

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DOSIFICACIÓN DE CLORO EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DEL ACUEDUCTO CESTILLAL - EL DIAMANTE
“ACUCESDI”**

**ÁLVARO JAVIER GÓMEZ SOTO
JULIÁN ALBERTO PAYÁN LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE QUÍMICA
PEREIRA
2008**

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DOSIFICACIÓN DE CLORO EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DEL ACUEDUCTO CESTILLAL - EL DIAMANTE
“ACUCESDI”**

**ÁLVARO JAVIER GÓMEZ SOTO
JULIÁN ALBERTO PAYÁN LÓPEZ**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE TECNÓLOGO QUÍMICO**

**DIRECTOR
CARLOS HUMBERTO MONTOYA NAVARRETE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE QUÍMICA
PEREIRA
2008**

AGRADECIMIENTOS

JULIAN ALBERTO PAYAN:

A mi Madre, por todos los sacrificios y porque nunca perdió la fe en mí. Porque espera que este sea el primero mas no el ultimo de mis triunfos.

JULIAN ALBERTO PAYAN Y ALVARO JAVIER GOMEZ:

A nuestras familias por creer en nosotros y brindarnos su apoyo y comprensión.

A los directivos y al personal del Acueducto Cestillal – El Diamante (ACUCESDI) por darnos la oportunidad de participar en un proyecto de tanta proyección y que propone un gran beneficio y un gran servicio a la comunidad.

Al profesor Carlos Humberto Montoya por dirigir este proyecto, permitirnos llevarlo a un buen termino y apoyarnos con su colaboración en los momentos en los que lo necesitamos.

A los profesores en general por los conocimientos que de ellos adquirimos y que sin duda nos permitirán desempeñarnos como excelentes Tecnólogos Químicos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INDICE DE TABLAS Y ECUACIONES	7
1.1. INDICE DE TABLAS	7
1.2. INDICE DE ECUACIONES	9
2. INDICE DE GRAFICAS Y FOTOS	10
2.1. INDICE DE GRAFICAS	10
2.2. INDICE DE FOTOS	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
4. JUSTIFICACION	14
5. OBJETIVOS	17
5.1. OBJETIVO GENERAL	17
5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
6. MARCO DE REFERENCIA	18
6.1. MARCO TEORICO	18

6.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA	19
6.1.2. NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DEL AGUA	19
6.1.3. NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE	20
6.1.4. DESINFECCIÓN DEL AGUA	21
6.1.5. FUNCIONAMIENTO DE LA DESINFECCIÓN	22
6.1.6. MECANISMO DE DESINFECCIÓN	23
6.1.7. CONDICIONES PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA	23
6.1.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN DEL AGUA	24
6.1.9. QUÍMICA DE LA CLORACIÓN	26
6.2. MARCO LEGAL	28
6.2.1 DECRETO NÚMERO 1594 DE 1984 (26 DE JUNIO)	29
6.2.2. DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007 (9 DE MAYO)	30
6.2.3. RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007)	31

7. METODOLOGÍA	34
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
8.1. RESULTADOS DEL CAMBIO DE LA CONCENTRACIÓN CON EL TIEMPO DE LAS SOLUCIONES DE CLORO QUE SE UTILIZAN EN LA ETAPA DE DESINFECCIÓN DEL AGUA	36
8.2. RESULTADOS DE LAS DEMANDAS DE CLORO	41
8.3. RESULTADOS EN EL MONITOREO DE LA DISMINUCION EN LA CONCENTRACIÓN DE CLORO EN LA LÍNEA CAÑAVERAL	46
8.4. PUNTOS DE MUESTREO	49
8.5. RESULTADOS DEL MONITOREO DEL CAUDAL DE SALIDA DE AGUA TRATADA	52
8.6. PLAN DE DOSIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORO	53
8.7. ANALISIS MICROBIOLÓGICO	63
9. CONCLUSIONES	64
10. RECOMENDACIONES	66
11. BIBLIOGRAFIA	68
12. ANEXOS	70

1. INDICE DE TABLAS Y ECUACIONES

1.1. INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de cloro residual libre obtenidos entre los meses de abril y julio del año 2005 (rango permitido según el decreto 475 de 1998, vigente hasta junio de 2007)	15
Tabla 2. Valores de cloro residual libre obtenidos entre los meses de agosto y septiembre del año 2007 (rango permitido según la resolución 2115 de junio de 2007)	15
Tabla 3. Variación de la concentración en %m/v de Cl ₂ de la solución No. 1 (solución sin homogenizar)	36
Tabla 4. Variación de la concentración en mg/L de Cl ₂ de la solución No. 1 (solución sin homogenizar)	37
Tabla 5. Variación de la concentración en %m/v de Cl ₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas)	37
Tabla 6. Variación de la concentración en mg/L de Cl ₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas)	38
Tabla 7. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días cálidos (demandas No. 1 a No. 6)	42

Tabla 8. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días lluviosos (demandas No. 7 y No. 8)	43
Tabla 9. Resultados de la demanda de cloro realizada al agua cruda que llega de la bocatoma en día cálido	43
Tabla 10. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (conc. Cl ₂ por punto)	46
Tabla 11. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (variación concentración de Cl ₂ por punto)	47
Tabla 12. Datos monitoreo caudal de salida del agua tratada	52
Tabla 13. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl ₂ en el agua (con solución madre en % m/v)	58
Tabla 14. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl ₂ en el agua (con solución madre en mg/L)	59
Tabla 15. Dosificación de Cloro necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/L de Cl ₂ en el agua (con solución madre en % m/v)	60

Tabla 16. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/L de Cl ₂ en el agua (con solución madre en mg/L)	60
Tabla 17. Duración de la solución madre necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl ₂ en el agua	61
Tabla 18. Duración de la solución madre necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/L de Cl ₂ en el agua	62
Tabla 19. Análisis microbiológico del agua en el acueducto	63

1.2. INDICE DE ECUACIONES

	Pág.
ECUACION 1. CALCULO CONC. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN % m/v DE Cl ₂	55
ECUACION 2. CALCULO CONC. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN mg/L DE Cl ₂	56
ECUACION 3. CALCULO VOL. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN % m/v DE Cl ₂	56

2. INDICE DE GRAFICAS Y FOTOS

2.1. INDICE DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. % Variación de la concentración de Cl ₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas)	38
Grafica 2. Variación de la concentración en mg/L de Cl ₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas)	39
Grafica 3. Duración de las soluciones de cloro No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas)	40
Grafica 4. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días cálidos (demandas No. 1 a No. 6)	44
Grafica 5. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días lluviosos (demandas No. 7 y No. 8)	44
Grafica 6. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (conc. Cl ₂ por punto)	47
Grafica 7. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (variación concentración de Cl ₂ por punto)	48

Grafica 8. Datos monitoreo caudal de salida del agua tratada	53
--	----

2.2. INDICE DE FOTOS

	Pág.
Fotos 1 y 2. Punto de muestreo No. 1 (planta Alegrías)	49
Fotos 3 y 4. Punto de muestreo No. 2 (tanque de Altagracia)	49
Fotos 5 y 6. Punto de muestreo No. 3 (oficinas Altagracia)	50
Fotos 7 y 8. Punto de muestreo No. 4 (sector Cajones)	50

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DOSIFICACIÓN DE CLORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL ACUEDUCTO CESTILLAL - EL DIAMANTE “ACUCESDI”.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos y para los humanos. La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha generado que sean ideados procesos de tratamiento que garanticen su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas [4]. Para garantizar la seguridad del agua potable los sistemas de desinfección del agua se aplican generalmente en una etapa final del tratamiento del agua.

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de los mismos. Si estos microorganismos no son eliminados el agua no es potable y es susceptible de causar enfermedades. El agua potable no puede contener estos microorganismos [6].

La desinfección se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes o cobijo para los microorganismos. Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección

para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua [14].

El acueducto Cestillal - El Diamante "ACUCESDI", actualmente cuenta con una planta de tratamiento compacta con tecnología de la empresa VALREX. Dicha planta permite hacer el tratamiento completo del agua captada en el 40% del sistema de distribución. El resto del sistema realiza desinfección con cloro en una serie de tanques que se ubican estratégicamente en toda su área de influencia. La desinfección desde la planta de tratamiento a través de la línea cañaveral la cual llega hasta la vereda Filo-bonito sector Cajones, presenta dificultades debido a que la dosificación de la cantidad de cloro no se encuentra especificada bajo parámetros establecidos, por lo cual se busca determinar las condiciones que conlleven a realizar este proceso de una forma más sistemática con el fin de volver más eficiente la empresa y prestar un mejor servicio a la comunidad.

4. JUSTIFICACION

El agua que se necesita para uso domestico, agrícola y para procesos industriales se toma de lagos ríos y fuentes subterráneas naturales o de depósitos. El agua que llega a los sistemas de aguas municipales debe ser sometida a un proceso de tratamiento antes de ser distribuida a tomas domesticas. En el tratamiento de aguas municipales lo más común es que se presenten cinco pasos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. La etapa de desinfección implica normalmente el tratamiento del agua con un agente químico para asegurar la destrucción de las bacterias. El ozono es muy eficaz para la destrucción de baterías contenidas en el agua, pero se debe generar en el lugar que se usa. El cloro (Cl_2) es por lo tanto mas conveniente. La cantidad que se usa depende la presencia de otras sustancias con las cuales el cloro podría reaccionar y de las concentraciones de bacterias y virus que es necesario eliminar [2].

El Acueducto Cestillal - El Diamante "ACUCESDI" asumió en el año 2000, la administración del servicio de agua para una población estimada de mas de 25000 habitantes en cuatro corregimientos y treinta y nueve veredas con 220 kilómetros lineales de redes de conducción y distribución, siendo uno de los acueductos rurales mas grandes del país. Este acueducto posee dentro de su infraestructura una sola planta de tratamiento (sistema compacto coagulación-floculación y filtración), el resto del sistema utiliza tanques de almacenamiento y distribución en los cuales solamente se realiza el proceso de desinfección.

Registros de análisis anteriores [11], han demostrado ciertas falencias en el proceso de desinfección con cloro en la línea cañaveral, la cual pasa por el tanque de Altagracia:

Tabla 1. Valores de cloro residual libre obtenidos entre los meses de abril y julio del año 2005 (rango permitido según el decreto 475 de 1998, vigente hasta junio de 2007)

VARIABLE O PARAMETRO	FECHA			UNIDAD DE MEDIDA	RANGO PERMITIDO <i>mg/L</i>	CUMPLE CON LA NORMA
	04 de Abril	03 de Mayo	03 de Junio			
Cloro Residual libre	<0,04	<0,04	<0,04	<i>mg/L</i>	0,2-1,0	NO

La empresa ha realizado algunos ajustes para el mejoramiento del proceso de desinfección, pero se siguen presentando problemas con la dosificación de cloro adecuada para asegurar la presencia de cloro residual dentro de rangos estables y no muy alejados entre si que permitan estabilizar cada vez mas dicho proceso de desinfección en la línea cañaveral del sistema:

Tabla 2. Valores de cloro residual libre obtenidos entre los meses de agosto y septiembre del año 2007 (rango permitido según la resolución 2115 de junio de 2007)

VARIABLE O PARAMETRO	FECHA			UNIDAD DE MEDIDA	RANGO PERMITIDO <i>mg/L</i>	CUMPLE CON LA NORMA
	02 de Agosto	30 de Agosto	28 de Septiembre			
Cloro Residual libre	0,4	1,1	0,4	<i>mg/L</i>	0,3-2,0	SI

Como se observa, la variación de las concentraciones en un mismo punto de la línea cañaveral varía de un mes a otro por que no existe un plan de dosificación adecuado que lo regule.

El presente trabajo pretende determinar las condiciones que permitan que el proceso de incorporación de cloro se realice de forma tal que tanto la concentración de cloro como su efecto de desinfección se reflejen en la calidad del agua que entrega el acueducto a sus afiliados con respecto al artículo 9 de la resolución 2115 de 2007, expedida por el ministerio de la protección social, el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial [9]. El cual establece el valor admisible del cloro residual libre que debe estar presente en cualquier punto de la red de distribución de agua potable; en este caso el cloro residual encontrado a través de la línea cañaveral de la red de distribución del acueducto la cual comprende entre la planta de tratamiento y la vereda Filo-bonito sector cajones.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las condiciones de dosificación de cloro en el proceso de desinfección del agua en la planta de tratamiento de Alegrías y la línea cañaveral del Acueducto Cestillal - El Diamante "ACUCESDI", con miras a mejorar el servicio que esta empresa presta a la comunidad.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las condiciones directamente relacionadas con el proceso de dosificación de cloro tales como cambio de la concentración con el tiempo de la solución de cloro que se utiliza en la etapa de desinfección del agua, demandas de cloro, variación de la concentración de cloro residual a través de la red de distribución, en la línea cañaveral de la misma.
- Proponer un plan de dosificación de cloro con base en la relación de los resultados obtenidos en las demandas de cloro, la variación de la concentración de la solución de cloro con el tiempo y la cantidad de agua que entra a ser tratada dentro de la planta.

- Evaluar el plan de dosificación de cloro realizando mediciones de la concentración de cloro residual libre en puntos específicos de la red de distribución del sistema de la línea cañaveral.
- Establecer las condiciones necesarias que le permitan al acueducto realizar los ajustes necesarios al proceso de dosificación de cloro en la planta de tratamiento de alegrías.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEORICO

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3 000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de oxígeno y uno de hidrogeno que unidos entre si forman una molécula de agua, H₂O, la unidad mínima en que ésta se puede encontrar. Gran parte del agua de nuestro planeta, alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos. El agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves eternas, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos [5].

6.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos [15].

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos y para los humanos. Es fuente de vida es decir sin ella no pueden vivir ni las plantas, ni los animales ni el ser humano, además es indispensable en la vida diaria para: Uso doméstico (en la casa para lavar, cocinar, regar, lavar ropa, etc.), uso industrial (en la industria para curtir, fabricar alimentos, limpieza, generar electricidad, etc.), uso agrícola (en la agricultura para irrigar los campos), uso ganadero (en la ganadería para dar de beber a los animales domésticos) y en la acuicultura (para criar peces y otras especies) [10].

