

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos

IDENTIFICACION DE PUNTOS CRITICOS
EN UN PROCESO DE EMBOTELLADO DE
AGUA POTABLE

Ana Luisa Muralles Bauer

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

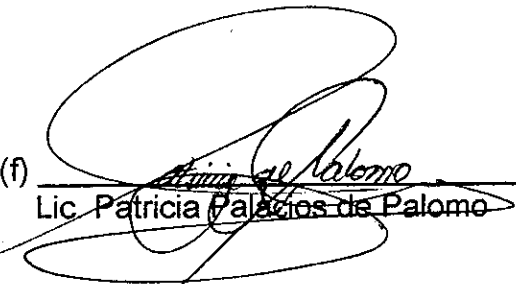
Guatemala

2000

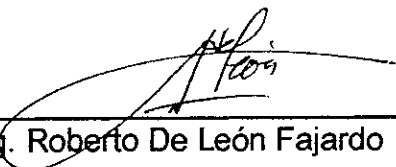
Vo.Bo. :

(f) 
Lic. Roberto De León Fajardo
Asesor

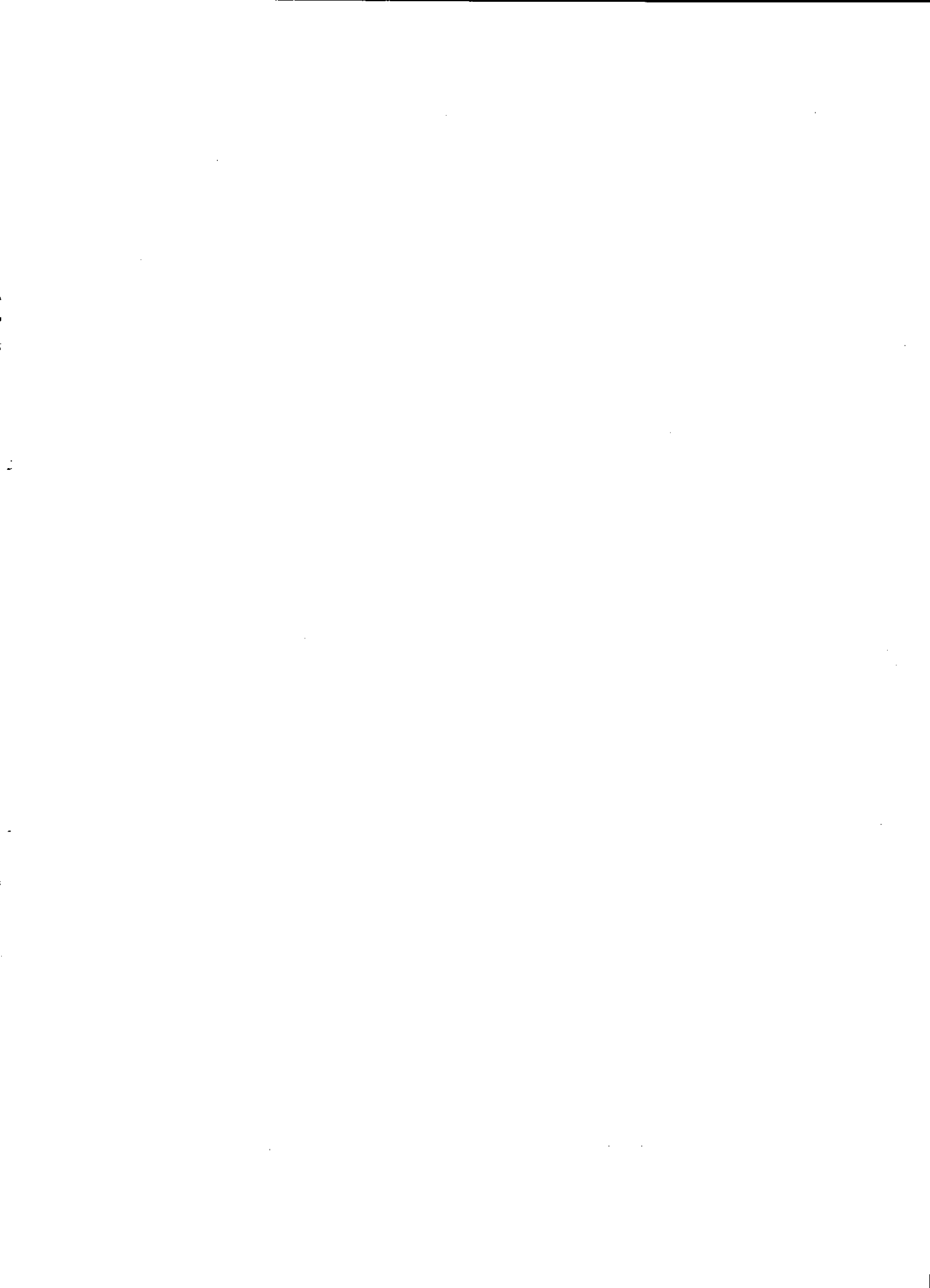
Tribunal:

(f) 
Lic. Patricia Palacios de Palomo

(f) 
Lic. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 
Ing. Roberto De León Fajardo

Fecha de aprobación: 19 de junio de 2000.



**IDENTIFICACION DE PUNTOS CRITICOS
EN UN PROCESO DE EMBOTELLADO DE
AGUA POTABLE**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias Y Humanidades
Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos

**IDENTIFICACION DE PUNTOS CRITICOS
EN UN PROCESO DE EMBOTELLADO DE
AGUA POTABLE**

Ana Luisa Muralles Bauer

Trabajo de graduación presentado para optar
al grado académico de

Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala

2000

RESUMEN

Este trabajo de investigación trata sobre el análisis de los puntos críticos que se presentan en una línea de embotellado de agua pura. Para determinar cuáles son los puntos críticos en el proceso, primero se consideraron los distintos parámetros físicos, químicos y microbiológicos que afectan la calidad del agua y sus implicaciones las operaciones de purificación ("Revisión Bibliográfica"). Posteriormente se analiza cada uno de los procesos que intervienen en una línea de producción de agua pura embotellada, indicando la finalidad de cada etapa y las consideraciones que deben observarse para garantizar su buen desempeño. Así mismo se presentan los resultados de las mediciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de proceso, realizadas durante doce días consecutivos en una planta piloto ("Resultados y Discusión"). Finalmente, se identifican los puntos críticos en el proceso bajo estudio, y se sugiere implementar ciertos controles adicionales para garantizar con mayor certeza la calidad del producto final ("Conclusiones y Recomendaciones").

INDICE

RESUMEN	vi
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. HIPOTESIS.....	4
IV. JUSTIFICACION.....	4
V. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	5
A. Definición de Control de Calidad	5
B. Estándares de Calidad para el agua potable embotellada	5
C. Puntos críticos de control.....	7
D. Naturaleza de los valores guía	7
E. Buenas prácticas de manufactura	27
VI. DESCRIPCION DEL PROCESO.....	29
A. La importancia de partir de un agua de buena calidad	29
B. Desinfección inicial.....	30
C. Remoción de sólidos suspendidos y turbidez	32
D. Remoción de sólidos disueltos	33
E. Remoción de cloro, sabor, olor y color	35
F. Desinfección final.....	37
VII. MATERIALES Y METODOS.....	41
A. Metodología analítica.....	41
B. Diseño experimental.....	42
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
A. Pozo.....	45
B. Desinfección inicial.....	47
C. Remoción de sólidos suspendidos y turbidez	48
D. Remoción de sólidos disueltos	50
E. Remoción de cloro, sabor, olor y color	50
F. Desinfección final.....	52
G. Verificación del desempeño de todas las etapas del tratamiento.....	53
IX. CONCLUSIONES	58
X. RECOMENDACIONES	62
XI. ANEXO	64
A. Diagrama del proceso	64
B. Análisis de plaguicidas en el agua del pozo.....	65
C. Gráficas de control de parámetros químicos a lo largo del proceso...	67
XII. BIBLIOGRAFIA	70

I. INTRODUCCION

El consumo de agua es una necesidad vital que todo ser tiene que satisfacer, y es una práctica común considerar al agua pura como un recurso tan abundante que prácticamente es ilimitado.

Sin embargo, la realidad es otra. Por una parte, el agotamiento acelerado de los recursos forestales y los cambios climáticos que van asociados a la deforestación amenazan progresivamente la cantidad que tenemos disponible de este recurso. Por otra parte, la presión demográfica, el desarrollo progresivo de la industria en ciudades y la agroindustria en áreas rurales amenazan la calidad del agua que aún nos queda. Como consecuencia, cada vez son más escasas las fuentes de agua pura, es decir, agua que se pueda beber repetidamente sin consecuencias negativas para la salud humana.

Bajo este panorama se puede valorar la misión que le corresponde a la industria del agua embotellada, quienes deben ofrecer al consumidor la garantía de que el agua que suministra está libre de todos los elementos que constituyen una amenaza para la salud.

Para cumplir con esta finalidad, en las embotelladoras de agua se requiere un nivel de control altamente exigente en cuanto a características del proceso, disposiciones del personal operativo y parámetros del producto terminado. La auditoría constante de todos estos aspectos es lo que garantiza la calidad del producto y ésta sólo puede llevarse a cabo si se cuenta con un programa de calidad. Este programa debe considerar los puntos críticos del proceso y las exigencias de las normas establecidas.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de identificar los puntos críticos en un proceso modelo de embotellado de agua potable. Las actividades que se consideran abarcan el tratamiento del agua, el envasado de la misma en presentación de 18.9 litros (garrafón) y las especificaciones de las normas definidas para este tipo de industria.

La investigación se llevará a cabo tomando como base los parámetros establecidos por instituciones certificadas en el área de agua pura embotellada. Todos los métodos de análisis de laboratorio que se necesitan para controlar los puntos críticos se detallarán, según métodos estándar.

II. OBJETIVOS

General

Determinar los puntos críticos dentro un proceso modelo de tratamiento de agua pura embotellada.

Específicos

1. Describir en detalle la finalidad que tiene cada una de las etapas en el proceso de purificación del agua embotellada, que indiquen las condiciones básicas para que se desarrollen de la mejor manera.
2. Establecer los parámetros a evaluar en cada uno de los puntos críticos del proceso de purificación del agua embotellada.
3. Determinar los análisis químicos, físicos y microbiológicos que deben llevarse a cabo para controlar el desempeño de cada etapa en el proceso (según los métodos descritos en el manual de "Métodos Stándard para el Examen de Agua y Aguas Residuales")

III. HIPOTESIS

Para garantizar la calidad del agua pura embotellada es necesario identificar los puntos críticos dentro del proceso de purificación, de manera que se mantenga un estricto control de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que puedan alterar la calidad del producto terminado.

IV. JUSTIFICACION

El agua es un líquido de alto consumo en todos los niveles y sectores de un país. La comercialización de agua pura embotellada responde a la necesidad de los consumidores de tener un producto microbiológicamente seguro y que cumpla con las características adecuadas en cuanto a la composición química y características físicas.

