponibles son insuficientes para recomendar guías, pero se pone de relieve la necesidad de proteger las aguas superficiales embalsadas de vertimientos de efluentes ricos en elementos nutritivos.(27)

Organismos de efectos molesto existen diversos organismos carentes de importancia para la salud pública pero de efectos indeseables porque enturbian el agua, modificar su sabor o su olor o aparecen en ella bajo la forma de vida animal visible. Además de resultar molesto desde el punto de vista estético, estos organismos indican que el tratamiento del agua y el mantenimiento y la reparación del sistema son deficientes, se proporcionan algunos ejemplos:

- el florecimiento estacional cianobacteria y otras algas en las aguas de depósitos y ríos, que dificultan la coagulación y la filtración y colorea y enturbia el agua filtrada.
- en las aguas que contienen sales de hierro y manganeso, la oxidación por bacterias que atacan el hierro y producen en las paredes de las cisternas, las tuberías y los canales depósitos de óxido, que son arrastrados por el agua. (27)
- La corrosión microbiana de las tuberías de hierro y acero por bacterias que atacan el hierro y el azufre; la producción de sustancias de sabor y olor desagradables, con un umbral bajo, por ejemplo, de geosmina y 2-metilisoborneol, actinomicetales y cianobacteria; la colonización de materiales inapropiados utilizados en tuberías y accesorios no metálicos y en juntas y revestimientos por microorganismos capaces de utilizar los compuestos orgánicos lixiviados; la proliferación en los sistemas de distribución, favorecida por la presencia en el agua de carbono orgánico biodegradables y asimilables, liberado con frecuencia por los desinfectantes oxidativas (cloro, ozono); entre los microbios que proliferan puedan encontrarse especies de *Aeromonas*, que pueden producir falsas reacciones positivas en las pruebas de los coliformes; la infestación de las tuberías maestras por animales que se alimentan de los microbios que proliferan en el agua o los lodos, por ejemplo crustáceos (*Gammarus pulex*, *Crangonyx Pseudogracilis*, *Cyclops* spp. Y *Chydorus sphaericus*) *Asellus aquaticus*, caracoles, mejillones (*Dreissena polymorpha*), briosos (*plumatella*), vermes Nais, nematodos y larvas de quironómidos (*Chironomus* spp.) y mosquitos *Culex* spp.); cuando hace calor, los filtros de arena lentos pueden descargar larvas de quironómidos en el agua filtrada. El único riesgo para la salud positivamente identificado que crea la presencia de vida animal en el agua potable en la fase intermedia del gusano Guinea, *Dracunculus medinensis*, parásito de la pulga de agua, *Cyclops*. (27). La persistencia en el agua cuando abandonan el organismo de huésped, los agentes patógenos y los parásitos van perdiendo progresivamente viabilidad y su infecciosidad. Esa pérdida es, en general, exponencial y, transcurrido un cierto periodo, el patógeno dejará de ser detectable. Los patógenos con una baja

persistencia deben hallar rápidamente un nuevo huésped, y es más probable que se difundan por el contacto de persona a persona o debido a una insatisfactoria higiene personal o de los alimentos que a través del agua de bebida. Como, por lo general, la contaminación fecal se dispersa rápidamente en las aguas superficiales, los patógenos y parásitos más comunes transmitidos por el agua son los que poseen una alta infecciosidad o una gran resistencia fuera del organismo. Las características de persistencia en el agua y resistencia a la cloración.(27). En la persistencia influyen varios factores, sobre todo la temperatura. Su aumento suele acelerar el proceso, en el que pueden intervenir también los efectos letales de las radiaciones ultravioletas solares que actúan cerca de la superficie. Los virus y los parásitos en fase inactiva (quistes, ooquistes, huevos) no pueden multiplicarse en el agua. En cambio, cantidades relativamente altas de carbono orgánico biodegradable, junto con elevadas temperaturas y bajas concentraciones residuales de cloro, pueden permitir que se desarrollen durante el proceso de distribución *Legionella*, *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* y los patógenos oportunistas *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas*, al igual que organismos de efectos solamente molestos (27). Los estudios epidemiológicos y los historiales de casos de que se dispone han confirmado la transmisión por el agua de los patógenos. Parte de la demostración del carácter patogénico implica la reproducción de la enfermedad en huéspedes adecuados. Los estudios de infectividad proporcionan información de carácter relativo, pero es dudoso que la dosis infecciosas obtenidas sean aplicables a las infecciones naturales. Por ejemplo, numerosas epidemias de fiebre tifoidea sólo pueden explicarse suponiendo que las dosis infecciosas era muy baja. La inmunidad individual puede ser muy variable, ya se deba al contacto con un patógeno o a la influencia de factores como la edad, el sexo, el estado de salud y las condiciones de vida. Los patógenos estarán probablemente muy dispersos y diluidos en el agua de bebida, y grandes cantidades de personas se verán expuestas a números relativamente reducidos. Por ello, es probable que las dosis infecciosas mínimas y las tasas de ataque sean inferiores a las halladas en los estudios experimentales. Si los alimentos están contaminados por el agua

donde existen patógenos que continúan multiplicándose o si una persona vulnerable resulta infectada por el agua, infectando posteriormente a otras por contacto personal, es posible que no sospeche el papel inicial representado por el agua. Por ello, en la lucha contra la enfermedad en una comunidad, hay una estrecha relación entre la mejora del abastecimiento del agua, el saneamiento y la higiene.(24)

Dada la naturaleza multifactorial de la infección y la inmunidad, los datos experimentales obtenidos en los estudios de la infectividad y epidemiológicos no pueden utilizarse para predecir con precisión las dosis infecciosas o los efectos del tratamiento del agua en la reducción de las tasas de ataque de dosis muy bajas de virus y de Giardia.(24)

Los agentes patógenos tienen varias propiedades que los distinguen de los contaminantes químicos:

- Los patógenos son discretos y no están disueltos en el agua.
- Los patógenos se presentan a menudo en racimos o adheridos a sólidos en suspensión, por lo que la concentración media en el agua no permite predecir la probabilidad de la absorción de una dosis infecciosa.
- La probabilidad de que el ataque de un patógeno tenga éxito, produciendo una infección, depende de la invasividad y la virulencia del patógeno, así como de la inmunidad del individuo.(24)
- Si la infección triunfa, los patógenos se multiplican en el huésped. Algunas bacterias patógenas también son capaces de proliferar en alimentos o bebidas, lo cual perpetúa o incluso aumenta las posibilidades de infección.
- Contrariamente a lo que ocurre en el caso de numerosos agentes químicos, la respuesta a una dosis de patógenos no es acumulativa.(24)

Debido a estas propiedades, en el caso de los patógenos no hay un límite inferior tolerable, por lo que el agua destinada al consumo, la preparación de alimentos y bebidas o a la higiene personal no debe contener ningún agente patógeno para los seres humanos, Esto se puede conseguir seleccionando fuentes de agua de gran calidad no contaminadas, tratando y desinfectando eficazmente el agua contaminada con heces de seres humanos o animales y velando por que no haya contaminación durante la distribución al usuario. Esa política crea múltiples barreras a la transmisión de la infección.(24)

Aunque numerosos patógenos pueden detectarse mediante métodos adecuados, es más fácil practicar pruebas para determinar la presencia de bacterias que son indicadores específicos de la existencia de contaminación fecal o de la eficacia del tratamiento y la desinfección. De ello se deduce que el agua destinada al consumo humano no debe contener ninguna de esas bacterias. En la gran mayoría de los casos, la ausencia de bacterias indicadoras representa un gran factor de seguridad porque éstas son muy abundantes en las aguas contaminadas; ello se ha visto confirmado a lo largo de muchos años de experiencia.(24)

b) Indicadores microbianos de la calidad del agua

La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores de contaminación fecal sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad del agua desde el punto de vista de la higiene. Para que los resultados obtenidos tengan sentido, las bacterias indicadoras han de responder a determinados criterios. Deben estar universalmente presentes en gran número en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente, deben ser fáciles de detectar por métodos sencillos y no deben desarrollarse en el agua en condiciones naturales. Además, es indispensable que su persistencia en el agua y el grado en que se eliminan durante el tratamiento de ésta sean similares a los de los patógenos. A continuación se describen brevemente los principales organismos indicadores de contaminación fecal: *Escherichia coli*, las bacterias termorresistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales y las esporas de clostridia reductores del sulfito. (27)

Aunque no existe ningún organismo que se ajuste a todos los criterios del indicador fecal ideal que se han descrito, *E. Coli* responde a muchos de ellos, como también, en menor grado, las bacterias coliformes termorresistentes. Los estreptococos fecales también cumplen algunos de los criterios, aunque no en la misma medida que *E. Coli*, por lo que puede utilizarse como indicadores suplementarios de la contaminación fecal o de la eficacia del tratamiento en determinadas circunstancias. Cuando los recursos de que se dispone para el examen microbiológico son limitados se recomienda la elección de *E. Coli* como primer indicador. Como es sabido que los enterovirus y las fases inactivas de *Gyptosporidium*, *Giardia*, las amebas y otros parásitos son más resistentes a la desinfección que *E.coli* y los estreptococos fecales, la ausencia de estos últimos no indicará necesariamente que el agua está libre de los primeros. Las esporas de *clostridia* del sulfito pueden utilizarse como parámetro adicional a este respecto.(27)

i. Escherichia coli y las bacterias coliformes - *Escherichia coli* pertenece a la familia de las enterobacteriáceas y se caracteriza por poseer las enzimas B-galactosidasa y B-glucuronidasa. Se desarrolla a 44-45 °C en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas y produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 °C pero no a 44-45 °C y algunas no liberan gas. *E.coli* no produce oxidasa ni hidroliza la urea. Su identificación completa es demasiado complicada para utilizarla en forma sistemática, por lo que se ha elaborado pruebas que permiten indentificarlo rápidamente con un alto grado de certidumbre. Algunos de esos métodos se han normalizado a nivel internacional y nacional y se acepta su utilización sistemática mientras que otros aún se encuentran en fase de desarrollo o evaluación.(11)

E. coli abunda en las heces de origen humano y animal, alcanzando en las heces recientes concentraciones de 10^9 por gramo. Se halla en las aguas residuales, los efluentes tratados y todas las aguas y suelos naturales que han sufrido una contaminación fecal reciente, ya sea procedente de seres humanos, de operaciones

agrícolas o de animales y pájaros salvajes. Recientemente se ha sugerido que *E. Coli* puede existir e incluso proliferar en aguas tropicales que no han sido objeto de contaminación fecal de origen humano. No obstante, incluso en las regiones más remotas, no cabe excluir la contaminación fecal por animales salvajes, en particular por pájaros. Como los animales pueden transmitir agentes patógenos que son infecciosos para los seres humanos, jamás ha de hacerse caso omiso de la presencia de *E. Coli* o de bacterias coliformes termorresistentes, ya que siempre existe la posibilidad de que el agua haya sido contaminada por materias fecales y el tratamiento haya resultado ineficaz.(11)

Bacterias coliformes termorresistentes, estas bacterias, se definen como el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C; comprenden el género *Escherichia* y, en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Las coliformes termorresistentes distintas de *E. Coli* pueden proceder también de aguas orgánicamente enriquecidas, por ejemplo de efluentes industriales, o de materias vegetales y suelos en descomposición. Por ello, el término de coliformes <<fecales>> que se les aplica con frecuencia no es correcto y debería dejar de utilizarse.

Es poco probable que los organismos coliformes termorresistentes vuelvan a desarrollarse en el sistema de distribución, a menos que estén presentes nutrientes bacterianos en cantidad suficiente o que materiales inadecuados entren en contacto con el agua tratada, que la temperatura de ésta sea superior a 13 °C y que no exista en ella cloro residual en estado libre.(11)

Las concentraciones de coliformes termorresistentes están, en la mayor parte de los casos, en relación directa con las de *E. Coli*. Por ello, su utilización para evaluar la calidad del agua se considera aceptable en los exámenes sistemáticos. Al interpretar los datos, deben tenerse siempre presentes las limitaciones en lo que concierne a la especificidad. Si se obtienen recuentos elevados de coliformes termorresistentes cuando no existan riesgos sanitarios observables, se deberá comprobar específicamente la presencia de *E. Coli* mediante pruebas de conformación adicionales o métodos directos, descritos en las publicaciones

especializadas. Se aconseja a los laboratorios nacionales de consulta que, al elaborar métodos nacionales normalizados, examinen la especificidad de la prueba de los coliformes termorresistentes para *E. Coli* en las condiciones locales.(11)

Como los organismos coliformes termorresistentes se detectan con facilidad, pueden desempeñar una importante función secundaria como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales. Se pueden, pues, utilizar a fin de estimar el grado de tratamiento necesario para aguas de distinta calidad y de definir objetivos de eliminación de bacterias.(11)

Organismos coliformes, desde hace tiempo se reconoce que los organismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de la calidad del agua de bebida, debido principalmente a que su detección y recuento en el agua son fáciles. Se denominan <<organismos coliformes>> las bacterias Gram-negativas, en forma de bastoncillos, que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con propiedades de inhibición del desarrollo en un plazo de 24 a 48 horas. Son también oxidasa-negativas y no forman esporas. Por definición, las bacterias coliformes presentan actividades de la β -galactosidasa.(11)

Tradicionalmente se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. No obstante, de acuerdo con los métodos taxonómicos modernos, el grupo es heterogéneo. Comprende bacterias que fermentan la lactosa —como *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*, que pueden hallarse tanto en las heces como el medio ambiente (aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición) y también en el agua de bebida con concentraciones de nutrientes relativamente elevadas— y comprende también especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces y que pueden multiplicarse en agua potable de calidad relativamente buena, por ejemplo, *Serratia fonticola*, *Rahnella aquatilis* y *Buttiauxella agrestis*.(11)

La existencia tanto de bacteria no fecales que responden a la definición de la bacteria coliformes como de bacterias coliformes lactosa-negativas limita la utilidad de este grupo como indicador de la contaminación fecal. En las aguas tratadas no debería detectarse bacterias coliformes y, cuando las hay, se puede pensar que el

tratamiento ha sido insuficiente, que ha habido contaminación posterior o que la cantidad de nutrientes es excesiva. Por consiguiente, la prueba de los coliformes puede utilizarse como indicador de la eficacia del tratamiento y de la integridad del sistema de distribución. Aunque los organismos coliformes quizá no estén siempre en relación directa con la presencia de contaminación fecal o de patógenos en el agua de bebida, la prueba de los coliformes sigue siendo útil para vigilar la calidad microbiana del agua tratada distribuida por tuberías. Si existe alguna duda, en articular cuando se encuentren organismos coliformes que no comprendan los termorresistentes y no haya *E. Coli*, se puede intentar identificar la especie o realizar análisis para detectar la presencia de otros organismos indicadores, a fin de investigar la naturaleza de la contaminación. Se necesitarán asimismo inspecciones sanitarias.(11)

Estreptococos fecales, se entiende por <<estreptococos fecales>> aquellos estreptococos que están generalmente presente en las heces de origen humano y animal. Todos ellos poseen el antígeno del grupo D de Lancefield. Taxonómicamente, pertenecen a los géneros *Enterococcus* y *Streptococcus*. La taxonomía de los enterococos ha experimentado recientemente importantes modificaciones, y no se conoce con detalle la ecología de muchas de las nuevas especies. El género *Enterococcus* comprende ahora todos los estreptococos que comparten determinadas propiedades bioquímicas y toleran bien las condiciones de desarrollo desfavorables. Incluye las especies. *E. Avium*, *E. Casseliflavus*, *E. cecorum*, *E. durans*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinarum*, *E. hirae*, *E. malodoratus*, *E. mundtii* y *E. Solitarius*, que son, en su mayor parte, de origen fecal y, en muchas circunstancias prácticas, pueden considerarse generalmente indicadores específicos de la contaminación fecal de origen humano. No obstante, también pueden aislarse en las heces de animales y algunas especies y subespecies, como *E. Casseliflavus*, *E. Faecalis* var. *Liquefaciens*, *E. Malodoratus* y *E. Solitarius*, se encuentran principalmente en las materias vegetales.(27)

En el género *Streptococcus*, sólo *S. Bovis* y *S. Equinus* poseen el antígeno del grupo D y se consideran estreptococos fecales. Proceden principalmente de las heces de origen animal. Los estreptococos fecales rara vez se multiplican en agua contaminada y son más persistentes que *E. Coli* y las bacterias coliformes. Por lo tanto, en los exámenes de la calidad del agua, sirven sobre todo como indicadores suplementarios de la eficacia del tratamiento. Además, los estreptococos son muy resistentes al secado y pueden ser útiles para realizar controles sistemáticos después de la colocación de nuevas tuberías maestras o la reparación de los sistemas de distribución, así como para detectar la contaminación de aguas subterráneas o superficiales por escorrentía superficial.(27)

Clostridia reductores del sulfito son organismos anaeróbicos, que forman esporas, de los que el más característico, *Clostridium perfringens* (*C. Welchii*), está normalmente presente en las heces, aunque en número mucho más reducido que *E. Coli*. No obstante, su origen no es exclusivamente fecal, ya que pueden proceder de otras fuentes ambientales. Las esporas sobreviven en el agua mucho más tiempo que los organismos del grupo coliforme y resisten a la desinfección. Por ello, su presencia en aguas desinfectadas puede indicar que el tratamiento ha sido deficiente y que quizá hayan sobrevivido también agentes patógenos resistentes. En particular, la presencia de *C. Perfringens* en agua filtrada es signo de que ha habido fallos en el proceso de filtración. Debido a la longevidad, estos organismos son útiles sobre todo como indicadores de la contaminación intermitente o distante. Poseen pues una utilidad especial pero no se recomienda su uso para la vigilancia sistemática de los sistemas de distribución. Como tienden a sobrevivir y a acumulación, pueden detectarse mucho después de que se haya producido la contaminación y muy lejos de ésta, con lo que dan lugar a falsas alarmas.(27)

Colifagos y otros posibles indicadores, se ha propuesto que los bacteriófagos se utilicen como indicadores debido a que se asemejan a los enterovirus humanos y son fáciles de detectar en el agua. Se han estudiado extensamente dos grupos: los colifagos somáticos, que infectan las cepas huéspedes de *E. Coli* a través de los

receptores de las paredes celulares; y los bacteriófagos del ARN F-específicos, que infectan a las cepas de *E. Coli* y otras bacterias afines a través de los *pili* F o sexuales. Estos organismos no abundan en las heces recientes de origen humano o animal pero sí en las aguas residuales. Son importantes como indicadores bacterianos, como indicadores suplementarios de la eficacia del tratamiento o de la protección de las aguas subterráneas. (27)

El *Bifidobacterium* y el grupo *Bacteroides fragilis* son muy numerosos en las heces pero no se han considerado indicadores adecuados de la contaminación fecal porque tienden a desaparecer con mayor rapidez que las bacterias coliformes en el agua y porque los métodos de examen no son muy fiables y no se han normalizado.(27)

ii. Métodos de detección - El examen microbiológico proporciona la indicación más sensible, aunque no la más rápida, de la contaminación del abastecimiento de agua de bebida. No obstante, contrariamente al análisis químico o físico, consiste en la búsqueda de números muy reducidos de organismos viables y no de una entidad química o una propiedad física determinada. Dado que tanto el medio de desarrollo y las condiciones de incubación como la naturaleza y la antigüedad de la muestra de agua pueden influir en las especies que se aíslan y en el recuento, la precisión de los exámenes microbiológicos es variable. Esto significa que, si se desea aplicar en los distintos laboratorios y a nivel internacional criterios uniformes para la calidad microbiológica del agua, tiene gran importancia la normalización de los métodos y los procedimientos de laboratorio. Los métodos normalizados internacionales deben evaluarse en las condiciones locales antes de aplicarlos en los programas nacionales de vigilancia. Existen métodos normalizados reconocidos, como los de la Organización Internacional de Normalización (ISO) (cuadro 1), los de la American Public Health Association (APHA) y los del Department of Health and Social Security del Reino Unido, que conviene utilizar en los exámenes sistemáticos.(27)

Sea cual fuere el método que se elija para la detección de *E. Coli* y el grupo de los coliformes, se debe usar alguna de manera de <<resucitar>> o recobrar las cepas

- dañadas por el medio ambiente o los desinfectantes, por ejemplo mediante incubación previa durante un período breve a una temperatura más baja.(27)

Cuadro 1. Normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) para la detección y el recuento en el agua de bacterias indicadoras fecales

N° de norma De la ISO	Título (calidad del agua)
6461-1:1986	Detección y recuento de esporas de organismos anaeróbicos reductores del sulfito (clostridia) – Parte 1: método de enriquecimiento en un medio líquido
6461-2:1986	Detección y recuento de esporas de organismos anaeróbicos reductores del sulfito (clostridia) – Parte 2: método de la membrana filtrante
7704:1985	Evaluación de los filtros de membrana utilizados para los análisis microbiológicos
7899-1:1984	Detección y recuento de estreptococos fecales –Parte 1: método de enriquecimiento en un medio líquido
7899-2:1984	Detección y recuento de estreptococos fecales -Parte 1: método de la membrana filtrante
9308-1:1990	Detección y recuento de organismos coliformes, organismos coliformes termorresistentes y presuntos <i>Escherichia coli</i> -Parte 1: método de la membrana filtrante
9308-2:1990	Detección y recuento de organismo coliformes, organismos coliformes termorresistentes y presuntos <i>Escherichia coli</i> –Parte 2: método de los Tubos múltiples (número más probable).

Fuente: OMS, Guías para la calidad del agua potable. 1995

iii. Recomendaciones - Para el abastecimiento de agua potable inocua, o bien se utilizan aguas subterráneas protegidas de gran calidad, o se seleccionan y se llevan a cabo adecuadamente una serie de operaciones de tratamiento que reducen los agentes patógenos y demás contaminantes a niveles insignificantes, no perjudiciales para la salud. Los sistemas de tratamiento deben crear barreras múltiples a la

transmisión de la infección. Los procesos previos a la desinfección final han de producir agua de gran calidad microbiológica, a fin de que esa desinfección final sea tan sólo una última salvaguardia. Además, la desinfección es más eficaz cuando el agua ya ha sido tratada para eliminar la turbiedad y cuando se han hecho desaparecer, en la medida de lo posible, las sustancias que exigen una actividad desinfectante o que pueden proteger a los patógenos contra la desinfección.(31)

La búsqueda de indicadores microbianos de la contaminación fecal responde a criterios de prudencia; en otros términos, si se demuestra la presencia de indicadores fecales, se debe suponer que también pueden encontrarse agentes patógenos. Por esta razón, en el agua tratada que llega al consumidor nunca debe haber bacterias indicadoras fecales y, si éstas se detectan, se deben tomar disposiciones inmediatas para descubrir la causa y adoptar medidas correctivas.(31)

De las bacterias indicadoras fecales fáciles de detectar, la más específica y la que más abundan en las heces es *Escherichia coli*, por lo tanto, se recomienda como primer indicador en el caso del agua de bebida. Otra posibilidad es utilizar la prueba de los coliformes termorresistentes. También se recomienda que éstos se usen como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento para eliminar los patógenos entéricos y las bacterias fecales y en la evaluación de la calidad de las fuentes de agua a fin de determinar la intensidad del tratamiento. No debe haber bacterias coliformes en el agua tratada, y su detección indica que el tratamiento ha sido insuficiente, que ha habido contaminación posterior o que el agua contiene un número excesivo de nutrientes.(31)

c) Selección de los procesos de tratamiento

La selección de los procesos de tratamiento para atender las exigencias de carácter microbiológico y químico sólo puede efectuarse después de un estudio cuidadoso y detallado de la fuente y la cuenca hidrográfica, que incluya la evaluación de las

fuentes probables de contaminación. Para facilitar la selección se pueden hacer amplios estudios bacteriológicos, en distintas estaciones y condiciones climáticas. Después de la puesta en marcha de la planta de tratamiento, la realización sistemática de exámenes bacteriológicos de la fuente permitirá determinar tendencias de la calidad a largo plazo e indicará el momento en que será necesario revisar el tipo de tratamiento.(13)

Objetivos del tratamiento es el concepto de las barreras múltiples aplicado en el tratamiento del agua requiere que la eliminación de patógenos, contaminantes y compuestos biodegradables sea lo más completa posible antes de la desinfección final. En el cuadro 2 proporciona un ejemplo de objetivos para los procesos típicos de tratamiento del agua en zonas urbanas, sobre la base de las cargas de turbiedad y de bacterias coliformes termorresistentes y de la eliminación de las mismas. En las operaciones normales se pueden alcanzar y sobrepasar sin problema estos niveles de resultados. Ha de ponerse de relieve que la sucesión de los procesos que figura en el cuadro 2 es solo un ejemplo, entre las numerosas combinaciones posibles que se utilizan en la práctica normal.(27)

Cuadro 2. Ejemplo que ilustra el nivel de resultados que puede alcanzar la eliminación de la turbiedad y las bacterias coliformes termorresistentes en el tratamiento tradicional del agua en las zonas urbanas

Fase y procesos	Turbiedad			Bacterias coliformes Termorresistentes		
	Eliminación ^a (%)	Carga media (UNT) ^b	Carga máxima (UNT) ^b	Eliminación ^a (%)	Carga media (por 100 ml)	Carga máxima (por 100ml)
Microtamizado	NA ^c	NA	NA	NA	NA	NA
Tratamiento previo ^d	NA	NA	NA	>99.9	1000	10 000
Coagulación/ Sedimentación ^e	90	50	300	NA	NA	NA
Filtración rápida ^e	>80	5	30	80	1	10
Cloración final	NA	1	5	>99.9	<1	2
Distribución	NA	<1	<5	NA	<1	<1

Fuente: OMS, Guías para la calidad del agua potable, 1995

- Resultados que han de obtenerse
- UNT: Unidades nefelométricas de turbiedad.
- NA, no aplicable. Proceso no destinado a eliminar la turbiedad o las bacterias. El microtamizado elimina las microalgas y el zooplancton.
- Los tratamientos previos que pueden reducir significativamente el número de bacterias coliformes termorresistentes son el almacenamiento en depósitos durante 3 ó 4 semanas y la desinfección previa.
- Conjuntamente, se puede esperar que la coagulación, la sedimentación y la filtración rápida eliminen el 99.9% de las bacterias coliformes termorresistentes.