6.1.2. NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DEL AGUA

El agua que es usada para la producción de agua potable contiene además de moléculas de agua muchas otras sustancias disueltas. Debido a que una de las propiedades esenciales del agua es que puede disolver fácilmente ciertas sustancias. El agua que cae a la tierra en forma de lluvia disuelve una gran variedad de sustancias partículas, gases y contaminantes presentes en el aire. Cuando el agua de escorrentía fluye por la tierra también disuelve gran cantidad

de compuestos como lo son partículas de arena, materia orgánica, microorganismos y minerales. El agua que se filtra en el suelo y forma las aguas subterráneas como el agua contenida en acuíferos, generalmente tienen una gran cantidad de minerales disueltos, como resultado del contacto con el suelo y las rocas. Debido a esto el agua generalmente necesita tratarse para poder ser agua apta para consumo humano, y cumplir con las exigencias legales que regulan la materia, desde el punto de vista de estándares físicos, bacteriológicos y químicos.

El tipo de tratamiento que necesita el agua, depende en gran medida de la composición y calidad del agua. El tratamiento del agua se basa fundamentalmente en estos dos procesos: eliminación física de partículas sólidas, principalmente minerales y materia orgánica, y desinfección química para matar los microorganismos existentes en el agua.

6.1.3. NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE

La presencia de microorganismos patógenos en el agua puede generar problemas de infección los cuales dependen del tipo de patógeno, el modo como se transfiere, dosis o concentración de patógenos, persistencia de los microorganismos y la resistencia de la persona infectada. La mayoría de los microorganismos patógenos contenidos en el agua son eliminados en las primeras etapas del tratamiento para la purificación del agua. No obstante, la desinfección del agua es necesaria como uno de los pasos últimos para prevenir que el agua potable sea dañina para nuestra salud.

6.1.4. DESINFECCIÓN DEL AGUA

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de estos microorganismos. Si estos microorganismos no son eliminados el agua no es potable y es susceptible de causar enfermedades. El agua potable no puede contener estos microorganismos.

La desinfección se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes o cobijo para los microorganismos. Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua.

COMPUESTOS QUÍMICOS PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA:

- Cloro (Cl_2)
- Dióxido de Cloro (ClO_2)
- Hipoclorito (OCl^-)
- Ozono (O_3)
- Halógenos: Bromo (Br_2), Iodo (I)
- Cloruro de Bromo (BrCl)

- Metales: cobre (Cu^{2+}), plata (Ag^+)
- Permanganato potasico (KMnO_4)
- Fenoles
- Alcoholes
- Jabones y detergentes
- Sales de amonio
- Peroxido de Hidrogeno
- Distintas ácidos y bases

METODOS FÍSICOS PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA:

- Luz Ultravioleta (UV)
- Radiación electrónica
- Rayos Gamma
- Sonido
- Calor

6.1.5. FUNCIONAMIENTO DE LA DESINFECCIÓN

La inactivación química de los contaminantes microbiológicos en agua natural o no tratada es normalmente uno de los pasos finales de la purificación para la reducción de microorganismos patógenos en el agua. La combinación de diferentes pasos para la purificación del agua (oxidación, coagulación, sedimentación, filtración, desinfección) se utiliza para la producción de agua potable y segura para la salud. Como medida adicional en muchas plantas de tratamiento utilizan un método secundario de desinfección del agua, para evitar y proteger las aguas de la contaminación biológica que se pudiera producir en la red

de distribución. Normalmente se utilizan un tipo de desinfectante diferente al que se utilizó en el proceso de purificación durante etapas previas. El tratamiento secundario de desinfección asegura que las bacterias no se multiplican en el sistema de distribución del agua. Esto es necesario porque las bacterias pueden permanecer en el sistema y en el agua a pesar de un tratamiento primario de desinfección, o pueden aparecer posteriormente durante otros procesos como mezcla de aguas contaminadas (ej. por inclusión de bacterias en las procedentes de aguas subterráneas que se introducen debido a grietas en el sistema de tuberías o distribución).

6.1.6. MECANISMO DE DESINFECCIÓN

La desinfección normalmente provoca la corrosión de la pared celular de los microorganismos, o cambios en la permeabilidad de la célula, cambios en la actividad de protoplasma celular o actividad enzimática (debido al cambio estructural de las enzimas). Estos problemas en la célula evitan la multiplicación de los microorganismos. Los desinfectantes también provocan la oxidación y destrucción de la materia orgánica que son generalmente nutrientes y fuente de alimentación de los microorganismos.

6.1.7. CONDICIONES PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA

La desinfección del agua potable se debe complementar con otros pasos de purificación del agua. La desinfección del agua solo se debe realizar cuando el

agua ya ha sido tratada porque las partículas existentes en el agua pueden afectar la eficiencia de la desinfección del agua.

La mayoría de los microorganismos se eliminan en los primeros pasos de la purificación del agua. Las partículas en suspensión o disueltas deben eliminarse del agua porque pueden reaccionar produciendo subproductos indeseables, además estas sustancias son sustrato que favorecen el desarrollo de microorganismos. Los microorganismos son más difíciles de eliminar del agua cuando existen partículas en suspensión y absorción. Las sustancias químicas presentes en el agua y procedentes tanto de fuentes humanas como antropogénicas pueden influir en el proceso de desinfección generando subproductos indeseados, condicionando la concentración de agente desinfectante necesaria para que sea efectiva. Esta concentración aumenta y además, también es mucho mas duro mantener una concentración residual.

6.1.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN DEL AGUA

Tiempo de contacto y concentración del desinfectante: Tiempo de contacto (TC) entre el agente desinfectante y los microorganismos y la concentración del agente desinfectante son factores importantes de la desinfección del agua. El parámetro TC se usa para calcular la cantidad de desinfectante necesaria para la desinfección del agua.

Cuando se añade un desinfectante al agua, no solo reacciona con microorganismos patógenos, sino también con otras sustancias presentes en el

agua, como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica y otros microorganismos.

La demanda de desinfectante del agua es la necesidad de utilización de una cierta concentración de agente desinfectante para reaccionar con estas sustancias. Esta demanda de agente desinfectante se debe satisfacer, antes de que exista una concentración residual de desinfectante. Por lo tanto la concentración total de agente desinfectante necesaria en el agua es igual a la concentración necesaria para satisfacer la demanda de agente desinfectante en función de las propiedades del agua, y la concentración necesaria de desinfectante residual. Además, la concentración residual se tiene que mantener el tiempo de contacto necesario para matar los microorganismos patógenos. Por lo tanto para una desinfección efectiva es necesario suministrar una concentración mayor de desinfectante que la meramente requerida para matar los microorganismos patógenos.

El tipo de microorganismos: Los desinfectantes pueden matar de manera efectiva muchos microorganismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). Algunos de estos microorganismos son resistentes, la bacteria *E. Coli*, por ejemplo, es más resistente a los desinfectantes que otras bacterias y por lo tanto se utilizan como organismos indicadores. Algunos virus son incluso más resistentes que *E. Coli*. La ausencia de *E. Coli* no significa que el agua sea apta para su consumo. Por ejemplo los parásitos como *Cryptosporidium* y *Giardia* son resistentes al cloro.

La edad de los microorganismos: La efectividad de un cierto desinfectante también depende de la edad de los microorganismos. Las bacterias jóvenes son más fáciles de matar que las más adultas. Esto es debido a que las bacterias desarrollan una capa protectora de polisacáridos en la pared celular que las hace más resistentes a los desinfectantes.

Agua que requiere tratamiento: Las características químicas y físicas del agua influyen en la desinfección. Por ejemplo, la presencia de hierro, manganeso, sulfuro de hidrogeno y nitratos normalmente reaccionan con los desinfectantes y suponen un impedimento para la desinfección. La turbidez del agua también reduce la afectividad de desinfección. Los microorganismos pueden quedar protegidos del efecto de los agentes desinfectante por la turbidez de las aguas.

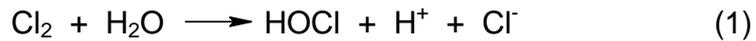
Temperatura: La temperatura también influye en la efectividad de los desinfectantes. El aumento de la temperatura produce un aumento de la velocidad de las reacciones y la desinfección. También puede provocar la volatilización o inactivación del agente desinfectante contra la desinfección. [6]

6.1.9. QUÍMICA DE LA CLORACIÓN

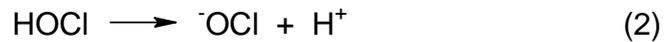
El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., así como oxidante para la oxidación de hierro y manganeso; para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco, color orgánico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

En purificación y tratamiento de aguas, el cloro se usa como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio, NaClO (actualmente utilizado por el acueducto), y como sólido, comúnmente hipoclorito de alto grado, HTH, o hipoclorito de calcio, Ca(OCl)₂.

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito:



Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sódico se tiene:



Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/L, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse en la ecuación química (1), la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl.

Como es evidente en la ecuación química (2), la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ion hidrógeno, o sea del pH. A pH bajo la disociación del HOCl se inhibe; el residual es predominantemente HOCl a pH igual

a 6 ó menor; a pH igual a 7.7 los residuales de HOCl y OCl^- son aproximadamente similares y a pH igual o mayor que 9.0 casi todo el residual es OCl^- .

Las especies HOCl y OCl^- en el agua constituyen lo que se denomina **cloro libre disponible** o **residual de cloro libre**.

El ácido hipocloroso HOCl es el desinfectante más efectivo; el ion hipoclorito es relativamente inefectivo en comparación con el ácido hipocloroso; por ello, la desinfección más letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. En general se considera que el HOCl es 80 a 100 veces más efectivo que el OCl^- para exterminar *E. coli*.

En el caso de la ecuaciones químicas (3) y (4) se presentará un incremento de alcalinidad, dependiente de la magnitud con que el OCl^- reaccione con el agua.
[13]

6.2. MARCO LEGAL

Para el desarrollo del trabajo, se consultaron las normas legales vigentes para la Republica de Colombia en lo referente al control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano: decreto número 1594 de 1984 (26 de junio) [7], decreto número 1575 de 2007(mayo 9) [8] y resolución número 2115(22 jun 2007) [9].

A continuación se presentan los puntos que presentan una relación relevante con el trabajo desarrollado:

6.2.1. DECRETO NÚMERO 1594 DE 1984 (26 DE JUNIO)

Por el cual se reglamentan parcialmente los usos del agua y los residuos líquidos

ARTICULO 29. Para los efectos del presente Decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua, sin que su enunciado indique orden de prioridad:

Consumo humano y doméstico;

Preservación de flora y fauna;

Agrícola;

Pecuario;

Recreativo;

Industrial;

Transporte.

ARTICULO 30. Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su empleo en actividades tales como:

- a) Fabricación o procesamiento de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
- b) Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato.
- c) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios;
- d) Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.

6.2.2. DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007 (9 DE MAYO)

Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

ARTÍCULO 2º.- DEFINICIONES.

AGUA CRUDA: Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

AGUA POTABLE O AGUA PARA CONSUMO HUMANO: Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones que las normas las reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS: Son los principios básicos y prácticas operativas generales de higiene para el suministro y distribución del agua para consumo humano, con el objeto de identificar los riesgos que pueda presentar la infraestructura.

CALIDAD DEL AGUA: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

6.2.3. RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007)

ARTÍCULO 1º.- DEFINICIONES.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA: Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

CLORO RESIDUAL LIBRE: Es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito.

COLIFORMES: Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de β-galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

ESCHERICHIA COLI - E-coli: Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como las enzimas β-galactosidasa y β -glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano.

TIEMPO DE CONTACTO PARA EL DESINFECTANTE: Es el tiempo requerido desde la aplicación del desinfectante al agua hasta la formación como producto del residual del desinfectante, de forma que esa concentración permita la inactivación o destrucción de los microorganismos presentes en el agua.

TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN: Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

VALOR ACEPTABLE: Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.

Dentro las características químicas del agua para consumo humano se deberán tener en cuenta los siguientes valores aceptables para sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, así:

El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro.

Las plantas de tratamiento deben garantizar mediante sistemas, estructuras o procedimientos de control, el tiempo de contacto del cloro como desinfectante, antes de enviar el agua a las redes de distribución.

ARTÍCULO 11º.- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS. Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra.

7. METODOLOGIA

Para determinar las condiciones de dosificación de cloro en el proceso de desinfección del agua en la planta de tratamiento de Alegrías y la línea cañaveral del Acueducto Cestillal - el Diamante "ACUCESDI". Se hizo necesario el desarrollo de los siguientes pasos:

1. Planteamiento del método.

- Para la evaluación de la solución de cloro usada en la etapa de desinfección y la determinación de la concentración de cloro residual libre en puntos específicos de la red de distribución del sistema se utilizó el método yodometrico [14,12], ya que este método esta estipulado dentro de los métodos estandarizados para aguas, es uno de los métodos más sencillos y esta identificado como un método de buena confiabilidad y reproducibilidad.

2. Evaluación de la solución de cloro usada en la etapa de desinfección.

- Se tomaron muestras de la solución de cloro durante los días en que esta fue utilizada, en intervalos de tiempo específicos, a cada muestra se le realizaron titulaciones yodometrica para la determinación de la concentración de cloro con base en los resultados obtenidos se busco la relación existente entre la disminución de la concentración de cloro y el tiempo transcurrido.

3. Determinación de la demanda de cloro.

- Se tomaron muestras de agua en días que presentaban condiciones climáticas específicas a cada una se realizaron demandas de cloro.

4. Evaluación de los resultados.

- Se propuso un plan de dosificación de cloro con base en la relación de los resultados obtenidos en los numerales 2 y 3, y la cantidad de agua que entra a ser tratada dentro de la planta.

5. Determinación de la concentración de cloro residual libre en puntos específicos de la red de distribución del sistema.

- Se tomaron muestras de agua simultáneamente en la salida de la planta de tratamiento de alegrías y en puntos de la línea cañaveral escogidos estratégicamente, a cada muestra se realizaron titulaciones yodometricas para la determinación de cloro en cada una.

6. Análisis de resultados.

- Se evaluó el plan de dosificación de acuerdo a los resultados obtenidos en el numeral 5 y se propusieron los correctivos que son necesarios para obtener los resultados esperados.

7. Realización de informe final

8. Presentación y evaluación de informe final.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. RESULTADOS DEL CAMBIO DE LA CONCENTRACIÓN CON EL TIEMPO DE LAS SOLUCIONES DE CLORO QUE SE UTILIZAN EN LA ETAPA DE DESINFECCIÓN DEL AGUA.