Es por ésto que toda empresa embotelladora de agua pura debe establecer los puntos críticos que existen dentro del proceso de tratamiento o manejo del agua; y así asegurar a sus clientes que les está proporcionando un producto seguro y que cumple con las características esperadas.

V. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. Definición de Control de Calidad

El control de calidad se puede definir sencillamente como el mantenimiento de las características específicas del producto acabado cada vez que éste se fabrica. Implica un control eficaz de las materias primas y de los procesos de producción (CCI, 1991).

La función general del control de calidad consiste en conseguir que un producto mantenga su adecuación de uso. Por parte del fabricante, lo más importante es que sepa prevenir los defectos del producto, mejorar su calidad, prever un efectivo programa de control y desarrollar un sistema eficiente de vigilancia de la calidad. Para que este sistema tenga éxito es preciso que exista una buena estructura orgánica para las actividades de control de calidad, y que tanto la dirección como los trabajadores estén dispuestos a aceptar nuevas responsabilidades para mejorar las relaciones laborales (CCI, 1991).

B. Estándares de Calidad para Agua Potable Embotellada

Como agua potable embotellada se entiende toda el agua que sea sellada en botellas, envases u otros contenedores, apropiadamente etiquetados y que se ofrezcan para la venta del consumo humano (IBWA, 1987).

En el agua de bebida en las diversas regiones del mundo se han identificado millares de sustancias orgánicas e inorgánicas, muchas de ellas en concentraciones extremadamente reducidas. Las seleccionadas para el establecimiento de valores guía son las que se consideran potencialmente peligrosas para la salud humana, las que se detectan con relativa frecuencia en el agua de bebida y las que se hallan en ésta en concentraciones relativamente elevadas. (Guías para la calidad del agua potable, 1995)

Algunas sustancias químicas potencialmente peligrosas que se observan en el agua para bebida proceden directamente de los compuestos empleados para el tratamiento de ésta o de los materiales de construcción utilizados en los sistemas de abastecimiento. La mejor manera de controlarlas es establecer especificaciones apropiadas para esas sustancias químicas y esos materiales. (Guías para la calidad del agua potable, 1995)

Actualmente, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) sólo ha establecido estándares para el agua potable (NGO 29 001), pero no se ha determinado ningún parámetro específico para el agua embotellada. En Estados Unidos, la Food and Drug Administration sí ha establecido estándares de la calidad microbiológica, física y química del agua embotellada, los cuales han sido adoptados por la International Bottled Water Association para asegurar la calidad

del agua embotellada que se comercializa en todo el mundo. (IBWA, 1987).

C. Puntos críticos de control

Se consideran como puntos críticos de control en proceso aquellas actividades que pueden introducir un riesgo de contaminación en el producto. Esta contaminación puede ser de tipo físico, químico o microbiológico.

Para determinar que un punto del proceso es crítico deben llevarse registros del estado del producto antes y después de ese punto. En el caso de que se determine que es un punto de control, los registros deberán ser permanentes y las cualidades a observar estarán definidas claramente para no perder la atención en atributos no críticos para el punto en cuestión (CCI, 1981).

D. Naturaleza de los valores guía

En el caso de los componentes del agua potencialmente peligrosos se han establecido valores guía, que proporcionan una base para estimar la calidad del agua de bebida.

- o Un valor guía representa la concentración de un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si éste se bebe el agua durante toda su vida. (Guías para la calidad del agua potable, 1995)

- o Las desviaciones por un período breve durante el cual se sobrepasan los valores guía no significan necesariamente que el agua no sea apta para el consumo. La proporción en que pueda rebasarse un valor guía y el período durante el cual pueda prolongarse esta situación sin que ello repercuta en la salud pública dependerán de la sustancia de que se trate. (Guías para la calidad del agua potable, 1995).
- o El límite máximo aceptable (LMA) es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor. (COGUANOR NGO 29 001)
- o El límite máximo permisible (LMP) es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada al consumo humano. (COGUANOR NGO 29 001)

A continuación se describen los parámetros que determinan la calidad del agua embotellada, indicando los valores límite establecidos tanto por COGUANOR (agua potable) como por la IBWA/FDA.

1. *Calidad microbiológica*

La calidad bacteriológica del agua es de primordial importancia para determinar su aceptabilidad para tomarla. Varias especies de bacterias sobreviven y crecen en el agua, y algunas de ellas son capaces de producir enfermedades en el

hombre. Estas enfermedades incluyen fiebre tifoidea, cólera, disentería, gastroenteritis, hepatitis viral y poliomelitis. La mayoría de estos organismos patógenos se originan en las excreciones de personas enfermas y portadoras sanas y así son encontrados en las aguas negras. (IBWA, 1987).

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 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. (Guías para la calidad del agua potable, 1995).

Aunque no existe ningún organismo que se ajuste a todos los criterios del indicador fecal ideal que se ha descrito, *E. coli* responde a muchos de ellos. *E. coli* abunda en las heces de origen humano y animal, y alcanza 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. (Guías para la calidad del agua potable, 1995)

El recuento total de organismos coliformes es otro buen indicador microbiano de la calidad del agua de bebida, debido a que su detección y recuento en el agua son fáciles. La existencia en este grupo de bacterias no fecales (bacterias lactosa negativas) limita la utilidad de este grupo como indicador de la contaminación fecal, aunque refleja la eficacia del tratamiento microbiológico. (Guía para la calidad del agua potable, 1995).

Las evaluaciones de la calidad bacteriológica se basarán en pruebas cuantitativas para determinar la presencia de organismos coliformes: el método de tubos múltiples de fermentación o el método de membranas de filtración. Estos métodos consisten en recobrar las cepas dañadas por el medio ambiente o los desinfectantes, por lo cual se puede requerir de una incubación previa durante un período breve a una temperatura más baja. (Guías para la calidad del agua potable, 1995)

COGUANOR ha definido como límite para el agua potable, que cuando se

aplique la técnica de las membranas de filtración la media aritmética de la densidad de coliformes de todas las muestras normales que se examinen en un mes no debe exceder de un microorganismo/ 100ml. El número de colonias coliformes por muestra normal no ha de exceder de 3/ 50ml, 4/ 100ml, 7/ 200ml ó 13/ 500ml (COGUANOR 29 001).

Para el agua embotellada, la FDA ha establecido como límite máximo de contaminación que no más de una de las unidades analíticas de la muestra presente 4.0 o más organismos coliformes por 100ml, y la media aritmética de la muestra coliforme no excederá de un organismo coliforme por 100ml de agua (IBWA, 1987).

2. *Calidad química*

El agua no debe contener impurezas en concentraciones peligrosas, ni ser excesivamente corrosiva, ni tener residuos excesivos de las sustancias que se emplearon en su tratamiento. Consecuentemente, el agua embotellada cumplirá con los estándares de calidad química si presenta menos de las cantidades establecidas como límite para cada uno de los contaminantes regulados por COGUANOR y FDA. Los principales indicadores de la calidad química del agua se describen a continuación:

pH

Esta es una medida de la actividad iónica del hidrógeno en una muestra de agua. Se relaciona matemáticamente con la actividad del ion hidrógeno según la expresión: $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$, donde $[\text{H}^+]$ es la actividad iónica del hidrógeno.

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, al 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 (Guías para la calidad del agua potable, 1995).

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el pH, aunque valores superiores a 11 se han puesto en relación con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	6.5 – 9.2
IBWA/FDA (Agua embotellada)	5 – 9

Dureza

La dureza del agua es causada por los iones metálicos polivalentes que se encuentran disueltos. En aguas naturales estos iones son principalmente calcio y magnesio, y generalmente se reporta como concentración equivalente

de carbonato de calcio.

El valor de la dureza en el agua no tiene importancia desde el punto de vista del agua para consumo humano, pero es importante considerarla ya que en ciertos casos dificulta la cocción de algunos alimentos y provoca la formación de incrustaciones en todos los utensilios de cocina. El umbral de sabor del ión calcio es del orden de 100 - 300 mg/litro, según el anión asociado, y el umbral del sabor del magnesio es probablemente inferior al del calcio. En algunos casos, los consumidores toleran una dureza de más de 500mg/litro.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 500mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 500 mg/l

Sólidos Disueltos Totales

El término de sólidos disueltos totales se refiere a sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y materiales disueltos en el agua. Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua incluyen carbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos; y los principales cationes son sodio, potasio, calcio y magnesio. Las concentraciones de sólidos disueltos en el agua varían considerablemente en diferentes regiones geológicas, debido a la distinta solubilidad de los materiales.

La cantidad de sólidos disueltos de un agua debe controlarse debido a que

puede producir trastornos fisiológicos a las personas, mal sabor en el agua y altos costos debido a la corrosión que puede causar o a tratamientos adicionales que necesite.

Se considera que, con concentraciones inferiores a 600mg/l, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente cuando la concentración sobrepasa 1200mg/l. El agua con concentraciones de sólidos muy reducidas puede resultar inaceptable por su insipidez.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 1,500mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 500 mg/l

Cloruros

Todas las aguas naturales contienen iones cloruro, en concentraciones que dependen de las condiciones geológicas y locales. Si el contenido de iones cloruro es más elevado de lo que se espera a partir de las condiciones geológico-mineralógicas, esto puede ser debido a la contaminación del agua con productos de excreción. Sin embargo, también se deben considerar otros indicadores de contaminación como nitratos, fosfatos y el índice de permanganatos.

También es importante controlar el nivel de cloruros desde el punto de vista organoléptico, ya que las concentraciones elevadas del cloruro hacen que el agua y las bebidas tengan un sabor desagradable. Los umbrales de sabor del anión cloruro dependen del catión asociado y son del orden de 200 a 300 mg/l para el cloruro sódico, potásico y cálcico. Los consumidores pueden acostumbrarse a concentraciones superiores a 250 mg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 600mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 250 mg/l

Cloro residual

El cloro se utiliza ampliamente como desinfectante y oxidante en el tratamiento de agua de bebida. En el agua, el cloro se combina para formar ácido hipocloroso e hipocloritos.

En los seres humanos y los animales expuestos a cloro en el agua de bebida no se han observado efectos negativos específicos relacionados con el tratamiento. El valor guía para el cloro presente en el agua potable en estado libre se basa en una ingesta diaria total (IDT) de 150µg/kg de peso corporal. Si se asigna al agua potable el 100% de la IDT, se obtiene un valor guía de 5 mg/l.

Los umbrales de sabor y olor del cloro en el agua destilada son de 5 y 2 mg/l, respectivamente. La mayor parte de las personas perciben el sabor del cloro o de sus productos secundarios en concentraciones inferiores a 5mg/l, aunque una concentración de cloro residual de 0.6 a 1.0 mg/l comenzará, por lo general, a crear problemas de aceptación.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	0.6 mg/l – 1 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 1 mg/l

Hierro

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 50mg/l. 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.