El concepto de barrera múltiples también puede aplicarse al tratamiento del agua en las zonas rurales y las regiones distantes. En el cuadro 3 se proporciona un ejemplo de objetivos de tratamiento en ese tipo de plantas. (27)

i. Valores guía - Es de la mayor importancia que se comprendan bien las razones de la adopción de los valores guía que se indican a continuación para el agua potable y que esos valores sólo se utilicen junto con la información incluida más adelante. (27)

Cuadro 3. Ejemplo de objetivos de eliminación de la turbiedad y las bacterias coliformes termorresistentes en el tratamiento del agua en pequeña escala

Fase y procesos	Turbiedad		Bacterias coliformes Termorresistentes			
	Eliminación ^a (%)	Carga media (UNT) ^c	Carga máxima (UNT) ^b	Eliminación ^a (%)	Carga media (por 100 ml)	Carga máxima (por 100ml)
Tamizado		NA ^c	NA	NA	NA	NA
NA						
Sedimentación	50	60	600	50	1000	10 000
Simple						
Prefiltros de grava (3 fases)	80	30	300	90	500	5000
Filtro de Arena lento	>90	6	60	95	50	500
Desinfección	NA	<1	<5	>99.9	<3	25
Agua distribuidora	NA	<1	<5	NA	<1	<1

Fuente: OMS, Guías para la calidad del agua potable, 1995

- a. Resultados que han de obtenerse.
- b. UNT, unidades nefelométricas de turbiedad
- c. NA, no aplicable. Proceso no destinado a eliminar la turbiedad a las bacterias.

d) Calidad bacteriológica

El agua destinada a la bebida y a usos domésticos no debe transmitir patógenos. Como el indicador bacteriano más numeroso y específico de la contaminación fecal, tanto de origen humano como animal, es *E. Coli*, en las muestras de 100 ml de cualquier agua de bebida no se debe detectar esa bacteria ni organismos coliformes termorresistentes.(31)

Este criterio se puede cumplir fácilmente mediante el tratamiento del agua. En casi todas las epidemias de enfermedades transmitidas por el agua, se ha demostrado que la calidad bacteriológica de ésta era insatisfactoria y que había fracasado la desinfección final. Durante la distribución, la calidad bacteriológica del agua puede deteriorarse. En el agua insuficientemente tratada o en la contaminada después de salir de la planta de tratamiento pueden aparecer bacterias distintas de *E.coli*, que se hayan desarrollado en los sedimentos o en materiales inapropiados que estén en

contacto con el agua (arandelas, obturaciones, lubricantes, plásticos y plastificantes, por ejemplo). Las bacterias pueden llegar también de la tierra o el agua natural a través de válvulas y casquillos con fugas, tuberías maestras reparadas o el sifonaje de retorno. Este tipo de contaminación será más probable cuando el agua no haya sido tratada o desinfectada o cuando no queden en ella residuos del desinfectante o sólo en cantidad limitada. Se podrá admitir la aparición ocasional de organismos coliformes en un máximo del 5% de las muestras tomadas en el sistema de distribución a lo largo de un periodo de 12 meses, siempre que no esté presente *E. Coli*. Ha de ponerse de relieve que toda aparición regular de organismos coliformes será motivo de inquietud y deberá ser investigada.(31)

e) Calidad virológica

El agua de bebida debe estar esencialmente libre de enterovirus humanos a fin de asegurar que el riesgo de transmisión de infecciones víricas sea insignificante. Todo abastecimiento de agua objeto de contaminación fecal representa un riesgo de virosis para los consumidores. A fin de reducir al mínimo ese riesgo, pueden utilizarse dos métodos: suministrar agua potable procedente de una fuente de la que se haya comprobado que está libre de contaminación fecal o tratar adecuadamente el agua contaminada para reducir los enterovirus a un nivel insignificante.(31)

Los estudios virológicos han demostrado que el tratamiento permite reducir considerablemente el nivel de virus pero no eliminarlos por completo en grandes volúmenes de agua. Los análisis virológicos, epidemiológicos y de riesgos están proporcionando información importante, aunque aún insuficiente, para la determinación de criterios virológicos cuantitativos y directos. Es posible recomendar criterios de ese tipo que puedan aplicarse sistemáticamente debido al costo, la complejidad y la gran duración de los análisis virológicos que, además, no permiten detectar la presencia de los virus más importantes.(27)

Los criterios guía que figuran en el cuadro 4 se basan en el contenido viral probable de las fuentes de agua y el grado de tratamiento necesario para que el riesgo de

presencia de virus sea insignificante, incluso en volúmenes muy grandes de agua de bebida.

Se puede dar por sentado que las aguas subterráneas están libres de virus cuando se obtienen de una fuente protegida, de la que se sabe que no recibe contaminación fecal de su zona de influencia, los pozos, las bombas o el sistema de suministro. Sin embargo, cuando se distribuye esa agua, conviene desinfectarla u mantener una concentración residual de desinfectante en el sistema de distribución, a fin de evitar la contaminación.

El agua debe responder a criterios guía relativos a la turbiedad y el pH (véase en el cuadro 5), la calidad bacteriológica, y la calidad parasitológica.(27)

f) Calidad parasitológica

No es posible establecer valores guía para los protozoarios y helmintos patógenos ni para los organismos patógenos que viven en estado libre; sólo se puede decir que no deben estar presentes en el agua de bebida porque uno solo o un número muy reducido de ellos basta para producir infección en los seres humanos. Los métodos de análisis para detectar la presencia de protozoarios patógenos son costosos y consumen mucho tiempo, por lo que no puede recomendarse su utilidad sistemática. Se están normalizando métodos para concentrar la fases de transmisión de *Giardia* y *Cryptosporidium* procedentes de grandes volúmenes de agua. Cuando se dispone de medios para estudiar la incidencia de estos parásitos en las aguas superficiales, esos métodos pueden utilizarse para medir la eficacia con que el tratamiento los elimina y la frecuencia con que los vectores animales de la cuenca hidrográfica son portadores de ellos, comprendiendo así mejor sus relaciones epidemiológicas y zoonóticas. La mejor manera de controlar la presencia de parásitos patógenos y otros invertebrados en las tuberías maestras es asegurar el adecuado funcionamiento y vigilancia de los procesos de tratamiento y las prácticas de distribución. En particular, salvo en casos extraordinarios bacteriológicos y la aplicación de tratamientos para la reducción de los virus (véase el cuadro 4) han de reducir a un nivel insignificante el riesgo de transmisión de enfermedades parasitarias por el agua. (27)

Cuadro 4. Tratamiento recomendados para distintas fuentes a fin de obtener agua con un riesgo insignificante de presencia de virus^a

Tipos de fuente	recomendado Tratamiento
Aguas subterráneas	
Pozos profundos protegidos; esencialmente libres de contaminación fecal	Desinfección ^b
Pozos superficiales no protegidos; contaminación fecal	Filtración y desinfección
Aguas superficiales	
Aguas embalsadas protegidas en tierras altas; esencialmente libres de contaminación fecal	Desinfección
Aguas embalsadas o río en tierras altas no protegidos; contaminación fecal	Filtración y desinfección
Ríos no protegidos en tierras bajas; contaminación fecal	Desinfección previa o almacenamiento, filtración, desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida; contaminación fecal considerable	Desinfección previa o lmacenamiento, filtración, tratamiento suplementario y desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida; contaminación fecal manifiesta	No se recomienda su utilización para el abastecimiento de agua potable

Fuente: OMS, Guías Para la Calidad del Agua Potable, 1995

- a. Para todas las fuentes, antes de la desinfección final no se debe superar una mediana de turbiedad de 1 unidad nefelométrica (UNT) ni 5 UNT en muestras aisladas.
La desinfección final debe producir una concentración residual de cloro en estado libre de >0.5 Mg/litro tras 30 minutos por lo menos de contacto con el agua a un pH <8.0 o debe ser un proceso de desinfección equivalente en cuanto al grado de inactivación de los enterovirus (>99.99%).(27, 31)
La filtración debe realizarse lentamente con arena o rápidamente (con arena, un medio doble o un medio mixto) y debe ir precedida por suficiente coagulación-floculación (con sedimentación o flotación). Puede utilizarse también la filtración con tierra de diatomeas o un proceso de filtración equivalente en cuanto a la reducción de los virus. El grado de reducción de éstos debe ser >99%.
El tratamiento suplementario puede consistir en filtración lenta con arena, ozonación con adsorción por carbón granular activado o cualquier otro que permita obtener un reducción de los enteovirus >99%.(27, 31)
- b. La desinfección debe efectuarse si se ha observado la presencia de *E. Coli* o de bacterias coliformes termorresistentes.(27, 31)

g) Vigilancia

i. **Métodos y estrategias** - La vigilancia de la calidad del agua potable tiene teóricamente dos componentes:

- El control permanente y sistemático de la calidad para confirmar que el tratamiento y la distribución responden a los objetivos y reglamentaciones establecidas;
- Actividades periódicas de vigilancia microbiológica y de salud pública de todo el sistema de abastecimiento de agua, de la fuente al consumidor.(31)

El control permanente forma parte de las funciones que incumben al organismo responsable del abastecimiento de agua, y permite a la administración del sistema cerciorarse de la realización satisfactoria de los procesos de tratamiento, la calidad del agua producida y la ausencia de contaminación secundaria dentro de la red de distribución. Un órgano independiente debería verificar que el sistema de abastecimiento cumpla correctamente sus funciones. Esta función de vigilancia corresponde por lo común a las autoridades sanitarias locales, regionales y nacionales.(31)

ii.Frecuencias de muestreo - La frecuencia del muestreo vendrá determinada por los recursos disponibles. Cuanto más frecuentemente se examine el agua, más probable será que se detecte cualquier contaminación accidental. Hay dos puntos principales que deben ponerse de relieve. En primer lugar, las posibilidades de detectar una contaminación que se produce periódicamente, más que al azar, aumentan si las muestras se toman en distintos momentos del día y en distintos días de la semana. En segundo lugar, los exámenes frecuentes por métodos sencillos resultan más útiles que los menos frecuentes basados en una o varias pruebas complejas. La frecuencia de la toma de muestras de las fuentes de agua no tratada deberá ir en función de la calidad general, el tamaño y las posibilidades de contaminación de éstas, así como de la estación del año. Debería ser fijada por los organismos locales de control, y a menudo se la regula en las reglamentaciones y guías nacionales. Los resultados y la información obtenidos de las inspecciones sanitarias efectuadas en los lugares de extracción indicarán a menudo si es necesario aumentar la vigilancia.(31)

La frecuencia de la toma de muestras del agua tratada que sale de la plantas de tratamiento dependerá de la calidad de la fuente y del tipo de tratamiento. Las frecuencias mínimas son: una muestra cada dos semanas en el caso de las plantas que utilizan agua subterráneas y una muestra por semana cuando se usa una fuente de agua superficial.(31)

El muestreo debe ser más frecuente cuando se abastece a gran número de consumidores ya que, en ese caso, será mayor el número de personas expuestas. En las normas de la ISO (cuadro 5) y en los reglamentos nacionales se proporciona asesoramiento sobre el diseño de programas de muestreo y sobre la frecuencia de la toma de muestras. La frecuencia mínimas que figuran en el cuadro 7 se recomiendan para el agua del sistema de distribución.(31)

Las muestras deben tomarse aleatoriamente dentro de cada mes y de mes a mes, y deben extraerse tanto de puntos fijos, por ejemplo estaciones de bombeo y depósitos, como de lugares seleccionados al azar en todo el sistema de distribución, inclusive puntos cercanos a los extremos de éste y grifos situados en las casas y en los grandes edificios con numerosos residentes y conectados directamente con las tuberías maestras, donde existe un mayor riesgo de contaminación a través de conexiones cruzadas y del sifonaje de retorno. La frecuencia del muestreo ha de aumentarse cuando se produzcan epidemias, inundaciones u operaciones de emergencia y después de las interrupciones del abastecimiento o reparaciones. Cuando se trate de sistemas que abastezcan a pequeñas comunidades, probablemente la realización periódica de encuestas sanitarias proporcionará mayor información que la toma infrecuente de muestras.(31)

En el caso del abastecimiento no efectuado por tuberías y del agua tratada, no se pueden formular recomendaciones generales porque la calidad y las probabilidades de contaminación variarán según la estación y las condiciones locales. La frecuencia deberá ser determinada por el organismo local de vigilancia y deberá reflejar las circunstancias locales, en particular los resultados de las encuestas sanitarias.(27)

Cuadro 5. Lista de normas para la calidad del agua de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que proporcionan orientaciones sobre muestreo

Nº de norma De la ISO	Título (calidad del agua)
5667-1:1980	Muestreo- Parte 1: Orientaciones sobre el diseño de programación de muestreo
5667-2:1982	Muestreo- Parte 2: Orientaciones sobre técnicas de muestreo
5667-3:1985	Muestreo- Parte 3: Orientaciones sobre conservación y manipulación de muestras
5667-4:1987	Muestreo- Parte 4: Orientaciones sobre toma de muestras en lagos, naturales y artificiales
5667-5:1991	Muestreo- Parte 5: Orientaciones sobre toma de muestras de agua de bebida o utilizada para la preparación de alimentos y bebidas
5667-6:1990	Muestreo- Parte 6: Orientaciones sobre toma de muestras en ríos y arroyos

Fuente: OMS, Guías para la Calidad del Agua Potable, 1995

Cuadro 6. Frecuencias mínimas de la toma de muestras del agua de bebida en el sistema de distribución

Población abastecida	Nº de muestras mensuales
Menos de 5000	1 muestra
5000- 10 000	1 muestra por 5000 usuarios
Más de 100 000	1 muestra por 10 000 usuarios, más 10 muestras Adicionales

iii. Procedimientos de muestreo - Se debe velar por que las muestras sean representativas del agua que se desea examinar y por que no se produzca una contaminación accidental durante el proceso de muestreo. Por lo tanto, se ha de formar a las personas que recogen las muestras, infundiéndoles conciencia de la responsabilidad que comporta su trabajo. Las muestras deben etiquetarse, especificando claramente el lugar, la fecha, la hora, el tipo de operación y demás información pertinente, y se las debe enviar sin demora al laboratorio que ha de realizar el análisis.(27)

Si es probable que el agua que ha de examinarse contenga cloro, cloramina, dióxido de cloro u ozono, se le debe agregar una solución de tiosulfato sódico para

neutralizar cualquier residuo de desinfectante. Una concentración adecuadamente controlada de tiosulfato no tiene efectos significativos en los organismos coliformes, en particular *E. Coli*, presentes en las muestras de agua, clorada o no, durante el almacenamiento. Si el agua contiene metales pesados, sobre todo cobre, deberán agregársele agentes quelantes (por ejemplo, ácido edético (EDTA)).(27)

Cuando se toman muestras de agua desinfectada, en el momento de recogerlas deben determinarse la concentración del desinfectante residual en el punto de toma y el pH. Cuando se toman en un mismo lugar varias muestras con distintos propósitos, la destinada al examen bacteriológico debe extraerse primero para evitar el riesgo de contaminación en el punto de toma.(27)

Las muestras deben extraerse en distintos puntos del sistema de distribución a fin de examinar la situación en todas las partes de éste. Cuando las muestras proceden de arroyos, lagos o depósitos, el agua ha de extraerse debajo de la superficie y lejos de las orillas, de las paredes de los depósitos y de las zonas estancadas, cuidando de no perturbar los sedimentos. Si es posible, se desinfectarán los grifos, las aberturas de muestreo y los orificios de las bombas y se hará correr el agua para eliminar la que se encuentre en la tubería, antes de tomar la muestra. En los sistemas de tratamiento y en las tuberías maestras, se deben situar cuidadosamente las aberturas de muestreo, para asegurar que las muestras sean representativas. La tubería que conduzca al grifo deberá ser lo más corta posible.(27)

Es posible reducir al mínimo los cambios que pueden producirse en el contenido bacteriano del agua durante su almacenamiento, evitando exponer las muestras a la luz y manteniéndolas a baja temperatura, preferiblemente entre 4°C y 10°C, pero no congeladas. El examen debe comenzar lo antes posible después del muestreo y, a más tardar, en un lapso de 24 horas. Cuando sea imposible enfriar las muestras, se las deberá examinar en un plazo de 2 horas a partir de la toma. Si es posible cumplir una de estas condiciones, no se analizará la muestra. La caja que se use para el transporte debe limpiarse y desinfectarse después de cada utilización a fin de evitar que se contaminen las superficies de las botellas y las manos de las personas que recojan las muestras.(27)

iv Requisitos de los programas de vigilancia - Una parte esencial de la vigilancia es la creación de una red adecuada de reglamentación y mando. Esto significa que, al nivel más elevado, han de elaborarse normas nacionales cuyo cumplimiento debe asegurarse y han de promulgarse guías nacionales para la aplicación efectiva de las leyes y normas y, a nivel del organismo responsable del abastecimiento y organizarse actividades de instrucción y formación. Se deberá establecer una inspección reguladora, que tenga autoridad en el plano nacional, para que vele por el cumplimiento de los requisitos legales y las normas. Ese órgano deberá ser independiente del que represente los intereses de los responsables del abastecimiento.(27)

Tanto el proveedor de agua como la inspección reguladora deberá contar con laboratorios adecuadamente equipados y dotados de personal formado y calificado, con bastantes medios para mantener el nivel necesario de vigilancia regular y con suficiente capacidad para realizar exámenes suplementarios a fin de atender necesidades especiales. El personal encargado de las operaciones de abastecimiento también deberá estar debidamente formado y calificado.(27)

Desde un principio deben establecerse líneas de contaminación y mando, que todo el personal, hasta los niveles más elevados, debe conocer bien. Esto garantizará un funcionamiento cotidiano eficaz y la adopción de medidas correctivas inmediatas cuando se produzca emergencias o descubra la presencia de contaminación; los problemas bacteriológicos deben remediarse tan pronto como se descubren, lo cual quiere decir que el ingeniero y el personal encargado de las operaciones deben actuar de acuerdo con las conclusiones del microbiólogo. Líneas de comunicación que se necesitarán durante una emergencia serán complejas, puestos que tendrán que asegurar el enlace no sólo en diversos órganos públicos sino también entre distintas zonas territoriales. Deberán prepararse instrucciones apropiadas, que habrán de comprenderse en todas partes.(27, 31)

El alcance de la vigilancia, junto con ejemplos relacionados con los extremos tratados en esta sección, se ha examinado en una publicación separada de la OMS, que debe consultarse. Los informes oficiales sobre graves brotes de

enfermedades transmitidas por el agua, que por lo general revelan deficiencia en más de un aspecto, han puesto de relieve en repetidas ocasiones la importancia de la vigilancia. (27)

Al igual que el desarrollo económico y el abastecimiento público de agua, los niveles de vigilancia de la calidad del agua potable son muy distintos en los diversos países en desarrollo. La vigilancia debe aumentarse y ampliarse progresivamente, adaptando su nivel a la situación local y los recursos económicos disponibles, aplicando gradualmente el programa, consolidándolo y llevándolo hasta el nivel que se desea alcanzar. (27, 31)

11. Desinfectantes y sus productos secundarios

a) Cloro: - Los umbrales de sabor y olor del cloro en el agua destilada son de 5 y 2 mg/litro, respectivamente. La mayor parte de las personas perciben el sabor del cloro o de sus productos secundarios (por ejemplo, las cloraminas) en concentraciones inferiores a 5 mg/litro, y algunas incluso en concentraciones mucho más bajas, de hasta 0.3 mg/litro, aunque una concentración de cloro residual de 0.6 a 1.0 mg/litro comenzará, por lo general, a crear problemas de aceptación. El umbral de sabor de 5 mg/litro coincide con el valor guía basado en criterios sanitarios.(13)

b)Clorofenoles: - en general, los clorofenoles tienen umbrales organolépticos muy bajos. Los umbrales respectivos de sabor del 2-clorofenol, el 2.4-diclorofenol y el 2.4.6-triclorofenol en el agua son de 0.1, 0.3 y 2 μ g/litro, y sus umbrales de olor, de 10, 40 y 300 μ g/litro. Si el 2.4.6-triclorofenol contenido en el agua no le da sabor, es poco probable que represente un riesgo indebido para la salud.(13)

c)Oxígeno disuelto: - en el contenido de oxígeno disuelto influyen la temperatura y la composición del agua no tratada, el tratamiento y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución. El agotamiento del oxígeno disuelto puede facilitar la reducción microbiana del nitrato a nitrito y del sulfato a

sulfuro, creando problemas de olor. Puede provocar también un aumento de la concentración de hierro ferroso disuelto.(13)

12. Protección y mejoramiento de la calidad del agua

El respecto de las normas para la calidad del agua potable basadas en estas guías debería garantizar la inocuidad del abastecimiento. No obstante, ha de reconocerse que la vigilancia es indispensable para asegurar el cumplimiento permanente de aquellas y que hay muchas circunstancias -algunas de las cuales pueden surgir con gran rapidez- que crean condiciones potencialmente peligrosas.(11)

Muchos posibles problemas pueden evitarse salvaguardando la integridad de la fuente de agua no tratada y de su cuenca hidrográfica y mediante el adecuado mantenimiento e inspección de la planta de tratamiento y el sistema de distribución, la formación de los administradores y el personal, y la educación de los consumidores. No obstante, aunque es imprescindible que los responsables del abastecimiento pasen periódicamente revista a sus operaciones para comprobar que no se han modificado las condiciones que pueden influir en la calidad del agua, que el mantenimiento se efectúa con regularidad, que se llevan a cabo sin demora las reparaciones y renovaciones del equipo necesarias y que el personal está adecuadamente formado y se mantienen sus competencias profesionales, el examen de estos importantes aspectos del abastecimiento queda fuera del ámbito de esta publicación. Se remite al lector a los numerosos y excelentes textos disponibles sobre estos temas.(11)

Cuando llega constantemente a las viviendas agua corriente de gran calidad distribuida por tuberías, la vigilancia de la calidad de ésta proporciona indicaciones del riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. No obstante, esas condiciones son, a escala mundial, la excepción más bien que la regla, y mucha gente recoge agua de fuentes distantes del lugar de utilización o la almacena en su vivienda en

condiciones antihigiénicas. Además, incluso si el abastecimiento es adecuado, cuando los depósitos de almacenamiento y los elementos domésticos de fontanería no se instalan y se mantienen debidamente, pueden ser fuente de contaminación. Por estas razones, es posible que el agua se contamine en la vivienda, que con frecuencia es la fuente más importante de contaminación microbiológica. Cuando se utilicen depósitos domésticos, el organismo encargado de la vigilancia deberá investigar el riesgo que éstos representan para la salud humana y promover la adopción de medidas correctivas, por ejemplo enseñando a la población cómo se debe manipular el agua y mantener los depósitos.(11)

Conviene poner de relieve que, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, los microorganismos patógenos son el riesgo más importante que comporta el agua de bebida.(11)

La selección y protección adecuadas de las fuentes tienen una importancia fundamental para el abastecimiento a agua inocua. Proteger el agua de la contaminación siempre es preferible a tratarla cuando ya está contaminada.(11)

Antes de seleccionar una nueva fuente de agua de bebida, es importante asegurarse de que la calidad es satisfactoria o puede llegar a serlo después del tratamiento y de que la cantidad disponible es suficiente para satisfacer la demanda en forma permanente, teniendo en cuenta las variaciones diarias y estacionales y las proyecciones del crecimiento de la comunidad atendida.(11)

La cuenca hidrográfica debe protegerse contra la acción humana, aislándola o controlando las actividades desarrolladas en la zona que puedan contaminarla, por ejemplo el vertido de desechos peligrosos, la explotación de minas y canteras y el uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, y limitando y reglamentando las actividades recreativas.

Las fuentes de agua subterráneas, como los manantiales y pozos, han de situarse y construirse de tal manera que queden protegidas contra el desagüe de aguas superficiales y las inundaciones. Deben erigirse vallas en torno a ellas para impedir el acceso del público y se debe mantener libres de basura. Se ha de cuidar asimismo de que el terreno esté en pendiente para evitar que se formen charcos cuando llueva. También debe controlarse en esas zonas la ganadería.(31, 11)

La protección de las aguas superficiales que corren al aire libre plantea problemas. Es posible proteger un depósito contra las actividades humanas que pueden influir negativamente en la calidad del agua pero, en el caso de un río, quizá sólo se pueda proteger una extensión limitada o ni siquiera eso. Con frecuencia, hay que aceptar los guisos actuales o tradicionales de un río o un lago y prever el tratamiento en consecuencia.(31,11)

Al decir qué procesos de tratamiento se utilizarán en un caso concreto, se debe tener en cuenta el tipo de fuente y la calidad del agua procedente de ésta. La intensidad del tratamiento dependerá del grado de contaminación en la fuente. Si ésta está contaminada, es especialmente importante que el tratamiento oponga múltiples barreras a la difusión de los organismos patógenos, garantizando así un alto grado de protección y evitando la dependencia de un solo proceso.(31, 13)

La finalidad fundamental del tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultarle desagradables o ser perjudiciales para su salud. El tratamiento del agua procedente de fuentes situadas en tierras bajas en las zonas urbanas comprende, por lo general, las siguientes fases: 1) almacenamiento en depósitos o desinfección previa, 2) coagulación, floculación y sedimentación (o flotación), 3) filtración y 4) desinfección. Se pueden introducir fases adicionales o sustituir por otras algunas de las mencionadas, según las condiciones locales. La desinfección es la última salvaguardia y protege también el agua potable contra la contaminación externa y la reaparición de elementos nocivos durante la distribución. (31, 13)

Cabe considerar que toda la secuencia de tratamiento sirve para preparar el agua, a fin de que la desinfección sea fiable y eficaz. El tratamiento del agua en las zonas urbanas constituye un sistema de barreras múltiples en cuatro fases encaminado a eliminar la contaminación microbiana.(31,13)

El concepto de las barreras múltiples puede adaptarse al tratamiento de las aguas superficiales en las zonas rurales y distantes. Una serie típica de procesos aplicable en esos casos comprendería: 1) almacenamiento, 2) sedimentación o cribado, 3) filtración previa con grava y filtración lenta con arena y 4) desinfección. (31, 13)

Las aguas superficiales pueden almacenarse en depósitos o desinfectarse antes del tratamiento. Durante el embalsamiento de agua en lagos o depósitos, su calidad microbiológica mejora considerablemente gracias a la sedimentación, el efecto letal de los rayos ultravioleta solares en las capas superficiales y la muerte de microorganismo debido a inanición y predación. El número de bacterias indicadoras fecales, salmonela y enterovirus experimenta reducciones de alrededor del 99%, que alcanzan su máximo en verano y cuando el agua queda embalsada durante 3 ó 4 semanas. (31, 13)

Cuando el agua se extrae y se trata sin almacenarla primero, es habitual someterla a un proceso de desinfección previa, que destruye la fauna y reduce el número de bacterias fecales y agentes patógenos, contribuyendo también a la desaparición de las algas durante la coagulación y la filtración. Otra importante función de la desinfección previa es la eliminación del amoniaco. Un inconveniente es que, cuando se utiliza cloro en cantidades excesivas, se forman compuestos orgánicos clorados y carbono orgánico biodegradable.