Para evaluar la forma cómo se comportan las soluciones utilizadas en la etapa de desinfección, se realizó un seguimiento a 7 de estas soluciones, a las cuales se les determinó el cambio de la concentración de cloro con el tiempo, así como la duración de las mismas. La solución No. 1 se evaluó tal y como era preparada por el personal del acueducto; las soluciones de la No. 2 a la No. 7 fueron sometidas a un proceso adicional de homogenización.

Tabla 3. Variación de la concentración en %m/v de Cl₂ de la solución No. 1 (solución sin homogenizar), (ver tabla 20 en anexos)

No. de la solución	Conc. Inicial %m/v Cl ₂	Conc. Final %m/v Cl ₂	% Variación de la concentración de Cl ₂	Duración de la solución (horas)
1	4,20	1,09	74,05%	100

Tabla 4. Variación de la concentración en mg/L de Cl₂ de la solución No. 1 (solución sin homogenizar), (ver tabla 20 en anexos)

No. de la solución	Conc. Inicial mg/L Cl ₂	Conc. Final mg/L Cl ₂	Variación de la concentración en mg/L de Cl ₂	Duración de la solución (horas)
1	42 000	10 900	31 100	100

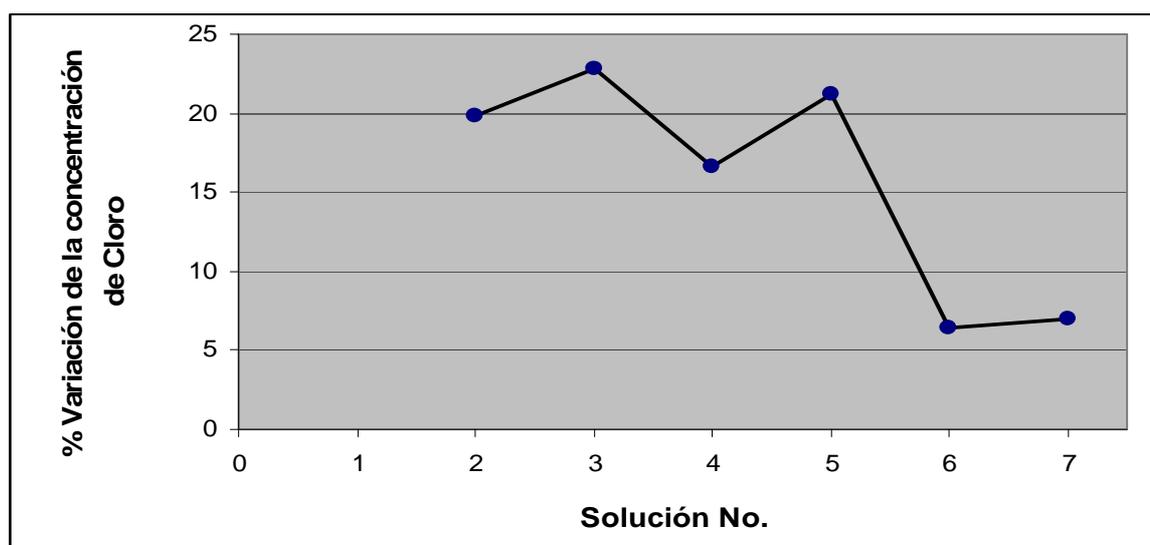
Tabla 5. Variación de la concentración en %m/v de Cl₂ de las soluciones No.2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas), (resumen de tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26, ver anexos)

No. de la solución	Conc. Inicial % _{m/v} Cl ₂	Conc. Final % _{m/v} Cl ₂	% Variación de la concentración de Cl ₂	Duración de la solución (horas)
2	1,81	1,45	19,89%	69
3	1,88	1,45	22,87%	101
4	1,74	1,45	16,67%	76
5	1,74	1,37	21,26%	89
6	1,70	1,59	6,47%	74
7	2,15	2,00	6,98%	106
Promedio	<u>1,84</u>	<u>1,55</u>	<u>15,69%</u>	<u>86</u>

Tabla 6. Variación de la concentración en mg/L de Cl₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas), (resumen de tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26, ver anexos)

No. de la solución	Conc. Inicial mg/L Cl ₂	Conc. Final mg/L Cl ₂	Variación de la concentración en mg/L de Cl ₂	Duración de la solución (horas)
2	18 100	14 500	3 600	69
3	18 800	14 500	4 300	101
4	17 400	14 500	2 900	76
5	17 400	13 700	3 700	89
6	17 000	15 900	1 100	74
7	21 500	20 000	1 500	106
Promedio	<u>18 367</u>	<u>15 517</u>	<u>2 850</u>	<u>86</u>

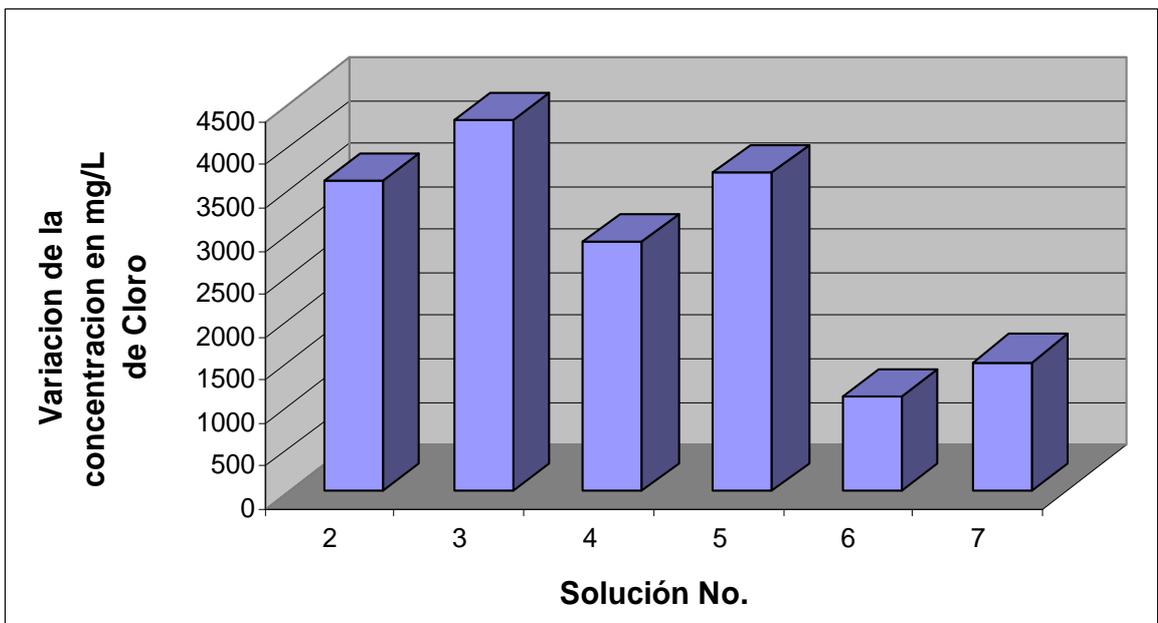
Grafica 1. % Variación de la concentración de Cl₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas), (ver tabla 5)



En la grafica 1 se muestra el porcentaje de variación que presentó cada una de las soluciones desde la preparación de las mezclas hasta la finalización de la dosificación de cada una de ellas.

Como se observa, el máximo porcentaje de variación obtenido en las soluciones fue del 23% (solución No. 3) y el mínimo porcentaje de variación obtenido fue del 6.5% (solución No. 6). Se observa además, que de las soluciones No. 2 a la No. 5 hubo una variación entre el 16.5% y el 23%, debido a que durante el transcurso de dosificación de cada una de estas soluciones, predominaron los días con climas cálidos, infiriendo así, que como es conocido, a altas temperaturas las soluciones de cloro tienen un porcentaje de variación mayor que cuando predominan temperaturas bajas, como en los días con climas fríos, esto se ve reflejado en las soluciones No. 6 y No. 7 que solo variaron entre 6,5% y 7%.

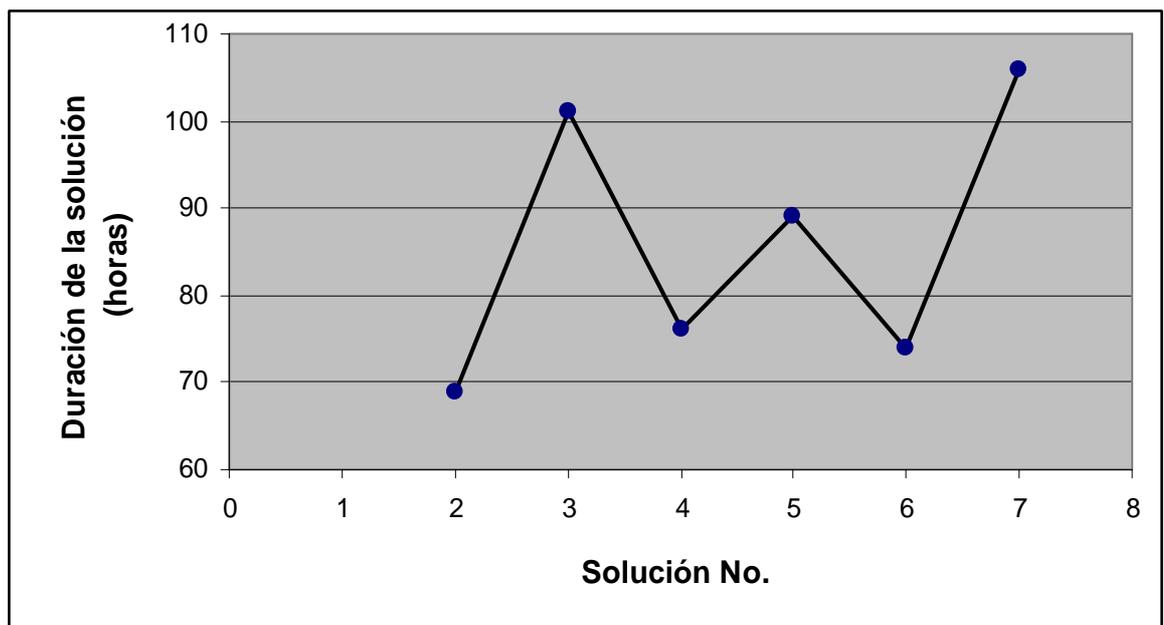
Grafica 2. Variación de la concentración en mg/L de Cl₂ de las soluciones No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas), (ver tabla 6)



En la grafica 2 se muestra la variación en mg/L Cl₂ que presentó cada una de las soluciones desde la preparación de las mezclas de cloro, hasta la finalización de la dosificación de cada una de ellas.

La variación máxima de las soluciones fue de 4300 mg/L Cl₂ (solución No. 3), y la variación mínima fue de 1100 mg/L (solución No. 6). Se observa, que de las soluciones No. 2 a la No. 5 hubo una variación entre 2900 mg/L Cl₂ y 4300 mg/L Cl₂, debido a que durante el transcurso de dosificación de cada una de estas soluciones predominaron los días con climas cálidos (como se explicó anteriormente). En las soluciones No. 6 y No. 7 la variación estuvo entre 1100 mg/L Cl₂ y 1500 mg/L Cl₂, debido al predominio de días con climas fríos durante el tiempo de dosificación de estas soluciones, por lo que la variación fue mucho menor y más estable.

Grafica 3. Duración de las soluciones de cloro No. 2 a la No. 7 (soluciones homogenizadas), (ver tabla 5 ó 6)



En la grafica 3 se muestra la duración en horas de cada una de las soluciones. Como se observa, la cantidad en horas de duración para las soluciones no es la misma, debido a los constantes cambios tanto de caudal de agua como de caudal de dosificación para la solución desinfectante, ya que la dosificación de la solución depende del caudal de agua que entra a ser tratada dentro de la planta, y este caudal no siempre es constante de un día a otro.

Al comenzar el análisis de las soluciones de cloro se encontró que estas no estaban siendo homogenizadas adecuadamente, la primera solución presentó un comportamiento irregular; después de determinados intervalos de tiempo su concentración aumentaba levemente en lugar de disminuir. Posteriormente presentó un brusco descenso en su concentración por lo cual se tomó la decisión de seguir sometiendo las soluciones posteriores a una etapa adicional de homogenización manual, a partir de ese pequeño cambio, la disminución de la concentración de las soluciones se comportó de manera normal.

Debido a la existencia de variables incontrolables, tales como cambios bruscos de clima típicos de la zona donde se realizó el estudio, afectándose así la estabilidad de las soluciones, no se logró establecer una misma relación cercana entre variables como % de variación de la concentración, concentración inicial y final, y duración de la solución.

8.2. RESULTADOS DE LAS DEMANDAS DE CLORO

Para determinar la dosis adecuada de cloro que debe ser aplicada en la etapa de desinfección del agua se realizaron demandas de cloro en días calidos y lluviosos,

en todos los casos se obtuvieron curvas casi lineales (ver anexos demandas de cloro), por lo tanto para cada demanda se reporta el valor máximo y el valor mínimo de la diferencia entre la dosis de cloro aplicada y el cloro residual libre. También se muestra el coeficiente de correlación el cual indica la linealidad de las curvas de cada una de las demandas de cloro realizadas.