El hierro es un elemento indispensable de la nutrición humana. La asignación del 10% de la IDT al agua potable proporciona un valor de unos 2 mg/l, que no representan un riesgo para la salud. En concentraciones superiores a 0.3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y las instalaciones de fontanería. Cuando la concentración es inferior a 0.3mg/l, el sabor no suele ser

perceptible, aunque el agua puede enturbiarse y colorearse.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 1 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 0.5 mg/l

Manganeso

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con el hierro. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro.

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

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.5 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 0.05 mg/l

Nitratos y nitritos

Los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En las aguas superficiales y subterráneas, las

concentraciones de nitratos naturales ascienden generalmente a unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado en numerosas ocasiones, debido a la intensificación de las prácticas agrícolas, un aumento de las concentraciones de nitratos que pueden llegar a varios centenares de miligramos por litro.

Los datos epidemiológicos favorables a la existencia de una relación entre los nitratos alimentarios y el cáncer son insuficientes, y el valor guía para los nitratos presentes en el agua potable se establece exclusivamente para prevenir la metahemoglobinemia, que depende de la transformación de nitrato en nitrito.

Se dispone de amplia información epidemiológica que apoya el actual valor guía de 10mg/l establecido para el nitrógeno en forma de nitrato. No obstante, el valor debe expresarse sobre la base del nitrato, que es la entidad química que puede perjudicar la salud, por lo que se establece un valor guía para el nitrato de 50mg/l.

Dado que recientemente se han obtenido datos que indican la presencia de nitritos en algunos sistemas de abastecimiento de agua, se llegó a la conclusión de que debía proponerse un valor guía para el nitrito: 3 mg/l.

Dado que los nitratos y nitritos pueden estar simultáneamente presentes en el agua de bebida, la suma de las razones de la concentración de cada uno de ellos y su respectivo valor guía no debe superar la unidad.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	
Nitratos	Máx. 45 mg/l
Nitritos	Máx. 0.01 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	
Nitrógeno	Máx. 10 mg/l

Sulfatos

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente. Se descargan en el agua a través de desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante las mayores concentraciones se dan en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. La presencia de sulfato en el agua potable puede causar un

sabor perceptible. El deterioro a este respecto es variable, según el tipo de catión asociado; se ha comprobado que los umbrales de sabor oscilan entre 250 mg/l en el caso de sulfato sódico y 1,000 mg/l en el del sulfato cálcico. Generalmente se considera que la alteración del sabor es mínima para concentraciones inferiores a 250 mg/l.

Se ha descubierto también que el sabor del agua destilada mejora cuando se le agrega sulfato cálcico y magnésico (pero no sódico); el sabor óptimo se registró para concentraciones de estos compuestos de 270 y 90 mg/l, respectivamente.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 400mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 250 mg/l

Plaguicidas

Se reconoce que los productos de la degradación de los plaguicidas pueden representar un problema en el agua de bebida. No obstante, en la mayor parte de los casos, no se ha tenido en cuenta la toxicidad de estos productos ya que los datos disponibles sobre su identidad, su presencia y su actividad biológica son insuficientes.

Algunos de los plaguicidas que actualmente se encuentran regulados son:

- *Aldrina y dieldrina.* Son plaguicidas clorados que se utilizan contra

plagas que viven en el suelo, para la protección de la madera y, en el caso de la dieldrina, contra insectos de importancia para la salud pública. Estos compuestos son muy tóxicos para los animales de experimento y se han producido casos de envenenamiento de seres humanos. Ambos ejercen más de un tipo de acción tóxica, siendo los órganos más afectados el sistema nervioso central y el hígado. Aunque las concentraciones de aldrina y dieldrina en los alimentos han ido disminuyendo, la segunda es muy persistente y se acumula en los tejidos corporales. Por lo tanto, el valor guía, basado en la asignación del 1% de la IDA al agua potable, es de 0.03µg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	
Aldrina	Máx. 0.0170mg/l
Dieldrín	Máx. 0.0170 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	No se debe presentar

- *Clordano*. Es un insecticida de amplio espectro que se utiliza para destruir termitas mediante inyección superficial en el suelo. Es muy resistente a la degradación, inmóvil en el suelo y pasa muy difícilmente a las aguas subterráneas, donde sólo se ha encontrado en raras ocasiones. Desaparece fácilmente por liberación en la atmósfera. Aunque las concentraciones de clordano en los alimentos han ido disminuyendo, la sustancia es muy persistente y muestra un gran potencial de bioacumulación. La asignación del 1% de la IDA al agua

potable proporciona un valor guía de 0.2µg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.003mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	No se debe presentar

- *DDT.* La estructura del DDT permite varias formas isoméricas distintas, y los productos comerciales están constituidos principalmente por p,p'-DDT. En algunos países, se ha restringido o incluso prohibido la utilización de este compuesto, pero en otros aún se emplea ampliamente, tanto en la agricultura como en la lucha antivectorial. El DDT es un insecticida persistente, estable en la mayor parte de condiciones ambientales; la sustancia y algunos de sus metabolitos son resistentes a la descomposición completa por los microorganismos presentes en el suelo. En pequeñas dosis, el DDT y sus metabolitos son absorbidos casi por entero por los seres humanos, tras su ingestión o inhalación, y se acumulan en los tejidos adiposos y la leche. Al asignar al agua potable el 1% de la IDA, se obtuvo un valor guía de 2µg/l para el DDT y sus metabolitos presentes en el agua de bebida. Este valor sobrepasa la solubilidad del DDT en el agua, que es de 1µg/l. No obstante, las pequeñas cantidades de partículas que contiene el agua puede absorber una cierta cantidad de este producto, por lo que el valor guía de 2µg/l puede alcanzarse en determinadas circunstancias.

ENTIDAD REGULADORA	Limite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.05mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	No se debe presentar

- *Heptacloro*. Es un insecticida de amplio espectro, cuyo uso se ha prohibido o restringido en muchos países. En la actualidad se utiliza sobre todo para la lucha contra las termitas mediante inyección superficial en el suelo. El heptacloro es bastante persistente en el suelo, donde se transforma principalmente en su epóxido, que es muy resistente a la degradación. La exposición prolongada al heptacloro se ha asociado con lesiones hepáticas y efectos tóxicos en el sistema nervioso central. Con la asignación al agua potable del 1% de la IDA, el valor guía es de 0.03µg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Limite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.0180mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	No se debe presentar

- *Lindano*. Es un insecticida utilizado en aplicaciones agrícolas con plantas y animales, en salud pública y como conservante de la madera. El lindano es un compuesto persistente con una afinidad por el agua relativamente baja y una reducida movilidad en el suelo; se volatiliza lentamente en la atmósfera. Al asignar al agua potable el 1% de la IDT, el valor guía es de 2µg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.0560 mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. .0040 mg/l

- *Metoxicloro*. Es un insecticida utilizado en las hortalizas, las frutas, los árboles, el forraje y los animales de granja. Se disuelve mal en el agua y es sumamente inmóvil en la mayor parte de los suelos agrícolas. En condiciones normales de uso, el metoxicloro no parece ser perjudicial para el medio ambiente. No obstante, se ha detectado ocasionalmente en el agua de bebida. La asignación al agua potable del 10% de la IDT da como resultado un valor guía de 20µg/l.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 0.0350mg/l
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 0.1000 mg/l

3. *Calidad física*

El abastecimiento de agua potable no sólo inocua sino también de apariencia, sabor y olor agradables tiene gran prioridad. El agua insatisfactoria en este sentido provocará la desconfianza de los consumidores, quienes dan lugar a quejas y posiblemente al uso de agua procedente de fuentes menos seguras (Guía para la calidad del agua potable, 1995).

En el grado de aceptación del agua potable por los consumidores pueden influir muchos componentes distintos, de los cuales ya se han hecho referencia a varias

sustancias para las que se han establecido valores guía y que pueden afectar el sabor o el olor del agua. A continuación se presentan los parámetros físicos que pueden influir en la actitud que los consumidores tengan sobre la calidad del agua y que pueden percibir con sus propios sentidos (Guía para la calidad del agua potable, 1995).

Color

El color del agua potable se debe por lo general a la presencia de materias orgánicas coloreadas relacionadas con el humus del suelo. Influye considerablemente en él la presencia de hierro y otros metales, ya sea en forma de impurezas de origen natural o como producción de la fuente del agua por efluentes industriales y constituir el primer indicio de una situación peligrosa (Guías para la Calidad del agua potable, 1995).

Los colores superiores a 15 UCV (unidades de color verdadero) pueden ser detectados en un vaso 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.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 50 HZ
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 5 UCV

Sabor y olor

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

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.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	No rechazable
IBWA/FDA (Agua embotellada)	No rechazable

Turbidez

La causa de la turbidez del agua de bebida es la presencia de partículas, que puede deberse a que el tratamiento ha sido insuficiente o a 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 turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. Por lo tanto, cuando el agua deba desinfectarse, la turbidez debe ser baja para que la

desinfección resulte eficaz.

Generalmente, la apariencia del agua con una turbidez inferior a 5 unidades nefelométricas (UNT) es aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar según las circunstancias locales. No obstante, se recomienda que la turbidez se mantenga lo más baja posible, debido a sus efectos microbiológicos.

ENTIDAD REGULADORA	Límite establecido
COGUANOR (Agua potable)	Máx. 25 UNT
IBWA/FDA (Agua embotellada)	Máx. 5 UNT

E. Buenas Prácticas de Manufactura

Las regulaciones de la Food and Drug Administration (FDA), en el volumen 21 del Código de Regulaciones Federales (CFR) prescriben el diseño específico y los requerimientos de operación para que el lugar, los métodos y los controles utilizados en el proceso, embotellado, almacenaje y distribución del agua potable embotellada estén en conformidad con las buenas prácticas de manufactura (IBWA, 1987)

Las buenas prácticas de manufactura (BPM) "son un conjunto de procedimientos, condiciones y controles que garantizan el ambiente adecuado de higiene y limpieza, a través de los cuales se minimizan riesgos de contaminación para garantizar la calidad y seguridad de los productos, con lo cual se logra satisfacer

al consumidor en salud y gusto" (Manual-Guia de BPM para la industria de alimentos y bebidas, 1998).

Las áreas de aplicación de las BMP abarcan:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| * Personal | * Instalaciones Físicas |
| * Instalaciones Sanitarias | * Servicios a Planta |
| * Equipo y Utensilios | * Procesos |
| * Almacenaje y Distribución | * Control de Plagas |
| * Limpieza | * Saneamiento |

(Manual-Guia de BPM para la industria de alimentos y bebidas, 1998).

La importancia de la implementación de estas prácticas radica en que son el fundamento de cualquier sistema de control y garantía de calidad en la empresa. Como beneficios de las BPM se obtiene la disminución de riesgos de contaminación de los productos, lo que favorece grandemente el nivel de calidad y a su vez ayuda a mantener los niveles de productividad altos (Manual-Guia de BPM para la industria de alimentos y bebidas, 1998).