El microcribado con tamices muy finos, cuyos poros suelen tener un diámetro medio de 30 m, es un método eficaz para eliminar gran número de microalgas y zooplancton que, de lo contrario, podrían obturar los filtros o incluso atravesarlos, pero sus efectos en la reducción de las bacterias fecales y los patógenos entéricos son escasos o nulos.(31, 13)

Cuando se necesita agua de gran calidad, se puede llevar a cabo la infiltración de agua superficiales no tratadas o parcialmente tratadas en las orillas de los ríos o en dunas de arena, como se hace en particular en los Países Bajos. La infiltración constituye una precaución para el caso de que no pueda utilizarse el agua de los ríos sin tratar debido a incidentes, por ejemplo de contaminación industrial. El agua extraída debe ser sometida por lo común a tratamiento adicional para eliminar los compuestos del hierro o el manganeso, y el período de retención ha de ser lo más largo posible para alcanzar una calidad próxima a la de las aguas subterráneas. La eliminación de bacterias fecales y virus por este procedimiento es superior al 99%.(31, 13)

a) Coagulación, floculación y sedimentación - La coagulación consiste en agregar al agua compuestos químicos (por ejemplo, sulfato de aluminio, sulfato ferroso o férrico y cloruro férrico) para neutralizar las cargas de las partículas y facilitar su aglomeración durante el lento proceso de mezcla que tiene lugar en las fase de floculación. Las masas flocosas resultantes forman coprecipitados con las partículas colorantes y minerales de origen natural, las absorben y las retienen, reduciendo considerablemente la turbiedad y el número de protozoarios, bacterias y virus.(24, 22)

La coagulación y la floculación requieren grandes aptitudes de supervisión. Antes de decidir utilizar la coagulación como parte del tratamiento, se deben considerar cuidadosamente las probabilidades de contar con un suministro regular de productos químicos y con personas calificado.(24, 22)

La finalidad de la sedimentación es permitir que las masas flocosas se depositen, reduciendo así los sólidos en suspensión que deben eliminarse mediante filtros. Algunos de los factores que influyen en ella son el tamaño, la forma y el peso de la masa flocosa; la viscosidad de la corriente; y el diseño de la entrada y la salida. Se deben hacer planes para extraer los fangos de los depósitos de sedimentación y disponer de ellos en forma inocua. Cuando la masa flocosa no es abundante, se puede sustituir la sedimentación por flotación.(24,22)

Para que el control de los trihalometanos por coagulación/sedimentación sea lo más eficaz posible, sólo se debe comenzar a agregar al cloro una vez terminado el proceso, a fin de conseguir la máxima eliminación de precursores antes de la cloración. Se ha informado de que, en plantas de tratamiento a gran escala, la reducción de la producción de trihalometanos ha alcanzado un 75% cuando la aplicación inicial de cloro se ha desplazado a un punto situado después del lugar en que se aplica el proceso de coagulación/sedimentación.(24, 22)

b) Filtración rápida y lenta con arena - Cuando la filtración rápida tiene lugar después de la coagulación, el éxito de la eliminación de los microorganismos y la turbiedad varía durante el intervalo entre dos lavados por corrientes de agua limpia. Inmediatamente después de unos de estos lavados, los resultados no son satisfactorios hasta que el lecho filtrante se compacta. Los resultados se deterioran también progresivamente cuando hace falta un lavado, ya que la masa flocosa puede escapar a través del lecho filtrante, introduciéndose en el agua tratada. Todo esto pone de relieve la necesidad de supervisar y controlar adecuadamente la filtración en las instalaciones.(24, 22)

La filtración lenta con arena es más fácil de realizar que la rápida, ya que no se necesitan lavados frecuentes por corrientes de agua limpia. Por ello, es especialmente adecuada para los países en desarrollo y los pequeños sistemas rurales, pero sólo puede utilizarse si se dispone de suficiente terreno.(24, 22)

Cuando se pone en marcha por primera vez un filtro lento de arena, en los granos de ésta, en especial en la superficie del lecho filtrante, se desarrollan fangos microbianos, compuestos por bacterias, protozoarios ciliados y amebas en estado libre, crustáceos, y larvas de invertebrados que intervienen en cadenas alimentarias, y tales fangos provocan la oxidación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua y del nitrógeno amoniacal para producir nitrato. Las bacterias, los virus

patógenos y las fases inactivas de los parásitos se eliminan principalmente por adsorción y ulterior predación. Cuando las cargas son correctas, la filtración lenta con arenas mejora más la calidad del agua que cualquier proceso tradicional de tratamiento considerado aisladamente. Las bacterias se eliminarán en un 98-99.5% o más, el número de *E. Coli* quedará dividido por 1000 y la destrucción de virus será aún mayor. Los filtros lentos de arena son también muy eficaces para eliminar los parásitos (helmintos y protozoarios), y su eficacia aumenta cuando el agua está caliente. No obstante, el efluente que de ellos procede puede muy bien contener un pequeño número de *E. Coli* y de virus, en particular durante el periodo inicial de un intervalo entre lavados y cuando la temperatura del agua es baja. (24, 22)

c) Desinfección - La desinfección final del agua distribuida por tuberías tiene una importancia fundamental y es casi universal, ya que constituye la última barrera contra la transmisión de enfermedades bacterianas y víricas por el agua. Aunque los productos que más se utilizan con este fin son el cloro y el hipoclorito, también se pueden emplear cloraminas, dióxido de cloro, ozono y radiaciones ultravioletas. (13)

La eficacia del proceso de desinfección depende de que se haya conseguido agua con un alto grado de pureza mediante el tratamiento previo, ya que la presencia de materia orgánica y de compuestos fácilmente oxidables en el agua neutraliza en mayor o menor medida los desinfectantes. Los microorganismos aglomerados o adsorbidos por partículas están también parcialmente protegidos contra la desinfección y, en muchos casos, no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales cuando la turbiedad es superior a 5 unidades nefelométricas (UNT). Es, pues, esencial que, antes de la desinfección final, el agua se someta a tratamiento para conseguir que la mediana de la turbiedad no sea superior a 1 UNT y que no se sobrepasen a 5 UNT en ninguna muestra. Con una planta que funcione adecuadamente, se obtendrán regularmente valores muy por debajo de estos límites. (27, 13)

La cloración en condiciones normales (es decir, cloro residual en estado libre >0.5 mg/litro, 30 minutos de contacto por lo menos, pH inferior a 8.0 y turbiedad del agua

inferior a 1 UNT) puede reducir en más del 99% el número de *E. Coli* y de ciertos virus pero no el de quistes u ooquistes de protozoarios parásitos.(27, 13)

Está ampliamente demostrado que dentro de los filtros de carbón activado que se utilizan en el lugar de consumo se desarrollan bacterias. Algunos fabricantes han intentado evitar este problema utilizando plata en los filtros, como agente bacteriostático. No obstante, todos los informes publicados sobre este tema indican en forma concluyente que los efectos de esa práctica son limitados. Se cree que la presencia de plata en esos filtros permite el desarrollo selectivo de las bacterias resistentes a ella. Por esta razón, es imprescindible que esos aparatos sólo se utilicen con agua inocua desde el punto de vista microbiológico y se laven abundantemente por descarga de agua antes de cada utilización. En los buques se utiliza ocasionalmente plata para desinfectar el agua de bebida. Sin embargo, dado que hacen falta tiempos de contacto prolongados o concentraciones elevadas, el empleo de plata para la desinfección en el lugar de consumo no se considera práctico.(27, 13)

d) Eliminación del fluoruro - En varios países (por ejemplo, Argelia, China, Egipto, India y Tailandia), se han hallado en el agua elevadas concentraciones de fluoruro, superiores a 5 mg/litro. Esos altos niveles han dado lugar en ocasiones a fluorosis dental o esquelética. (27)

Se han desarrollado técnicas para la eliminación del fluoruro, tanto en el sistema de abastecimiento público como en las viviendas particulares. El método más común se basa en intercambio de iones/adsorción con harina de huesos carbonizada o alúmina activada. Se ha notificado que las instalaciones a gran escala que emplean alúmina activada y los aparatos domésticos de desfluoruración que utilizan harina de huesos carbonizada hacen descender las concentraciones de fluoruro de 5-8 mg/litro a menos de 1 mg/litro. Habitualmente, la harina y la alúmina activada saturadas se regeneran para volverse a utilizar. (27)

e) Elección del tratamiento - En algunas pequeñas comunidades de las zonas rurales, la única forma de tratamiento posible puede ser la protección de la fuente.

Los sistemas de abastecimiento de este tipo se examinan detalladamente. Cuando las comunidades son de gran tamaño, la demanda de agua es elevada y con frecuencia sólo se puede atender utilizando algunas fuentes de agua de calidad microbiológica insatisfactoria. Para obtener a partir de ellas agua potable agradable e inocua será necesario apelar a todos los recursos disponibles.(27, 13)

Las aguas subterráneas extraídas de acuíferos profundos bien protegidos generalmente están libres de microorganismos patógenos, y en muchos países la distribución de esta agua sin tratamiento en una práctica común. Esto exige que la zona de influencia se proteja mediante medidas de reglamentación eficaces y que el sistema de distribución se proteja también suficientemente contra la contaminación secundaria. Si no se puede garantizar una protección continua desde la fuente al consumidor, es imprescindible desinfectar el agua y asegurar que contenga cloro residual en concentraciones suficientes.(27, 13)

Por lo general las aguas superficiales tendrán que ser sometidas a un tratamiento completo. El grado de eliminación de los microorganismos mediante coagulación, floculación, sedimentación y filtración rápida equivaldrá al que se obtiene con los filtros lentos de arena, si el sistema se diseña y se hace funcionar adecuadamente.(27, 13)

La utilización de otros procesos, como la ozonación seguida de tratamiento con carbón activado para eliminar el carbono orgánico asimilable, reduce las posibilidades de problemas posteriores debidos a la reaparición de bacterias de efectos molestos en las redes de distribución. La fase de ozonación puede ser también importante para reducir el número de agentes patógenos. La desinfección debe considerarse obligatoria en todos los sistemas de abastecimiento de agua corriente que se alimentan de aguas superficiales, incluso cuando éstas proceden de fuentes de gran calidad no contaminadas, ya que siempre se deberá oponer más de una barrera a la transmisión de infecciones por el agua. En las grandes instalaciones bien organizadas, se puede cumplir los criterios que permiten asegurar la ausencia de *E. Coli* y de bacterias coliformes con un alto grado de probabilidad. En la actualidad, se tiende a utilizar de la mejor manera posible sustancias químicas como el cloro y los coagulantes y a aplicar métodos de tratamiento físico o biológicos, a fin de disminuir

la cantidad de productos químicos necesaria, reduciendo así también la formación de productos secundarios de la desinfección.(27, 13)

13. Redes de distribución

La red de distribución transporta el agua desde el lugar de tratamiento al consumidor. Su diseño y sus dimensiones dependerán de la topografía y de la ubicación y el tamaño de la comunidad. El objetivo siempre será asegurar que los consumidores reciban un abastecimiento suficiente e ininterrumpido y que el agua no se contamine durante la distribución.(32)

Los sistemas de distribución son especialmente vulnerables a la contaminación cuando baja la presión, como ocurre, en particular, en los abastecimientos intermitentes existentes en muchas ciudades de países en desarrollo. A menudo se crea un efecto de succión cuando el agua se bombea directamente de las tuberías maestras a depósitos privados, práctica que debería reducirse al mínimo. (32)

La calidad bacteriológica puede empeorar durante la distribución. Si el agua contiene cantidades apreciables de carbón orgánico o amoníaco asimilables, no podrán mantenerse concentraciones residuales suficientes de desinfectantes. Si esas tuberías maestras no se lavan por descarga de agua y se limpian con bastante frecuencia, podrán desarrollarse bacterias y otros organismos de efectos molestos. Cuando el agua contiene carbón orgánico asimilable en cantidad apreciable (>0.25 mg/litro) y cuando su temperatura sobrepasa los 20 °C, quizá sea necesario mantener una concentración de cloro residual en estado libre de 0.25 mg/litro para impedir que proliferen *Aeromonas* y otras bacterias de efectos molestos. Los microorganismos adheridos pueden desarrollarse incluso en presencia de residuos de cloro. El objetivo debería ser obtener agua biológicamente estable, con concentraciones muy bajas de compuestos orgánicos y amoníaco, a fin de evitar que, durante la distribución, se planteen problemas de proliferación microbiana. (32)

Se deben inspeccionar las cisternas de almacenamiento y los depósitos de servicio situados bajo tierra para descubrir si hay deterioro o infiltración de aguas superficiales o subterráneas. Es conveniente erigir vallas en torno a las zonas donde están situados esos depósitos, a fin de impedir la entrada de personas y animales que puedan dañar las estructuras. (32)

Las reparaciones efectuadas en las tuberías presentan otra posibilidad de contaminación. La pérdida local de presión puede dar lugar al sifonaje de aguas contaminadas, a menos que se introduzca en el sistema válvulas de retención en los lugares de riego, como los de abastecimiento para el riego de huertas y jardines y para urinarios. Si la tubería maestra ha sufrido daños y existe la posibilidad de que hayan penetrado en ella aguas residuales procedentes de una alcantarilla o un desagüe roto, la situación será muy grave. Las medidas que ha de adaptarse para proteger a los consumidores contra las enfermedades transmitidas por el agua deberán recogerse en códigos de prácticas nacionales y en las instrucciones locales destinadas al personal del servicio de abastecimiento. (32)

Puede haber contaminación microbiana si los microbios proliferan en materiales de construcción inapropiados que entran en contacto con el agua, por ejemplo arandelas, revestimiento de tuberías y plásticos utilizados en esta últimas y en los grifos. Deberán existir sistemas nacionales para controlar el uso de materiales de ese tipo. (32)

14. Control de la corrosión

La corrosión se caracteriza por la solubilización parcial de los materiales de que están hechos los sistemas de tratamiento y abastecimiento, depósitos, tuberías, válvulas y bombas. Puede ser causa de colapso estructural, fugas, pérdida de

capacidad y deterioro de la calidad química y microbiológica del agua. La corrosión interna de tuberías y accesorios puede repercutir directamente en las concentraciones de algunos de los componentes para los que se han recomendado valores guía, en particular del cadmio, el cobre, el hierro, el plomo y el zinc. Por lo tanto, su control es un importante aspecto de la administración de un sistema de abastecimiento. Dadas sus consecuencias para la calidad, nos referimos únicamente a la corrosión interna de las tuberías; aunque la protección de éstas contra la corrosión externa es también sumamente importante, está mucho menos relacionada con la calidad del agua distribuida.(32)

El control de la corrosión depende de muchos parámetros, en particular de las concentraciones de calcio, bicarbonato, carbonato y oxígeno disuelto, y del pH. El detalle de las necesidades es distinto según el agua de que se trate y según el material utilizado para la red de distribución. (32)

a) Consideraciones básicas - Numerosos metales, entre ellos la mayor parte de los que se utilizan para construir los sistemas de abastecimiento, son inestables en presencia de agua y tienen tendencia a transformarse o degradarse para producir compuestos más estables y a menudo solubles –proceso denominado corrosión. La rapidez con que esto ocurre depende de muchos factores químicos y físicos; la corrosión puede ser muy rápida o sumamente lenta.(27)

Tiene gran importancia las propiedades de los productos de la corrosión, es decir, de las sustancias finales estables resultantes del proceso. Si alguna de ellas es soluble en el agua, la corrosión suele ser rápida. En cambio, cuando los productos de la corrosión son insolubles, puede formarse en la superficie del agua una capa protectora que hace que la corrosión sea muy lenta. Los productos insolubles de la corrosión sólo ejercen efectos protectores cuando crean una capa impenetrable. Si forman una masa esponjosa o flocosa, la corrosión continuará, deteriorando la calidad del agua, reduciendo la capacidad de distribución de la tubería y dando lugar a proliferaciones microbianas (películas biológicas), que podrán estar protegidas contra el cloro residual.(27)

También influyen mucho en la corrosión las propiedades eléctricas de los metales que están en contacto con el agua. Los diversos metales tienen distintas tendencias a cargarse eléctricamente cuando están en contacto con el agua, diferencia que se refleja en la denominada serie galvánica. Cuando están en contacto dos metales (u otros materiales conductores) diferentes, se forma una celda galvánica en la que el metal se disuelve en el electrodo negativo. No es necesario que los dos metales se encuentren en el mismo lugar, siempre que exista contacto eléctrico entre ellos. La formación de celdas galvánicas es con frecuencia la fuerza impulsora de la corrosión.(27)

La tasa de corrosión depende sobre todo de la rapidez con que los compuestos disueltos que participan en la reacción son transportados hasta la superficie del metal y conque los productos disueltos son alijados del lugar de la reacción. Por ello, aumenta directamente con el incremento de la concentración de iones en el agua y del grado de agitación de ésta.

Cuando el agua se mueve muy velozmente, la tasa de corrosión puede crecer espectacularmente de resultas de la corrosión erosiva. Como ocurre en otras reacciones químicas, las tasas de corrosión aumentan con la temperatura. (27)

Determinados metales, entre los que se cuentan el hierro, el níquel y el cromo, y sus aleaciones, sufren un fenómeno denominado pasivación, por el que la aplicación de un cierto voltaje reduce apreciablemente la tasa de corrosión y esa reducción se mantiene para una gama considerable de voltajes aplicados. Este proceso se utiliza en algunas estrategias de control de la corrosión, incluida la de <<protección anódica>>. La protección anódica no puede emplearse contra la corrosión en el caso del cobre, el plomo o el zinc. (27)

b) Efectos de la composición del agua - Del pH dependen la solubilidad, la velocidad de reacción y, hasta cierto punto, la actividad química superficial de la

mayor parte de los metales que participan en reacciones de corrosión. Este parámetro es especialmente importante para la formación de una película protectora en la superficie del metal.(27, 32)

Hay cada vez más pruebas de la importancia de la acción agresiva del ión cloruro en la corrosión de los metales utilizados en los sistemas de distribución. Algunos datos parecen indicar que también el cloro residual influye en la tasa de corrosión. (27, 32)

c) Aspectos microbiológicos de la corrosión - Se han elaborado varios índices que indican el potencial de corrosión de las diversas aguas. La mayor parte de ellos se basan en la hipótesis de que el agua que tiende a depositar una capa de carbonato cálcico en las superficies metálicas es menos corrosiva. Por ejemplo, el conocido índice de Langelier es la diferencia entre el pH efectivo de un agua y su <<pH de saturación>>, que es aquel para el que un agua de idéntica alcalinidad y dureza (calcio) estará en equilibrio con el carbonato cálcico sólido. Además de la dureza de calcio y la alcalinidad, para calcular el pH de saturación se tienen en cuenta la saturación del total de sólidos disueltos y la temperatura. (27, 32)

Las aguas cuyo pH es superior a su pH de saturación (índice de Langelier positivo) están sobresaturadas de carbonato cálcico y, por lo tanto, tenderán a formar un depósito protector. Por el contrario, las aguas con el pH inferior a su pH de saturación (índice de Langelier negativo) están subsaturadas con respecto al carbonato cálcico, por lo que se consideran corrosivas. Se pueden utilizar nomógrafos para simplificar el cálculo del pH igual o ligeramente superior a su pH de saturación.(27, 32)

El índice de Langelier y otros índices basados en principios similares han resultado útiles para prever y solucionar los problemas de corrosión en muchas circunstancias. Sin embargo, es evidente que la hipótesis de que un depósito de carbonato cálcico siempre resultará protector y de que el agua que no lo forma

siempre será corrosiva constituye una excesiva simplificación de un fenómeno complejo. Por lo tanto, no es sorprendente que los intentos de cuantificar la corrosividad a partir de ella hayan producido resultados ambiguos.

Se ha demostrado que la razón entre las concentraciones de cloruro y sulfato y la de bicarbonato (razón de Larson) es útil para estimar el efecto corrosivo del agua en el hierro colado y el acero. Para estudiar la disolución del zinc contenido en los accesorios de latón, se ha utilizado un método similar. (27, 32)

d) Estrategias para el control de la corrosión - Las principales estrategias para el control de la corrosión se basan en:

- El control de los parámetros ambientales que influyen en la tasa de corrosión,
- La utilización de productos químicos que inhiben la acción corrosiva,
- La adopción de medidas electroquímicas, y
- Consideraciones relacionadas con el diseño del sistema.(27, 32)

15. Localización del municipio de Palín

El municipio de Palín se localiza en el departamento de Escuintla, su extensión aproximada es de 85 Km² la distancia de la ciudad capital es de 40 Km y dista 17 Km de la cabecera departamental, el clima es cálido, húmedo. (17)

16. Estudios realizados en el municipio de Palín relacionados con el tema de tesis

En el año de 1989, la Municipalidad de Palín en vista de que solamente contaba con una fuente de agua que ya no era suficiente para el abastecimiento de su población, realizó un estudio de diferentes fuentes de agua (nacimientos) con dos objetivos. El

Primero fue escoger una segunda fuente de agua, y el segundo entablar un proyecto de factibilidad del mismo para su distribución. Inicialmente solo se tomaron muestras en una época del año, y se realizó el proyecto inaugurándose en abril de 1992. Este proyecto fue desarrollado en los años de 1989 y 1990. (1, 2, 17)

El Instituto de Fomento Municipal (INFOM) no ha realizado ningún estudio total de la calidad del agua del municipio de Palín para uso potable e industrial. (1)

En 1992 el estudiante Roberto Ordóñez Comparini realizó su trabajo de tesis titulada: 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, donde concluye que: El agua que distribuye la municipalidad de Palín proveniente de las fuentes El Amatillo y El Barretal, cumple para todos los parámetros físicos y químicos con la norma COGUANOR NGO 29001, pero no cumple para los requisitos Bacteriológicos que estipula dicha norma, por lo que se cataloga como agua no potable y representa un riesgo para la salud de los consumidores. (17)

IV. JUSTIFICACIÓN

Las fuentes de agua se deben proteger de la contaminación por desechos de origen humano animal, industriales y otros, que pueden contener una multiplicidad de bacterias, virus y protozoarios patógenos, así como de helmintos parásitos. Si no se consigue proteger y tratar eficazmente el agua, la comunidad correrá el riesgo de sufrir brotes de afecciones intestinales y otras enfermedades infecciosas. Los mas expuestos a las enfermedades transmitidas por el agua son los niños pequeños, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas, los enfermos y los ancianos. Es tal la gravedad de las posibles consecuencias de la contaminación microbiana que su control deberá ser siempre de primordial importancia en términos generales los mayores riesgos que representan los microbios están relacionados con la ingestión de agua contaminada con excretas humanas y animales. (24)

La demanda de agua en la mayoría de los municipios de Guatemala va en aumento. El municipio de Palín, no escapa a esta demanda, debido a que la población se incrementa cada año, a través de lotificaciones nuevas, fraccionamientos rurales y construcciones de vivienda en el área urbana que demandan este servicio. No existe un control de calidad de agua a lo largo de las dos épocas del año (seca y lluviosa), por lo que se supone que las enfermedades diarreicas por el uso del agua contaminada se incrementan continuamente. Según estadísticas reportadas en la Dirección de Área del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el 85 por ciento aproximadamente de la población de Palín, presenta problemas de diarrea, afectando principalmente a los niños.¹

Es necesario actualizar los análisis físico, químico, y bacteriológicos de los nacimientos localizados en los nacimientos, pozos y red de distribución del municipio de Palín, debido a antecedentes que hay al respecto, es necesario contar con datos actualizados de la calidad del agua que se utiliza para consumo humano en este municipio, con la finalidad de poder

¹ Dirección de Área, Ministerio de Salud Pública, Municipio de Palín

realizar una evaluación desde el punto de vista físico-químico y bacteriológico del sistema de abastecimiento actual y del posible proceso de mejoramiento que se realice dentro de este sistema, ya que las evaluaciones anteriores parecen indicar que el agua actualmente suministrada a la población para su consumo, no cumple con los requisitos para considerarla como potable. Es necesario además, de realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema de abastecimiento de agua, recomendar posibles medidas a implementar para el control y mejoramiento de la calidad del agua que se suministra a la población.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar la calidad física, química y bacteriológica del agua que se distribuye en las viviendas del municipio de Palín, por el sistema de abastecimiento de la municipalidad, con el fin de verificar si la misma es apta, para consumo humano.

B. Objetivos Especificos

1. Precisar los parámetros físicos como: Olor, color temperatura, turbiedad, potencial de hidrógeno, sólidos disueltos.
2. Determinar los parámetros químicos como: Alcalinidad, dureza, calcio, cloruros, fosfatos fluoruros, hierro total, potasio, sodio, sulfatos, nitritos, nitratos, magnesio.
3. Cuantificar e identificar Coliformes totales y fecales en los nacimientos, tanques de distribución y la red de distribución domiciliar del agua.
4. Conocer por medio de los informes de la Dirección de Área, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, las enfermedades parasitarias provocadas por la contaminación del agua que consumen la población del municipio de Palín.
5. Proponer las soluciones a los problemas del agua a la municipalidad de Palín y Dirección de Área.

VI. HIPÓTESIS

A. Por ser un estudio Descriptivo, no tiene Hipótesis.

VII. MATERIALES Y METODOS

A. Universo de Trabajo

Esta representada por los nacimientos denominados El Barretal y el Amatillo, los tanques de distribución y la red de distribución domiciliar, esto, forma parte del abastecimiento de la Municipalidad de Palín, para consumo humano. (ver anexo 1)

B. Recursos

1. Humanos

- a) Paola Zanotti (tesista)
- b) Msc. Ing. Zenón Much Santos (asesor)
- c) Lic. Raúl Paniagua (asesor)
- d) Colaboradores: Personal técnico del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria ERIS del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

2. Recursos materiales

- a) Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.
- b) Biblioteca de la Universidad de San Carlos, de la Facultad de Ingeniería, de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y de Recursos Hidráulicos, y del centro de Investigaciones de Ingeniería.
- c) Biblioteca de la Universidad de San Carlos, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- d) Información estadística recopilada por la Dirección de Área, centros de Salud de Palín, sobre enfermedades diarreicas por origen hídrico.

3. Equipo y materiales

Cristalería, reactivos, equipo de laboratorio y de campo los cuales son recomendados (9,6) y proporcionados por el laboratorio antes mencionado.

Reactivos: Merck, Hach. Aprobado por la Agencia de la Protección Ambiental EPA, para Hach.

Pureza de reactivos: según especificaciones de las marcas anteriormente mencionadas.

C. Metodología

La metodología empleada consistió, en la selección de los sitios de muestreo. Establecer un cronograma para la toma de muestras, recolectarlas, transportarlas, conservarlas, realizar los respectivos análisis, y presentar los resultados.

1. Selección de los sitios de muestreo - Se tomo la red de distribución del municipio de Palín, que consiste en: dos nacimientos de agua denominados El Barretal y El Amatillo, tanques de distribución, y red domiciliar (grifos), tomando en cuenta puntos cercanos y lejanos, con el propósito de establecer, la forma como llega el agua al usuario en las terminales de la red, los cuales representarán los puntos críticos.

2. Frecuencia del muestreo - En cada punto de muestreo se tomo una muestra para realizar los análisis físico y químico y otra para el bacteriológico. Los muestreos se realizaron de abril a septiembre del año 2001. En esta forma se cubrirá el cambio de estación climatológica para determinar las variaciones en la calidad del agua en el transcurso de las épocas de verano e invierno.

Se efectuó la toma de muestra cada 15 días para todos los puntos de muestreo. (ver cronograma de muestreo, cuadro 2).

3. Recolección, transporte y conservación de las muestras

a) **Muestra para análisis físico y químico** - Se tomaron las muestras en recipientes de polietileno con volumen de 3.78 litros. El recipiente se enjuaga primero tres veces consecutivas con la misma agua de la fuente en que se va a tomar la muestra. Después se llena completamente y luego se tapa evitando contaminaciones. Este se identifico debidamente, apuntando diferentes datos que son requeridos, seguidamente, es transportado al laboratorio para sus respectivos análisis.(3)

b) **Muestra para el examen bacteriológico** - Las muestras se tomaron en frascos de vidrio, de boca ancha, con tapón esmerilado de 125 cm³ de vidrio resistente, que han sido debidamente esterilizados. El tapón y el cuello del frasco son protegidos por medio de una cubierta de papel kraft que es atada con un cordel.