Tabla 7. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días cálidos (demandas No. 1 a No. 6), (resumen de tablas 27, 28, 29, 30, 31 y 32, ver anexos)

Tipo de agua : agua clarificada				
Tipo de día : cálido				
Demanda de cloro No.	Diferencia entre Dosis de cloro aplicada y Cloro residual Libre (mg/L)			Coeficiente de Correlación
	Valor máximo (mg/L)	Valor mínimo (mg/L)	Promedio (mg/L)	
1	0,23	0,15	0,19	0,9998
2	0,22	0,14	0,18	0,9988
3	0,22	0,14	0,18	0,9974
4	0,34	0,13	0,22	0,9991
5	0,32	0,17	0,23	0,9988
6	0,34	0,16	0,25	0,9973
<u>Promedio</u>	<u>0,28</u>	<u>0,15</u>	<u>0,21</u>	

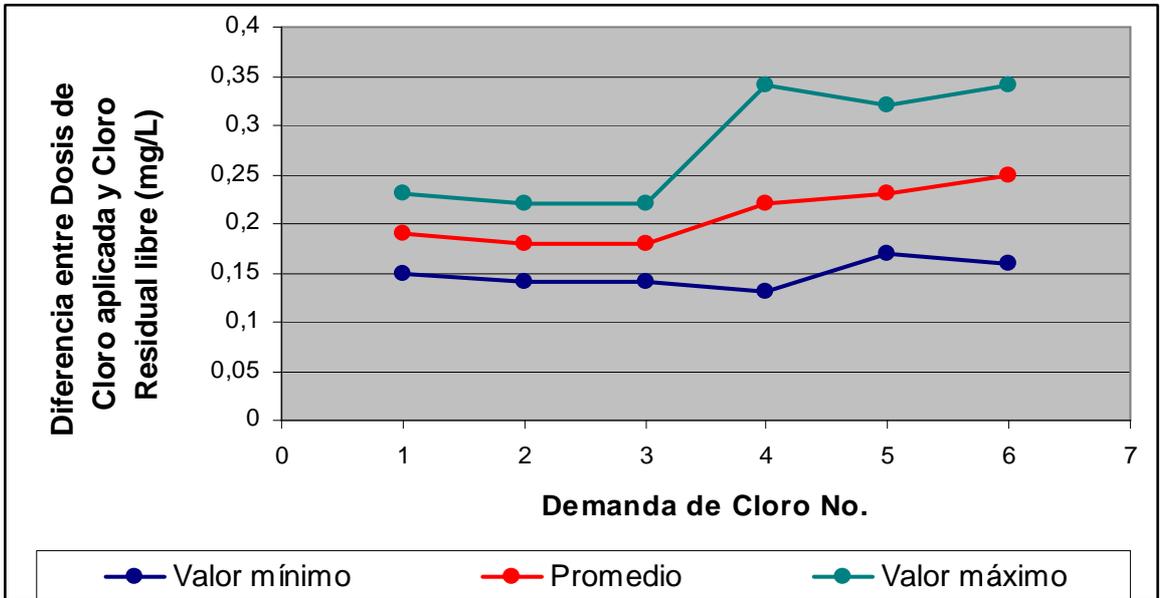
Tabla 8. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días lluviosos (demandas No. 7 y No. 8), (resumen de tablas 33 y 34, ver anexos)

Tipo de agua: agua clarificada				
Tipo de día: lluvioso				
Demanda de Cloro No.	Diferencia entre Dosis de Cloro aplicada y Cloro residual Libre (mg/L)			Coeficiente de Correlación
	Valor máximo (mg/L)	Valor mínimo (mg/L)	Promedio (mg/L)	
7	0,47	0,20	0,34	0,9978
8	0,54	0,09	0,32	0,9980
<u>Promedio</u>	<u>0,51</u>	<u>0,15</u>	<u>0,31</u>	

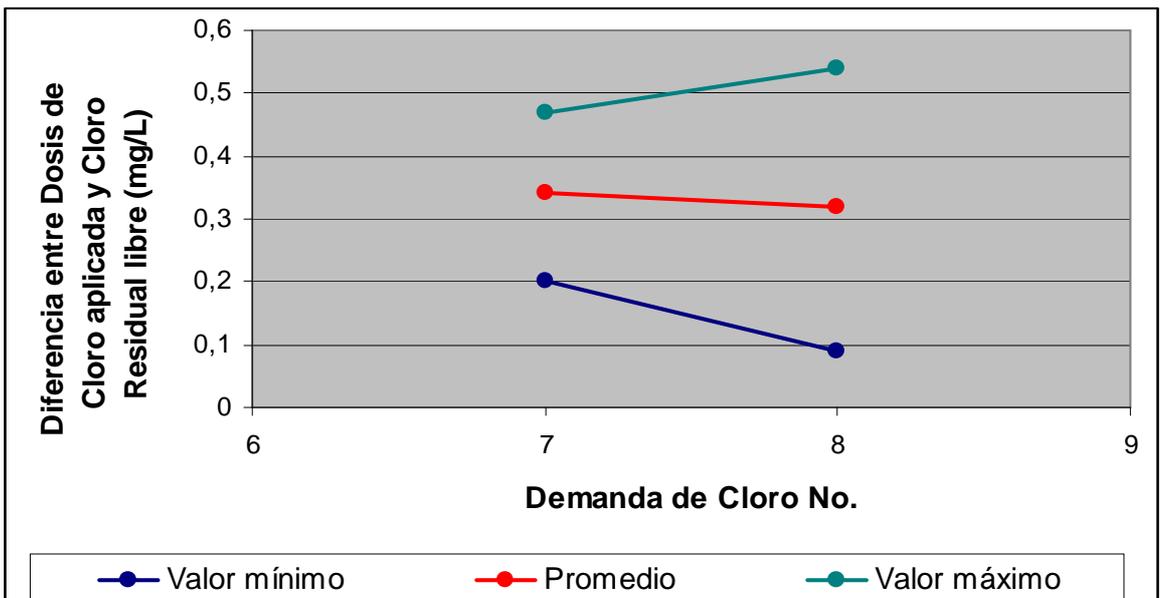
Tabla 9. Resultados de la demanda de cloro realizada al agua cruda que llega de la bocatoma en día cálido (ver tabla 35 en anexos)

Tipo de agua: agua cruda				
Tipo de día: cálido				
Demanda de Cloro No.	Diferencia entre Dosis de Cloro aplicada y Cloro residual Libre (mg/L)			Coeficiente de Correlación
	Valor máximo (mg/L)	Valor mínimo (mg/L)	Promedio (mg/L)	
9	0,42	0,17	0,28	0,9981

Grafica 4. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días cálidos (demandas No. 1 a No. 6), (ver tabla 7)



Grafica 5. Resultados de las demandas de cloro realizadas al agua clarificada en días lluviosos (demandas No. 7 y No. 8), (ver tabla 8)



En las graficas 4 Y 5 se muestran los valores mínimos, los valores máximos, y los promedios de cada una de las demandas de cloro realizadas al agua captada por el acueducto después del proceso de clarificación en la planta de tratamiento. Como se observa, el valor máximo para las demandas de cloro No. 1 a la No. 6, se encuentra en 0,34 mg/L Cl₂ (demandas No. 4 y No. 6) y el valor mínimo se encuentra en 0,13 mg/L Cl₂ (demanda No. 4). El valor máximo para las demandas de cloro No. 7 y No. 8 se encuentra en 0,54 mg/L Cl₂ (demanda No. 8) y el valor mínimo se encuentra en 0,09 mg/L Cl₂ (demanda No. 8).

La diferencia entre los valores máximos y mínimos de las demandas No. 1 a No. 6 y No. 7 a No. 8, se debe a que las primeras demandas fueron realizadas en días con clima cálido y las segundas en días con clima frío (predominantemente lluvioso); posiblemente la lluvia arrastra consigo material adicional que genera en el agua la presencia de compuestos que producen consumo de solución desinfectante, por lo que la demanda de cloro es mayor.

Todas las demandas de cloro realizadas presentaron curvas casi lineales lo cual indica que posiblemente el agua no presenta concentraciones considerablemente altas de materia orgánica ni de compuestos oxidables como Fe, Mn, amonio, nitritos, H₂S, etc. Además el agua presenta un bajo consumo de cloro lo cual indica que no se requiere de grandes cantidades de cloro para su desinfección, pero si necesita de un tiempo adecuado de contacto del cloro con el agua para asegurar la inhibición de las bacterias patógenas, liberando el agua de microorganismos que puedan causar enfermedades en la población que hace uso del recurso suministrado.

8.3. RESULTADOS EN EL MONITOREO DE LA DISMINUCION EN LA CONCENTRACIÓN DE CLORO EN LA LÍNEA CAÑAVERAL

La línea cañaveral tiene una extensión de aproximadamente 6 km y su recorrido va desde la planta de tratamiento ubicada en la vereda Alegrías hasta el sector conocido como cajones, pasando en primer lugar por el tanque de distribución de Altagracia, en segundo lugar por la calle principal del corregimiento de Altagracia, pasando por las oficinas del acueducto, en tercer lugar por la carretera que conduce a Pereira, para finalmente terminar en el sector de cajones vía Pereira.

Para determinar la disminución de la concentración de cloro a través de la línea cañaveral se midió la concentración de cloro en diferentes puntos de esta línea.

Tabla 10. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (concentración de Cl₂ por punto)

Semana No.	Concentración de Cl ₂ (mg/L)			
	Planta alegrías	Tanque Altagracia	Oficina Altagracia	Sector Cajones
1	1,05	0,97	0,78	0,70
2	0,94	0,90	0,70	0,62
3	0,82	0,78	0,62	0,55
4	0,70	0,66	0,47	0,43
5	0,59	0,55	0,39	0,31
pH (rango)	6,4 – 6,5	6,5 – 7,0	6,5 – 7,2	6,5 – 6,7

Grafica 6. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (concentración de Cl₂ por punto), (ver tabla 10)

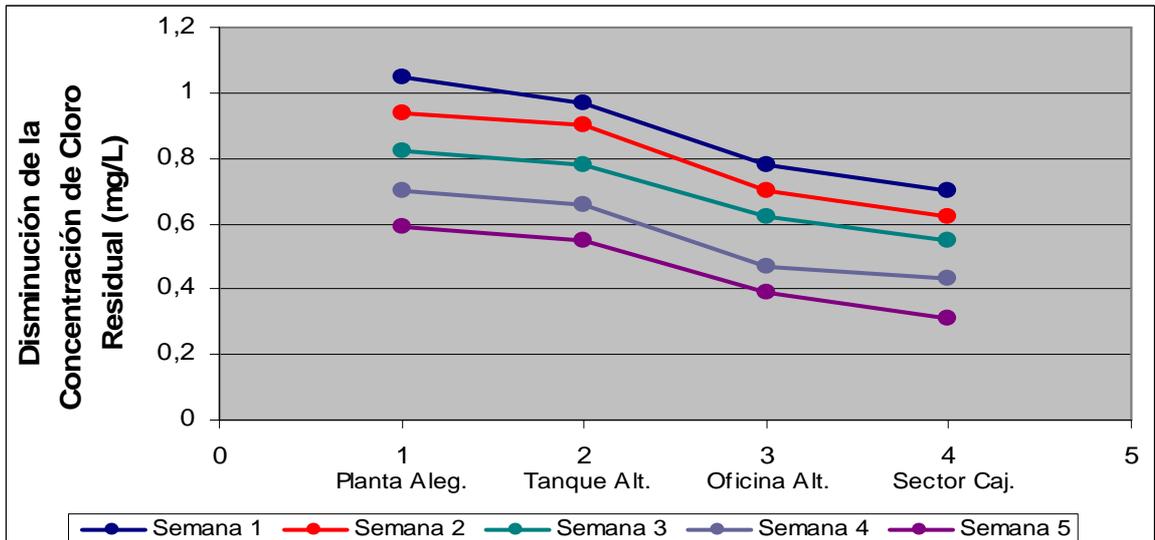
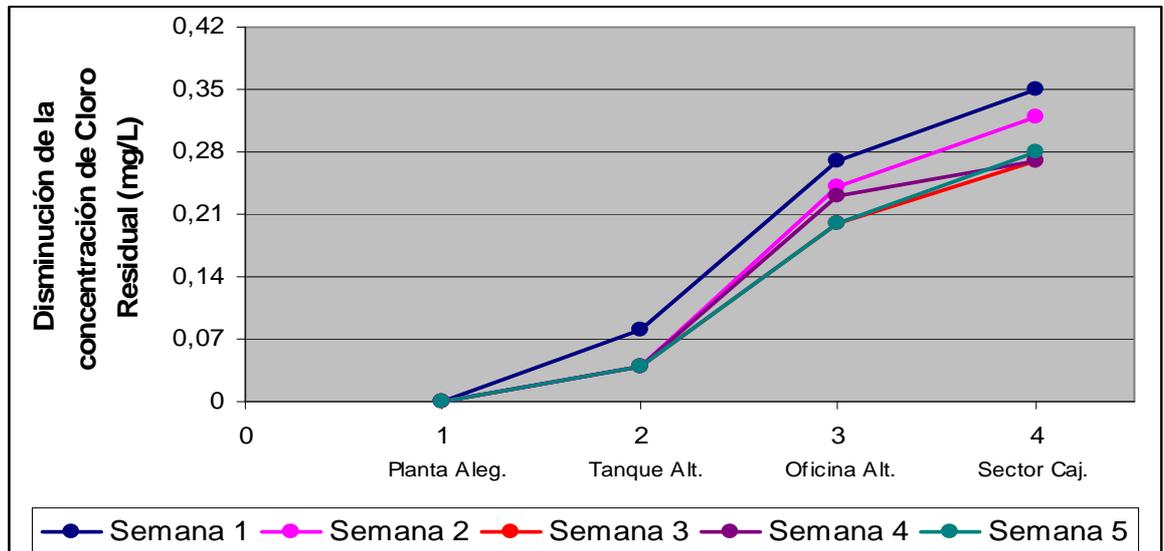


Tabla 11. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (variación concentración de Cl₂ por punto)

Semana No.	Disminución de la concentración de Cl ₂ (mg/L)			
	Planta alegrías	Tanque Altagracia	Oficina Altagracia	Sector Cajones
1	0	0,08	0,27	0,35
2	0	0,04	0,24	0,32
3	0	0,04	0,20	0,27
4	0	0,04	0,23	0,27
5	0	0,04	0,20	0,28
Promedio	<u>0</u>	<u>0,05</u>	<u>0,23</u>	<u>0,30</u>

Grafica 7. Resultados monitoreo de la disminución de cloro residual a través de la línea cañaveral (variación concentración de Cl₂ por punto) (ver tabla 11)



Las graficas 6 y 7 muestran el comportamiento de la disminución de la concentración de cloro cuando el agua se lleva de la planta de alegrías al sector de cajones a través de la línea cañaveral como se puede observar todas las medidas muestran un valor estable. La disminución de la concentración de cloro presenta un valor promedio de 0,3 mg/L por ende si el agua sale con una concentración de la planta de alegrías con una concentración de 0,7 mg/L llegará al sector cajones con una concentración de 0,4 mg/L el cual se encuentra dentro del rango de valores permitidos, por lo cual es aconsejable que el agua salga de la planta con una concentración comprendida entre 0,9 a 1,0 mg/L.