VI. DESCRIPCION DEL PROCESO

En un proceso de embotellado de agua potable se desarrollan distintas operaciones con el fin de eliminar las sustancias no deseadas contenidas en el agua proveniente de la fuente. La mayor parte de los procesos de tratamiento originan cambios en la concentración de una sustancia específica, por incorporar o eliminar dicha sustancia en el agua.

El tratamiento que se desarrolla en una planta embotelladora de agua potable puede variar, dependiendo del tipo, calidad y cantidad del agua de la fuente y del producto terminado que se desee comercializar. En este trabajo de investigación se considera un proceso que abarca las siguientes operaciones*:

- ◆ Desinfección inicial (cloración)
- ◆ Remoción de sólidos suspendidos y turbidez (filtros de arena)
- ◆ Remoción de sólidos disueltos (ósmosis inversa)
- ◆ Remoción de cloro, sabor, olor y color (filtros de carbón)
- ◆ Desinfección final (radiación UV y ozonificación)

* Ver diagrama del proceso en Anexo 1.

A. La importancia de partir de un agua de buena calidad

La materia prima de la industria embotelladora, el agua de la fuente, es conveniente que sea de la mejor calidad posible para minimizar el costo de inversión en equipo de tratamiento, minimizar el costo de operación de la

planta, y que el producto sea lo más natural posible.

En el proceso bajo análisis, el agua proviene de un pozo situado a pocos metros de la planta de embotellamiento. El pozo se encuentra protegido de fuentes de contaminación externa ya que se encuentra en un área totalmente cubierta y el agua se extrae al utilizar una bomba mecánica.

B. Desinfección Inicial

El primer proceso de purificación al que se somete el agua después de ser extraída del pozo, es la desinfección inicial con hipoclorito de sodio (NaOCl). La cloración del agua busca una erradicación sustancial de los microorganismos presentes, que aseguran condiciones higiénicas en toda la línea de tratamiento.

El hipoclorito de sodio es uno de los desinfectantes más utilizados por su fuerte poder oxidante. Las especies desinfectantes del cloro, reaccionan con las enzimas que son esenciales para los procesos metabólicos de las células vivientes, las cuales mueren cuando no son activadas por estas sustancias clave. Las ventajas de utilizar este desinfectante radican en su alta efectividad, su amplio uso y su bajo costo. Sin embargo, se deben vigilar las concentraciones en que se maneja, ya que al reaccionar con la materia

orgánica presente en el agua puede formar productos secundarios cancerígenos (trihalometanos).

A través de experimentos, se encontró que si la cloración del agua se lleva a cabo justo antes de la filtración de la misma, se minimiza la producción de trihalometanos como producto secundario. Este aspecto justifica el punto donde se encuentra la adición del cloro en el proceso que se analiza en este estudio, ya que la operación subsiguiente en el tratamiento es la filtración por medio de arena y ósmosis inversa.

El cloro, en su estado libre ($\text{HOCl} + [\text{OCL}]$) inactiva la mayoría de los microorganismos en cuestión de minutos. Sin embargo, para lograr una efectiva acción desinfectante del cloro se consideran los siguientes factores:

↳ Concentración libre de cloro. Como agente oxidante fuerte, el cloro reacciona con las sustancias reductoras presentes en el agua (Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2 , H_2S y material orgánico vivo o muerto). Las sustancias inorgánicas generalmente reaccionan en forma rápida, mientras que la respuesta del material orgánico es generalmente lenta. Esto hace que al agregar el cloro, se considere una cantidad suficiente para llevar a cabo dichas reacciones, así como las de desinfección. Para asegurar

que la demanda de cloro se cubre, la medición de la cantidad de cloro presente en el agua tratada se analiza como los residuos remanentes de esta sustancia después de un tiempo de contacto, en vez de controlar las dosis iniciales que se adicionan de cloro.

↪ pH. El pH del agua debe mantenerse cerca de 7.0 para asegurar que la mayoría del cloro residual se encuentre en la forma del ácido hipocloroso (HOCl). En el proceso bajo análisis esta condición se cumple fácilmente, ya que el agua que proviene del pozo presenta un pH neutro, por lo que no se debe recurrir a un proceso adicional.

↪ Contacto con el agua. El hipoclorito de sodio, por encontrarse en estado líquido, se adiciona al agua por medio de una bomba dosificadora. Esto permite controlar fácilmente la cantidad de desinfectante que se usa y ajustar de acuerdo a las variaciones en la carga bacteriana que presente el agua en distintas épocas del año. Además, la dosificación se hace en una tubería por donde pasa el agua antes de entrar al tanque de almacenamiento, lo cual permite un contacto uniforme con toda el agua que entra al proceso.

C. Remoción de sólidos suspendidos y turbidez

La remoción de impurezas se lleva a cabo por medio de filtros de arena por los que se hace pasar el agua, posteriormente a la cloración. Los filtros de arena

remueven las partículas mediante el concepto que el filtro posee en el agregado un área superficial grande en contacto con el agua y las impurezas que pasan a través de ella. Entran en juego fuerzas superficiales – entre ellas la fuerzas de Van der Waals- que unen las partículas a las superficies, aun cuando éstas puedan tener la misma carga eléctrica que los granos del filtro. Sólo en caso de que las partículas no encuentren sitios en los granos que las acepten, escapan al efluente.

Para determinar cuándo el filtro está saturado debe monitorearse con frecuencia la caída de presión que se observa entre el flujo de agua que entra y el que sale del filtro. Si este parámetro (ΔP) se incrementa significativamente (consecuencia de la saturación), la presión que se genera puede forzar a las partículas retenidas a salir del filtro, a tal punto que el agua que se obtiene como producto presenta niveles mayores de sólidos y turbidez que la que ingresa al filtro.

D. Remoción de sólidos disueltos

Para remover los sólidos disueltos que se encuentran presentes en el agua se utiliza el proceso de ósmosis inversa. Este proceso tiene la ventaja de no aportar ninguna sustancia al agua y remover casi todos los contaminantes en un alto porcentaje. Es útil para tratar agua con altos niveles de sustancias inorgánicas,

orgánicas y sólidos disueltos totales.

La ósmosis inversa es un proceso que utiliza membranas semipermeables y presión para remover los contaminantes de la solución. El principio de operación se basa en el flujo de agua con una concentración alta de contaminantes por un lado de la membrana, mientras que por el otro lado de la membrana pasa el agua del proceso (menor contenido de contaminantes). Esto genera un potencial químico que induce el transporte del agua a través de la membrana, creando la presión osmótica. En este proceso una bomba aplica una presión mayor a la presión osmótica para revertir el flujo del agua hacia la corriente que tiene menos contaminantes. Como la membrana sólo permite el paso del agua, y no de los iones disueltos, los contaminantes se dejan en la solución de desecho.

El desempeño de un proceso de ósmosis inversa depende principalmente del tipo de membrana que se utilice. En este caso en particular, las membranas que se emplean son de acetato de celulosa, material que soporta concentraciones de cloro hasta de 1.5 mg/l y un rango de pH entre 2 y 8.

El pretratamiento del agua también es esencial para prevenir la saturación de las membranas. Tal y como se presenta en este proceso, la unidad de ósmosis

inversa debe estar precedida por un proceso de filtración que remueva los sólidos de mayor tamaño.

La ósmosis inversa puede remover casi todos los contaminantes inorgánicos del agua, por lo que se recomienda en muchos casos remezclar una parte del agua de salida con el agua de entrada para no dejar el producto demasiado bajo en sales y que sea calificado como "insípido" por el consumidor (Purificación de Agua por la Industria Embotelladora, 1998).

E. Remoción de cloro, olor, sabor y color

Para remover el cloro y mejorar la calidad organoléptica del agua, se utiliza un filtro de carbón activado (GAC). Los filtros de carbón activado son el mejor medio para remover sabores, olores, cloro y la mayoría de los contaminantes orgánicos.

El carbón activado trabaja bajo el principio de "adsorción". Los contaminantes disueltos (adsorbato) se transfieren del agua a la superficie microporosa de las partículas de carbón (adsorbente). El gran área superficial con que cuenta el carbón activado, junto al nivel de porosidad que presenta son los elementos que dotan a este material de su gran efectividad de adsorción.

El proceso de adsorción es principalmente físico y puede ser revertido fácilmente.

El que sea una operación fácilmente reversible también constituye una ventaja de este material, ya que facilita el reciclaje y el uso repetido del carbón.

Adicionalmente a la adsorción física de ciertos contaminantes (compuestos orgánicos principalmente), el carbón activado elimina el cloro libre del agua por medio de una reacción química en su superficie: $C + HOCl \rightarrow CO + H^+ + Cl^-$

Donde C y CO representan el carbón activado y el óxido que se forma en la superficie. Como consecuencia de esta reacción, se minimiza la capacidad de adsorción que presenta el carbón, aunque no de manera significativa. El control del pH es un aspecto importante en esta etapa, ya que la remoción del cloro es más eficiente a pH 5 - 7.

La afinidad del carbón activado por moléculas de gran tamaño se ilustra al reducir su efectividad cuando a este proceso le precede la ozonificación. El ozono rompe los contaminantes en moléculas de menor tamaño, lo que hace difícil que el carbón activado las retenga. Otro aspecto importante a considerar es la presencia de contaminantes que compitan con aquellos que interesa remover, ya que afectan negativamente la adsorción de estos últimos. En el proceso bajo estudio, este aspecto se minimiza porque antes de pasar por los filtros de carbón, el agua ha sido sometida a dos procesos de filtración que han eliminado la mayoría de sólidos disueltos que podrían interferir en este proceso.

La eficiencia del carbón activado depende del tipo de contaminante que se trate de remover. Por ejemplo, el carbón activado adsorbe fuertemente muchos pesticidas y fenoles. Sin embargo, adsorbe débilmente los trihalometanos y otros solventes (compuestos orgánicos volátiles).

F. Desinfección final

La desinfección constituye el último paso antes de envasar el producto, y no debe hacerse pasar el agua por ningún otro tratamiento después de éste. En el proceso bajo análisis, para la desinfección final del agua se utiliza luz ultravioleta y ozono. A continuación se presentan los aspectos que deben tomarse en cuenta para el desarrollo de estos dos procesos (Purificación de Aguas y Tratamiento y remoción de aguas residuales, 1971).

1. Desinfección con luz Ultravioleta

La radiación con luz Ultravioleta (UV) es un efectivo desinfectante. El rango germicida de la luz UV va de 200 – 300 nm, pero su mayor efectividad se encuentra en los 254 nm. Posee una gran cobertura en la desinfección de bacterias y virus, pero su espectro de cobertura es limitado en los protozoarios y quistes. El uso de luz UV no protege contra la reinfeción del producto durante el envasado, por lo cual es necesario el uso de un desinfectante secundario.

La luz UV penetra la pared celular de los organismos y se absorbe por los ácidos nucleicos. La absorción de la radiación previene la replicación, causando la muerte de la célula. Ya que la radiación UV no es un agente químico, no produce ningún residuo tóxico en el agua tratada.