Se utilizaron dos técnicas en la toma de la muestra bacteriológica debido a los tipos de fuentes que se van a muestrear, (grifos, nacimientos, tanques).

Para recolectar la muestra en los grifos, primero se debe esterilizar con la llama de un mechero de alcohol la boca del grifo durante un minuto. Luego se deja correr el agua por otro minuto. Seguidamente se quita la cubierta de papel al frasco y se procede a esterilizar la boca y el tapón teniendo cuidado de no rozarlos con los dedos, tomando posteriormente la muestra con la precaución de dejar un espacio de 12 mm de aire para su homogenización posterior. Se tapa a continuación el frasco y se le coloca la cubierta de papel kraft y se le identifica por medio de una etiqueta. (3, 26)

Para tomar la muestra en las cajas unificadoras y en los manantiales, se le quita al frasco la cubierta de papel y se introduce en el cuerpo de agua con el cuello hacia abajo, lo más cerca del fondo posible. Se gira hasta que quede la boca ligeramente arriba del fondo y en contra de la corriente. Luego se abre y se introduce agua hasta dejar un espacio de aire que permita su posterior

homogenización. Seguidamente se tapa y se le coloca la cubierta de papel kraft y se llena la etiqueta de identificación. (3)

Las muestras se identificaron anotando todos los datos requeridos. Luego se guardan en bolsas plásticas sellando las mismas, y colocándolas en una hielera. La hielera contendrá hielo de forma que el frasco no tenga contacto directo con este. En esta forma, las muestras se mantendrán a baja temperatura (4°C) hasta el momento de realizar el examen bacteriológico (no mayor de 2 horas), (6).

c) Tipos de análisis y exámenes - Todos los métodos de análisis y exámenes que se realizaron en las muestras para obtener las características físicas, químicas y bacteriológicas son los recomendados por el "Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater", los cuales se aceptan en Guatemala según la norma COGUANOR NGO 29001 en el inciso de Correspondencia, 8,8.4. (3)

Los análisis son los siguientes:

i. Análisis físico

- Olor - Esta determinación depende del grado de desarrollo del sentido del olfato del operador. Existen dos procedimientos olor en frío y olor en caliente en esta investigación se utilizó el procedimiento de olor en frío.

- Procedimiento

-Olor en frío: Agítase unos 250 ml de la muestra a 20°C en un erlenmeyer de boca ancha de 500 ml de capacidad y huélase ligeramente. Evítese una agitación excesivamente vigorosa o repetida que pudiera disipar el olor.

-Expresión de los resultados: Los resultados se referirán a las muestras en caliente y en frío, a la intensidad y tipo de olor. La intensidad se expresará según la escala. (ver anexo2).

- Color
- Reactivos: Agua destilada y solución estándar de nitrato-nitrógeno.
- Aparatos: Espectrofotómetro Hach DR-2000, Tubos de Nessler de 50 ml
- Procedimiento:
 - Ajustar a cero con el blanco (agua destilada. Medir 50 ml de muestra en el tubo de Nessler, agregar una gota de solución estándar de nitrato-nitrógeno, agitar por inversión. Limpiar paredes del tubo. Obtener la lectura del aparato.
 - Expresión de los resultados: Se interpreta directamente del aparato la cantidad de unidades de color.(ver anexo 2)

- Conductividad eléctrica:
- Aparatos: Conductímetro
- Reactivos: Agua destilada
- Procedimiento:
 - Se ajusta la temperatura de referencia del conductímetro. Se pone a cero el ajustador constante de la celda. Se sumerge la celda del conductímetro en el agua destilada (patrón) y en las muestras.
 - Expresión de los resultados: Se interpreta el resultado directamente del aparato.(28)

- Temperatura:
- Aparato: termómetro
- Procedimiento:
 - Se efectúa en la toma de muestra.
 - Expresión de resultados: se interpreta en grados celsius.(ver anexo 2)

- Turbiedad:
- Reactivos: Estándar de turbiedad de 0-10 unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) y agua destilada.
- Aparatos: Turbidímetro Hach 2100 A y celdas de fondo plano para muestras.
- Procedimiento:
 - Calibración del turbidímetro: se ajusta la lectura del aparato utilizando el estándar de 0-10 UNT.
 - Muestra: se agita la muestra, se espera a que las burbujas desaparezcan, se coloca la muestra en la celda, se efectúa la lectura.
 - Expresión de los resultados: se interpreta el dato directamente en la escala del instrumento, como Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), (ver anexo 2)

- Potencial de hidrógeno (pH):
- Reactivos: soluciones amortiguadoras pH 4, 7, 10
- Aparatos: Potenciómetro, beacker de 100 ml
- Procedimiento:
 - Se calibra el potenciómetro con las soluciones Amortiguadoras. Se mide el pH de la muestra.
 - Resultados: se expresa en unidades de pH.(ver anexo 2)

- Sólidos disueltos:
- Procedimiento:
 - se parte del resultado obtenido en la técnica de Conductividad Eléctrica. La concentración de sólidos disueltos equivale a la mitad del valor de la Conductividad Eléctrica. El resultado se expresa en mg/l.(ver anexo 2)

ii. Análisis químico

- Alcalinidad
- Reactivos: ácido sulfúrico 0.02N, indicadores de fenolftaleina y anaranjado de metilo.
- Aparatos: bureta de 25 ml con soporte, probeta graduada de 100ml, erlenmeyers de 250 ml

- Procedimiento:

- Alcalinidad de fenolftaleina: Se agregan dos gotas del indicador de fenolftaleina a 50.0 ml. De la muestra, contenida en un erlenmeyer.

Si la muestra cambia a rosa, se tienen presentes carbonatos o hidróxidos y se procede según se indica en 3. Si la muestra se mantiene incolora, el agua contiene bicarbonatos o es ácida.

Si se obtuvo el color rosa, se agrega gradualmente la solución tituladora de ácido sulfúrico de la bureta, agitando constantemente el erlenmeyer, hasta el momento justo en que desaparezca el color rosa, se anotan los mililitros de ácido sulfúrico gastados en la titulación y se multiplica por el factor indicado en el cuadro inferior.

Se calcula la alcalinidad a la fenolftaleina, en términos de mg-l, como carbonato de calcio, multiplicando dos mililitros de ácido sulfúrico gastados en la titulación.

-Alcalinidad total con el indicador Anaranjado de Metilo: Se agregan dos gotas del indicador anaranjado de metilo a la muestra en que se ha determinado la alcalinidad a la fenolftaleina. Se obtendrá un color amarillo.

Se titula de nuevo con pequeños volúmenes de ácido sulfúrico 0.02 N, hasta que el color amarillo vire a color anaranjado. La titulación se hará comparando el color de la muestra con una muestra testigo.

Se anota los mililitros de ácido sulfúrico gastados en las dos titulaciones y se multiplica este total por el factor apropiado como se indica en el cuadro inferior.

El resultado es la alcalinidad total (que también se denomina alcalinidad al anaranjado de metilo), en términos de mg/l, como carbonato de calcio. El cuadro 7. muestra, los mililitros gastados de ácido sulfúrico y los volúmenes de muestra utilizados.

Cuadro 7. Mililitros gastados de ácido sulfúrico y volúmenes de muestra utilizados.

Volumen de muestra	Multiplíquese los ml, de H ₂ SO ₄
100	10
50	20
25	40

- Expresión de Resultados: los mililitros gastados de ácido sulfúrico se multiplican por el factor 20 para obtener mg/l de OH, CO₃, HCO₃, según sea el caso de las muestras a analizar.

- Dureza
- Reactivos: EDTA, Cloruro de amonio, hidróxido de amonio concentrado, negro de ericromo T, Clorhidrato de hidroxilamina.
- Aparatos: Soporte y pinzas para bureta, bureta graduada, Erlenmeyers de 250 ml, pipetas volumétricas de 25 y 50 ml, probetas graduadas de 50ml, vidrio pirex.
- Procedimiento:
 - Preparación de la muestra: la titulación no excede de 5 minutos contados a partir del tiempo de la adición de la solución amortiguadora. Se agregan 50 ml de la muestra en un erlenmeyer de 250 ml. Se agrega 1 ml de clorhidrato de hidroxilamina y 2 gotas de negro de ericromo T. Se titula con EDTA 0.01 M.

- Expresión de los resultados: Se multiplica el volumen de EDTA utilizado para cada valoración por 20 (factor de dureza), para obtener el resultado en mg/l de dureza.(28)

- Calcio:
 - Reactivos: Hidróxido de sodio 1 N, murexida, EDTA.
 - Equipo: Erlenmeyer de 250ml, pipeta graduada de 5ml, bureta y soporte.
 - Procedimiento:
 - Se miden 50 ml de muestra, se colocan en el erlenmeyer. Se le agregan 2 ml de hidróxido de sodio 1 N y 5 gotas de murexida. Se agita. Titular con EDTA 0.01 M.
 - Expresión de los resultados: El volumen de titulante utilizado en cada valoración se multiplica por 8.016, para obtener el resultado en mg. de calcio por litro de muestra. (28)

- Cloruros:
 - Reactivos: ácido sulfúrico 0.5 N, Hidróxido de sodio, cromato de potasio, nitrato de plata, fenolftaleína, etanol.
 - Equipo: soporte y pinzas para bureta, pipeta graduada de 1 ml. Bureta de 25 ml, agitador magnético.
 - Procedimiento:
 - Se miden 100 ml de muestra. Se ajusta el pH entre 7 y 10, se agrega 1 ml de cromato de potasio y se titula con solución patrón de nitrato de plata.
 - Expresión de los resultados: el volumen del titulante utilizado en cada valoración se multiplica por 5, para obtener el resultado en mg de cloruros por litro de muestra.(28)

- Fosfatos:
 - Reactivos: Cloruro de bario.
 - Aparatos: Espectrofotómetro Hach DR/2000., celdas de 25 ml

- Procedimiento:
 - Se miden 25 ml de las muestras en cada una de las celdas a una de ellas se le agregan 2 g de cloruro de bario. Y se utiliza una celda para blanco, se agita y se deja reposar por 5 minutos, se efectúa la lectura a 450 nm.
 - Expresión de resultados: se interpreta la lectura del aparato, en mg/l. (28)

- Fluoruros
- Reactivos: Agua destilada, reactivo de SPANS.
- Aparatos: Espectrofotómetro Hach DR/2000, pipetas volumétricas de 5, 25, celdas aforadas de 25 ml, erlenmeyers de 50 ml.
- Procedimiento:
 - Se miden 25 ml de las muestras y del blanco (agua destilada), se colocan en los erlenmeyer y se agregan 5 ml de reactivo de SPANS. Se agitan y dejan reposar por 5 minutos.
 - Expresión de los resultados: se interpreta la lectura del aparato, en mg/l. (28)

- Hierro:
- Reactivos: ácido clorhídrico concentrado, cloruro de hidroxilamina, acetato de amonio, 1,10-fenantrolina, ácido sulfúrico concentrado.
- Aparatos: Espectrofotómetro, longitud de onda 410 nm, estufa o plancha de calentamiento. Erlenmeyer de 250 ml, balones aforados de 100 y 1000 ml, probetas de 100, 500 y 1000 ml
- Procedimiento:
 - Preparación de las muestras: a cada erlenmeyer que contiene 50 ml de blanco y a las muestras se les agregan 2ml de ácido clorhídrico concentrado. Se pipetea 1 ml de la solución de hidroxilamina a cada erlenmeyer y se agita. Posteriormente, se introducen perlas de ebullición y se calienta en la estufa o plancha hasta ebullición y por evaporación, se reduce el volumen hasta 10 ml. Se deja enfriar y se transfiere cuantitativamente la muestra a matraces de 100ml. Los erlenmeyer se lavan tres veces con agua destilada.

Se adicionan con una pipeta 10 ml de solución amortiguadora de acetato de amonio a cada matraz y se agita. Finalmente se agregan 2 ml de solución de fenantrolina a cada matraz, y se deja en reposo por 15 minutos hasta que desarrolle el color.

- Determinación de hierro total en las muestras mediante espectrofotómetro: Se lleva a 0% la transmitancia. Se sitúa la longitud de onda a 510nm. Se sitúa a 0.0 en la escala de absorbancia, usando el blanco. Se procede a leer la absorbancia de cada patrón o muestra. Se traza una curva cuya abscisa representa la absorbancia de los mismos.

- Expresión de los resultados: el contenido de hierro se obtiene de las lecturas de la curva de calibración y se expresa en mg/l.(28)

- Sulfatos:
- Reactivos: cloruro de bario
- Aparatos: Espectrofotómetro Hach DR/2000, 2 celdas aforadas de 25 ml.
- Procedimiento:
 - Se miden 25 ml de las muestras en cada una de las celdas. A una de ellas se le agregan 2 g de cloruro de bario. La otra celda es el blanco. Se agita y se deja reposar por 5 minutos. Se efectúa la lectura a 450 nm.
 - Expresión de los resultados: se interpreta la lectura del aparato, en mg/l.(28)

- Nitritos:
- Reactivos: Agua destilada, reactivo Ritriver^R constituido por fosfato monobásico de potasio, sulfanilato sódico, piro-sulfato potásico, sal di sódica EDTA.
- Aparatos: Espectrofotómetro Hach DR/2000, y celdas para muestras.
- Procedimiento:
 - Se miden 25 ml de muestra en ambas celdas aforadas, se agrega una bolsita de reactivo Nitriver^R a una de las celdas, se agita hasta una completa disolución. En la otra celda, se coloca el blanco. Se deja reposar por 15

minutos. Se ajusta el cero en el blanco, la lectura se hace a 510 nm. Se introduce el blanco y las muestras en el equipo.

- Expresión de los resultados: La lectura obtenida se multiplica por 3.3, para expresar el contenido de Nitrógeno como nitrito.(28)

- Nitratos:
- Reactivo: Agua destilada, ácido clorhídrico 1 N.
- Aparatos: Espectrofotómetro UV, tubos de Nessler de 50 ml, pipetas volumétricas de 10 ml.
- Procedimiento:
 - Se miden 50 ml de las muestras y del blanco (agua destilada), se agrega a cada uno 1 ml de ácido clorhídrico 1 N. Se hace la lectura a 220 nm.
 - Expresión de los resultados: se obtienen las concentraciones de nitrato en las muestras en base a la curva de calibración correspondiente.(28)
- Magnesio:
- Procedimiento:
 - Para obtener el resultado, se utilizan los datos obtenidos en la prueba de dureza total (mg/l) y de dureza de calcio (en mg/l), despejando la fórmula siguiente: (28)

$$\text{Dureza total (mg CaCO}_3\text{/l)} = 2.497 (\text{Ca mg/l}) + 4.118 (\text{Mg mg/l})$$

iii.Examen bacteriológico - El agua tratada o sin tratar que circula por un sistema de distribución no debe contener ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal. La presencia de gérmenes del grupo coliforme, definido como se indica a continuación, habrá de considerarse como un indicio de contaminación fecal mas o menos reciente. La presencia de *Escherichia coli*, definida como se indica más adelante, debe de considerarse como indicio seguro de contaminación fecal reciente y por tanto peligrosa, que exige la aplicación de medidas urgentes.

El grupo coliforme comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos gramnegativos no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35 – 37 C menos de 48 horas. (4)

A los efectos del análisis sanitario del agua, el coliforme fecal se define como un bacilo gramnegativo no esporulado que fermenta la lactosa con producción de ácido y de gas a 44 °C en menos de 24 horas. (4)

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

- Lo más probable es que los gérmenes patógenos lleguen al agua esporádicamente y no sobreviven en ella durante largo tiempo, por ende, pueden no encontrarse en la muestra enviada al laboratorio.

- Si existen en muy pequeño número es fácil que escapen a las técnicas de investigación. Es sabido que estos microorganismos llegan a los cuerpos de agua a través de las deyecciones intestinales, por lo que el examen que habitualmente se practica al agua consiste en la investigación de ciertas especies bacterianas que se encuentran normalmente en el intestino grueso del hombre y otros animales de sangre caliente. Estas especies de por si no son patógenas, se asocian a menudo con los organismos que si lo son y son un buen índice del grado de seguridad bacteriológica de un cuerpo de agua.

- Se investigará la presencia o ausencia del grupo coliforme total y fecal, por el método de los tubos de fermentación por diluciones múltiples, el cual se expresa por el Número Más Probable en 100cm³ (NMP/100cm³) el cual se basa en leyes probabilísticas. (4)(ver anexo 2)

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

- **Prueba presuntiva** - La prueba presuntiva consiste básicamente en sembrar volúmenes apropiados de las muestras de agua en tubos con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un periodo de incubación de 24-48 horas a 35 C. La ausencia de gas después de 48 horas es prueba de que no existen bacterias Coliformes en la muestra analizada y constituye una prueba negativa. La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado constituye una prueba positiva, pero no necesariamente confirma la presencia de Coliformes, ya que existe la posibilidad que la formación de gas se deba otro tipo de microorganismo que no constituyen índices de contaminación. Por esta razón es necesario analizar la prueba confirmativa. (5)
- **Prueba confirmativa:** - Consiste básicamente en inocular todos los tubos que den un resultado positivo en las pruebas presuntivas, en un medio de cultivo adecuado que depende del grupo coliforme a investigar. Para el grupo coliforme total el medio es caldo lactosado con bilis de buey y verde de brillante, y para el coliforme fecal se utiliza el medio EC (de la casa Merck, específico para determinar E. coli) Las condiciones a las cuales se llevan a cabo estas determinaciones se pueden observar en las características del grupo coliforme descritas anteriormente. Al igual que la prueba presuntiva, la ausencia de gas después del periodo de incubación constituye una prueba negativa y la presencia de gas una prueba positiva con la diferencia de que, al ser positiva la prueba, confirma la presencia del grupo coliforme que se haya investigado. Las muestras no se hacen por duplicado, se hace por cada dilución que se realiza, según la norma COGUANOR. (ver anexo 2) (5)
- **Expresión de los resultados** - Dado que el método de los tubos de fermentación por diluciones múltiples se basa en leyes probabilísticas, los

resultados se expresan por medio de un índice denominado NMP (Número Mas Probable), que representa una evaluación de gérmenes Coliformes existente en 100 ml de agua. (5) (4) ver anexo 2

El cálculo del índice se basa en dos supuestos:

- que los gérmenes estén repartidos al azar en el agua, y
- Que se obtenga una reacción positiva solo si la porción de agua analizada contiene uno o más gérmenes. (4)

Este número se obtiene de las diversas combinaciones de resultados positivos y negativos que se obtienen de la prueba confirmativa del examen bacteriológico realizado por este método.

Para éstos se utilizan los datos de las tablas del NMP de bacterias Coliformes presentes en 100 cm³, (6). (ver anexo 2)

- **Clasificación y presentación de los análisis** - Cuando se han determinado las características de uno o varios cuerpos de agua es muy importante el utilizar diagramas y clasificaciones que dan índices para la interpretación de estas características.

Han sido muchas las clasificaciones propuestas para poder comparar diversos tipos de aguas, o bien para conocer rápidamente por su análisis, pretendiendo ser útiles en aquel campo de investigación para el cual han sido concebidas. (8)-

Las clasificaciones son: Shchukarev, Diagrama de Collins, Diagrama Aritmético, Índice de Langelier. Para el estudio del presente trabajo, no se utilizará ninguna de las clasificaciones antes mencionada, ya que el objetivo principal de estas, es para uso industrial, y este estudio es para consumo humano.

D. Diseño metodológico

1. Procedimiento:

a) Tipo de estudio: Descriptivo

b) Muestra: alicuotas de agua de los nacimientos de los tanques y de la red de distribución del municipio de Palín.

c) Análisis de Resultados

i. Exámenes físico-químico

ii. Media

iii. Mediana

iv. Moda

v. Desviación Estándar

vi. Exámenes bacteriológicos, NMP/100cm³.

VIII. RESULTADOS

El cuadro No. 1 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

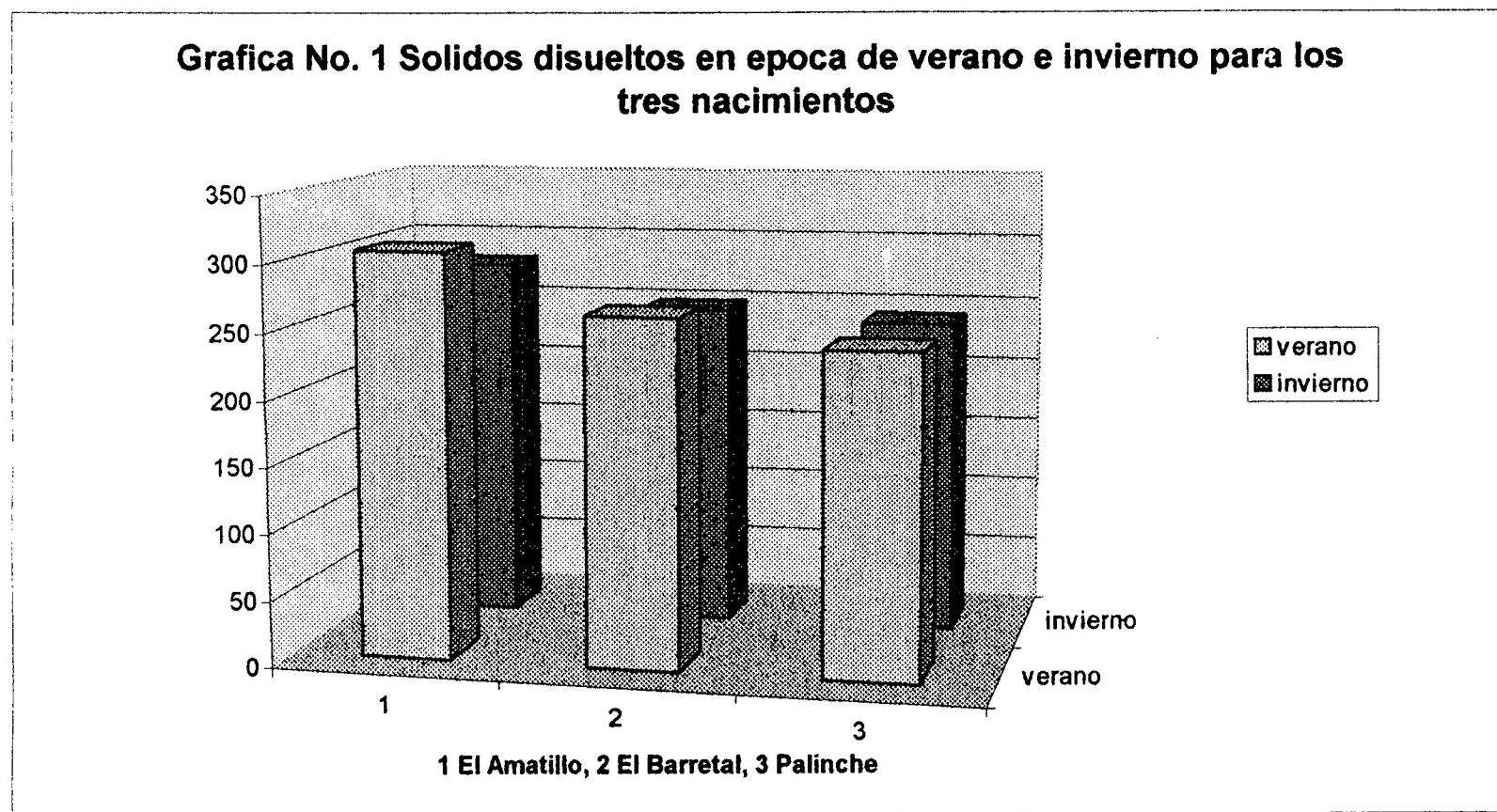
CUADRO No. 1

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Físico, para los tres nacimientos muestreados en época de Verano e invierno

Parámetro	NORMA COGUANOR	NACIMIENTOS											
		EL AMATILLO				EL BARRETAL				PALINCHE			
		VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO	
LMP	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	
Aspecto	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
olor	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
color	35.0 u	4	0.0	6	1.3	4.2	0.8	6.3	1.5	4.0	0.8	6.3	1.5
turbiedad	15 Utn	0.315	0.0	0.37	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0
pH	6.5-8.5	6.75	0.3	6.88	2.9	6.6	0.5	7.4	0.7	6.6	0.5	7.4	0.7
Temperatura	no mayor de 34 °C	21.75	0.6	22.2	11.0	20.5	0.6	22.0	0.9	20.5	0.6	22.0	0.9
sólidos disueltos	1000	306.75	65.4	280	144.6	263.0	20.6	248.2	38.9	243.5	38.8	241.2	39.3
conductividad eléctrica	1500	594	137.3	567	212.8	575.0	139.0	472.3	2.3	575.0	139.0	472.3	2.3

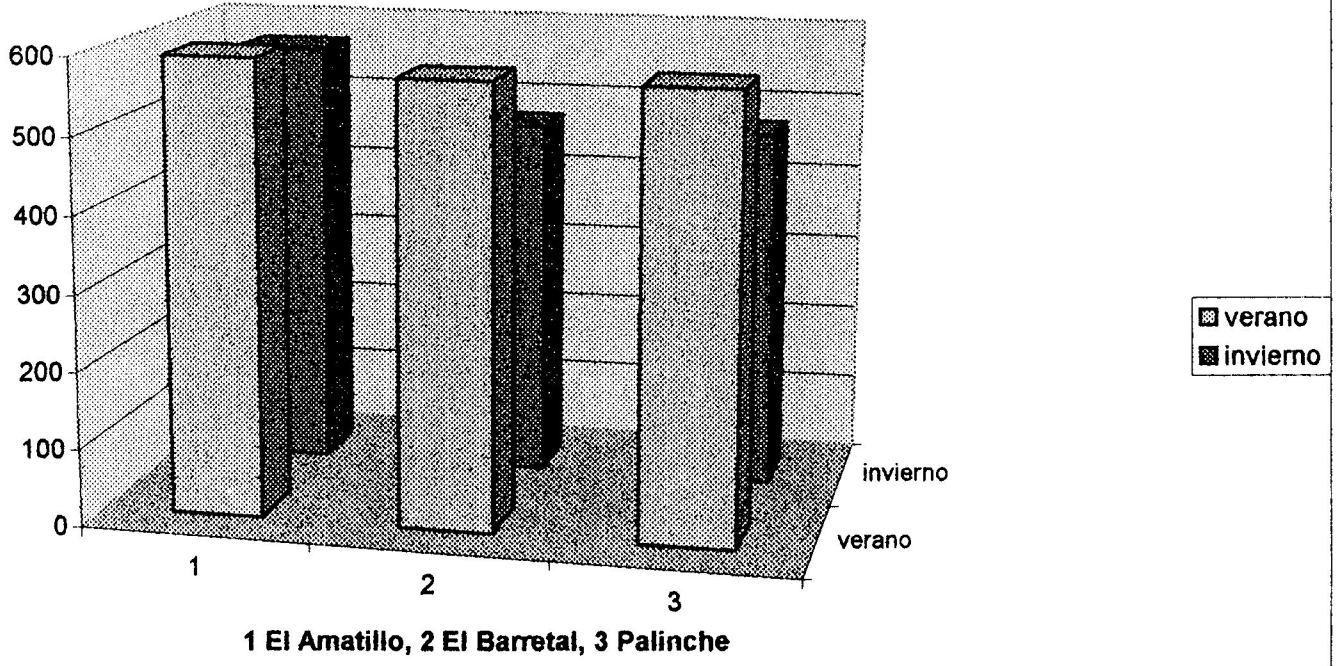
NOMENCLATURA LMP = Limite máximo permisible NR = No Rechazable DesvEst = Desviación Estándar