8.4. PUNTOS DE MUESTREO

Fotos 1 Y 2. Punto de muestreo No. 1 (planta Alegrías)



Fotos 3 y 4. Punto de muestreo No. 2 (tanque de Altagracia)



Fotos 5 y 6. Punto de muestreo No. 3 (oficina Altagracia)



Fotos 7 y 8. Punto de muestreo No. 4 (sector Cajones)



Como se observa en las fotos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, los puntos de muestreo requieren de un acondicionamiento en cuanto a infraestructura debido a que las normas vigentes lo exigen, ya que estos puntos de muestreo deben ser de fácil acceso para los operarios, para las entidades reguladoras de servicios públicos y para los inspectores de sanidad; además de esto, las tuberías de dichos puntos deben provenir directamente de la red de distribución de agua del sistema, deben ser puntos representativos de la red, deben estar debidamente identificados y poseer los instrumentos adecuados para permitir la toma de muestras de manera sencilla.

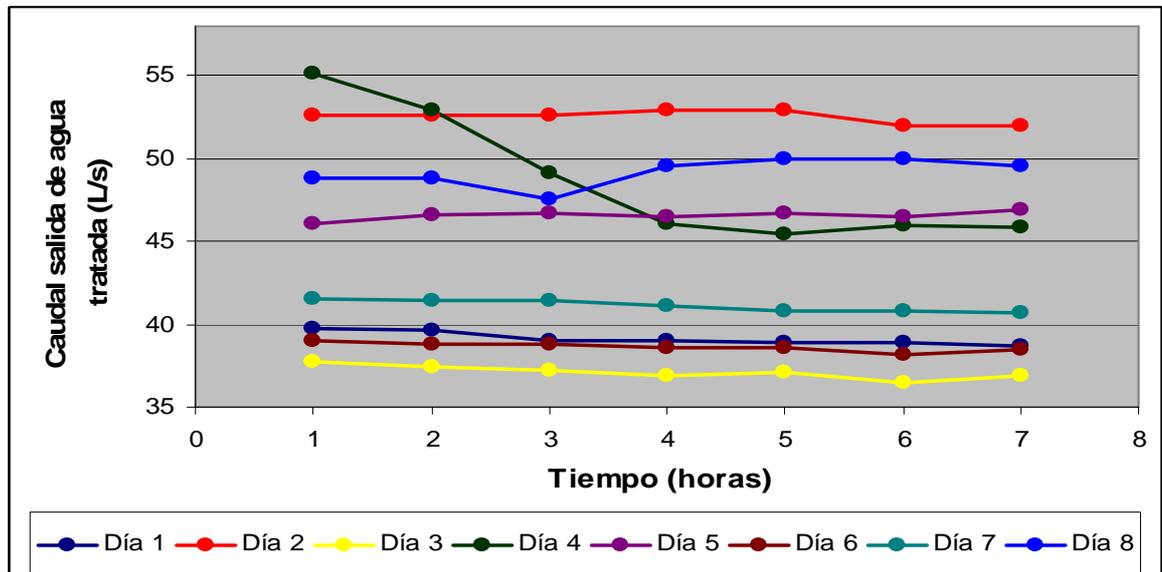
8.5. RESULTADOS DEL MONITOREO DEL CAUDAL DE SALIDA DE AGUA TRATADA

Con el fin de determinar la estabilidad del caudal de salida de agua tratada de la planta de alegrías se realizó un monitoreo del mismo:

Tabla 12. Datos monitoreo caudal de salida del agua tratada

Tiempo (horas)	Caudal de salida de agua tratada (Litros/segundo)							
	Día No.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	39,7	37,8	37,7	55,2	46,1	39,0	41,5	38,5
2	39,6	37,8	37,4	52,9	46,6	38,8	41,4	38,4
3	39,0	37,5	37,2	49,1	46,7	38,8	41,4	38,4
4	39,0	37,5	36,9	46,1	46,5	38,6	41,1	38,6
5	38,9	37,4	37,1	45,4	46,7	38,6	40,8	38,6
6	38,9	37,5	36,5	46,0	46,5	38,2	40,8	38,5
7	38,7	37,4	36,9	45,9	46,9	38,5	40,7	39,1

Gráfica 8. Datos monitoreo caudal de salida del agua tratada, (ver tabla 12)



8.6. PLAN DE DOSIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORO

Con el fin de mejorar la etapa de dosificación de cloro en el proceso de desinfección del agua en la planta de tratamiento de Alegrías y la línea cañaveral del Acueducto Cestillal - el Diamante "ACUCESDI", se propone un plan de dosificación de Cloro el cual se basa en los resultados obtenidos después de realizar el seguimiento a cada uno de los parámetros que previamente se habían establecido estaban implicados en la etapa de dosificación (demandas de cloro, variación de la concentración de la solución de cloro con el tiempo, cantidad de agua que entra a ser tratada dentro de la planta), se establece dicho plan, basado en los parámetros analizados y las condiciones actuales de la planta de tratamiento. Para tal fin se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Preparación de la solución madre:

La solución utilizada en la desinfección (Solución madre) se debe preparar con una concentración comprendida entre 2,5 y 2,0 %_{m/v} Cl₂ (25 000 y 20 000 mg/L Cl₂ respectivamente). Para tal fin se calcularán los volúmenes de solución de cloro comercial y agua a utilizar. Posteriormente esta debe ser homogenizada adecuadamente.

2. Caudal de la motobomba:

Se debe graduar la motobomba de dosificación de tal manera que el agua tratada salga de la planta con una concentración de cloro comprendida entre 0,9 y 1,0 mg/L, manipulando las perillas de frecuencia y flujo y midiendo la concentración de cloro en el agua a la salida de la planta de alegrías hasta obtener el valor deseado.

3. Inspección y ensayo de proceso:

Se debe realizar un monitoreo del cloro residual presente en diferentes puntos del sistema verificando que este se encuentre en los límites adecuados.

4. Análisis de resultados:

De los análisis de estos resultados se buscara obtener información que permita corregir o mejorar este proceso.

1. PREPARACION DE LA SOLUCIÓN MADRE

La solución usada en el proceso de desinfección se prepara a partir de una solución comercial de Cloro más o menos al 13%_{m/v} de NaClO (Pm: 74,44 g/mol), como la concentración de la solución se debe expresar en %_{m/v} Cl₂ (Pm: 70,90g/mol), en realidad se esta utilizando una solución comercial al 12,38%_{m/v} Cl₂.

Por lo general producto del almacenamiento y el transporte, esta solución sufre cambios en su concentración, por lo cual se recomienda hacer los cálculos necesarios para que a la hora de preparar la solución usada para la desinfección, esta quede con una concentración comprendida entre 2,5 y 2,0 %_{m/v} Cl₂ (25 000 y 20 000 mg/L Cl₂ respectivamente), para tal fin se pueden utilizar las siguientes formulas:

ECUACION 1. CALCULO CONC. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN % m/v DE Cl₂

$$Sln \%_{m/v} Cl_2 = 0.952 * Sln \%_{m/v} NaClO \quad (1)$$

Sln %_{m/v} Cl₂: concentración de la solución comercial expresada en %_{m/v} Cl₂

Sln %_{m/v} NaClO concentración de la solución comercial expresada en %_{m/v} NaClO

La ecuación (1) permite calcular la concentración de la solución comercial en %_{m/v} Cl₂ a partir de la concentración expresada en %_{m/v} NaClO.

ECUACION 2. CALCULO CONC. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN mg/L DE Cl₂

$$Sln \text{ mg/L Cl}_2 = 10\ 000 * Sln . \%_{m/v} \text{ Cl}_2 \quad (2)$$

Sln mg/L Cl₂: concentración de la solución comercial expresada en **mg/L Cl₂**

Sln %_{m/v} Cl₂: concentración de la solución comercial expresada en **%_{m/v} Cl₂**

La ecuación (2) permite calcular la concentración de la solución comercial en mg/L Cl₂ a partir de la concentración expresada en %_{m/v} Cl₂, y en general permite que la concentración de cualquier solución de cloro que este expresada en %_{m/v} Cl₂ sea convertida fácilmente a unidades de mg/L Cl₂.

ECUACION 3. CALCULO VOL. DE SOLUCIÓN COMERCIAL EN % m/v DE Cl₂

$$Vsc. = Csd. * Vsd. / Csc. \quad (3)$$

Vsc. = Volumen de solución comercial.

Csc. = Concentración de solución comercial expresada en %_{m/v} Cl₂.

Csd. = Concentración de la solución usada para la desinfección expresada en %_{m/v} Cl₂.

Vsd. = Volumen a preparar de la solución usada para la desinfección.

La ecuación (3) permite conocer el volumen de solución comercial que se debe usar para preparar la cantidad y la concentración adecuada de solución para la desinfección. El objetivo de preparar la solución con una concentración comprendida entre 2,5 y 2,0 %_{m/v} Cl₂ (25 000 y 20 000 mg/L Cl₂ respectivamente), es debido a que la variación de la concentración que presenta esta solución es

mucho más baja que la que presenta una solución de menor concentración, además presenta un tiempo de duración apropiado para el proceso.

2. CAUDAL DE LA MOTOBOMBA

El caudal de aplicación de cloro de la motobomba hacia el agua depende de la concentración de la solución utilizada en la desinfección, la cantidad de cloro que necesita el agua, el caudal de agua, y la forma como la motobomba aplica el cloro al agua. Las dos primeras condiciones se pueden calcular y controlar, pero el caudal de cloro que aplica la motobomba se ve afectado de gran manera por cambios en el caudal de agua; una pequeña variación en el caudal de agua provoca una gran variación en el caudal de aplicación de la motobomba, esto se debe a que la motobomba aplica cloro al agua a través de un tubo unido al tubo madre de salida de agua, el paso del agua crea una succión sobre el tubo de cloro generando que la cantidad de solución que llega al agua sea diferente a la cantidad de solución que realmente dosifica la motobomba; y la magnitud de esta succión depende de la cantidad del flujo de agua. Bajo estas condiciones de funcionamiento en la infraestructura de la planta se hace poco práctica la medición del caudal de aplicación de cloro, debido a que en el momento, el caudal de agua que sale de la planta no se mantiene dentro de un rango constante que permita realizar el seguimiento al caudal de aplicación de cloro (ver tabla 12 y grafica 8, pág. 52 y 53 respectivamente).

Por lo antes explicado, se debe graduar la motobomba en forma tal, que el agua tratada reporte en el primer punto de muestreo (a 3 metros de la motobomba), una concentración de cloro comprendida entre 0,9 y 1,0 mg/L Cl_2 ; estos valores se

toman basados en los datos obtenidos en los análisis y que muestran que la variación máxima en toda la línea es de aproximadamente 0,35 – 0,40 mg/L Cl₂ (ver tabla 11, pág. 47) y demanda máxima de cloro 0,54 mg/L; reportando así, que la concentración de cloro residual en todo el tramo de esta línea de distribución se encontrará dentro de los valores establecidos por el artículo 9 de la resolución 2115 de 2007 [8]. Con el fin de obtener una concentración de cloro en el agua que sale de la planta entre 0,9 y 1,0 mg/L se tienen los siguientes datos:

TABLA 13. Dosificación de Cloro necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl₂ en el agua (con solución madre en % m/v)

Solución Madre % _{m/v} Cl ₂	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0
Caudal agua (L/s)	Caudal solución de cloro (mL/s)					
30	1,08	1,13	1,17	1,23	1,29	1,35
35	1,26	1,31	1,37	1,43	1,50	1,58
40	1,44	1,50	1,57	1,64	1,71	1,80
45	1,62	1,69	1,76	1,84	1,93	2,03
50	1,80	1,88	1,96	2,05	2,14	2,25
55	1,98	2,06	2,15	2,25	2,36	2,48
60	2,16	2,25	2,35	2,45	2,57	2,70

Tabla 14. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl₂ en el agua (con solución madre en mg/L)

Solución Madre mg/L Cl ₂	25 000	24 000	23 000	22 000	21 000	20 000
Caudal agua (L/s)	Caudal solución de cloro (mL/s)					
30	1,08	1,13	1,17	1,23	1,29	1,35
35	1,26	1,31	1,37	1,43	1,50	1,58
40	1,44	1,50	1,57	1,64	1,71	1,80
45	1,62	1,69	1,76	1,84	1,93	2,03
50	1,80	1,88	1,96	2,05	2,14	2,25
55	1,98	2,06	2,15	2,25	2,36	2,48
60	2,16	2,25	2,35	2,45	2,57	2,70

En las tablas 13 y 14 se muestra la relación entre el caudal de agua que sale de la planta, la concentración de la solución utilizada en la desinfección (solución madre) y el caudal de la solución de cloro que debe ser aplicado, para lograr una concentración de 0,9 mg/L Cl₂ en el agua tratada que se distribuye desde la planta de tratamiento.

Tabla 15. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/L de Cl₂ en el agua (con solución madre en % m/v)

Solución Madre % _{m/v} Cl ₂	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0
Caudal agua (L/s)	Caudal solución de cloro (mL/s)					
30	1,20	1,25	1,30	1,36	1,43	1,50
35	1,40	1,46	1,52	1,59	1,67	1,75
40	1,60	1,67	1,74	1,82	1,90	2,00
45	1,80	1,88	1,96	2,05	2,14	2,25
50	2,00	2,08	2,17	2,27	2,38	2,50
55	2,20	2,29	2,39	2,50	2,62	2,75
60	2,40	2,50	2,61	2,73	2,86	3,00

Tabla 16. Dosificación de cloro necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/L de Cl₂ en el agua (con solución madre en mg/L)

Solución Madre mg/L Cl ₂	25 000	24 000	23 000	22 000	21 000	20 000
Caudal agua (L/s)	Caudal solución de cloro (mL/s)					
30	1,20	1,25	1,30	1,36	1,43	1,50
35	1,40	1,46	1,52	1,59	1,67	1,75
40	1,60	1,67	1,74	1,82	1,90	2,00
45	1,80	1,88	1,96	2,05	2,14	2,25
50	2,00	2,08	2,17	2,27	2,38	2,50
55	2,20	2,29	2,39	2,50	2,62	2,75
60	2,40	2,50	2,61	2,73	2,86	3,00

En las tablas 15 y 16 se muestra la relación entre el caudal de agua que sale de la planta, la concentración de la solución utilizada en la desinfección (solución madre) y el caudal de la solución de cloro que debe ser aplicado, para lograr una concentración de 1,0 mg/L Cl₂ en el agua tratada que se distribuye desde la planta de tratamiento.