Para generar la radiación UV se emplea una lámpara especial que transfiere la energía electromagnética a las células de los organismos que se desean eliminar.

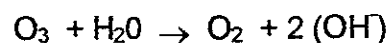
El agua que contiene sólidos suspendidos, color, turbidez y material orgánico disuelto puede reaccionar o absorber la radiación UV, reduciendo el desempeño de la desinfección. De esta forma, el agua con grandes concentraciones de estas sustancias puede recibir una desinfección inadecuada. Este problema no se presenta en el proceso analizado en este trabajo, ya que la desinfección con UV se encuentra al final de la línea de tratamiento, posterior a procesos de filtración que remueven las sustancias interferentes.

El factor más importante en la desinfección con ultravioleta es la limpieza de la superficie a través de la que pasa la radiación. Cualquier suciedad que se deposite en esta superficie interfiere con la cantidad de radiación que recibe el agua al pasar por este proceso, de forma que un estricto programa de mantenimiento debe contemplarse.

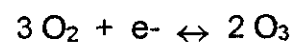
2. *Desinfección con Ozono*

El ozono (O₃) es el desinfectante más poderoso que se conoce para tratar el agua, ya que destruye bacterias y virus de una manera más rápida que el cloro. El cloro puede tardar horas en penetrar la pared celular de los microorganismos, mientras que la oxidación del ozono ocurre en segundos.

El ozono tiene ciertas características que lo hacen ser más seguro que otros sistemas de desinfección. Una de ellas es que los subproductos que genera producen menores daños en la salud que los subproductos que origina el tratamiento con cloro. Además presenta la propiedad de autodescomponerse a pH mayores a 6, produciendo numerosos radicales libres, siendo el más importante el radical hidroxilo (OH).



Debido a que el ozono es un gas altamente inestable, debe ser generado "in situ" y utilizado rápidamente. El ozono se genera al aplicar energía al oxígeno proveniente de aire seco o de oxígeno puro. Las moléculas de oxígeno se rompen, produciendo átomos de oxígeno que al encontrar otro átomo de oxígeno se unen produciendo una molécula de ozono.



El tiempo de vida del ozono en el agua varía entre 8 minutos y 14 horas, de acuerdo a la demanda de ozono que presente el agua. En este proceso, la dosis de ozono que se aplica al agua debe satisfacer primero la demanda de las sustancias contaminantes, y después debe presentar una concentración residual durante cierto período de tiempo para lograr la desinfección del agua. Para garantizar que se aplica la cantidad suficiente de ozono es necesario realizar mediciones sobre la concentración de esta sustancia en dos puntos del sistema.

El ozono no produce ningún subproducto halogenado, pero si en el agua a tratar se presenta el ion bromuro, puede hacerlo indirectamente al convertir el bromuro en ácido hipobromoso. Los principales subproductos de la ozonificación son derivados del material orgánico que contienen oxígeno.

Debido a que el ozono tiene un bajo umbral de olor y sabor, la concentración residual que debe presentar el agua al momento de ser consumida debe mantenerse entre 0.02 y 0.05mg/l. Para solucionar este problema el producto envasado debe mantenerse en inventario cierto tiempo antes de ser despachado, permitiendo que la mayor parte del ozono desaparezca y el consumidor no rechace el producto por sus características organolépticas.

VII. MATERIALES Y METODOS

A. Metodología Analítica

Todos los análisis realizados en este trabajo de investigación se desarrollaron de acuerdo a los métodos descritos en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". A continuación se indica el principio en el que se basa cada uno de los análisis que se llevaron a cabo para las distintas determinaciones, así como la referencia de la norma COGUANOR y del Método Estándar para cada caso.

ANALISIS	METODO UTILIZADO	Referencia COGUANOR	Referencia STANDARD METHODS
Cloro Residual	Espectrofotometría	NGO 29013 h8	408 E
Cloruros	Espectrofotometría	NGO 29013 h7	408 E
Color	Espectrofotometría	NGO 29011 h2	204 B
Dureza	Volumetría de formación de complejos	NGO 29012 h14	314 B
Hierro Total	Espectrofotometría	NGO 29012 h15	315 B
Manganeso	Espectrofotometría	NGO 29012 h19	319 B
Microbiológicos	Filtración por membranas	NGO 29018 h9	907 C 909 A y C
Nitratos	Espectrofotometría	NGO 29013 h18	418 A
Nitritos	Espectrofotometría	NGO 29013 h19	419
Olor	Análisis sensorial	NGO 29011 h5	207
Ozono Residual	Espectrofotometría	NA	408 E
Pesticidas organoclorados	Cromatografía de gases Captura de electrones	NGO 29014 h1	509 A
Pesticidas organofosforados	Cromatografía de gases Fotómetro de llama	NGO 29014 h1	509 B
pH	Proceso electrolítico (electrodo indicador)	NGO 29013 h23	423
Sabor	Análisis sensorial	NGO 29011 h9	211
Sólidos Disueltos Totales	Conductividad Eléctrica	NGO 29011 h7	205
Sulfatos	Espectrofotometría	NGO 29013 h26	426 C
Turbidez	Método Nefelométrico	NGO 29011 h12	214 A

NA = No aplica

B. Diseño Experimental

Para determinar los puntos críticos a lo largo de un proceso de agua embotellada fue necesario reunir información durante doce días de trabajo normal (sin situaciones anómalas). Se diseñó un programa de muestreo que permitiera incluir tanto las variaciones aleatorias como sistemáticas y que garantizara que las muestras tomadas fueran representativas de la calidad en todo el sistema de producción.

Para definir la frecuencia del muestreo a lo largo del proceso de producción del agua embotellada, primero se analizó una muestra del agua de la fuente (pozo) y una muestra del producto terminado. Ambos análisis fueron útiles para determinar si la fuente estaba expuesta a la contaminación por desechos domésticos, agrícolas o industriales; o si el producto final alcanzaba límites intolerables de contaminación química, física o microbiológica que se ocasionaran a lo largo del proceso. Las muestras se analizaron en triplicado y los parámetros considerados fueron:

PARAMETRO	AGUA DE POZO	PRODUCTO TERMINADO
Cloro Residual	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cloruros	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Color	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dureza Total	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hierro Total	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Manganeso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitritos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

PARAMETRO	AGUA DE POZO	PRODUCTO TERMINADO
Olor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pesticidas	<input checked="" type="checkbox"/>	
PH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sabor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sólidos Disueltos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sulfatos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Turbidez	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

A partir de estas determinaciones, al considerar la función principal de cada etapa del proceso de purificación, se desarrolló un plan de muestreo diario bajo el siguiente esquema:

	Antes de la desinfección inicial	Después de los filtros de arena	Después de los filtros de carbón	Después de la torre de ozono	Producto terminado
Cloro Residual		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Dureza	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Ozono Residual				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
Sólidos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>

El plan de muestreo de los parámetros microbiológicos (recuento total, coliformes y E.coli) se desarrolló a lo largo de las dos semanas de trabajo, y se alternó un día de muestreo con un día de no muestreo. Esta frecuencia en la toma de muestras corresponde al tiempo mínimo de incubación que requieren los análisis (24 horas), y a que la carga microbiológica del agua no sufre cambios significativos en períodos cortos de tiempo.

PARAMETRO	POZO	PRODUCTO TERMINADO
Recuento Total	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Coliformes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E. coli	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

VIII. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se indican los resultados de las mediciones realizadas en los distintos puntos de la línea de purificación (ver Anexo 1). Para identificar los puntos críticos en cada proceso se hace referencia tanto a los estándares que aplican al agua potable en Guatemala, como a las normas que internacionalmente se han fijado para el agua embotellada.

A. Pozo

El tipo y la cantidad de contaminantes que contiene el agua de la fuente se determinó con una medición inicial exhaustiva de la calidad química, física y microbiológica de la misma. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 7A.1, que se incluye a continuación.

**CUADRO 7A.1
ANALISIS INICIAL – AGUA DE POZO**

Parámetro	Resultado	LIMITES ESTABLECIDOS	
		COGUANOR	IBWA
PH	6.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dureza	60 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sólidos disueltos totales	210 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cloruros	3.5 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cloro residual	0.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hierro total	0.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Manganeso	0.05 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos	2.8 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitritos	< 0.01 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sulfatos	81.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pesticidas organoclorados*	0.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pesticidas organofosforados*	0.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Parámetro	Resultado	LÍMITES ESTABLECIDOS	
		COGUANOR	IBWA
Color	3.0 Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sabor	No rechazable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Olor	No rechazable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Turbidez	0.0 UNT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento microbiológico total	Incontables	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento coliformes total	0 UFC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento E.coli	0 UFC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

*El detalle de los pesticidas analizados se presenta en el Anexo 2.

Estos resultados muestran que la calidad del agua del pozo que se utiliza como "materia prima" presenta características adecuadas a nivel físico y químico, a tal punto que no presenta ningún parámetro por encima de los límites definidos. Sin embargo, a nivel microbiológico presenta una carga bacteriana alta, aunque no indicativa de contaminación fecal.

Para corroborar el nivel de contaminación microbiológica que se observó en esta medición, se analizaron muestras de este punto a lo largo de dos semanas (cinco mediciones en total). Los resultados obtenidos se presentan a continuación, en el cuadro 7A.2.

CUADRO 7A. 2
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO – AGUA DE POZO
(resultados expresados en UFC)

Proceso	Pozo
Sum of Dato	Parámetro
No. de medición	Coliformes totales E. coli
1	0 0
2	0 0
3	0 0
4	0 0
5	0 0
	Recuento total
	1000
	1000
	1000
	1000
	1000

* 1000 UFC es indicativo de "incontables"

Al tomar en cuenta la calidad microbiológica del agua de la fuente, se establece que la prioridad en el proceso de tratamiento al que se someterá son las operaciones de desinfección que se lleven a cabo. Los otros procesos de tratamiento que se desarrollen buscarán disminuir el contenido de las otras sustancias presentes, aunque no incidirán drásticamente en la calidad del agua que se entregará al consumidor.

B. Desinfección Inicial

Para asegurar la efectividad de la desinfección que realiza el cloro, es crítico conocer la calidad del agua al momento de agregarle este desinfectante. Como se indicó anteriormente, los parámetros que se deben controlar son: pH e indicadores del contenido de sustancias disueltas en el agua (dureza y SDT). En el cuadro 7B.1 se presentan los resultados obtenidos en los doce días de medición continua de estos parámetros. La concentración de cloro residual que se presenta en el agua del proceso se determina después de que el agua ha pasado por los filtros de arena y se presenta en el cuadro 7C.1.

Variaciones drásticas en estos parámetros deben analizarse para determinar si es necesario cambiar la dosificación del hipoclorito de sodio para lograr una desinfección efectiva.