La Grafica No. 1 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (sólidos disueltos) para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno



La Grafica No.2 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (conductividad eléctrica) para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafico No.2 Conductividad electrica en epoca de verano e invierno para los tres nacimientos de Palín,Escuintla



El cuadro No. 2 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico para los tanques muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

CUADRO No. 2

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Físico, para los dos Tanques muestreados en época de Verano e invierno

		TANQUES							
		TANQUE 1 LAS VICTORIAS				TANQUE 2 SAN MARTIN			
Parámetro	NORMA COGUANOR	VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO	
	LMP	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst
Aspecto	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
olor	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
color	35.0 u	4.0	0.8	6.3	1.5	4.8	0.5	6.3	1.5
turbiedad	15 Utn	0.3	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.4	0.1
pH	6.5-8.5	6.6	0.5	7.4	0.7	6.6	0.5	7.4	0.7
Temperatura	no mayor de 34 C	21.5	0.6	22.0	0.9	21.5	0.6	22.0	0.9
sólidos disueltos	1000	276.8	40.3	205.8	8.8	243.3	8.4	292.7	66.1
conductividad eléctrica	1500	514.3	10.4	482.5	14.9	415.8	13.0	467.8	49.6

NOMENCLATURA

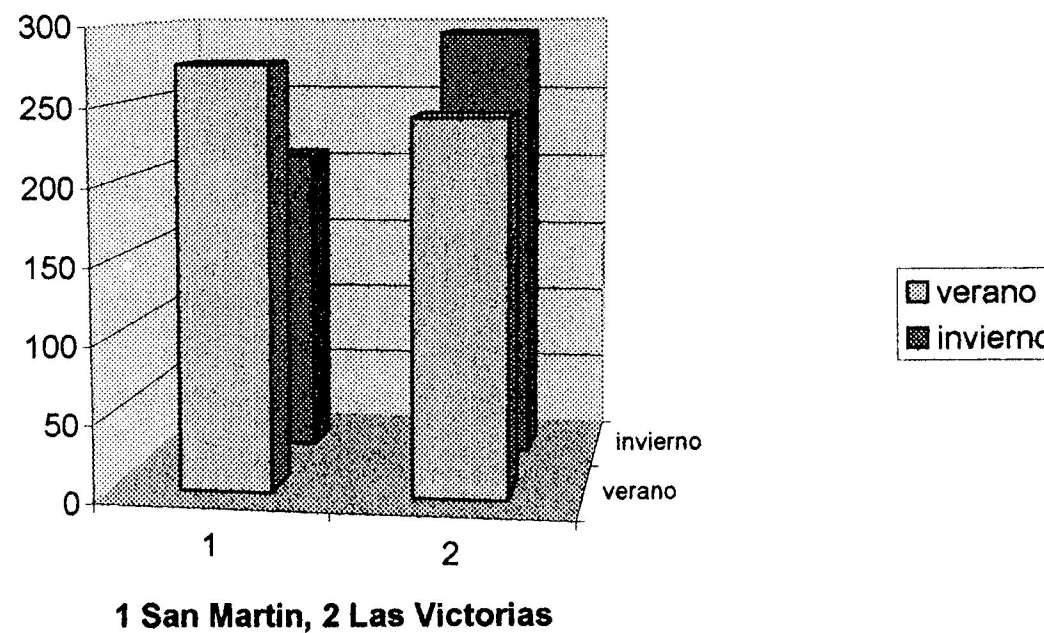
LMP = Limite máximo permisible

NR = No Rechazable

DesvEst = Desviación Estándar

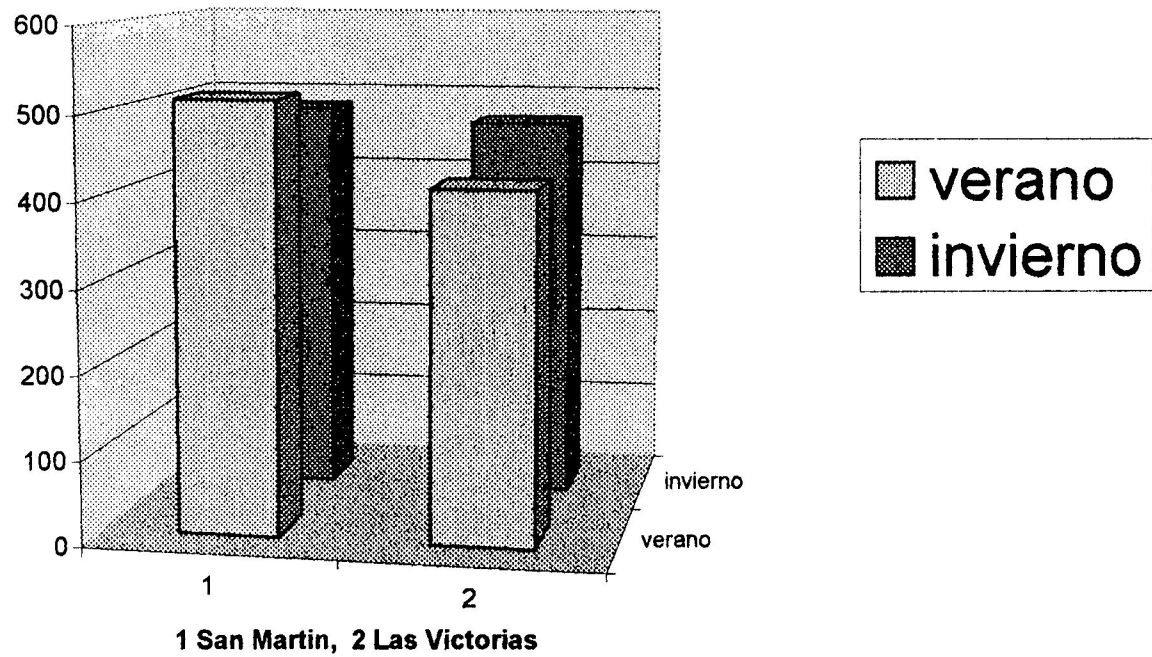
La Grafica No.3 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (sólidos disueltos) para los tanques muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafica No. 3 Solidos disueltos en epoca verano e invierno en los tanques de Palín, Escuintla



La Grafica No.4 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (conductividad eléctrica) para los tanques muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafico No. 4 Conductividad electrica en epoca de verano e invierno para los tanques de Palin, Escuintla



El cuadro No. 3 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

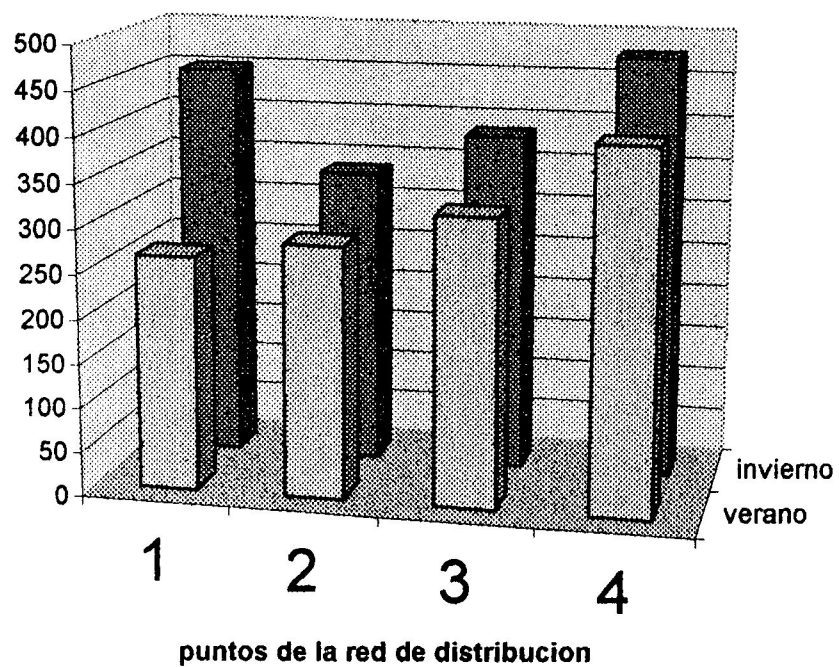
CUADRO No. 3

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Físico, para los puntos de la red de distribución muestreados en época de Verano e invierno

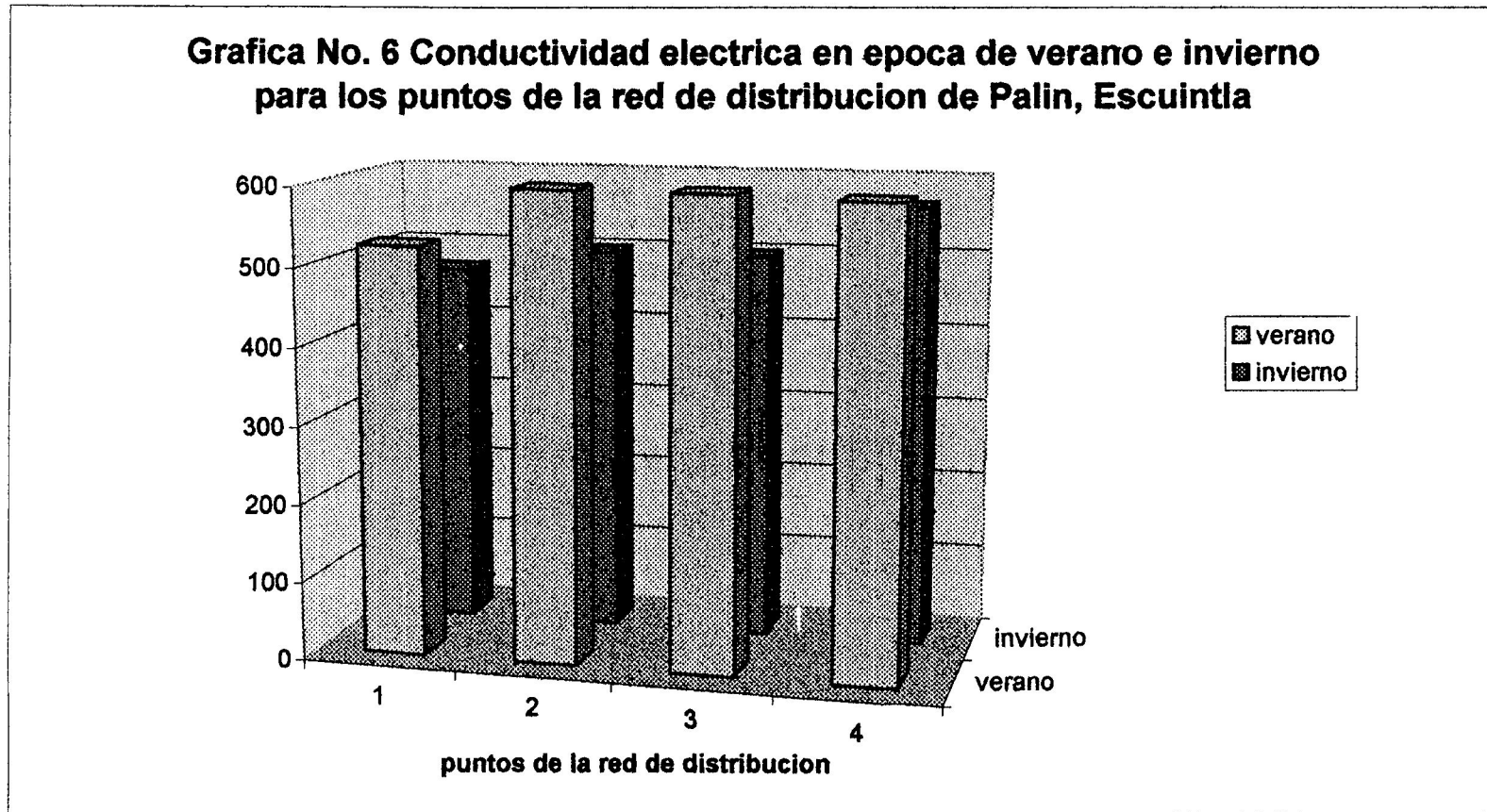
Parámetro	NORMA COGUANOR	PUNTO No. 1				PUNTO No. 2				PUNTO No. 3				PUNTO No. 4			
		VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO		VERANO		INVIERNO	
		LMP	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio	DesvEst	Promedio
Aspecto	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
olor	no rechazable	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
color	35.0 u	4.8	0.5	6.3	1.5	4.5	0.6	6.5	1.6	5.0	0.8	6.7	1.86	5.5	0.6	7	1.7
turbiedad	15 Utn	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4	0.08	0.45	0	0.41	0.1
pH	6.5-8.5	6.6	0.5	7.4	2.9	6.8	0.5	6.9	0.7	6.8	0.5	6.9	0.73	6.75	0.5	6.933	0.1
Temperatura	no mayor de 34 C	21.5	0.6	22.0	0.9	21.5	0.6	22.0	0.9	21.8	0.5	22.3	0.82	21.75	0.5	22.33	0.8
sólidos disueltos	1000	265.3	23.3	450.2	96.3	285.0	21.7	335.2	20.4	324.3	18.5	384.7	36.9	406.5	58	477.5	21
conductividad eléctrica	1500	524.0	13.4	470.5	51.2	599.0	2.6	499.2	55.8	599.0	2.6	499.2	55.8	594	8	567.2	50

La Grafica No.5 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (sólidos disueltos) para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafica No. 5 Sólidos disueltos en época de verano e invierno para los puntos de la red de distribución de Palín, Escuintla

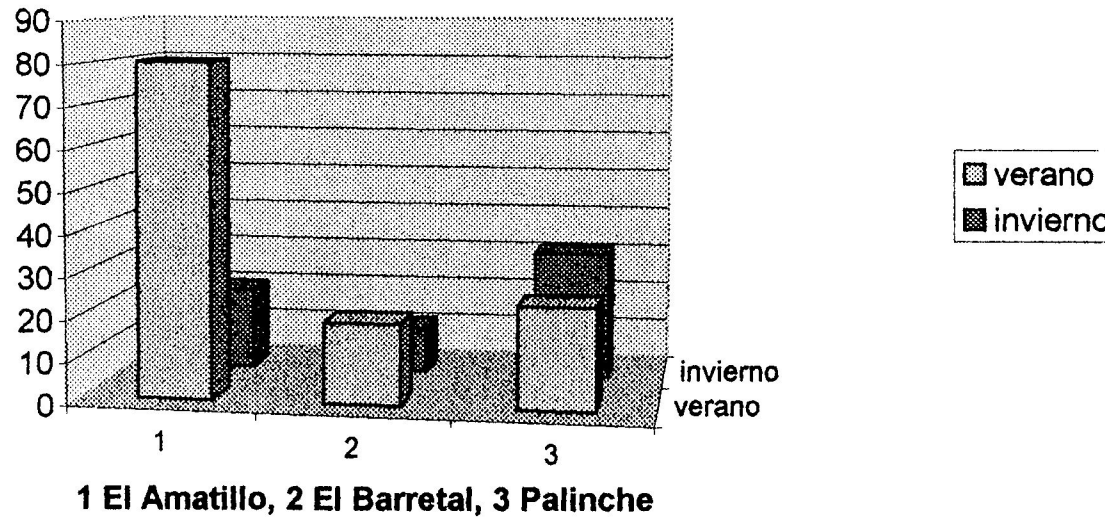


La Grafica No.6 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico (conductividad eléctrica) para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

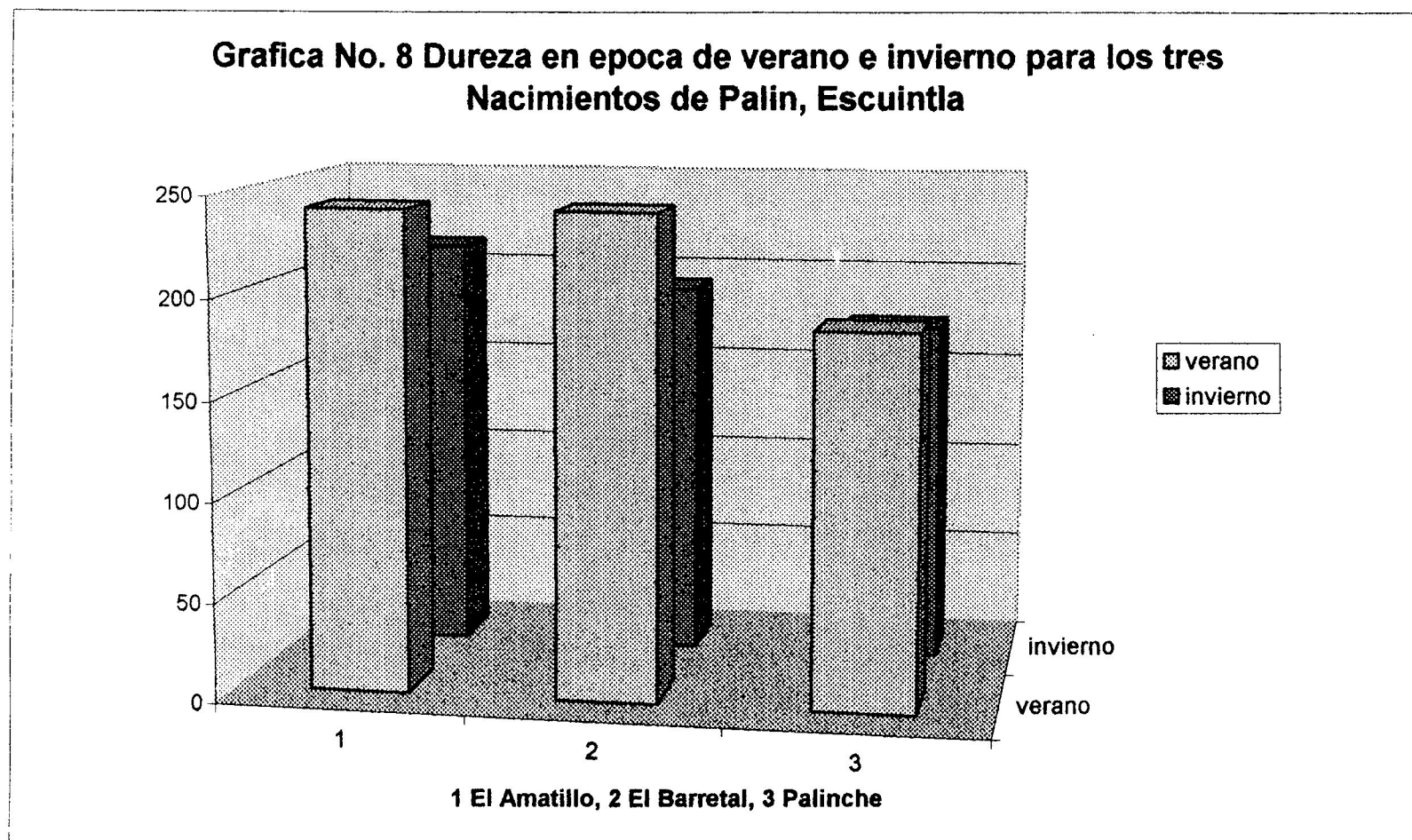


La Grafica No.7 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (cloruros) para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

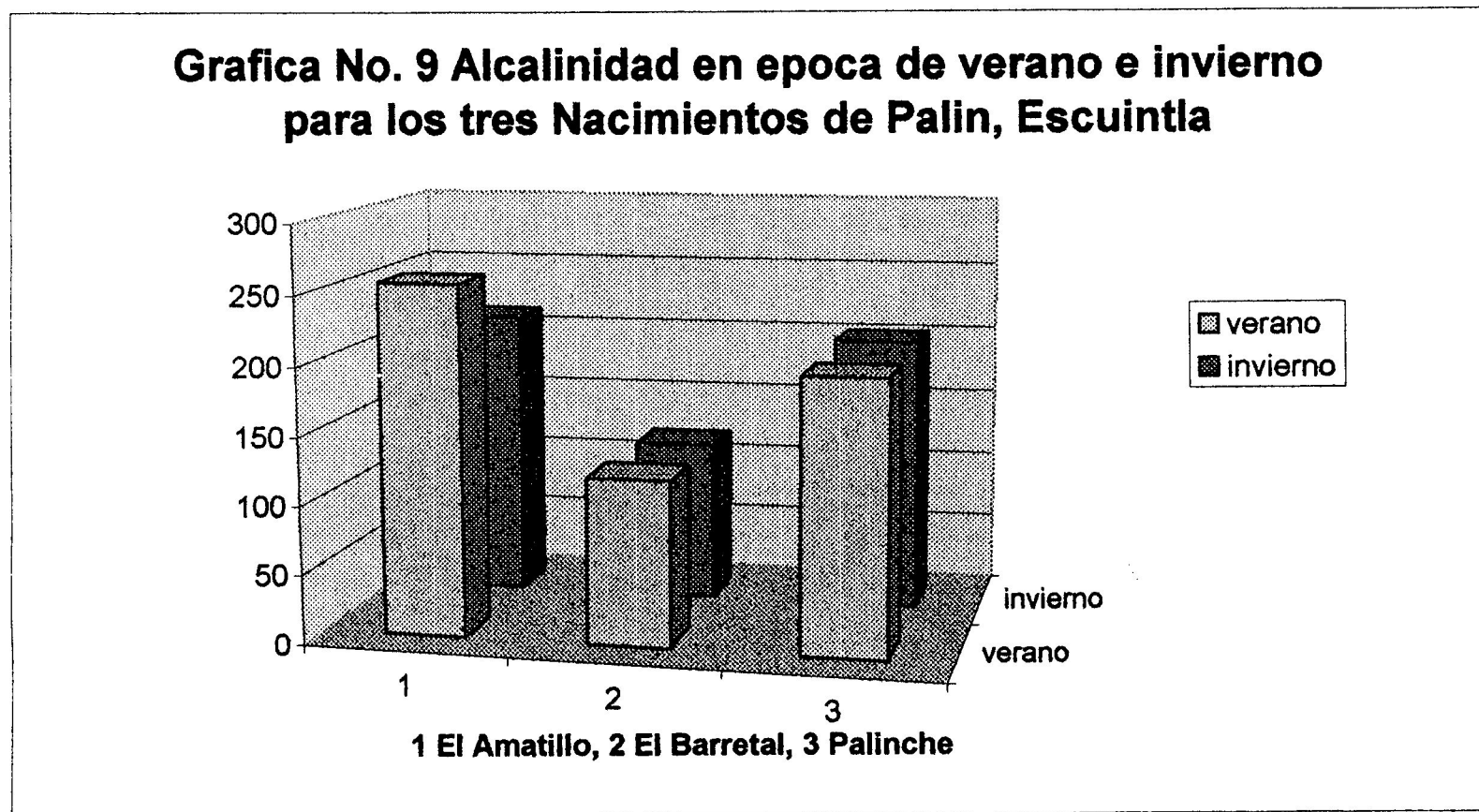
Grafica No. 7 Cloruros en época de verano e invierno para los tres nacimientos de Palín, Escuintla



La Grafica No.8 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (dureza) para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

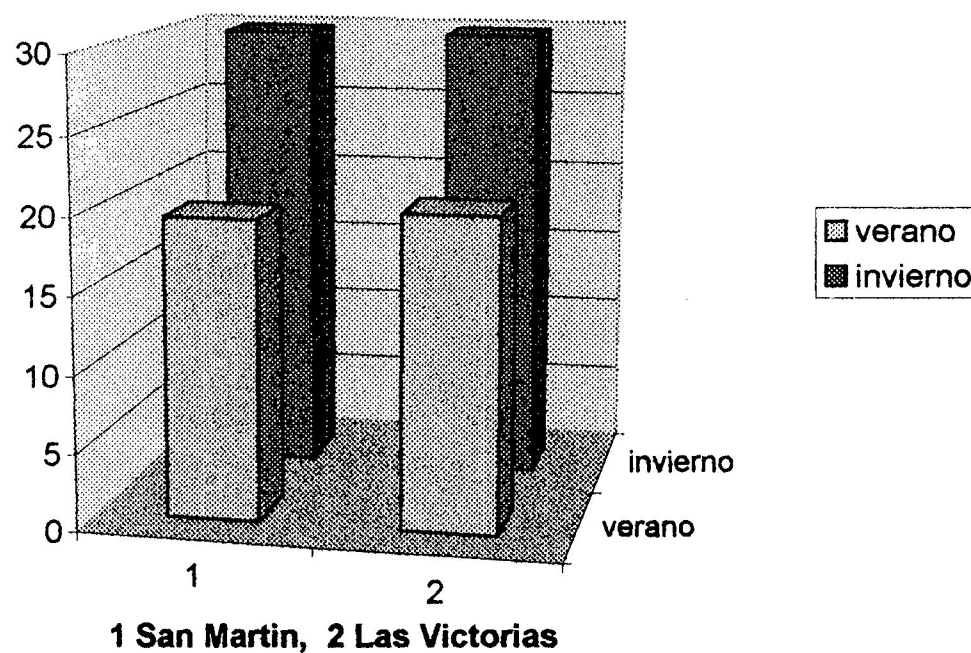


La Grafica No.9 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (alcalinidad) para los tres nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno



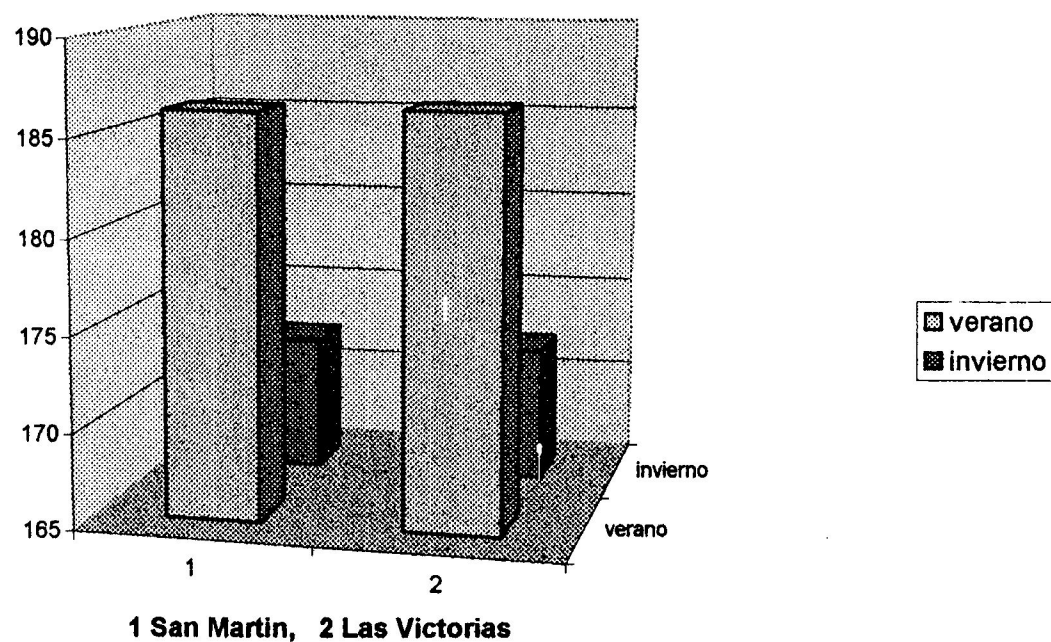
La Grafica No.10 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (cloruros) para los tanques muestreadados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafica No. 10 Cloruros en época de verano e invierno en tanques de Palín, Escuintla