Tabla 17. Duración de la solución madre necesaria para obtener una concentración de 0,9 mg/L de Cl₂ en el agua

Solución Madre mg/L Cl ₂	25 000	24 000	23 000	22 000	21 000	20 000
Caudal agua (L/s)	Duración de la solución (horas)					
30	165	157	152	145	138	132
35	141	136	130	124	119	113
40	123	119	113	108	104	99
45	110	105	101	97	92	88
50	99	95	91	87	83	79
55	90	86	83	79	75	72
60	82	79	76	73	69	66

En la tabla 17 se muestra la relación entre el caudal de agua que sale de la planta, la concentración, y la duración de la solución utilizada en la desinfección (solución madre), aplicando la cantidad de cloro adecuada para obtener una concentración de 0,9 mg/L Cl₂ en el agua tratada que se distribuye desde la planta de tratamiento.

Tabla 18. Duración de la solución madre necesaria para obtener una concentración de 1,0 mg/l de Cl₂ en el agua

Solución Madre mg/L Cl ₂	25 000	24 000	23 000	22 000	21 000	20 000
Caudal agua (L/s)	Duración de la solución (horas)					
30	148	142	137	131	124	119
35	127	122	117	112	106	102
40	111	106	102	98	94	89
45	99	95	91	87	83	79
50	89	85	82	78	75	71
55	81	78	74	71	68	65
60	74	71	68	65	62	59

En la tabla 18 se muestra la relación entre el caudal de agua que sale de la planta, la concentración, y la duración de la solución utilizada en la desinfección (solución madre), aplicando la cantidad de cloro adecuada para obtener una concentración de 1,0 mg/L Cl₂ en el agua tratada que se distribuye desde la planta de tratamiento. Todos los datos en color rojo corresponden a la mejor dosificación.

3. INSPECCIÓN Y ENSAYO DE PROCESO

Para verificar que el proceso se está realizando adecuadamente se debe realizar un monitoreo de cloro residual a través de la línea cañaveral. Para garantizar que el monitoreo se realice de manera adecuada es recomendable llevar un formato

de inspección y ensayo en el cual se consignen las condiciones de muestreo, puntos de muestreo, intensidad y fechas de muestreo.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se deberán analizar estos resultados, buscando obtener información para mejorar el proceso cada vez más, tratando de llevar un análisis estadístico de los resultados y buscando relacionar las condiciones en que se dieron los resultados con el valor numérico de los mismos.

8.7. ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Realizando un seguimiento microbiológico en el laboratorio de aguas de la universidad (ver reporte en anexos), al agua cruda captada por el acueducto, al agua después del proceso de clarificación, al agua después de la adición del desinfectante en el primer punto de muestreo y al agua de entrada en el tanque de Altagracia, se obtuvieron reportes de coliformes totales y *E. coli* en las muestras, debido a que en el proceso de desinfección no se cuenta con un tiempo de retención de cloro en el agua. En la tabla 19 se muestran los resultados:

Tabla 19. Análisis microbiológico del agua en el acueducto

Ensayo	Agua cruda	Agua clarificada	Agua tratada primer punto	Agua tratada entrada tanque
Coliformes totales	>1600	340	62	7
<i>E. coli</i>	760	50	0	0

9. CONCLUSIONES

Se evaluaron las condiciones de dosificación de cloro en la etapa de desinfección realizada en la planta de tratamiento del acueducto, observando que el proceso de preparación y mezcla de la solución de cloro es poco eficiente, debido a que no existe un proceso de homogenización que asegure igual concentración de cloro en toda la solución, lo que durante el tiempo de análisis se resolvió mediante homogenización manual y actualmente se coordina una salida definitiva al problema.

Se logro determinar las condiciones directamente relacionadas con el proceso de dosificación de cloro tales como cambio de la concentración con el tiempo de la solución de cloro que se utiliza en la etapa de desinfección del agua, demandas de cloro, variación de la concentración de cloro residual a través de la red de distribución, en la línea cañaveral de la misma.

Se propuso un plan de dosificación de cloro, en concordancia con las condiciones actuales del acueducto, basado en los resultados obtenidos durante el todo el proceso de análisis y seguimiento, a cada uno de los parámetros establecidos anteriormente.

Se evaluó el plan de dosificación de cloro planteado, y no se obtuvieron resultados concordantes con los calculados en los análisis previos, debido a que actualmente el acueducto presenta problemas de infraestructura en su planta física, específicamente en la planta de tratamiento, que en el momento impiden que el plan de dosificación sea llevado a cabo con éxito bajo los parámetros establecidos en el presente trabajo.

Se establecieron los ajustes necesarios que debe realizar el acueducto para mejorar el proceso de dosificación de cloro que se aplica actualmente, los cuales consisten en hacer mejoras en el proceso de preparación de la solución de cloro, la adquisición de equipos de medida adecuados, el correcto almacenamiento de la solución de cloro suministrada por el proveedor, el control frecuente y constante de la concentración de cloro residual mediante un método como el yodometrico, que en este caso ha mostrado buenos resultados, y es mas preciso que el que aplican en la actualidad, realizar mejoras en los puntos de muestreo como también algunas mejoras de infraestructura en la planta de tratamiento.

Como conclusión adicional, se realizó un seguimiento microbiológico a cuatro muestras de agua diferentes con el fin de analizar la efectividad del proceso de desinfección tal y como se esta aplicando actualmente en el acueducto al momento de la realización del presente trabajo, obteniendo resultados negativos en cuanto a la efectividad de dicho proceso, ya que los análisis arrojaron resultados positivos para el crecimiento de bacterias como las coliformes y la *E. coli*, aún cuando los residuales de cloro se encontraban dentro del rango permitido por las normas vigentes; esto debido a que no existe un tiempo de retención en contacto del cloro con el agua, se hace ineficiente cualquier método o plan de dosificación que se aplique, puesto que si no existe dicho tiempo de contacto lo mas lógico es que no se inhiba completamente el crecimiento de dichas bacterias en el agua por lo que continuaran creciendo levemente, lo cual se ratifica mediante los resultados de los análisis realizados en el presente trabajo, y se tenga que aplicar cantidades relativamente grandes de desinfectante que pueden llegar a afectar la salud de los beneficiarios del acueducto.

10. RECOMENDACIONES

Con el fin de tratar de mejorar el proceso de desinfección, se proponen las siguientes recomendaciones a consideración.

1. Implementar un sistema de agitación para los compartimentos del tanque que dosifica la solución de cloro, buscando homogenizar la mezcla.
2. Mejorar la comunicación entre los dos compartimentos del tanque que contiene la solución de cloro a dosificar para que tengan más contacto la solución de cloro allí contenida.
3. Realizar una limpieza periódica a los tanques de cloración, ya que las partículas de suciedad que quedan allí pueden producir un consumo de cloro que reduciría la concentración de la solución al momento de adicionarla en los tanques.
4. Mejorar en lo posible la forma de almacenamiento de cloro buscando que este se realice en un lugar fresco, ventilado y en lo posible refrigerado.
5. Conseguir un sistema de medida confiable que permita medir la concentración de cloro de forma adecuada.

6. Preparar la solución de cloro de acuerdo a las condiciones del proceso.
7. Tratar en lo posible que el agua tratada salga con una concentración de cloro residual entre 0,9 y 1,0 mg/L de la planta de tratamiento para asegurar que el proceso de desinfección se realice de manera adecuada y dentro de los parámetros establecidos por la ley.
8. Realizar mejoras en el punto de dosificación de cloro hacia el tubo de salida de agua, procurando que el cloro se dosifique en el sentido de flujo del agua para evitar la succión que le pueda ejercer esta a la solución de cloro, permitiendo así que la motobomba dosifique exactamente la cantidad necesaria para la desinfección.
9. Implementar en lo posible un sistema de retención de cloro (construcción de un tanque de almacenamiento) como mínimo de 12 a 24 horas para asegurar que la desinfección del agua sea realizada de manera efectiva y segura.
10. Establecer puntos fijos de muestreo realizando las adecuaciones físicas necesarias y requeridas por las normas vigentes.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] AYRES, Gilbert H. Análisis químico cuantitativo. Editorial Harper y Row.
- [2] BROWN, Theodore. Química: la ciencia central. Séptima edición. México: Prentice hall, 1998. 1096p. ISBN: 970-17-0169-0.
- [3] CAMPUZANO HENAO, Alberto. Análisis químico cuantitativo. Practicas de laboratorio. Universidad tecnológica de Pereira, escuela de tecnología química 1987. Practicas 11, 12 y 13.
- [4] EDUCASITIOS. Importancia del agua [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2007]. <http://www.educasitios.educ.ar>.
- [5] FORTUNECITY. El agua. [en línea]. [Consulta: 30 noviembre 2007].<http://www.fortunecity.com>
- [6] LENNTECH. Que es la desinfección del agua [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2007]. <http://www.lenntech.com>
- [7] MINISTERIO DE SALUD. BOGOTA. COLOMBIA. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. BOGOTA, el ministerio, 1984.
- [8] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. BOGOTA. COLOMBIA. Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007. BOGOTA, el ministerio, 2007.

- [9] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. BOGOTA. COLOMBIA. Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. BOGOTA, el ministerio, 2007.
- [9] PERUECOLOGICO. Importancia del agua. [en línea]. [Consulta: 30 noviembre 2007]. <http://www.peruecolgico.com>
- [10] RAMIREZ, Ana Milena y TELLO, Gladys Viviana. Evaluación de la calidad del agua de la asociación comunitaria de suscriptores del acueducto Cestillal el Diamante. Tesis (Tecnóloga Química). Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología, 2005. 107 p.
- [11] RODIER, J. Análisis de las aguas: Aguas naturales, residuales y de mar. Primera edición. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. 1998. 1059p. ISBN: 84-282-0625-2.
- [11] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogota, Nomos S.A.
- [12] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogota: Nomos S.A. 2000. 400p. ISBN: 958-8060-16-8.
- [13] SDNHM. Importancia del agua para la vida. [en línea]. [Consulta: 30 de noviembre 2007]. <http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculums/agua/act1ante.html>

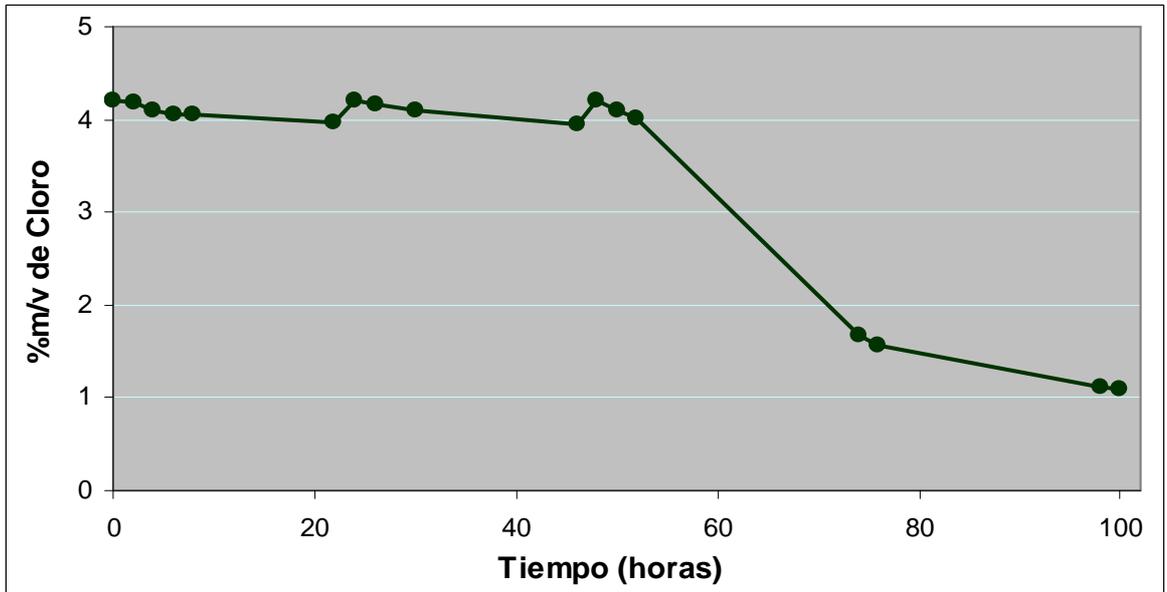
12. ANEXOS

12.1. TABLAS Y GRAFICAS DEL CAMBIO CON EL TIEMPO DE LA CONCENTRACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE CLORO QUE SE UTILIZAN EN LA ETAPA DE DESINFECCIÓN DEL AGUA.