CUADRO 7B.1
ANÁLISIS QUÍMICO DIARIO – PREVIO A LA DESINFECCIÓN INICIAL

Proceso		Desinfección inicial		
Sum of Datos		Parámetro		
No. De medición	Dureza	pH	Sólidos Disueltos Totales	
1	85	7.25	213	
2	88	7.47	218	
3	85	7.22	226	
4	81	7.19	211	
5	84	7.41	217	
6	77	7.3	217	
7	85	7.43	203	
8	81	7.35	215	
9	86	7.47	218	
10	92	6.79	220	
11	76	7.39	210	
12	88	7.53	214	

* Resultados de Dureza y Sólidos Disueltos Totales expresados en mg/l.

C. Remoción de sólidos suspendidos y turbidez

Si se considera que los niveles de sólidos disueltos y turbidez que presenta el agua de la fuente no sobrepasan los límites establecidos, estos parámetros no constituyen elementos críticos dentro del proceso, aunque deben medirse periódicamente para evitar la saturación del filtro.

Otro factor importante a controlar es la contaminación microbiológica que puede presentarse en la arena. Este aspecto se mantiene controlado debido al residual de cloro libre que se presenta en el efluente, lo cual proporciona un

agua libre de microorganismos en este punto del proceso. De esta forma, el nivel de cloro libre que presenta el agua debe controlarse periódicamente y constituye un elemento crítico para garantizar la calidad del producto terminado.

En el siguiente cuadro (7C.1) se presentan los resultados obtenidos en los doce días de medición. El punto de toma de muestra se fijó después de que el agua ha pasado por los filtros, por lo que se puede observar la disminución en la concentración de sólidos totales, así como el contenido de cloro libre que presenta el agua antes de entrar al proceso de ósmosis inversa. La medición de cloro libre se hace en este punto del proceso, ya que la concentración de este desinfectante debe mantenerse alta inclusive en esta etapa.

CUADRO 7C.1
ANÁLISIS QUÍMICO DIARIO – POSTERIOR A LOS FILTROS DE ARENA

Proceso		Filtros de Arena		
Sum of Datos		Parámetro		
No. De medición	Cloro Residual	pH	Sólidos Disueltos Totales	
1	1.5	6.98	130	
2	1.8	7.05	128	
3	2.1	7.02	133	
4	1.8	7.02	138	
5	2	7.1	126	
6	1.5	6.95	126	
7	1.3	7.09	127	
8	2	7.2	125	
9	2	6.98	121	
10	3.5	6.28	128	
11	1.9	7.15	126	
12	1.8	6.99	128	

* Resultados de Cloro Residual y Sólidos Disueltos Totales expresados en mg/l.

D. Remoción de sólidos disueltos

Debido al efecto que ejercen en el buen funcionamiento de las membranas la concentración de cloro residual y el pH, estos parámetros deben ser medidos constantemente. En el cuadro 7C.1 se muestran las condiciones que presenta el agua al ingresar al sistema de ósmosis inversa durante los doce días de medición.

E. Remoción de cloro, olor, sabor y color

En el cuadro 7E.1 se presentan las mediciones realizadas los doce días de control, indicando el nivel de cloro residual en el agua después de pasar por los filtros de carbón.

El pH no se determinó en este punto; sin embargo al tomar en cuenta las mediciones de este parámetro a lo largo de la línea de tratamiento se observa que se mantiene cerca del límite superior sugerido para la operación eficiente del carbón activado.

CUADRO 7E.1
ANALISIS QUIMICO DIARIO – POSTERIOR A LOS FILTROS DE CARBON

Proceso	Filtros de Carbón
Sum of Datos	Parámetro
No. De medición	Cloro Residual
1	0
2	0.01
3	0
4	0
5	0
6	0.01
7	0.02
8	0
9	0
10	0
11	0.01
12	0

* Resultados de Cloro Residual expresados en mg/l.

Debido a que en este proceso en particular se utiliza la cloración como desinfección inicial, el control de la formación de trihalometanos en el proceso debe monitorearse cuidadosamente, así como el nivel en que los filtros de carbón los eliminan del agua del proceso. Bajo esta consideración, este punto del proceso es crítico para determinar la vida útil del carbón activado y la calidad del agua que se produce. En este trabajo no se ha considerado esta medición debido a la dificultad en la determinación de los trihalometanos.

F. Desinfección final

En el cuadro 7F.1 se indica la concentración de ozono que presenta el agua a la salida de la torre de ozono durante los doce días de medición. Como segundo punto de control se utiliza la medición del ozono residual en el producto terminado (cuadro 7G.2).

CUADRO 7F.1
ANÁLISIS QUÍMICO DIARIO – POSTERIOR A LA TORRE DE OZONO

Proceso	Torre de ozono
Sum of Datos	Parámetro
No. De medición	Ozono Residual
1	0.06
2	0.06
3	0.07
4	0.06
5	0.11
6	0.07
7	0.08
8	0.08
9	0.07
10	0.07
11	0.14
12	0.08

* Resultados de Ozono Residual expresados en mg/l.

Es crítico conocer las sustancias que se presentan en el agua a tratar en este punto para asegurarse que no se produzcan subproductos nocivos por el uso de ozono (especialmente el ion bromuro). En este proceso en particular, los precursores de estos productos secundarios se han minimizado al someter el agua previamente a procesos de desinfección y filtración.

G. Verificación del desempeño de todas las etapas del tratamiento

De acuerdo al análisis inicial realizado al agua del pozo, el principal objetivo de someter el agua a una serie de operaciones de purificación corresponde a la necesidad primordial de reducir la carga de microorganismos presentes, ya que los niveles de otras sustancias no se presentan fuera de los límites establecidos por las instituciones reguladoras.

Para asegurar que el proceso que se estaba desarrollando cumplía esta finalidad, se realizó un análisis exhaustivo de las características químicas, físicas y organolépticas del producto terminado (agua embotellada en garrafón de 18.9 L.).

Los resultados obtenidos se encuentran en el cuadro 7G.1, la cual se presenta a continuación.

**CUADRO 7G.1
ANÁLISIS FINAL – PRODUCTO TERMINADO**

Parámetro	Resultado	LÍMITES ESTABLECIDOS	
		COGUANOR	IBWA
pH	6.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dureza	30 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sólidos disueltos totales	109 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cloruros	4 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cloro residual	0.08 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hierro total	<0.01 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Manganeso	0.05 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos	<1.0 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitritos	< 0.01 mg/l	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Color	0 Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sabor	No rechazable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Parámetro	Resultado	LÍMITES ESTABLECIDOS	
		COGUANOR	IBWA
Olor	No rechazable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Turbidez	0 UNT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento microbiológico total	0 UFC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento coliformes total	0 UFC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Recuento E.coli	0 UFC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ozono residual	0.06mg/l	NA	<input checked="" type="checkbox"/>

Estos resultados indican que efectivamente la carga bacteriana se elimina del todo y que los valores para ciertas sustancias químicas disminuyen de lo observado al inicio del proceso. También se analizan los residuos de los productos que se adicionan a lo largo del tratamiento: cloro y ozono residual, encontrándose que el cloro presenta una concentración dentro de los límites establecidos para la seguridad del consumidor, mientras que el ozono está por debajo de la concentración mínima esperada en el producto recién envasado (0.1 – 0.4 mg/l).

Para corroborar que estas características se presentan en el producto terminado de manera constante, se eligieron ciertos parámetros cuyas variaciones pueden indicar problemas en la línea de embotellado. Estos indicadores se monitorearon a lo largo de los doce días de control, al tomar muestras de garrafones que estaban listos para ser entregados a los clientes (después de haber sido sellados con el tapón y la banda termoencogible).

Los resultados de estas mediciones se presentan en el siguiente cuadro, 7G.2.

CUADRO 7G.2
ANÁLISIS QUÍMICO DIARIO – PRODUCTO TERMINADO

Proceso		Producto Terminado			
Sum of Datos	Parámetro				
No. De medición	Cloro Residual	Dureza	Ozono Residual	pH	Sólidos Disueltos Totales
1	0.05	34	0.04	7.13	103
2	0.07	32	0.05	6.98	101
3	0.09	38	0.06	7.06	111
4	0.06	32	0.04	7.09	104
5	0.05	23	0.04	7.12	97
6	0.07	33	0.05	7.09	102
7	0.09	33	0.06	7.07	101
8	0.08	37	0.06	7.07	95
9	0.07	33	0.07	7.3	96
10	0.09	34	0.06	6.14	101
11	0.08	45	0.13	7.12	106
12	0.11	35	0.07	7.01	101

* Resultados de Cloro Residual, Dureza, Ozono Residual y Sólidos Disueltos Totales expresados en mg/l.

Al revisar estos resultados, se comprueba que el único parámetro que está fuera de los límites esperados es el ozono residual, cuya concentración en el producto terminado se presenta por debajo del límite mínimo indicado por la IBWA.

Para solucionar este problema es necesario aumentar la dosis de ozono en el agua durante la ozonificación en la línea. Sin embargo, la principal razón por la que no se aumenta la cantidad residual de este desinfectante es por el olor y sabor poco agradables que imparte al producto, los cuales no se eliminan antes de ser entregado al consumidor por el poco tiempo que pasa entre el momento que se envasa el agua y las personas la consumen.

La principal consecuencia de mantener un bajo nivel de ozono residual en el producto es una posible contaminación microbiológica en el mismo. Sin embargo, como se presenta un adecuado nivel de cloro residual en el agua, puede asumirse que el ozono residual se encuentra como desinfectante secundario y su concentración no es crítica en el producto terminado.

El análisis microbiológico del producto terminado se realizó a través de cinco mediciones durante los doce días de control y los resultados se presentan en el cuadro 7G.3.

CUADRO 7G.3
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO – PRODUCTO TERMINADO

Proceso	Producto Terminado
Sum of Dato	Parámetro
No. de medición	Coliformes totales E. colli Recuento total
1	0 0 0
2	0 0 0
3	0 0 0
4	0 0 0
5	0 0 0

* Resultados expresados en UFC.