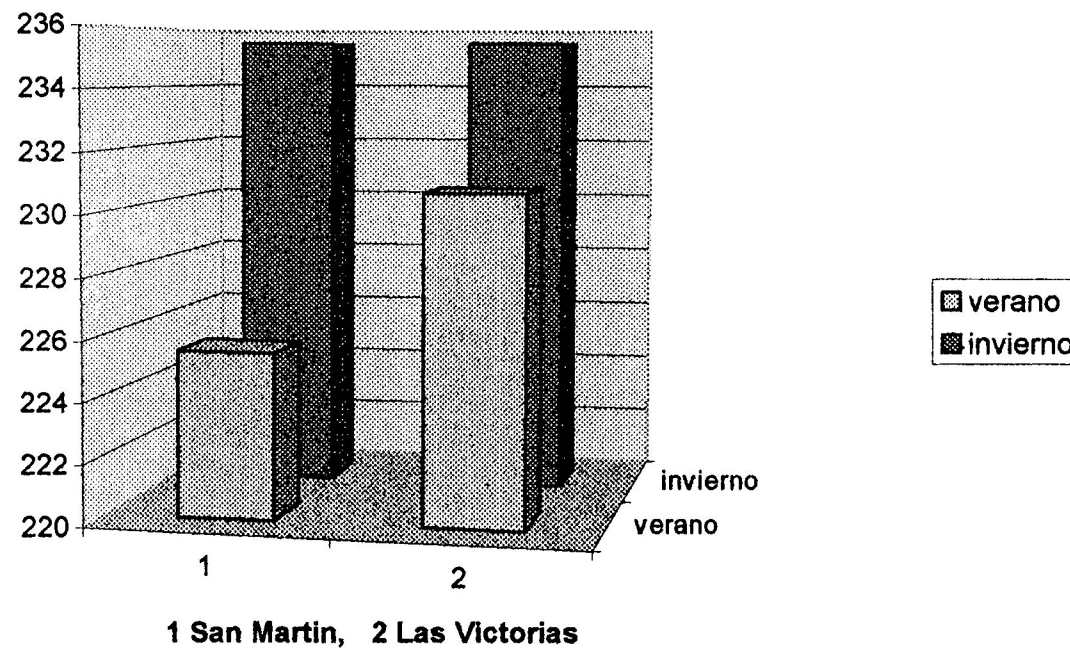
La Grafica No.11 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (dureza) para los tanques muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafico No. 11 Dureza en época de verano e invierno en tanques de Palín, Escuintla



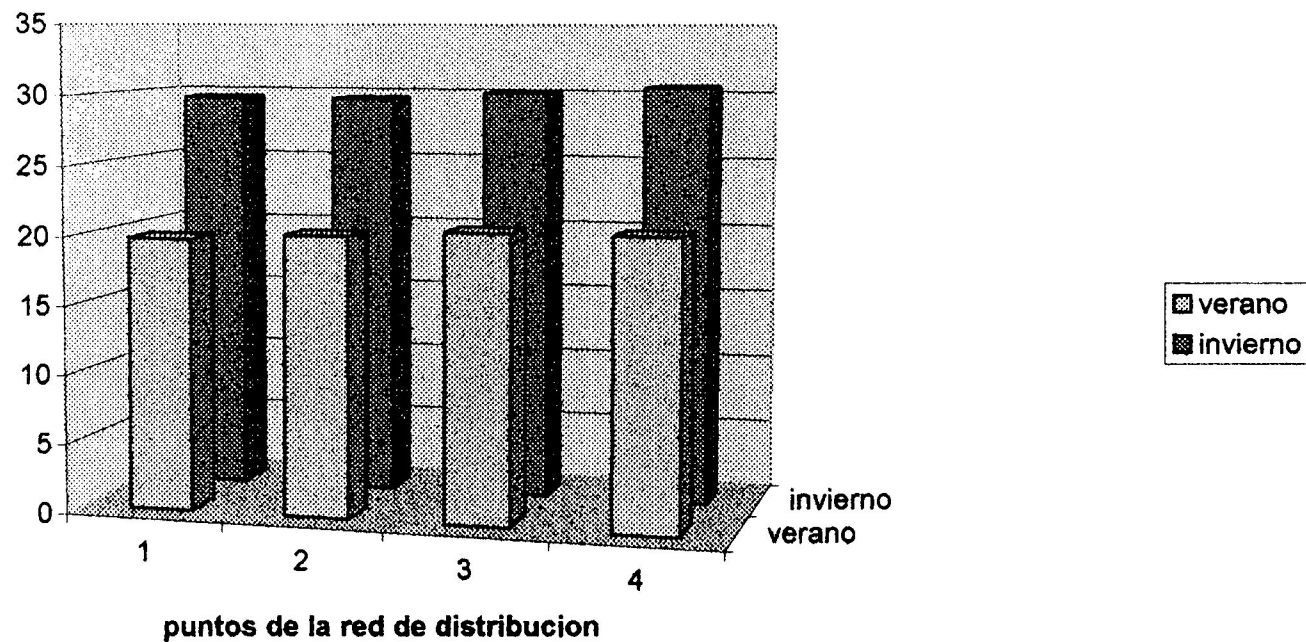
La Grafica No.12 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (alcalinidad) para los tanques muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafico No. 12 Alcalinidad en época de verano e invierno para los Tanques de Palín, Escuintla

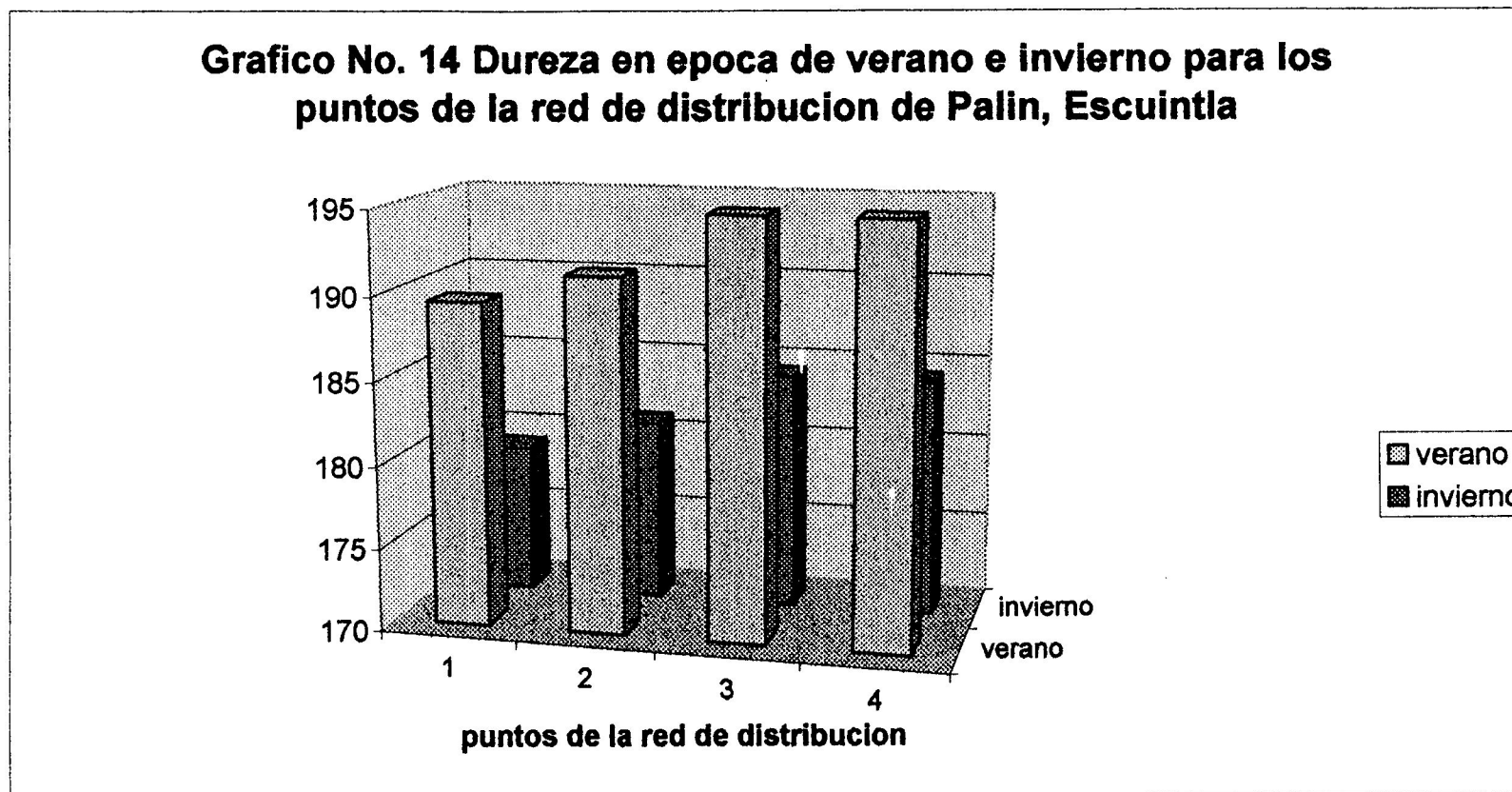


La Grafica No.13 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (cloruros) para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

Grafica No. 13 Cloruros para los puntos de la red de distribución de Palín, Escuintla

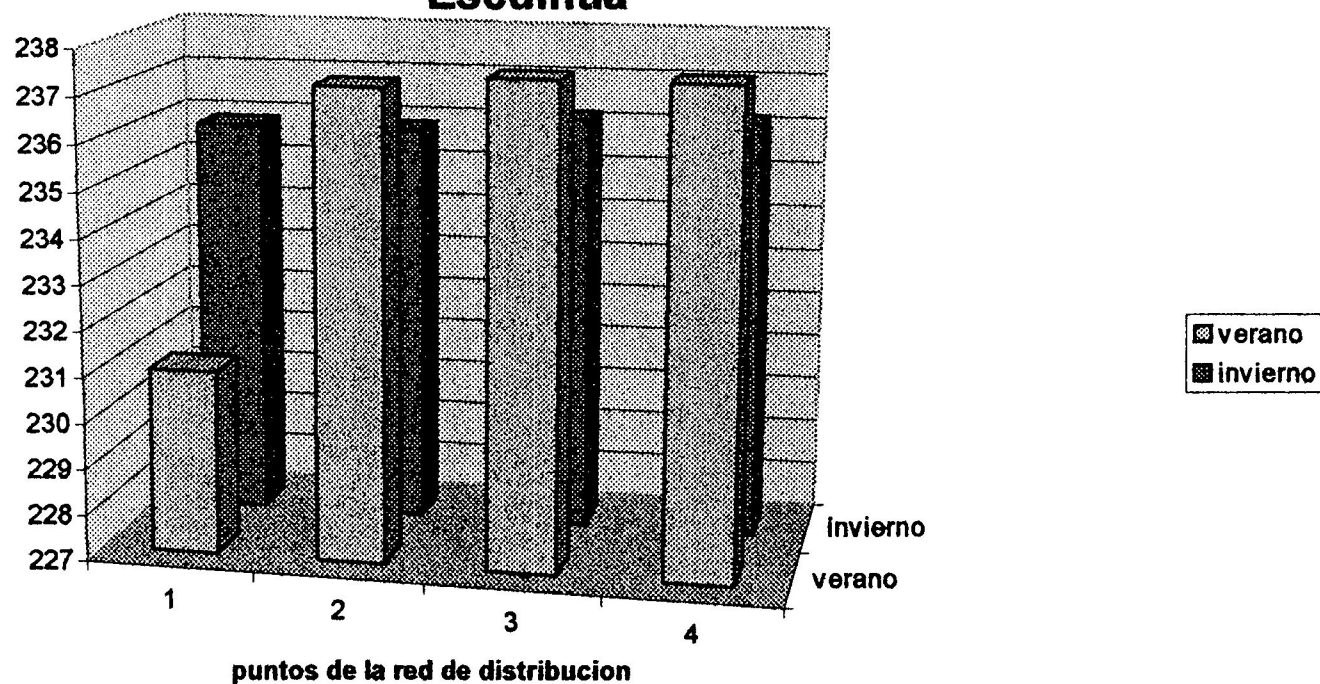


La Grafica No.14 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (dureza) para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno



La Grafica No.15 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico (alcalinidad) para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

**Grafico No. 15 Alcalinidad en epoca de verano e invierno
para los puntos de la red de distribucion de Palin,
Escuintla**



El cuadro No. 7 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los Nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

CUADRO No. 7

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Microbiológico, para los tres nacimientos muestreados en época de verano e invierno

		NACIMIENTOS						
		EL AMATILLO		EL BARRETAL		PALINCHE		
		VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	
Parámetro	NORMA COGUANOR	OBSERVACION	promedio	Promedio	promedio	promedio	promedio	
Total NPM 35 C	< 2	NO POTABLE	25	24	18	25	17	1109
fecal NPM 44.5 C	< 2	NO POTABLE	7	14	7	23	5	288

El cuadro No. 8 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los Nacimientos muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

CUADRO No. 8

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Microbiológicos, para los tanques muestreados en época de verano e invierno

Parámetro	NORMA COGUANOR	OBSERVACION	TANQUES			
			SAN MARTIN		LAS VICTORIAS	
			VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
			promedio	Promedio	promedio	promedio
Total NPM 35 C	< 2	NO POTABLE	19	86	19	843
fecal NPM 44.5 C	< 2	NO POTABLE	10	17	9	13

El cuadro No. 9 Presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis Microbiológico para los puntos de la red de distribución muestreados, en el municipio de Palín, Escuintla en la época de verano e invierno

CUADRO No. 9

Comparación de los Valores Estadísticos en relación al análisis Microbiológico, para los puntos de la red de distribución muestreados en época de verano e invierno

			RED DE DISTRIBUCION							
			Punto No. 1		Punto No. 2		Punto No. 3		Punto No. 4	
			VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
Parametro	NORMA COGUANOR	OBSERVACION	promedio	Promedio	promedio	promedio	promedio	promedio	promedio	promedio
Total NPM 35 C	< 2	NO POTABLE	15	88	15	52	19	88	19	96
fecal NPM 44.5 C	< 2	NO POTABLE	7	13	7	12	8	10	8	9

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los nacimientos se encuentran distantes uno del otro, pero sus aguas las derivan a tanques de abastecimiento comunes como es el caso de los Nacimientos El Amatillo y El Barretal. En tal sentido a cada uno se les hizo el análisis en el nacimiento respectivo y los análisis siguientes: en los tanques de distribución y los grifos se tomaron las muestras para analizar la mezcla de agua de ambos nacimientos. (ver anexo no.1 figura de los nacimientos).

El agua de estos nacimientos es distribuida actualmente a la población de Palín. Los resultados obtenidos de los análisis del agua en esta fuente son comparados con la Norma COGUANOR NGO 29001, esta norma presenta los valores de las características del agua, al limite máximo permisible (LMP) que debe de presentar el agua al ser utilizada para consumo humano.

PARÁMETRO FISICO

Al observar los cuadros No.1, No. 2 No. 3 Referente a los Nacimientos, Tanques de Distribución y red de distribución, paginas (110, 113, 116) respectivamente, los resultados se encuentran dentro de los limites Máximas Permisibles, de la Norma COGUANOR NGO 20001. En las épocas de verano e invierno los únicos parámetros que variaron en los valores promedio de su concentración fueron el Color, la Turbiedad, Ph, los Sólidos Disueltos y la Conductividad Eléctrica, lo que fue producto del arrastre de los sólidos por las precipitaciones pluviales que en esa región de Palín, Escuintla son bastantes significativas.

NACIMIENTOS

En la grafica No. 1 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis fisico referente a sólidos disueltos para los tres nacimientos muestreados en época de verano e invierno, donde El Amatillo presenta una variación mas alta en su concentración en comparación a los nacimientos de El Barretal yI Palinche en época de verano. (Ver Pagina 111).

En la grafica No. 2 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis fisico referente a conductividad eléctrica para los tres nacimientos muestreados en época de verano e invierno, donde los tres no presentan diferencia. (Ver pagina 112)

TANQUES

En la grafica No. 3 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico referente a sólidos disueltos donde se observa que en el tanque las Victorias se encuentra alto este parámetro en la época de invierno. (Ver pagina 114)

En la grafica No. 4 presenta la comparación de los valores estadístico en relación al análisis físico referente a la conductividad eléctrica donde no se observa variación relevante. (Ver pagina 115).

RED DE DISTRIBUCION

En la grafica N. 5 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico referente a sólidos disueltos para los puntos de la red de distribución de Palin en la época de verano e invierno donde en el punto NO. 4 se observa un incrementó en la época de verano e invierno. (Ver pagina 117)

En la grafica No. 6 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis físico referente a conductividad eléctrica para los puntos de la red de distribución en la época de verano e invierno donde el punto No. 2,3, 4 se encuentran elevados en época de verano y el punto 4 presenta una conductividad alta también en época de invierno en comparación con los demás puntos de la red muestreados. (Ver pagina 118)

PARÁMETRO QUÍMICO

Los Resultados promedio de los parámetros Químicos se encuentran en los cuadros No. 4, 5, 6 paginas (119, 123, 127) respectivamente, en donde se pudo observar que los valores cumplen con los Limites Máximos Permisible de la Norma COGUANOR NGO 29001.

En las Épocas de verano e invierno los parámetros que presentaron pequeñas variaciones fueron la Dureza total, los cloruros presentando mayores valores en la época de verano, productote la disminución de los valores del caudal.

NACIMIENTOS

La grafica No. 7 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a cloruros para los tres nacimientos muestreados en el municipio de

Palín en la época de verano e invierno, se observa que el nacimiento El Amatillo presenta un índice alto de cloruros en época de verano (Ver pagina 120)

La Grafica No. 8 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Dureza para los tres nacimientos muestreados en el municipio de Palín en la época de verano e invierno, se observa que los nacimientos El amatillo y El Barretal presentan un índice alto de dureza en época de verano. (Ver pagina 121)

La grafica No. 9 presenta la comparación de los valores estadísticos en relaciona la análisis químico referente a alcalinidad para los tres nacimientos muestreados en el municipio de Palín en la época de verano e invierno, se observa que el Nacimiento el Amatillo presenta un índice alto de alcalinidad. (Ver pagina 122)

TANQUES

La grafica No. 10 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Cloruros para los tanques en época de verano e invierno se observa incrementado en época de invierno para los dos tanques. (ver pagina 124)

La grafica No. 11 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Dureza para los tanques en época de verano e invierno, se observa este parámetro alto en época de verano para los dos tanques. (ver pagina 125)

La grafica No. 12 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Alcalinidad para los tanques en época de verano e invierno, se observa un incremento en época de invierno para los dos tanques. (ver pagina 126)

RED DE DISTRIBUCION

La grafica No. 13 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Cloruros para los puntos de la red de distribución en época de verano e invierno, donde se observa un incremento en la época de invierno para los cuatro puntos muestreados. (Ver pagina 128)

La grafica No. 14 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Dureza para los puntos de la red de distribución, en época de

verano e invierno, se observa unos incrementos en el Punto No. 3 y 4 en época de verano. (ver pagina 129)

La grafica No. 15 presenta la comparación de los valores estadísticos en relación al análisis químico referente a Alcalinidad para los puntos de la red en época de verano e invierno, se observa, en el Punto No. 1 que se redujo en época de verano, y en los demás puntos no hubo variación. (ver pagina 130)

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos que se encuentran en los cuadros No. 7, No. 8, No. 9 paginas (131, 132, 133) respectivamente, no cumplen con los Límites Máximos Permisibles, de la Norma COGUANOR NGO 29001, por lo que dicha agua no es apta para consumo humano.

La concentración de las bacterias se incremento en la época de invierno debido principalmente a que hay arrastre de sólidos hacia el nacimiento y por consiguiente hay un incremento en las bacterias debido a que tanto las personas como los animales en determinados puntos de los nacimientos descargan sus heces fecales en el suelo.

También se puede observar que la concentración de las bacterias disminuye de los nacimientos a los tanques de distribución producto de la aireación del agua y la degradación de la materia orgánica en las líneas de conducción y de igual manera en el momento que permanece almacenada en los tanques de distribución hay remoción de bacterias por la sedimentación de las partículas por lo que en la red de distribución hay menor concentración de bacterias, aunque siempre es necesario darle un proceso de desinfección al agua, a efecto de remover las bacterias existentes.

X. CONCLUSIONES

A. Se concluye que el agua distribuida en el municipio de Palín y que proviene de tres nacimientos diferentes El Amatillo, El Barretal, y Palinche, Tanques (1 San Martín, 2 Las Victorias), y la red de distribución (grifos No.1,2,3,4), cumplen con los parámetros físicos y químicos establecidos en la norma COGUANOR 29001 para el consumo humano.

B. Debido a la presencia del grupo coliforme total y fecal, el agua distribuida a los domicilios del Municipio de Palín no es apta para el consumo humano y pone en riesgo la salud de sus habitantes.

C. Se pudo identificar que hay mas enfermedades diarreicas en la época de invierno, encontraste con la época de verano, por lo que se concluye que las lluvias aumentan la contaminación fecal en el agua distribuida en los hogares de la población de Palín.

XI. RECOMENDACIONES

A. Los Análisis bacteriológicos realizados al agua que es suministrada por la municipalidad de Palín, Escuintla, muestran que no es bacteriológicamente potable, por lo que se recomienda se implemente un sistema de desinfección en la red de distribución para no poner en riesgo la salud del consumidor. Por lo que se debe clorar el agua, y realizar pruebas en el agua, con el objeto de mantener la concentración de cloro residual de acuerdo con las normas establecidas en Guatemala para el agua potable

B. Para asegurar la calidad sanitaria del agua distribuida, se recomienda que se instituya un programa de control y monitoreo por parte de la Municipalidad de Palín periódicamente.

C. Realizar un tratamiento de desinfección simple de emergencia de los tanques de captación utilizando hipoclorito de sodio al 5.5% de cloro activo, como medida inmediata a corto plazo, para evitar el riesgo de enfermedades diarreicas.

D. Que la Municipalidad de Palín y el Centro de Salud establezcan un programa de divulgación preventivo de tratamiento del agua para consumo humano, promoviendo la cloración o, el hervirla para evitar enfermedades diarreicas en la población más susceptible.

XII. BIBLIOGRAFIA

1. Abreu, A. T. **Notas del curso de Microbiología Sanitaria**, Guatemala: Universidad de San Carlos (ERIS. Facultad de Ingeniería) 1991.
2. American Water Works Association. **Agua, su calidad y tratamiento**. Trad. Jack M. Verrey. México: Edit. Uteha. 1968.
3. Apha-Awwa-Wpcf. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**. 19th. Edition. U.S.A. : American Public Health Association. 1995.
4. A.S.T.M. **Manual de aguas para uso Industriales**. Corona H, trad. México: Editorial Limusa. 3ra. Edición. 1976.
5. Barillas Rodas, EA. **Evaluación de la calidad de los abastecimientos de agua potable de la cabecera Departamental de Escuintla para definir sus usos benéficos**. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1983.
6. Barrera Rodríguez, RF. **Determinación y comparación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, para evaluar la calidad del agua de la planta potabilizadora de Jalapa para consumo humano y usos industriales**. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1990.
7. Berganza de Vanegas, N. **Análisis Físico, Químico y examen bacteriológico del agua para consumo humano de la población del Amatillo, Ipala, del Departamento de Chiquimula**. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de CC.QQ y Farmacia) 1982. 15-20p

8. Bravatti Castro, E JA. **Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad de San Pedro Carcha, Departamento de Alta Verapaz Guatemala:** Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1982.
9. Catalán La Fuente, JG. **Química del agua.** Madrid, España: Edit. Blume, 1969.
10. Cerdón Orellana, VE. **Determinación de la Dureza Total y del Índice de Langelier del Agua para uso Industrial de los Pozos de la Empresa Municipal de Agua Ubicados en la Ciudad de Guatemala.** Guatemala: (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1996. 30p.
11. Espinoza Morales, MDS. **Evaluación de la Calidad del Agua del Río la Brigada Tomando en cuenta el crecimiento poblacional en la Cuenca.** Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación Post-grado, Facultad de Ingeniería) 2002. 101p.
12. Flores Auca, CD. **Evaluación de la calidad del agua de lluvia e infraestructura de cisternas rurales, para diferentes usos.** Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación de Post-grado, Facultad de Ingeniería) 1996. 39p
13. Gómez Escobar, C. **Evaluación de la Calidad del Agua para Consumo Humano de la Colonia Primero de Julio y la Aplicación de Un Proceso de Desinfección.** Guatemala (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1993. 51p
14. ICAITI. **Mejoramiento de la eficiencia de operación calderas de vapor.** Edición Preliminar. Guatemala: 1981.
15. IDESAC. **El Agua Potable en la Ciudad de Guatemala, MEMORIA I Encuentro Metropolitano "El agua y la ciudad"** Guatemala, 1992. 86p

16. INSIVUMEH. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. **Calidad del Agua de los Ríos de la Cuenca del Río María Linda y otras Cuencas, Periodo de Febrero 2001 a Septiembre 2001.** Boletín No.4: Laboratorio de Hidroquímica, Guatemala 2001. 162p
17. Lee Almengor, JL. **Calidad del agua para consumo humano que suministra la empresa Municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA): Determinaciones, Análisis e Indices de Calidad.** Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1999. 90p
18. López, AL. **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.** Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2000. 42p
19. Manual de Operaciones de Plantas de Tratamiento de Agua. Curso: **Operación de Plantas de Tratamiento de Agua COMSIP ENGHENARIA S-A.** Reproducción: UCAP- EMPAGUA. Guatemala 1991.
20. Manual de Tratamiento del Agua Para Ingenieros Curso: **Operación de Plantas de Tratamiento de Agua.** COMSIP ENGHENARIA S-A. Reproducción UCAP- Empagua, Guatemala 1991.
21. Manual Del Curso Corto **“Desinfeccion de Agua en Acueductos”**, (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería USAC), Guatemala, 1988.
22. Manual de **Tratamiento de Aguas** (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany). México: Editorial Limusa. 1965.