Tabla 20. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 1 (solución sin homogenizar)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	0	4,20	4,12	42 000	1 500
	2	4,13		41 300	
	4	4,09		40 900	
	6	4,05		40 500	
2	22	4,05	4,10	40 500	-400 aumento de concentración
	24	3,98		39 800	
	26	4,20		42 000	
	28	4,16		41 600	
	30	4,09		40 900	
3	46	3,95	4,07	39 500	-700 aumento de concentración
	48	4,20		42 000	
	50	4,09		40 900	
	52	4,02		40 200	
4	74	1,67	1,62	16 700	1 100
	76	1,56		15 600	
5	98	1,12	1,11	11 200	300
	100	1,09		10 900	

Grafica 9. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 1 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 20 anexos)



Grafica 10. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 1 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 20 anexos)

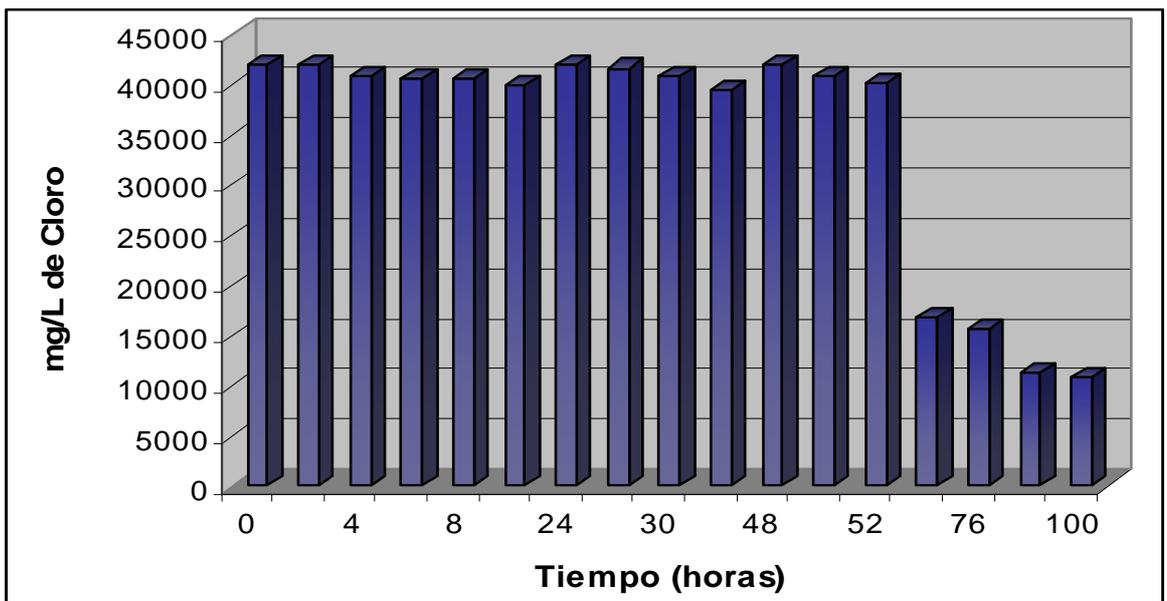
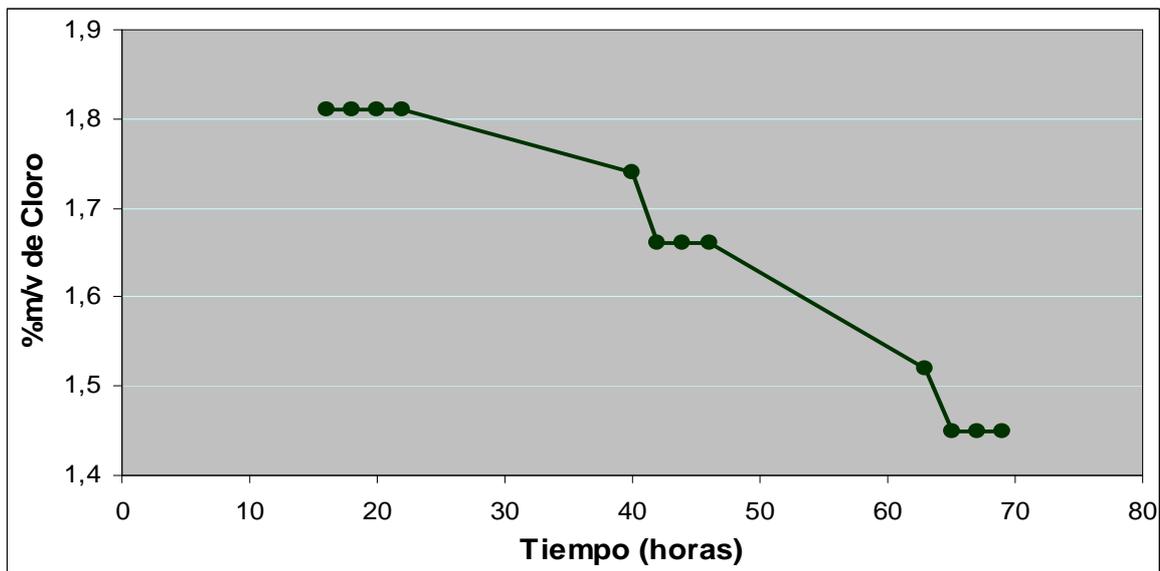


Tabla 21. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 2 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	16	1,81	1,81	18 100	0
	18	1,81		18 100	
	20	1,81		18 100	
	22	1,81		18 100	
2	40	1,74	1,68	17 400	800
	42	1,66		16 660	
	44	1,66		16 660	
	46	1,66		16 660	
3	63	1,52	1,47	15 200	700
	65	1,45		14 500	
	67	1,45		14 500	
	69	1,45		14 500	

Grafica 11. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 2 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 21 anexos)



Grafica 12. Cambio con el tiempo de la concentración de la solución de cloro No. 2 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 21 anexos)

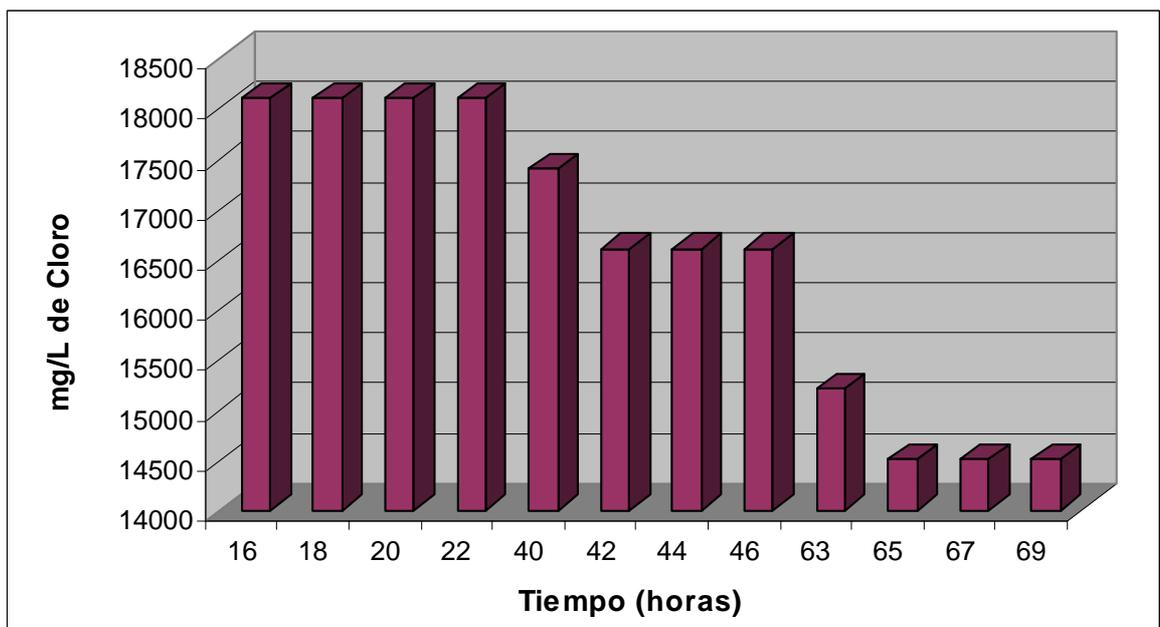
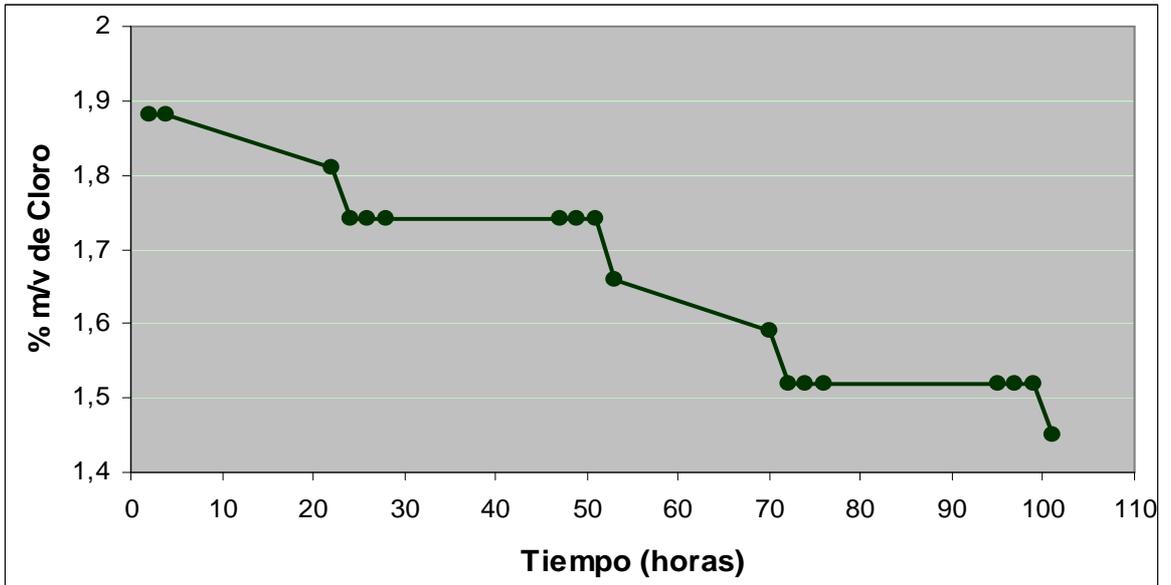


Tabla 22. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 3 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	2	1,88	1.88	18 800	0
	4	1,88		18 800	
2	22	1,81	1,76	18 100	700
	24	1,74		17 400	
	26	1,74		17 400	
	28	1,74		17 400	
3	47	1,74	1,72	17 400	800
	49	1,74		17 400	
	51	1,74		17 400	
	53	1,66		16 600	
4	70	1,59	1,54	15 900	700
	72	1,52		15 200	
	74	1,52		15 200	
	76	1,52		15 200	
5	95	1,52	1,50	15 200	700
	97	1,52		15 200	
	99	1,52		15 200	
	101	1,45		14 500	

Grafica 13. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 3 (en % m/v Cl_2), (ver tabla 22 anexos)



Grafica 14. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 3 (en mg/L de Cl_2), (ver tabla 22 anexos)

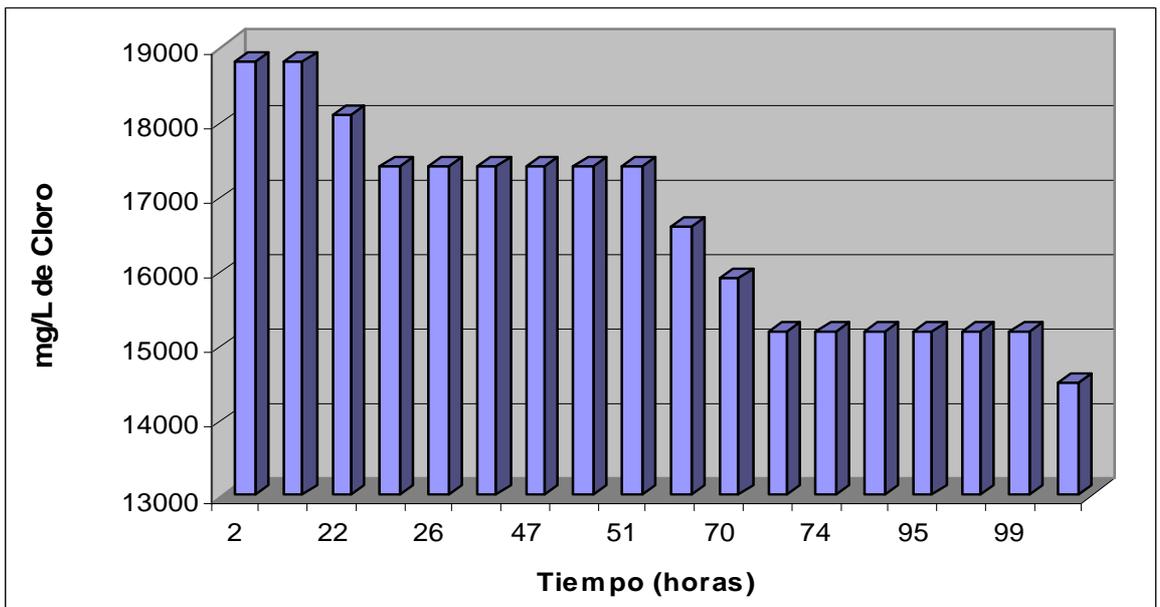
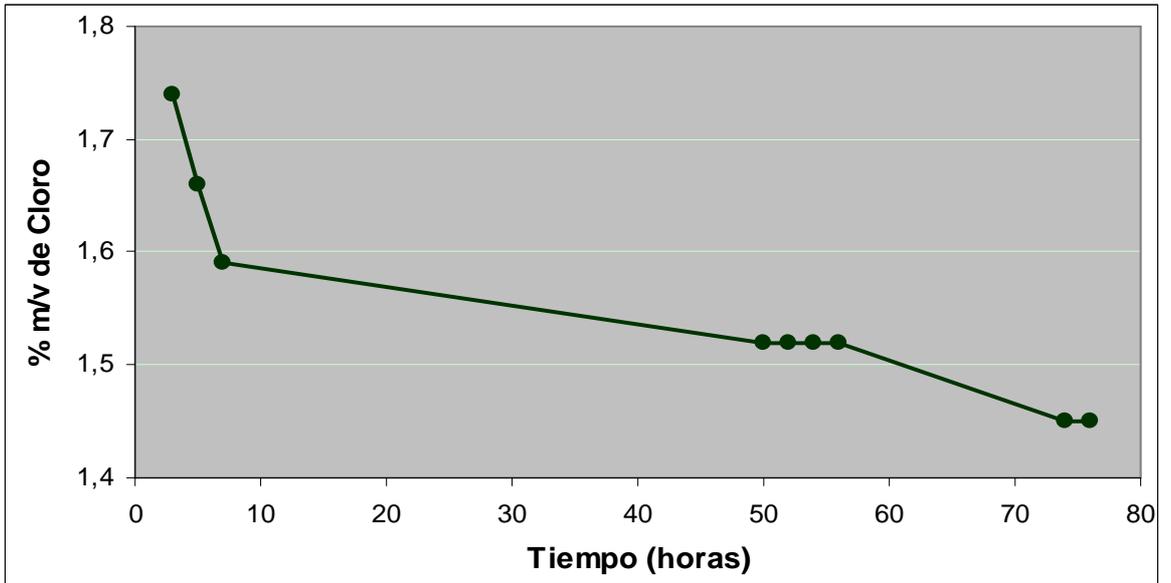


Tabla 23. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 4 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	3	1,74	1,66	17 400	1500
	5	1,66		16 600	
	7	1,59		15 900	
3	50	1,52	1,52	15 200	0
	52	1,52		15 200	
	54	1,52		15 200	
	56	1,52		15 200	
4	74	1,45	1,45	14 500	0
	76	1,45		14 500	

Grafica 15. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 4 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 23 anexos)



Grafica 16. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 4 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 23 anexos)