Los resultados muestran que el producto se encuentra libre de contaminantes microbiológicos al momento de trasladarlo al cliente. Este comportamiento se espera que dure cierto tiempo después de que se inicie el uso del garrafón, ya que el agua conserva un residual de cloro que mantiene su actividad desinfectante. El residual de ozono que se presenta en el producto terminado no puede considerarse como un desinfectante que actúe al momento de

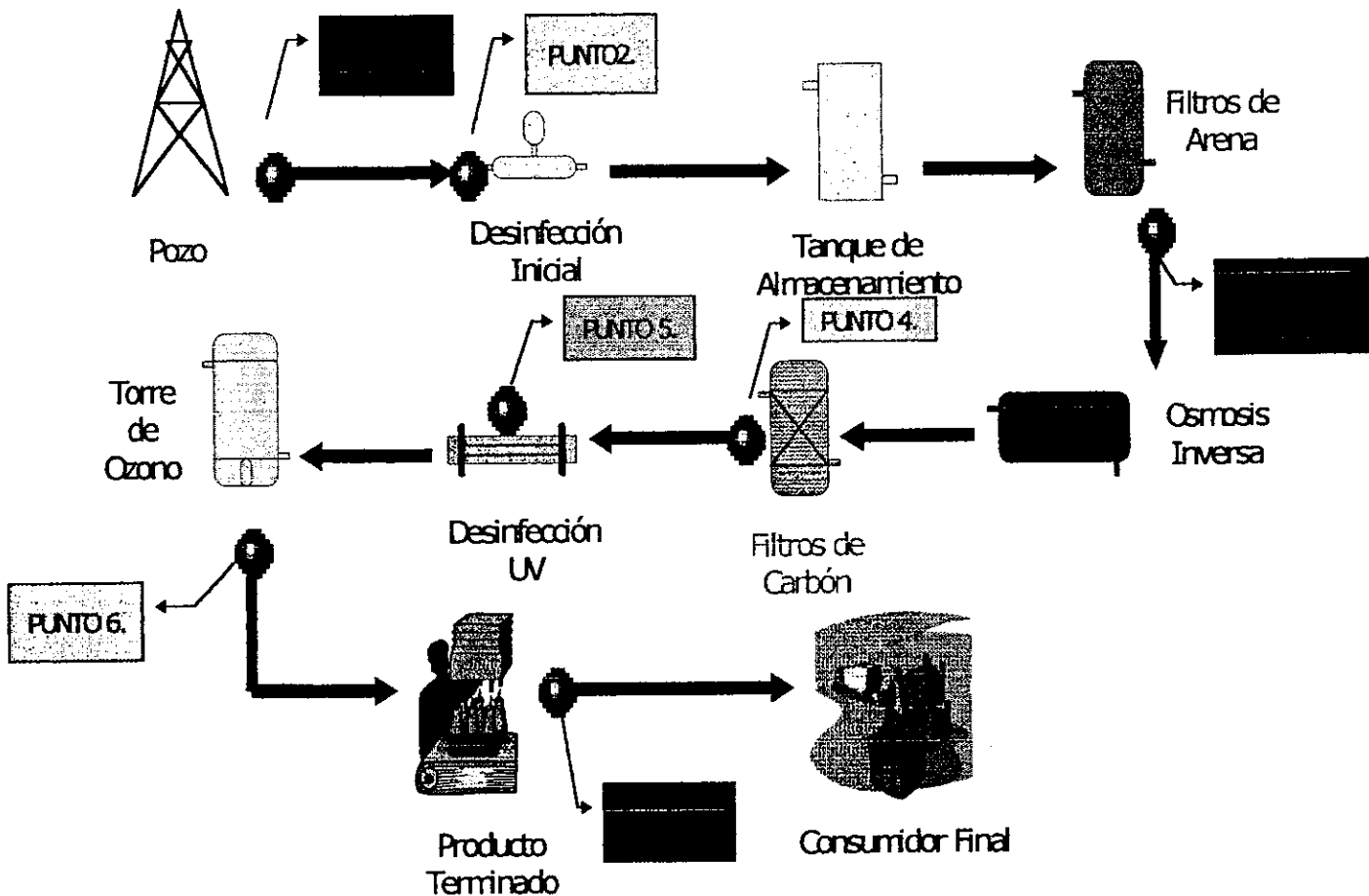
consumir el producto, ya que por ser altamente volátil su permanencia en el agua es bastante corta.

El hecho de que el producto no presenta contaminación microbiológica también indica que el recipiente (garrafón) y el tapón que se utilizan para envasar el agua presentan las condiciones asépticas necesarias para asegurar la calidad del producto. Así mismo, se puede observar que las condiciones en el cuarto de embotellado son las adecuadas y que no introducen contaminantes al agua que se envasa.

En el Anexo C se presentan las gráficas de control para cada uno de los parámetros analizados y su variación a lo largo del proceso.

IX. CONCLUSIONES

Después de analizar cada etapa del proceso de purificación del agua, se observan los siguientes puntos críticos en el sistema:



PUNTO CRITICO 1. El agua de la fuente (pozo). En este punto se presenta una alta carga microbiana, la cual no es procedente de contaminación fecal. Este parámetro se debe medir frecuentemente para adecuar la dosificación de los productos desinfectantes en el proceso (cloro, radiación UV y ozono) y asegurar la inocuidad del producto terminado. Así mismo, se debe controlar el pH, la dureza, los sólidos disueltos totales y las características organolépticas del agua para acondicionar los distintos procesos.

PUNTO CRITICO 2. Desinfección inicial. En este punto del proceso debe controlarse que el pH sea lo más cercano a 7 para garantizar las mejores condiciones de operación del hipoclorito, y los niveles de sólidos disueltos totales y dureza para controlar cambios en la demanda de cloro inicial.

PUNTO CRITICO 3. Filtros de arena. Este proceso constituye un punto crítico del sistema donde debe verificarse el pH, la concentración residual de cloro, el nivel de sólidos disueltos totales y la caída de presión en los filtros. La medición del residual de cloro garantiza que se está utilizando una cantidad suficiente de hipoclorito para mantener un remanente en el agua durante el proceso. El control de los sólidos disueltos totales y el cambio de la presión determinan el nivel de saturación que presentan los filtros. El pH y el cloro residual constituyen parámetros que determinan el buen funcionamiento de la ósmosis inversa, por lo

que es importante controlarlos periódicamente.

PUNTO CRITICO 4. Filtros de carbón. En esta operación debe controlarse el residual de cloro que presenta el agua de proceso para comprobar el buen funcionamiento de los filtros (nivel de saturación). Así mismo, en este punto debe controlarse la concentración de los sub-productos de la cloración para asegurar que su remoción está siendo efectiva.

PUNTO CRITICO 5. Radiación UV. La revisión permanente de la limpieza de la superficie que atraviesa la radiación UV antes de llegar al agua es un aspecto crítico para garantizar la efectividad de este método de desinfección.

PUNTO CRITICO 6. Torre de Ozono. Para garantizar una dosificación adecuada de ozono en el agua purificada, es necesario controlar la concentración que alcanza al momento de agregarlo al agua, de manera que cubra las necesidades de ozono inicial.

PUNTO CRITICO 7. Producto Terminado. Finalmente, el control en el producto terminado es fundamental para garantizar la calidad del agua embotellada que se le entrega al consumidor, así como las condiciones en que opera el proceso. Entre los parámetros que se deben medir en este punto están:

pH, sólidos disueltos totales, dureza, cloro residual, ozono residual, características organolépticas y análisis microbiológicos (recuento total, coliformes y E. coli.)

X. RECOMENDACIONES

1. Debido a que el uso de cloro para la desinfección del agua produce trihalometanos y otros compuestos orgánicos halogenados y no halogenados, se recomienda analizar una alternativa como desinfectante primario en el proceso. El uso de ozono o de cloraminas como sustitutos del cloro ha sido analizado ampliamente y existen publicaciones sobre su implementación como desinfectantes primarios en plantas de embotellado de agua pura.
2. Considerando el uso del cloro como desinfectante primario y secundario en el proceso, es importante conocer el nivel de trihalometanos que se generan en el agua tratada y si éstos están siendo removidos por los filtros de carbón efectivamente. Así mismo, se recomienda el control periódico en el agua de la fuente de las sustancias que dan origen a estos compuestos orgánicos halogenados: material húmico (orgánico), aldehidos, ácidos, cetonas y alcoholes.
3. Se recomienda implementar la medición del pH antes de los filtros de carbón y antes de la torre de ozono para garantizar que las condiciones que presenta el agua satisfacen los requerimientos óptimos para el buen desempeño de estas operaciones.

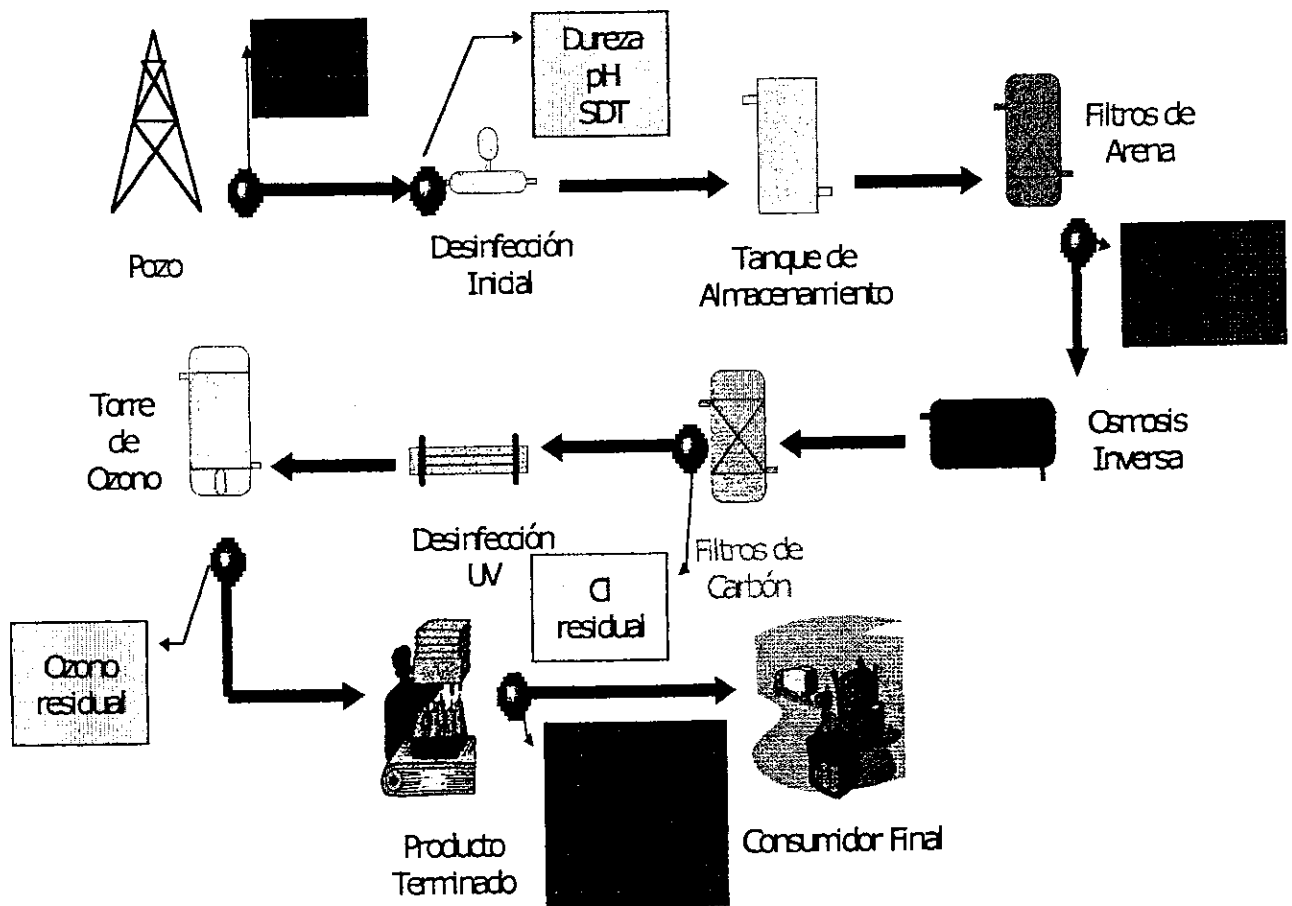
4. Así mismo, se debe implementar la medición de los niveles de sólidos disueltos en el agua después de la ósmosis inversa, de manera que se verifique el buen funcionamiento del sistema, y asegurarse de que se estén eliminando la mayoría de sustancias interferentes con la adsorción del carbón activado.