23. Méndez González, LE. **Control de Calidad del Agua Potable para Consumo Humano de la ciudad de San Pedro Sacatepequez, Departamento de San Marcos.** Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de CC.QQ y Farmacia). 1984. 65p.
24. Midencey Rosales, R. Necesidad del control de la Contaminación de las aguas en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería)1968. 102p
25. Norma Guatemalteca Obligatoria, **COGUANOR NGO 29001 especificaciones para agua potable.** Unidad de capacitación. Empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala.
26. Organización mundial de la Salud -O.M.S.-O.P.S. **Normas para agua potable.** Ginebra, Suiza: 1964.
27. Organización mundial de la salud -O.M.S. **Guías para la Calidad del Agua Potable.** 2da edición. Ginebra: 1995. 195p
28. Ordóñez Comparini, MR.**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.** Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1992 125p
29. Pelczar, Michael, I et.al. **Microbiología.** Trad. Dr. Antonio Capella y Dr. Jorge Tay. 2da edición en español. México: Edit. McGraw-hill. 1982.
30. Powell, S. **Acondicionamiento de aguas para la industria.** Salvador Ayanegui. Trad. México: Limusa. 1966.

31. Ramírez Salazar, AM. **Proyecto de Implementacion del Programa de Vigilancia de la Calidad de Agua Potable en la República de Guatemala.** Guatemala: Universidad de San Carlos(Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1983. 121p
32. Russell, Lane. **Control de incrustaciones y corrosión en instalaciones hidráulicas de edificios** (México: Editorial McGraW-Hill) 1995. 11-41p.
33. Severns, W.H. et.al. **La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases.** 1ra. Edición en español. España: Edit. Reverte. 1975.
34. Unda Opazo, F. **Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública.** México: Edit. UTEHA. 1969.

ANEXO

REPUBLICA DE GUATEMALA



ESCUINTLA



DATOS GENERALES DEL MUNICIPIO DE PALIN

COORDENADAS GEOGRAFICAS
 LATITUD _____ 14° 20' 30" NORTE
 LONGITUD _____ 90° 20' 20" OESTE
 ELEV. SOBRE EL NIVEL DEL MAR _____ 1148 MMSM
 EXTENSION APROXIMADA _____ 88 Km²
 DISTANCIA DE LA CIUDAD CAPITAL _____ 40 Km
 DISTANCIA DE LA CABECERA DEPART. _____ 14 Km
 CLIMA _____ CALIDO, HUMEDO, BOCA COSTA

SIMBOLOGIA	
—	LIMITE DEPARTAMENTAL
—	LIMITE INTERNACIONAL
—	VIAS DE COMUNICACION PRINC.
●	CABECERA DEPARTAMENTAL
⊙	CAPITAL DE LA REPUBLICA
▨	DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA
▧	MUNICIPIO DE PALIN

COLONIA SAN MARTIN

TANQUE SAN MARTIN

TANQUE LAS VICTORIAS

TANQUE SAN ANTONIO

CEMENTERIO

COLONIA LAS VICTORIAS

RASTRO A GUATEMALA

ESCUELA

GASOLINERA

† † † † †
† † † † †
† † † † †
† † † † †

A ESCUINTLA

POLICIA
MONT

MERCADO

IGLESIA

SALON

NACIMIENTOS:
EL BARRETAL Y EL AMATILLO
TANQUE 1
TANQUE 2
PUNTO 1
PUNTO 2
PUNTO 4

LOTIFICACION
CASA BLANCA

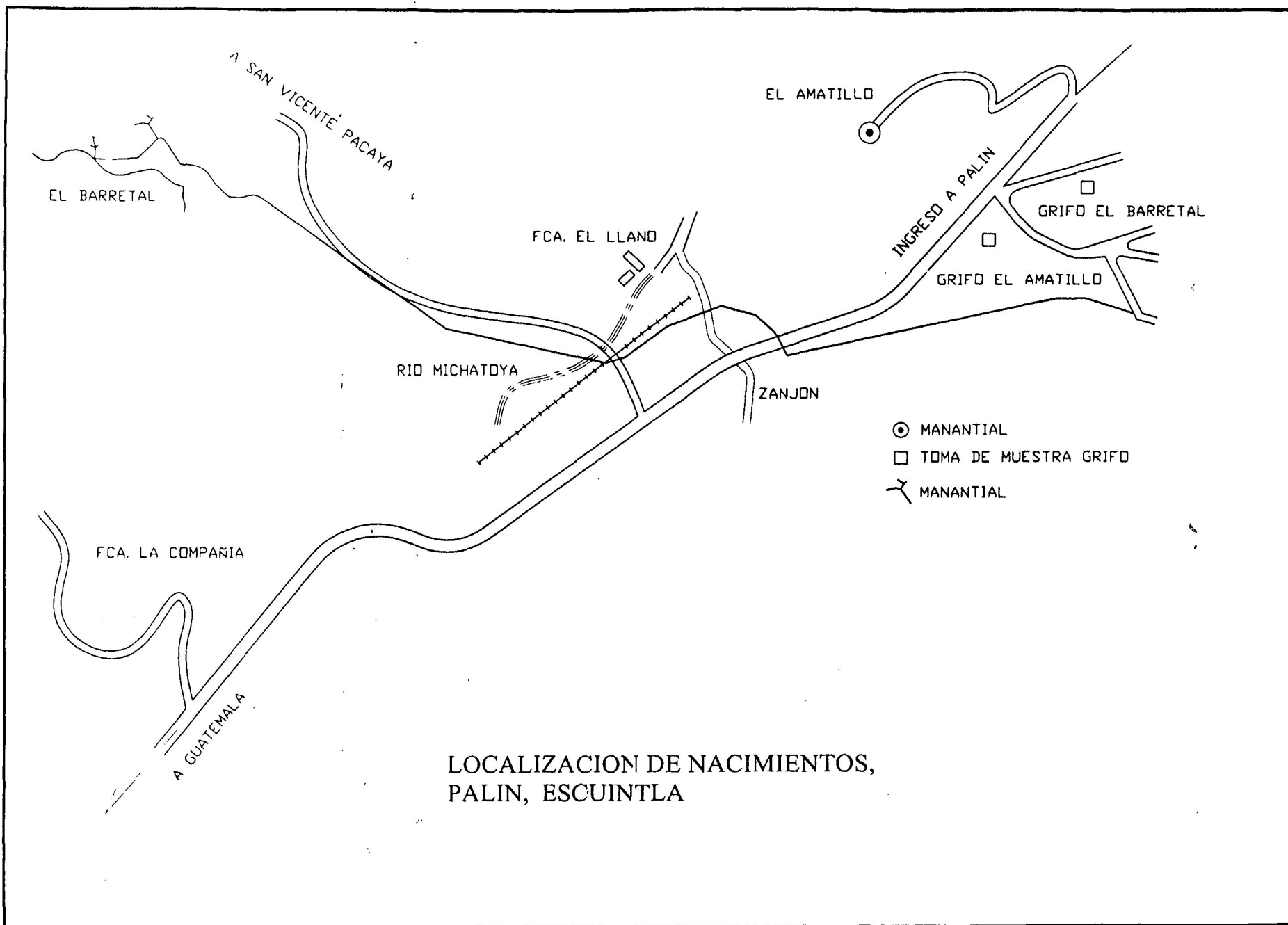
COLONIA
SACRAMENTO

ESTACION FEGUA

NACIMIENTOS:
EL AMATILLO
TANQUE PALINCHE
PUNTO 3

RIO MICHATOYA

MUNICIPIO DE PALIN
RED DE DISTRIBUCION





MINISTERIO DE ECONOMIA

Acuérdase aprobar la Norma Guatemalteca Obligatoria de especificaciones
COGUANOR NGO 29 001 1a. Revisión. AGUA POTABLE. Especificaciones.

ACUERDO GUBERNATIVO No. 986-1999

Guatemala, 30 de diciembre de 1999

El Presidente de la República,
CONSIDERANDO:

Que corresponde a la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), estudiar, elaborar, adoptar y proponer al Organismo Ejecutivo, por conducto del Ministerio de Economía, la aprobación de normas que se consideren de utilidad para el país y contribuyan al desarrollo industrial, estableciendo principios de equidad en las relaciones entre productores y consumidores.

CONSIDERANDO:

Que el Consejo Directivo de la Comisión Guatemalteca de Normas, convocó en su oportunidad a los sectores públicos y privados involucrados en la producción de agua potable, así como otras entidades relacionadas con el tema a efecto de que se pronunciaran sobre la propuesta a la revisión de la norma que tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

CONSIDERANDO:

Que consultados los sectores interesados y técnicos en la materia, emittieron opiniones las cuales fueron conocidas por el Consejo Directivo de la Comisión Guatemalteca de Normas y habiéndose sometido a estudio, ese Cuerpo Colegiado, en el punto quinto, acta 24-99, de fecha 29 de julio de mil novecientos noventa y nueve, emitió la resolución número 11-99, en la que adopta la norma COGUANOR NCO 29 001 1ª. Revisión, AGUA POTABLE. Especificaciones. Estando satisfechos todos los requisitos necesarios para la adopción de esta norma, es procedente acordar su aprobación en forma legal.

PORTANTO:

En el ejercicio de las funciones que le confiere el Artículo 183, inciso c) de la Constitución Política de la República de Guatemala y con base en los Artículos 2º, literal b) y 6º. Del Decreto 1523 del Congreso de la República, Ley de Creación de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).

ACUERDA:

ARTÍCULO 1º. Aprobar la Norma Guatemalteca Obligatoria de especificaciones siguiente: COGUANOR NGO 29 001 1ª. Revisión, AGUA POTABLE. Especificaciones. Adoptada por la Comisión Guatemalteca de Normas en el punto quinto, acta 24-99, de fecha 29 de julio de mil novecientos noventa y nueve, resolución número 11-99.

ARTÍCULO 2º. El registro oficial de la norma indicada queda a cargo de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).

ARTÍCULO 3º. El presente acuerdo empezará a regir ocho (8) días después de su publicación íntegra en el Diario Oficial.

COMUNIQUESE

[Firma]
ALVARO AZÚ



GUILHERMO CASTILLO VILLACORTA

[Firma]



[Firma]
Luis Aparicio (Aparicio Ortiz)
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS

MINISTRO DE ECONOMÍA EN FUNCIONES

AGUA POTABLE. Especificaciones.	COGUANOR NGO 29 001:99 1ª. Revisión
---------------------------------	-------------------------------------------

Esta norma constituye la primera revisión a la norma COGUANOR NGO 29 001 AGUA POTABLE Especificaciones, publicado en el Diario Oficial del 18 de octubre de 1983, a lo cual sustituye

OBJETO

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

2. NORMAS COGUANOR A CONSULTAR

- COGUANOR NGO 4010 Sistema Internacional de unidades (SI)
- COGUANOR NGO 29 011n2 Agua. Ensayos físicos. Determinación del color método de referencia
- COGUANOR NGO 29 011n12 Agua. Ensayos físicos. Determinación de la turbiedad
- COGUANOR NGO 29 012n14 Agua. Determinación de metales Dureza
- COGUANOR NGO 29 012n15 Agua. Determinación de metales Hierro
- COGUANOR NGO 29 013n3 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Alcalinidad.
- COGUANOR NGO 29 013n7 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Cloro.
- COGUANOR NGO 29 013n13 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Fluoro.
- COGUANOR NGO 29 013n18 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Nitrógeno (nitrato).
- COGUANOR NGO 29 013n19 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Nitrógeno (nitrato)
- COGUANOR NGO 29 013n21 Agua. Determinación de constituyentes orgánicos no metálicos Oxígeno disuelto Método de referencia
- COGUANOR NGO 29 013n23 Agua. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos Potencial de hidrógeno (pH)

3. DEFINICIONES

- 3.1 Agua potable.** Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.
- 3.2 Cloro.** Es el elemento número 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.
- Nota 1.** El cloro es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser de fácil utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles.
- 3.3 Límite máximo aceptable (LMA).** Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sanitario pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
- 3.4 Límite máximo permisible (LMP).** Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.
- 3.5 Características físicas.** Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad.
- 3.6 Características químicas.** Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad.
- 3.7 Características bacteriológicas.** Son aquellas características relativas a la presencia de bacterias, que determinan su calidad.
- 3.7.1 Grupo coliforme total.** Son bacterias en forma de bacilos, aerobias y anaerobias facultativas, Gram negativos, no esporuladas que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35°C ± 0.5°C en un período de 24 h ± 48 h, característico cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. Para el caso de la determinación del grupo coliforme total empleando el método de membrana de filtración, se define como todos los microorganismos que desarrollan una colonia roja con brillo metálico dorado en un medio líquido (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 h a 35°C.
- 3.7.2 Grupo coliforme fecal.** Son las bacterias que forman parte del grupo coliforme total, que fermentan la lactosa con producción de gas a 44°C ± 0.2°C en un período de 24 h ± 2 h cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. En el método de filtración en membrana se utiliza un medio de lactosa enriquecida y una temperatura de incubación de 44.5°C ± 0.2°C en un período de 24 h ± 2 h. Al grupo coliforme fecal también se le designa como termotolerante o termorresistente.
- 3.8 Escherichia coli.** Son las bacterias coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44°C ± 44.5°C con producción de gas, y que también producen índol a partir de triptofano.

Nota 2. La confirmación de que en verdad se trata de Escherichia coli se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de ácidos de acetilmetilcarbonyl y de que no se utiliza el chítrio como única fuente de carbono. La Escherichia coli es el indicador más preciso de contaminación fecal.

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.1 Características físicas.

Tabla 1. Características físicas. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable (Continuación)

Características	LMA	LMP
Color	5 OU	35 OU (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5 O UNT	15 O UNT (2)

(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben colocarse en la expresión de los resultados.

4.1.1 Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad de 100 µS/cm a 750 µS/cm a 25°C.

4.2 Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2. Substancias químicas con sus respectivos límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP)

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (Cl ₂)	2.5 mg/L	1.0 mg/L
Cianuro (CN)	100 000 mg/L	750 000 mg/L
Conductividad	...	de 1 500 µS/cm
Dióxido de carbono (CO ₂)	100 000 mg/L	500 000 mg/L
Fluoruro de hidrógeno (F)	7.0-7.5	8.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100 000 mg/L	250 000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	24.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Cadmio (Cd)	75.000 mg/L	150 000 mg/L
Cromo (Cr)	1.000 mg/L	70 000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50 000 mg/L	100 000 mg/L

- El límite máximo aceptable seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.3 mg/L, después de por lo menos 30 min de contacto a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de Escherichia coli y ciertos virus.
- 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. Deben de tomarse medidas especiales en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para tratar el agua.
- En unidades de pH

2.2.2. Agua potable. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de un agua de calidad sanitaria segura potable. La cloración por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración mínima por lo que en la tabla 2 se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que está "libre" y que sirve como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías y por nupura de las mismas que puede producir cierta contaminación microbiológica.

2.2.3. Límites de toxicidad. En la tabla 3 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad.

Tabla 3. Límites de toxicidad de algunas sustancias químicas con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Sustancia	LMP, en miligramos por litro
Asbesto (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Bromo (Br)	0.300
Cadmio (Cd)	0.001
Cianuro (CN)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Molibdeno (Mo)	0.010
Níquel (Ni)	0.010

2.2.4. Límites de toxicidad de algunas sustancias químicas con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP). Los nombres de las sustancias químicas orgánicas tóxicas, así como el límite máximo permisible se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de las sustancias químicas tóxicas

Compuesto	LMP (en miligramos por litro)
Benzeno	1.0
Cloruro de vinilo	1.0
Polifenoles aromáticos	0.01
o-diclorobenceno	0.01
p-diclorobenceno	0.01
1,2-diclorobenceno	0.01
1,1-dicloroetano	0.01
cis-1,2-dicloroetano	0.01
trans-1,2-dicloroetano	0.01
1,2-dicloroetano	0.01
Estireno	0.01
Etilbenceno	0.01
Monoclorobenceno	0.01
Substancias fenólicas	0.01
Tetracloruro de carbono	0.01
Tetracloroetano	0.01
Tolueno	0.01
1,1,1-tricloroetano	0.01
Tricloroetano	0.01
Xileno	0.01

Tabla 5. Límites máximos permisibles de las sustancias químicas tóxicas

Compuesto	LMP (en miligramos por litro)
Piretrina	20
Permetrina	20
Amidas	20
Propant	20
Perdolo	20
Triacilato	20
Diquat	20
Gluosato	200
D (2-ethylhexyl edipato)	100
Ureapropeno	0.2
Hexacloro-ciclohexadieno	5
D (ethylhexyl) fosfato	5
PCBS	0.5
Organo fosforados	0
Etil paratión	0
Laprotós	0.1
Diazinón	0.1
Umetolato	0.1
De los restantes organo fosforados	no más de 0.1 cada uno

Tabla 6. Substancias químicas con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Característica	LMA, en miligramos por litro	LMP, en miligramos por litro
Fluoruro (F)	...	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.200
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO ₃)	...	10
Nitrato (NO ₂)	...	1

Tabla 7. Substancias químicas con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Compuesto	LMP, en miligramos por litro
Benceno	0.01
Cloruro de vinilo	0.01
Polifenoles aromáticos	0.01
o-diclorobenceno	0.01
p-diclorobenceno	0.01
1,2-diclorobenceno	0.01
1,1-dicloroetano	0.01
cis-1,2-dicloroetano	0.01
trans-1,2-dicloroetano	0.01
1,2-dicloroetano	0.01
Estireno	0.01
Etilbenceno	0.01
Monoclorobenceno	0.01
Substancias fenólicas	0.01
Tetracloruro de carbono	0.01
Tetracloroetano	0.01
Tolueno	0.01
1,1,1-tricloroetano	0.01
Tricloroetano	0.01
Xileno	0.01

5. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS

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

5.1. Método de los tubos múltiples de fermentación

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

a) **Prueba de 15 tubos.** Se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1 mL y 3 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra cumple con la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano (véase anexo 2).

b) **Prueba de 9 tubos.** Se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1 mL y 3 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 mL, lo que se interpreta como que esa muestra cumple con la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano (véase anexo 3). En el caso de análisis numéricos y cuando se analicen cantidades grandes de muestras, se podrá emplear el método de los 9 tubos, pero en casos de discrepancia o incertidumbre con los resultados obtenidos, deberá emplearse la prueba de los 15 tubos como método de referencia.

5.1.2. Para casos en los cuales ya se tiene un historial, se permiten las alternativas siguientes:

a) 3 tubos con porciones de muestra de 10 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.3 coliformes en 100 mL de agua (véase anexo 2).

b) 10 tubos con porciones de muestra de 10 mL, cada uno, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 1.1 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra es adecuada para el consumo humano (véase anexo 4).

5.2. Método por la membrana de filtración. El volumen de muestra de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia coli en 100 mL de agua. La ausencia de coliformes se interpreta como que esa muestra cumple con la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

Nota 1. De ser necesario se deberán analizar porciones de 1 mL, 0.1 mL y 0.01 mL a fin de que las muestras muy contaminadas para la obtención de resultados que puedan ser interpretados más adecuadamente.

5.3. Límites

5.3.1. Análisis de las bacterias fecales de fermentación. Según se indique por los métodos que se empleen, la presencia de microorganismos del grupo coliforme no debe exceder de los siguientes límites:

<p>Cuando se examinan portadores de 10 ml. No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10 ml. de una muestra normal, cuando se examina</p>	<p>No más del 10% deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme. En dos muestras consecutivas. En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras. En más de 5% de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.7.7. MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE INVICIÓN. Cuando se aplique este método el número de muestras por muestra del grupo coliforme no debe exceder los siguientes límites:

<p>La misma muestra de todas las muestras normales que se examinan en un mes no debe exceder de: El número de colonias por muestra normal no ha de exceder de 370 ml, 4100 ml, 7700 ml, 61340 ml en</p>	<p>Un microrganismo/100 ml. Dos muestras consecutivas. En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras. Más del 5% de las muestras normales, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.8. Se establecerá el número de muestras en relación a la población servida de acuerdo a la tabla 7 siguiente:

Tabla 7. Frecuencia normal de la suma de muestras de agua para consumo humano, por número de habitantes de la población.

Población servida en número de habitantes	Cantidad de muestras al año		
	Análisis (1)	Análisis (2)	Análisis (3)
1 - 500	2	1	(1)
500 - 5 000	4	1	(1)
5 000 - 10 000	12	3	(1)
10 000 - 50 000	60	6	1
50 000 - 100 000	120	12	2
100 000 - 150 000	180	18	3
150 000 - 300 000	360	36	4
300 000 - 500 000	360 (2)	60	10
500 000 - 1 000 000	360 (2)	120 (2)	20 (2)
1 000 000 - 5 000 000	360 (2)	120 (2)	20 (2)

- La frecuencia deberá ser determinada por las autoridades nacionales competentes.
- Las autoridades nacionales competentes deberán esforzarse, de ser posible, por aumentar esta frecuencia.
- Corresponde al programa de análisis básico, fácilmente ejecutable por cada laboratorio de control de calidad del agua autorizado. Los análisis en esta etapa de control son conforme al método estándar.
- Corresponde al programa de análisis normal y comprende la ejecución de los análisis de la etapa anterior enriquecida con olor, sabor, color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitrógeno, hierro, manganeso.
- Corresponde a un programa de análisis avanzado, de ser posible. Comprende la ejecución de los análisis de la segunda etapa, enriquecida con aluminio, cobre, sodio, potasio, amonio, nitrato, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, selenio, plomo, selenio, sulfuro de hidrógeno, zinc, sulfato total, azúcares, desinfectantes, subproductos de la desinfección y sustancias orgánicas (plaguicidas) de significado para la salud.

6. MÉTODOS DE ANÁLISIS

6.1. Las determinaciones de las especificaciones y características físico-químicas y microbiológicas del agua, indicadas en la presente norma, deben realizarse de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes; véase capítulo 2. En ausencia de normas COGUANOR podrán emplearse los métodos de la American Water Works Association.

7. MUESTREO

7.1. El muestreo para el análisis físico-químico y microbiológico del agua, indicados en la presente norma, deben realizarse de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes; véase capítulo 2. En ausencia de normas COGUANOR podrán emplearse los métodos de la American Water Works Association.

8. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se han tomado en cuenta los siguientes documentos:

- Norma COGUANOR NGO 29 001 AGUA POTABLE. Especificaciones, 1983
- Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 18^{ta} Edición, 1992.
- Decreto No. 3991-3 Reglamento para la calidad del agua potable, San José, Costa Rica, 1997
- Organización Mundial de la Salud. Cules para la Calidad del Agua Potable, 2^a Ed., 1990

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

ANEXO 1. CALIDAD DEL AGUA POTABLE. Cuando el agua potable se le ha adicionado compuestos derivados del fluor debe de haber una relación entre los límites de la concentración del fluor en un litro de agua y el promedio anual de las máximas temperaturas dadas del día.

Tabla 8. Límites de temperatura y concentración de fluor en agua potable.

Temperatura máxima diaria en grados Celsius (°C) (1)	Límites recomendados para la concentración del fluor en mg/l en microequivalencia		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
10.1 - 13.0	0.9	1.2	1.7
13.1 - 14.6	0.6	1.1	1.5
14.7 - 17.7	0.5	1.0	1.3
17.8 - 21.4	0.7	0.9	1.2
21.5 - 26.3	0.7	0.8	1.0
26.4 - 32.5	0.8	0.7	0.8

(1) La promedios de temperatura deben obtenerse en base a nueve correspondientes a un mínimo de 5 días.

9.2. Anexo 2

Tabla 9. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de la muestra normal y normal de muestra normal de 10 ml. para porciones de 1 ml. y 0.1 ml. (Cada tubo)

Número de tubos que dan reacción positiva				Número de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 ml. cada uno	5 de 1 ml. cada uno	5 de 0.1 ml. cada uno	NMP	5 de 10 ml. cada uno	5 de 1 ml. cada uno	5 de 0.1 ml. cada uno	NMP
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	1	1	1	1
0	1	0	2	1	2	1	2
0	2	0	4	2	0	0	4
1	0	0	2	2	0	1	2
1	0	1	4	2	1	0	2

Tabla 9. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de la muestra normal y normal de muestra normal de 10 ml. para porciones de 1 ml. y 0.1 ml. (Cada tubo)

Número de tubos que dan reacción positiva				Número de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 ml. cada uno	5 de 1 ml. cada uno	5 de 0.1 ml. cada uno	NMP	5 de 10 ml. cada uno	5 de 1 ml. cada uno	5 de 0.1 ml. cada uno	NMP
2	1	0	0	3	0	1	30
2	2	0	9	5	0	2	40
2	3	0	12	5	1	6	30
3	0	0	8	5	1	1	50
3	0	1	11	5	1	2	60
3	1	0	13	5	2	0	50
3	1	1	14	5	2	1	70
3	2	0	17	5	2	2	90
3	2	1	17	5	3	0	80
4	0	0	13	5	3	1	110
4	0	1	17	5	3	2	140
4	1	0	17	5	3	3	170
4	1	1	21	5	4	1	130
4	1	2	26	5	4	1	170
4	2	0	22	5	4	2	220
4	2	1	26	5	4	3	280
4	3	0	27	5	4	4	350
4	3	1	33	5	5	0	240
4	3	2	34	5	5	1	300
5	0	0	27	5	5	2	500
5	0	1	33	5	5	3	800
5	0	2	40	5	5	4	1600
5	0	3	40	5	5	5	1800

9.3. Anexo 3

Tabla 10. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de la muestra normal y normal de muestra normal de 10 ml. para porciones de 1 ml. y 0.1 ml. (Cada tubo)

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 ml. cada uno	3 de 1 ml. cada uno	3 de 0.1 ml. cada uno	NMP
0	0	0	3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	2	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	6
2	1	0	14
2	1	1	13
2	2	0	20
2	2	1	21
2	2	2	28
2	3	0	28

Tabla 11. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de la muestra normal y normal de muestra normal de 10 ml. para porciones de 1 ml. y 0.1 ml. (Cada tubo)

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 ml. cada uno	3 de 1 ml. cada uno	3 de 0.1 ml. cada uno	NMP
3	0	0	33
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	78
3	1	2	120
3	2	0	61
3	2	1	190
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	1200

9.4 Anexo 4

Tabla 12. Número más probable y límites de confianza de 95% para un nivel de contaminación de (1) radón en agua potable cuando se usan 10 partículas de 10 µm cada una.

Número de tubos que dan reacción positiva	Número más probable	Límites de confianza de 95% (aproximados)	
		Inferior	Superior
0	.11	0	3.0
1	.11	0.03	5.9
2	.27	0.26	8.1
3	.38	0.89	10.6
4	.51	1.3	13.4
5	.69	2.1	16.8
6	.97	3.1	21.1
7	1.0	4.3	27.1
8	1.41	5.9	36.8
9	2.0	8.1	50.5
10	2.70	13.5	Infinito

9.5 Anexo 5

Tabla 13. Límites máximos permisibles (LMP) de la actividad de radón en agua potable.

Actividad	LMP (en microcurios/litro)
Radón en agua potable	5
Radón en agua	2
Radón en aire	5
Radón en suelo	7
Radón en agua de mar	200
Radón en agua de mar	600
Radón en agua de mar	75
Radón en agua de mar	70
Radón en agua de mar	100
Radón en agua de mar	5
Radón en agua de mar	700
Radón en agua de mar	100
Radón en agua de mar	100
Radón en agua de mar	5

10 Productos secundarios de desintegración

10.1 Transmutaciones (T) son productos secundarios de la desintegración. Son bromoformo, nitroacetileno, bromo, cloroformo. La suma de los radionúclidos, no considerando el bromo, cloroformo y nitroacetileno, no debe superar la unidad. El valor que se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Valores límites de radionúclidos secundarios de la desintegración

Radionúclido	LMP (µCi/l)
Radón-222	100
Radón-220	100
Radón-226	80
Radón-210	200

Aspectos relativos a radon nuclear

Definiciones

11.1.1 Actividad: La actividad es una cantidad de un radionúclido en un estado particular de energía en un tiempo dado, es el cociente dN/dt , donde dN es el valor esperado del número de transiciones nucleares espontáneas desde ese estado de energía en el intervalo de tiempo dt .

11.1.2 Dosis: Unidad radiométrica utilizada para medir la actividad de una fuente. Se simboliza por Bq y se refiere a 1 desintegración por segundo.

11.1.3 Dosis efectiva (H_e): Es la suma de las dosis equivalentes de todos los órganos y tejidos multiplicados por los factores de ponderación (W_T) adecuados.

$$H_e = \sum W_T D_T$$

donde

- W_T = Factor de ponderación para el órgano o tejido T
- D_T = Dosis equivalente comprometida del órgano o tejido T
- t = Número de años para el cual se hizo la integración para la dosis equivalente comprometida.

11.1.4 Dosis equivalente (H_e): Es la suma de las dosis equivalentes de los radionúclidos, no considerando el bromo, cloroformo y nitroacetileno, no debe superar la unidad. El valor que se muestra en la tabla 11.

11.1.5 Dosis equivalente a un órgano o tejido: La dosis equivalente, H_e, R en el órgano o tejido T debido a la radiación R, está dada por:

$$H_e, R = W_T D_T, R$$

donde D_T, R es la dosis promedio de radiación en el órgano o tejido T y W_T es el factor de ponderación de la radiación.

11.1.6 Dosis: Unidad radiométrica utilizada para medir la dosis equivalente y la dosis efectiva. Se simboliza por Sv y se refiere a 1 J/kg.

11.2 Actividad radiactiva

a) Asumiendo un promedio de consumo de 2 litros diarios por persona adulta, promedio, las concentraciones de radionúclidos en el agua potable deben representar un consumo una dosis efectiva concentrada menor a 0.1 mSv durante un año.

Por debajo de este nivel, el agua es apta para el consumo humano sin que sea necesario ninguna medida para reducir la radioactividad.

b) Para garantizar dicha dosis efectiva concentrada se recomiendan las concentraciones que se encuentran a continuación:

- 0.1 becquerel/litro para radioactividad alfa total
- 10 becquerel/litro para radioactividad beta total

c) Si alguna de las actividades es mayor a los anteriores valores de referencia se deben cuantificar las concentraciones de actividad de cada uno de los radionúclidos emisores de partículas alfa y beta presentes, y determinarse la dosis total correspondiente.

11.2.1 Medición de actividad alfa total

a) La actividad alfa total puede determinarse por diferentes métodos incluyendo la medición simultánea de actividades alfa y beta total en detectores proporcionales con componentes electrónicos apropiados. El límite de detección del método que se usice debe ser lo suficientemente bajo para permitir la cuantificación de la actividad estudiada.

b) Para realizar la medición de actividad alfa por cualquier método es necesario eliminar los radionúclidos radón-222 y radón-220.

c) Si la concentración de actividad es menor que 0.1 Bq/L, no se requiere de determinaciones adicionales. Si dicho valor es superior, deben cuantificarse los siguientes radionúclidos naturales:

Pa-226, Ra-226, Po-210, Th-232, U-234 y U-238. Dependiendo de la hidrogeología de la localidad se pueden analizar los radionúclidos que se analizarán.

d) Si se presume alguna contaminación radiactiva, debe cuantificarse el Pu-239.

e) El cálculo de la dosis debe realizarse adicionándose las concentraciones de actividad beta encontradas.

11.2.2 Medición de la actividad beta total

a) La actividad beta total puede determinarse por diferentes métodos incluyendo la medición simultánea de actividades alfa y beta total en detectores proporcionales con componentes electrónicos apropiados. El límite de detección del método que se usice debe ser lo suficientemente bajo para permitir la cuantificación de la actividad estudiada.

b) Si la concentración de actividad beta total es menor que 1 Bq/L, no se requiere de determinaciones adicionales. Si dicho valor es superior, debe cuantificarse la concentración de actividad de cada uno de los radionúclidos que se analizarán. Si el valor de la actividad beta es mayor que 1 Bq/L, se deben cuantificar los siguientes radionúclidos emisores de partículas beta:

Si-90, Sr-90, Cs-137, Cs-134, I-131 y Co-60. Dependiendo del tipo de cenizas radionúclidos en la localidad y/o la presencia de alguna contaminación radiactiva por algún radionúclido particular se pueden analizar los radionúclidos que se analizarán. Deben analizarse también los radionúclidos naturales Pb-210 y Ra-226.

c) El cálculo de la dosis debe realizarse adicionándose las concentraciones de actividad alfa encontradas.

11.2.3 Evaluación del agua de consumo humano en relación a la actividad radiactiva

a) Si son sobrepasados los niveles de 0.1 Bq/L para radioactividad alfa y/o 1 Bq/L para radioactividad beta total, es preciso identificar y cuantificar las actividades de los radionúclidos específicos. Luego debe estimarse la dosis de cada radionúclido y la suma de las dosis de todos los radionúclidos identificados (exceptuando el potasio-40). Si los resultados cumplen con la siguiente ecuación no son necesarios otros análisis y el agua es considerada apta para el consumo humano desde el punto de vista radiológico:

$$D \leq 0.1 \text{ mSv/a}$$

donde

D es la concentración de la actividad medida para el radionúclido.

C es la concentración de actividad de referencia de ese mismo radionúclido que con un consumo de 2 litros diarios durante un año, tendrá como resultado una dosis efectiva concentrada de 0.1 mSv.

b) Si se sospecha la presencia de radionúclidos emisores de partículas alfa con elevados factores de conversión de dosis puede aplicarse la misma ecuación anterior cuando la radioactividad alfa y beta total se aproxime a los valores límite de 0.1 Bq/L y 10 Bq/L, respectivamente. Cuando la suma es mayor que la unidad en una sola muestra, sólo se sobrepasará el nivel de dosis de referencia de 0.1 mSv si la exposición a las mismas concentraciones medidas continúa durante todo un año.

11.3 Referencias de las concentraciones de radionúclidos en agua potable

11.3.1 Para determinación de actividad alfa y beta total

Eastern Environmental Radiation Facility, U.S. Environmental Agency, Radiochemistry Procedures Manual, 1984.

11.3.1.1 Procedimientos

- a) 00-01 Radiochemical Determination of Gross Alpha and Gross Beta Particle Activity in Water.
- b) 00-02 Radiochemical Determination of Gross Alpha Activity in Drinking Water by Coprecipitation.
- c) U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Procedures for Determination of Alpha and Beta Radionuclides in Environmental Samples, 1985.

11.3.1.2 Procedimientos

- a) Gross Alpha and Beta Activity in Water, Pagina 3-1

11.3.1.3 Para radionúclidos emisores de partículas beta específicas

Eastern Environmental Radiation Facility, U.S. Environmental Protection Agency Radiochemistry Procedures Manual, 1984

11.2.2.1 Procedimientos

- a) Cr-01 Radiochemical Determination of Chromium-51 in water samples
- b) Fe-01 Radiochemical Determination of Iron-55 in water samples
- c) H-02 Radiochemical Determination of Tritium in water Dioxane Method
- d) I-01 Radiochemical Determination of Iodine-131 in Drinking water
- Pb-01 Radiochemical Determination of Lead-210 in water and Solid Samples
- Si-04 Radiochemical Determination of Radiostrontium in water, Sea water and other Aqueous Media

U.S. Department of Health, Education, and Welfare procedures for Determination of Stable Elements and Radionuclides in Environmental Samples, 1965

11.3.2.2 Procedimientos

- a) Strontium-81, Strontium-89 and Barium-140 in water, Pagina 3-5
Tritium in water, Pagina 3-12
 - b) Environmental Measurements Laboratory, U.S. Department of Energy, Procedures Manual 1992
 - S-22 Strontium-90, Pagina 4-5-1995
 - c) Pb-01 Lead-210 in bone, Food, Urine, Feces, Blood, Air, and water, Pagina 4-5-73
- 11.3.3 Para radionucleidos emisores de partículas alfa específicas

Eastern Environmental Radiation Facility, U.S. Environmental Protection Agency Radiochemistry Procedures Manual, 1984

10.3.3.1 Procedimientos

Pu-01 Radiochemical Determination of Plutonium in Ashed Samples, Soil, Coal, Fly, Ash, Orz., Vegetation, Diets and water

- b1) Ra-03 Radiochemical Determination of Ra-226 in Water Samples
- c1) Ra-05 Radiochemical Determination of Ra-228 in Water Samples
- d1) U-07 Radiochemical Determination of Thorium and Uranium in Water

Environmental Measurements Laboratory, U.S. Department of Energy, Procedures manual, 1992

Am-03 Americium in Water, Air Filters, and Tissue, Pagina 4-5-49

Po-01 Polonium in Water, Vegetation, Soil, and Air Filters, Pagina 4-5-04

Pu-10 Plutonium in Water, Pagina 4-5-119

- d1) Ra-07 Radium-226 in Urine and Water, Pagina 4-5-162

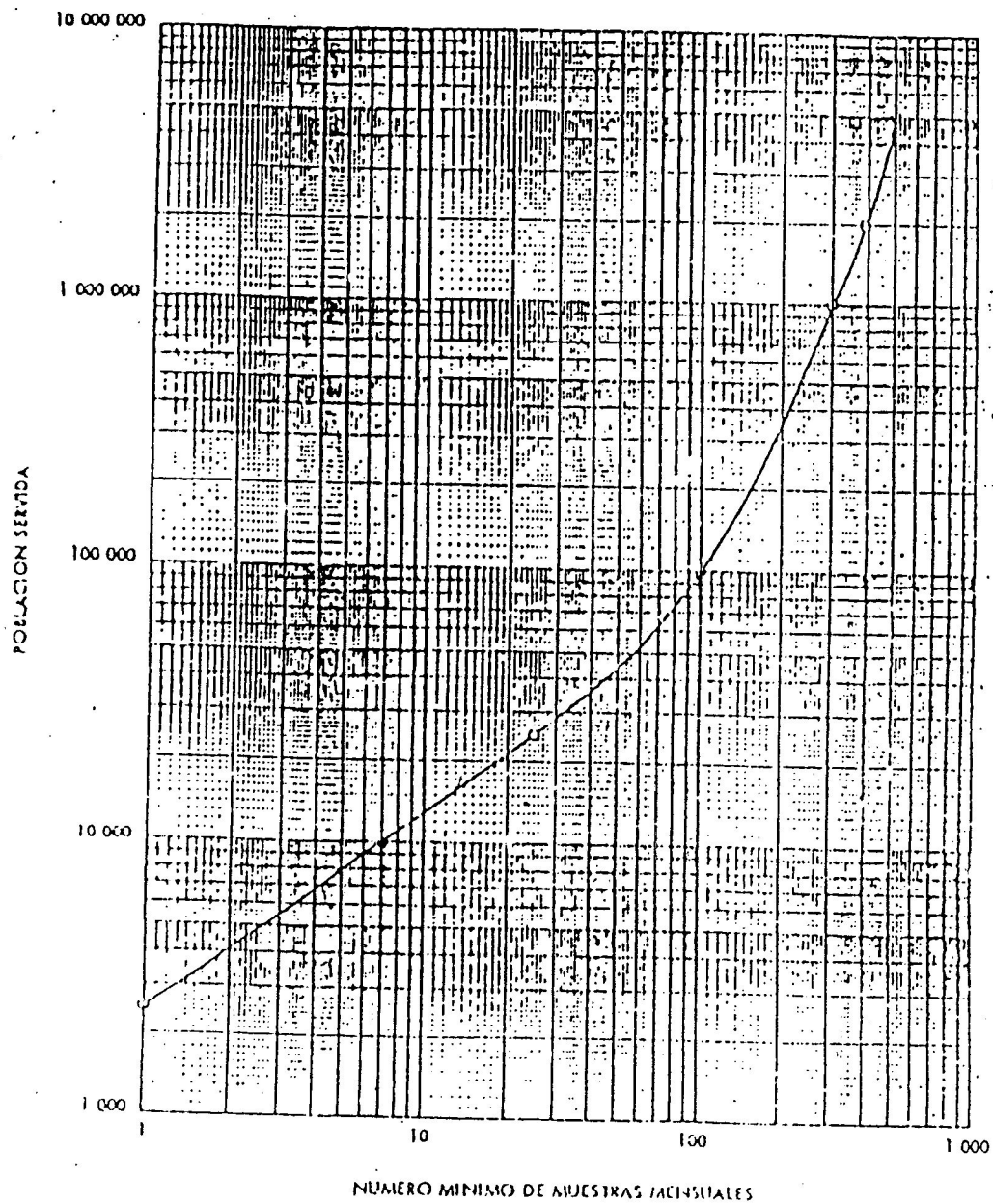


Fig. 1 Relación entre el número de muestras que se toman mensualmente y la población servida

TABLE 1060-1. SUMMARY OF SPECIAL SAMPLING OR HANDLING REQUIREMENTS*

Determination	Container†	Minimum Sample Size mL	Sample Type‡	Preservation§	Maximum Storage Recommended/Regulatory¶
Acidity	P, G(B)	100	g	Refrigerate	24 h/14 d
Alkalinity	P, G	200	g	Refrigerate	24 h/14 d
BOD	P, G	1000	g	Refrigerate	6 h/48 h
Boron	P	100	g, c	None required	28 d/6 months
Bromide	P, G	100	g, c	None required	28 d/28 d
Carbon, organic, total	G	100	g, c	Analyze immediately; or refrigerate and add H_2PO_4 or H_2SO_4 to pH<2	7 d/28 d
Carbon dioxide	P, G	100	g	Analyze immediately	stat/N.S.
COD	P, G	100	g, c	Analyze as soon as possible, or add H_2SO_4 to pH<2; refrigerate	7 d/28 d
Chloride	P, G	50	g, c	None required	28 d
Chlorine, residual	P, G	500	g	Analyze immediately	0.5 h/stat
Chlorine dioxide	P, G	500	g	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
Chlorophyll	P, G	500	g, c	30 d in dark	30 d/N.S.
Color	P, G	500	g, c	Refrigerate	48 h/48 h
Conductivity	P, G	500	g, c	Refrigerate	28 d/28 d
Cyanide:					
Total	P, G	500	g, c	Add NaOH to pH>12, refrigerate in dark	24 h/14 d; 24 h if sulfide present
Amenable to chlorination	P, G	500	g, c	Add 100 mg $Na_2S_2O_5/L$	stat/14 d; 24 h if sulfide present
Fluoride	P	300	g, c	None required	28 d/28 d
Hardness	P, G	100	g, c	Add HNO_3 to pH<2	3 months/6 months
Iodine	P, G	500	g, c	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
Metals, general	F(A), G(A)	500	g	For dissolved metals filter immediately, add HNO_3 to pH<2	6 months/6 months
Chromium VI	F(A), G(A)	300	g	Refrigerate	24 h/24 h
Copper by colorimetry*					
Mercury	P(A), G(A)	500	g, c	Add HNO_3 to pH<2, 4°C, refrigerate	28 d/28 d
Nitrogen:					
Ammonia	P, G	500	g, c	Analyze as soon as possible or add H_2SO_4 to pH<2, refrigerate	7 d/28 d
Nitrate	P, G	100	g, c	Analyze as soon as possible or refrigerate	48 h/48 h (28 d for chlorinated samples)
Nitrate + nitrite	P, G	200	g, c	Add H_2SO_4 to pH<2, refrigerate	none/28 d
Nitrite	P, G	100	g, c	Analyze as soon as possible or refrigerate	none/48 h
Organic, Kjeldahl*	P, G	500	g, c	Refrigerate; add H_2SO_4 to pH<2	7 d/28 d
Odor	G	500	g	Analyze as soon as possible; refrigerate	6 h/N.S.
Oil and grease	G, wide-mouth calibrated	1000	g, c	Add HCl to pH<2, refrigerate	28 d/28 d
Organic compounds:					
MBAS	P, G	250	g, c	Refrigerate	48 h
Pesticides*	G(S), TFE-lined cap	1000	g, c	Refrigerate; add 1000 mg ascorbic acid/L if residual chlorine present	7 d/7 d until extraction; 40 d after extraction
Phenols	P, G	500	g, c	Refrigerate, add H_2SO_4 to pH<2	*28 d
Purgeables* by purge and trap	G, TFE-lined cap	2x40	g	Refrigerate; add HCl to pH<2; add 1000 mg ascorbic acid/L if residual chlorine present	7 d/14 d
Oxygen, dissolved:	G, BOD bottle	300	g		
Electrode				Analyze immediately	0.5 h/stat
Winkler				Titration may be delayed after acidification	8 h/8 h
Ozone	G	1000	g	Analyze immediately	0.5 h/N.S.
pH	P, G	50	g	Analyze immediately	2 h/stat
Phosphate	G(A)	100	g	For dissolved phosphate filter immediately; refrigerate	48 h/N.S.
Salinity	G, wax seal	240	g	Analyze immediately or use wax seal	6 months/N.S.
Silica	P	200	g, c	Refrigerate, do not freeze	28 d/28 d
Sludge digester gas	G, gas bottle	—	g	—	N.S.

TABLE 1060:1, CONT.

Determination	Container†	Minimum Sample Size mL	Sample Type‡	Preservation§	Maximum Storage Recommended Regulatory¶
Solids	P, G	200	g, c	Refrigerate	7 d/2-7 d; see cited reference
Sulfate	P, G	100	g, c	Refrigerate	28 d/28 d
Sulfide	P, G	100	g, c	Refrigerate; add 4 drops 2N zinc acetate/100 mL; add NaOH to pH > 9	28 d/7 d
Taste	G	500	g	Analyze as soon as possible; refrigerate	24 h/N.S.
Temperature	P, G	—	g	Analyze immediately	stat/stat
Turbidity	P, G	100	g, c	Analyze same day; store in dark up to 24 h, refrigerate	24 h/48 h

† See text for additional details. For determinations not listed, use glass or plastic containers; preferably refrigerate during storage and analyze as soon as possible.
 ‡ P = plastic (polyethylene or equivalent); G = glass; O(A) or P(A) = rinsed with 1 + 1 HNO₃; G(B) = glass, borosilicate; G(S) = glass, rinsed with organic solvents or baked.

§ g = grab; c = composite.

¶ Refrigerate = storage at 4°C, in the dark.

§ Environmental Protection Agency, Rules and Regulations, 40 CFR Parts 109-149, July 1, 1992. See this citation for possible differences regarding container and preservation requirements. N.S. = not stated in cited reference; stat = no storage allowed; analyze immediately.

¶ If sample is chlorinated, see text for pretreatment.

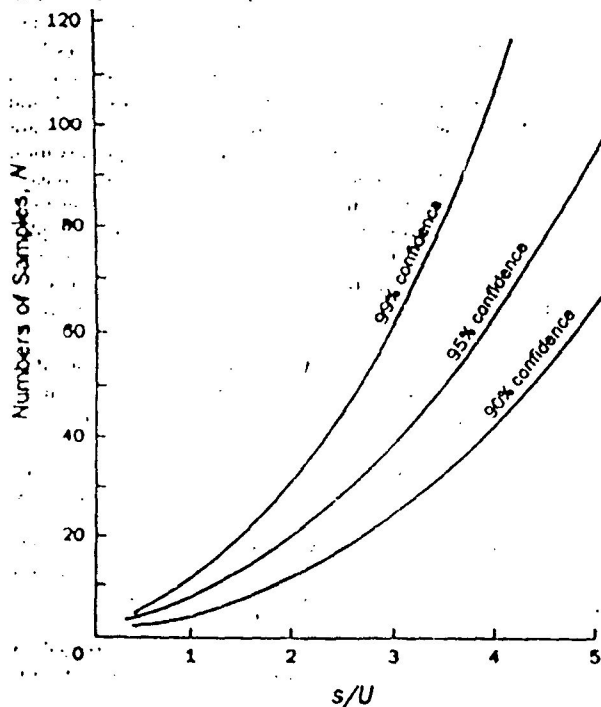


Figure 1060:1. Approximate number of samples required in estimating a mean concentration. Source: Methods for the Examination of Waters and Associated Materials: General Principles of Sampling and Accuracy of Results, 1980. Her Majesty's Stationery Off., London, England.

s = overall standard deviation, and
 U = acceptable level of uncertainty.

To assist in calculations, use curves such as those in Figure 1060:1. As an example, if s is 0.5 mg/L, U is ± 0.2 mg/L, and a 95% confidence level is desired, approximately 25 to 30 samples must be taken.

6. Quantity

Collect a 2-L sample for most physical and chemical analyses. For certain determinations, larger samples may be necessary. Table 1060:1 shows the volumes ordinarily required for analyses. Do not use sample from the same container for chemical (organic and inorganic), bacteriological, and microscopic examinations because methods of collecting and handling are different. Always collect enough sample volume in the appropriate container to allow measurements to be made to comply with sample handling, storage, and preservation requirements.

7. References

1. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1986. Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods, 3rd ed. Publ. No. SW-846, Off. Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
2. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1982. NEIC Policies and Procedures. EPA-330/9/78/001/R (rev. 1982).
3. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. 1986. Removal of Hazardous Wastes in Wastewater Facilities—Halogenated Organics. Manual of Practice FD-11, Water Pollution Control Fed., Alexandria, Va.
4. Methods for the Examination of Waters and Associated Materials: General Principles of Sampling and Accuracy of Results, 1980. Her Majesty's Stationery Off., London, England.

Formato para los análisis de las muestras tomadas en la red del agua potable de Palin, Escuintla

No. muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Examen Físico										
Olor										
Color										
Temperatura										
Turbiedad										
Potencial de hidrógeno										
Sólidos disueltos										
Examen Químico										
Alcalinidad de carbonatos										
Alcalinidad de Bicarbonatos										
Alcalinidad de hidróxidos										
Dureza total										
Calcio										
Cloruros										
Fosfatos										
Fluoruros										
Hierro total										
Potasio										
Sodio										
Sulfatos										
Nitritos										
Nitratos										
Examen Bacteriológico										
Nmp coliforme total										
Nmp coliforme Fecal										

OBSERVACIONES: Muestra de: _____ Recolectada por: _____ Lugar: _____
 Fecha y hora de recolección _____ Fecha de inicio del examen: _____
 Condiciones de transporte: _____

PARAMETRO	AWWA
Alluminio	0.2 mg/l
Amonio	1.5 mg/l
Arsénico	0.01 mg/l
Bario	0.8 mg/l
Boro	0.3 mg/l
Cadmio	0.003 mg/l
Cloro	2.50 mg/l
Cromo	15 u.
Color	1-2 mg/l
Cobre	0.08 mg/l
Cianuro	1.7 mg/l
Fluor	0.3 mg/l
Hierro	0.01 mg/l
Plomo	0.1-0.5 mg/l
Magnesio	0.01 mg/l
Mercurio	0.02 mg/l
Niquel	0.02 mg/l
Nitrato	50 mg/l
Nitrito	3 mg/l
pH	6.5 a 8.5
Selenio	0.01 mg/l
Sodio	200mg/l
Sulfato	250 mg/l
Turbiedad	5 UTN
Zinc	3 mg/l

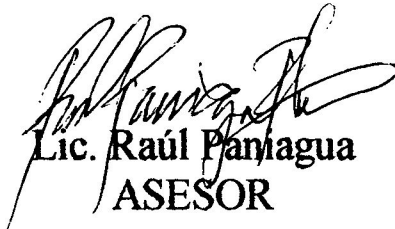
Parámetros	Canadá	Comunidad Económica Europea	Japón
Aluminio		0.20 mg/l	0.2 mg/l
Amonio		0.50 mg/l	NS*
Antimonio		0.01 Mg/l	0.002 mg/l
Arsénico	0.025 mg/l	0.05 mg/l	0.01 mg/l
Bario	1.0 mg/l	NS*	NS*
Boro	5.0 mg/l	1.0 mg/l	0.2 mg/l
Cadmio	0.005 mg/l	0.005 mg/l	0.01 mg/l
Cloro	250 mg/l	25 mg/l	200 mg/l
Cromo	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0.05 mg/l
Coliformes (Total)		0 o MPN < 1	0
Coliformes Fecales (E. Coli)			0
Color	15 cu	20 mg Pt.Co/l	5 cu
Cobre	1.0 mg/l	NS*	1.0 mg/l
Cianuro	0.2 mg/l	0.05 mg/l	0.01 mg/l
Fluor	1.5 mg/l	0.7-1.5 mg/l	0.8 mg/l
Dureza		50 mg/l	300 mg/l
Hierro	0.3 mg/l	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Plomo	0.01 mg/l	0.05 mg/l	0.05 mg/l
Magnesio	0.05 mg/l	0.02 mg/l	0.01-0.05 mg/l
Mercurio	0.001 mg/l	0.001 mg/l	0.0005 mg/l
Molibdeno			0.07 mg/l
Niquel		0.05 mg/l	0.01 mg/l
Nitrato/Nitrato (Total)			10.0 mg/l (as N)
Nitrato	10.0 mg/l (as N)	50 mg/l	10 mg/l (as N)
Nitrito	3.2 mg/l	0.1 mg/l	10 mg/l (as N)
Olor		2 dilution no@12c	10 mg/l (as N)
pH	6.5-8.5	6.2-8.5	5.8-8.8
Fósforo		5 mg/l	NS*
Phenois	0.002 mg/l	0.5 pg/l C.H.OH	0.005 mg/l
Potasio		12 mg/l	NS*
Selenio	0.01 mg/l	0.01 Mg/l	0.01 mg/l
Dióxido de Silicio		10 mg/l	NS*
Plata	0.05 mg/l	0.01 mg/l	NS*
Sólido Total Disuelto	500 mg/l	NS*	500 mg/l
Sodio		75-150 mg/l	200 mg/l
Sulfato	500 mg/l	NS*	NS*
Turbiedad	1 NTU	4 JTU	1-2 Unidades
Zinc	5.0 mg/l	NS*	1.0 mg/l



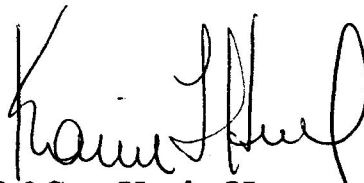
Paola Ivanova Zanotti Guerra
AUTORA



Msc. Zenon Much Santos
ASESOR



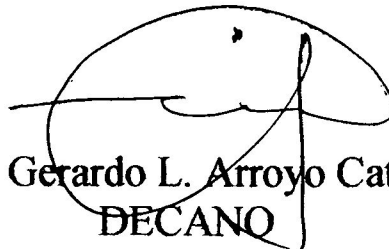
Lic. Raúl Paniagua
ASESOR



M.Sc Karin Herrera
REVISORA



Licda Alba Marina Valdés de Garcia
DIRECTORA DE ESCUELA



M.Sc Gerardo L. Arroyo Catalán
DECANO