5. Se recomienda un estricto programa de mantenimiento del equipo que se utiliza para la purificación del agua, de manera que se evite alcanzar condiciones críticas de operación que posteriormente puedan incidir en la calidad del agua. Este programa debe contemplar limpieza/retrolavado de los equipos, reemplazo de resinas, membranas o material filtrante con cierta periodicidad, reemplazo de las lámparas generadoras de luz UV, limpieza de los equipos, y cambio de cualquier parte física dañada del equipo.

6. Es indispensable contar con un programa adecuado de Buenas Prácticas de Manufactura como base para minimizar los puntos de contaminación del producto terminado. Una guía completa sobre las BPM aplicadas a la industria de agua embotellada se encuentra en el "Manual Técnico" de la IBWA, apéndice A.

XI. ANEXO

A. Diagrama del proceso



B. Análisis de plaguicidas en el agua del pozo

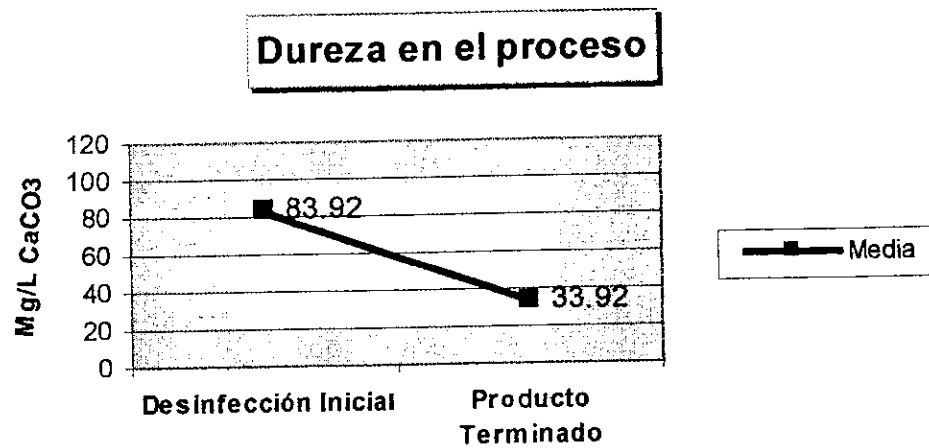
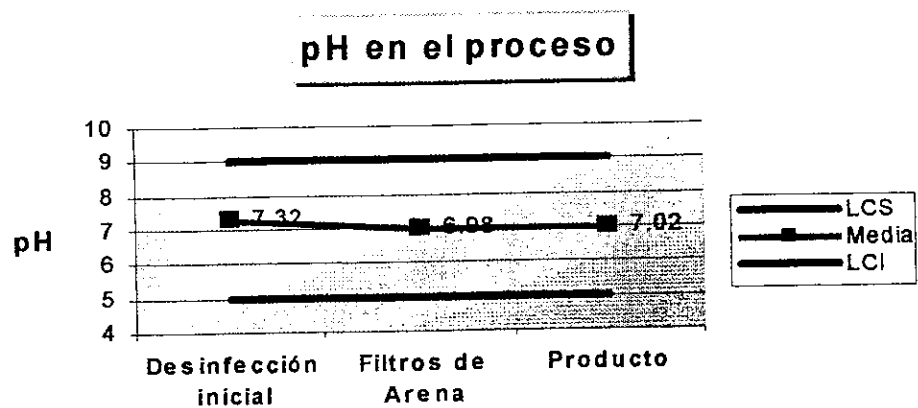
El análisis de los plaguicidas en el agua del pozo se desarrolló al utilizar el método de cromatografía de gases, tal y como se indica en la sección 4 de este trabajo. Las soluciones de referencia empleadas como soluciones de calibración fueron preparadas a tres niveles de concentración. Estos niveles, expresados en $\mu\text{g}/\text{ml}$ se presentan en el cuadro a continuación (10B.1), así como los resultados obtenidos en cada prueba. Los resultados obtenidos indican que no hay presencia de ninguno de los plaguicidas analizados en el agua del pozo.

CUADRO 10B.1
ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS – AGUA DE POZO

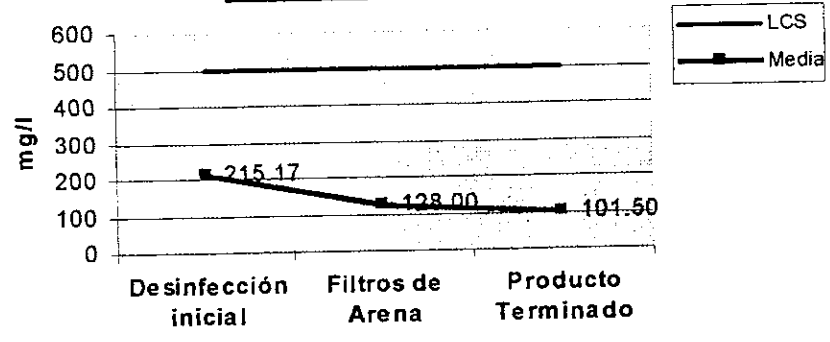
PLAGUICIDA	Patrón 1 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado	Patrón 2 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado	Patrón 3 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado
DDVP	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Fosdrin	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Trifluralina	0.08	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>
Forato	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
α -HCH	0.012	<input checked="" type="checkbox"/>	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.12	<input checked="" type="checkbox"/>
Hexaclorobenceno	0.008	<input checked="" type="checkbox"/>	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.08	<input checked="" type="checkbox"/>
Cygon	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Lindano	0.12	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Terbufos	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Diazinon	0.16	<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Disyston	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>	8	<input checked="" type="checkbox"/>	16	<input checked="" type="checkbox"/>
Clorotalonil	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>
Propanil	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>	4	<input checked="" type="checkbox"/>
Metil Paration	0.12	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Heptacloro	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>
Clorpirifos	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>
Aldrin	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>

PLAGUICIDA	Patrón 1 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado	Patrón 2 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado	Patrón 3 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Resultado
Malation	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>	4	<input checked="" type="checkbox"/>
Epóxido de Heptacloro	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>
γ -clordano	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>
O,P'-DDE	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>
Endosulfan I	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>
α -clordano	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>
Dieldrín	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>
P,P'-DDE	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
O,P'-DDD	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Endrin	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Endosulfan II	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>
P,P'-DDD	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
O,P'-DDT	0.03	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>
Etion	0.32	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>	3.2	<input checked="" type="checkbox"/>
Sulfato de endosulfan	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
P,P'-DDT	0.06	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	<input checked="" type="checkbox"/>
Metoxicloro	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>	4	<input checked="" type="checkbox"/>
Gution	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>	8	<input checked="" type="checkbox"/>	16	<input checked="" type="checkbox"/>
CO-RAL	0.64	<input checked="" type="checkbox"/>	3.2	<input checked="" type="checkbox"/>	6.4	<input checked="" type="checkbox"/>
Cipermetrina	1.1	<input checked="" type="checkbox"/>	5.5	<input checked="" type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>

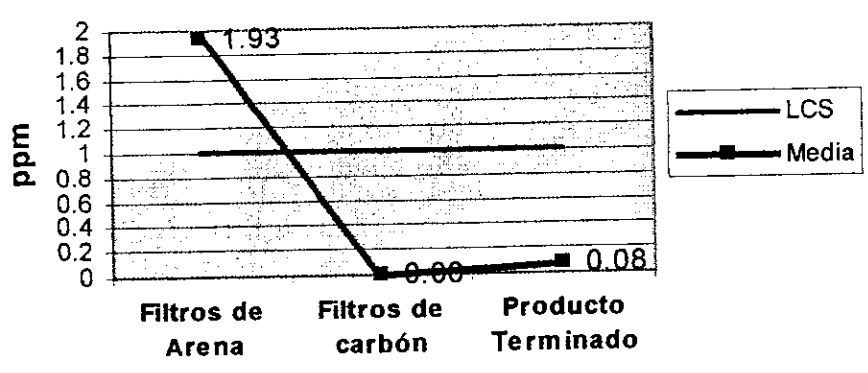
C. Gráficas de control de parámetros químicos a lo largo del proceso



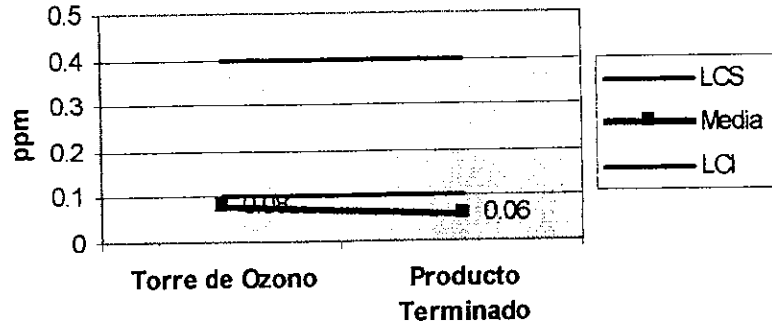
Sólidos Disueltos Totales en el proceso



Cloro residual en el proceso



Ozono residual en el proceso



XII. BIBLIOGRAFIA

1. Albicker, J. 1998. Purificación de Agua para la Industria Embotelladora. Editorial Lito Codelca, S.A. Estados Unidos.
2. Anzueto, C. 1998. Manual – Guía de Buenas Prácticas de Manufactura para la Industria de Alimentos y Bebidas. Guatemala.
3. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). 1995. Especificaciones para el Agua Potable (NGO 29 001). Ministerio de Economía. Guatemala.
4. Food & Drug Administration (FDA). 1989. Current Good Manufacturing Practice in Manufacturing, Packing, or Holding Human Food (21 CFR Part 110). FDA. Washington, D.C.
5. Guías para la calidad del agua potable. 1995. Volumen 1. 2ª. Ed. CTI Publications Inc. Estados Unidos.
6. Jurán, J., et al. 1993. Manual de Control de Calidad. 4ta. Ed. McGraw Hill Inc. México, D.F.
7. IBWA. Manual Técnico de la Asociación Internacional de Agua Embotellada. 1997. Washington, D.C.
8. Maskew, G., et al. 1971. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Volumen 2. Editorial Limusa – Wiley. México, D.F.
9. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1985. 16 ed. Estados Unidos.