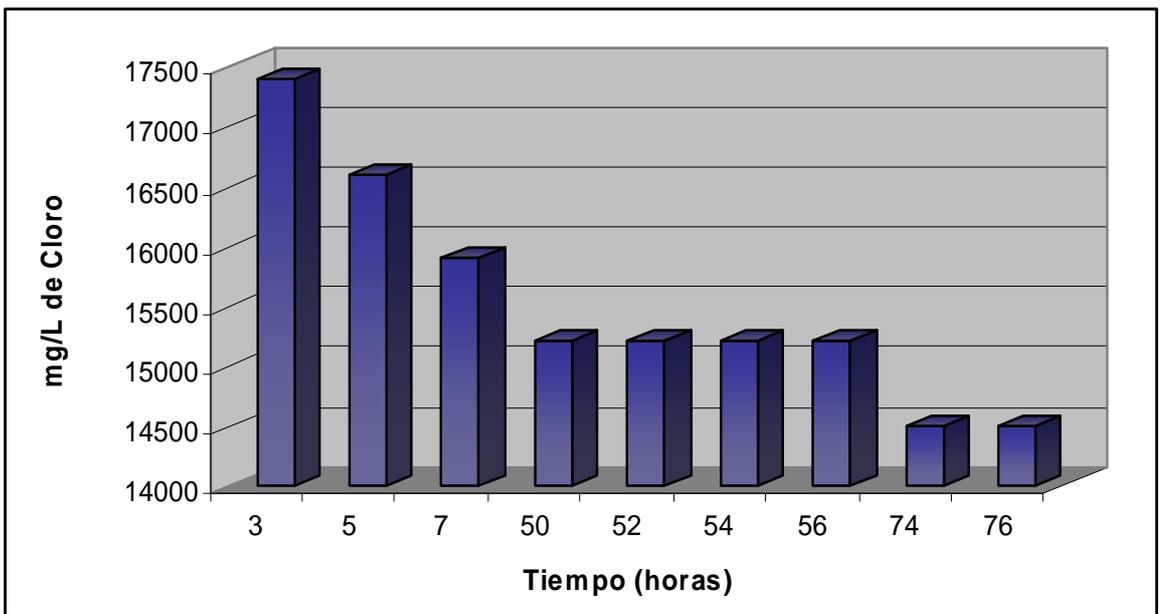
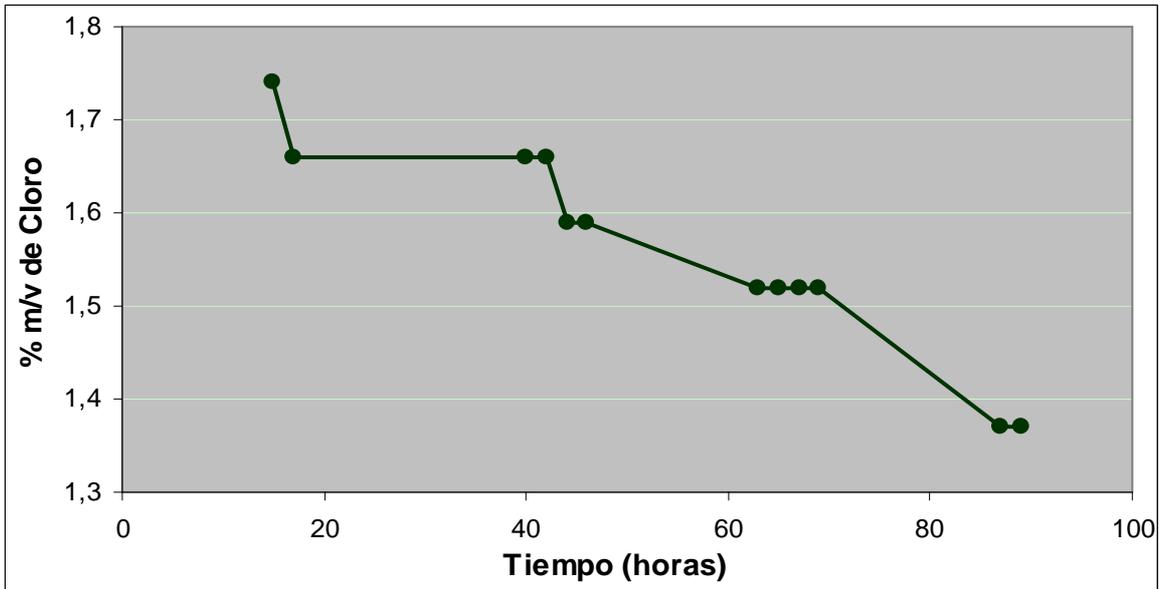


Tabla 24. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 5 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	15	1,74	1,70	17 400	800
	17	1,66		16 600	
2	40	1,66	1,63	16 600	700
	42	1,66		16 600	
	44	1,59		15 900	
	46	1,59		15 900	
3	63	1,52	1,52	15 200	0
	65	1,52		15 200	
	67	1,52		15 200	
	69	1,52		15 200	
4	87	1,37	1,37	13 700	0
	89	1,37		13 700	

Grafica 17. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 5 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 24 anexos)



Grafica 18. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 5 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 24 anexos)

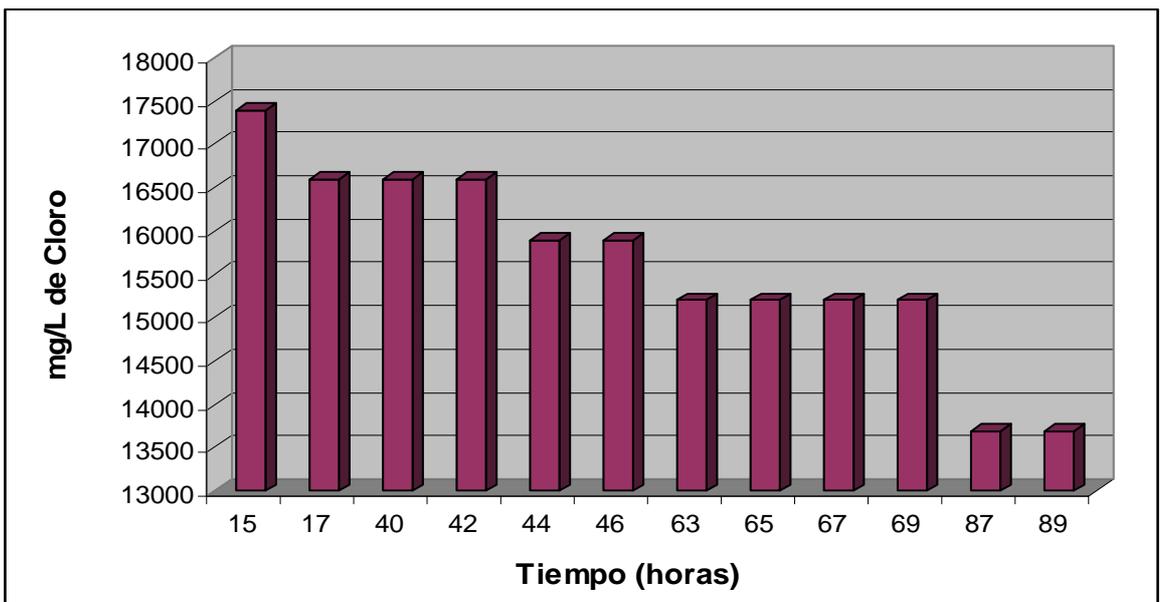
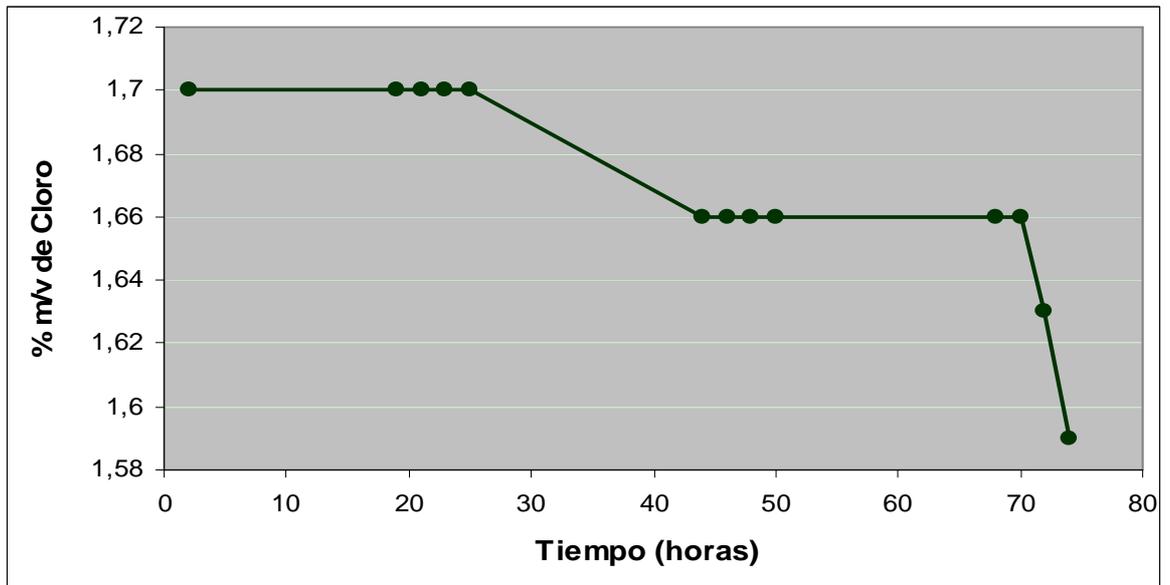


Tabla 25. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 6 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	2	1,70	1,70	17 000	0
2	19	1,70	1,70	17 000	0
	21	1,70		17 000	
	23	1,70		17 000	
	25	1,70		17 000	
3	44	1,66	1,66	16 600	0
	46	1,66		16 600	
	48	1,66		16 600	
	50	1,66		16 600	
4	68	1,66	1,64	16 600	700
	70	1,66		16 600	
	72	1,63		16 300	
	74	1,59		15 900	

Grafica 19. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 6 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 25 anexos)



Grafica 20. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 6 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 25 anexos)

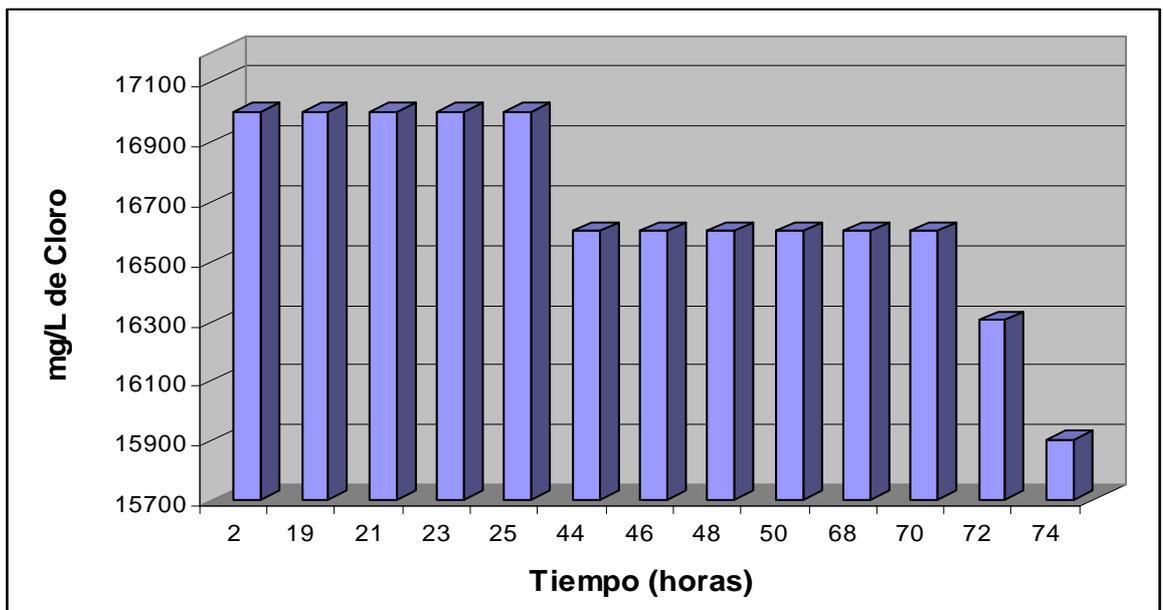
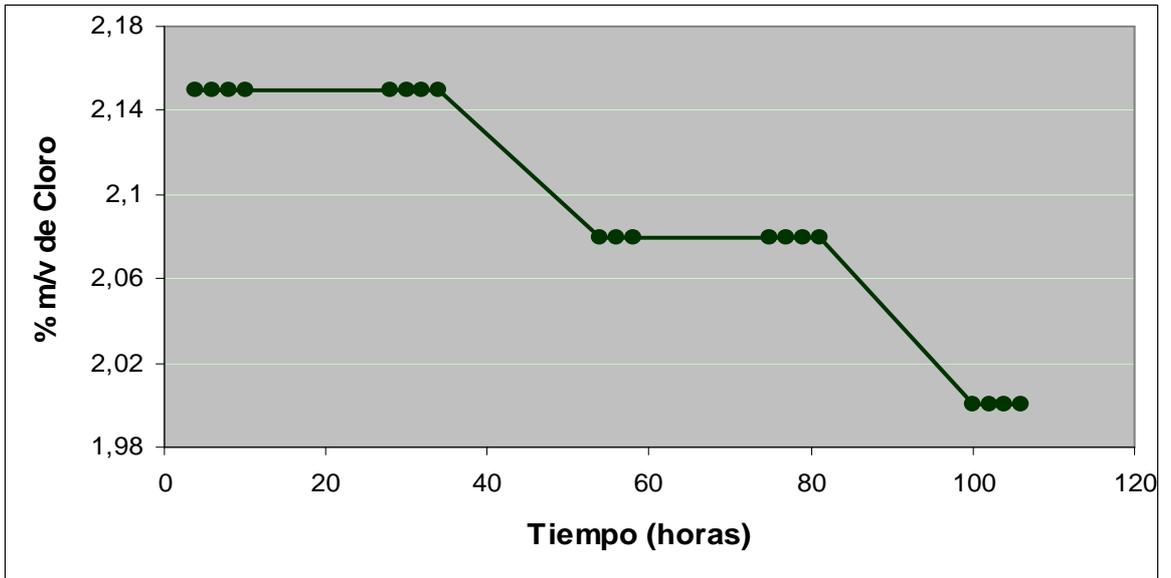


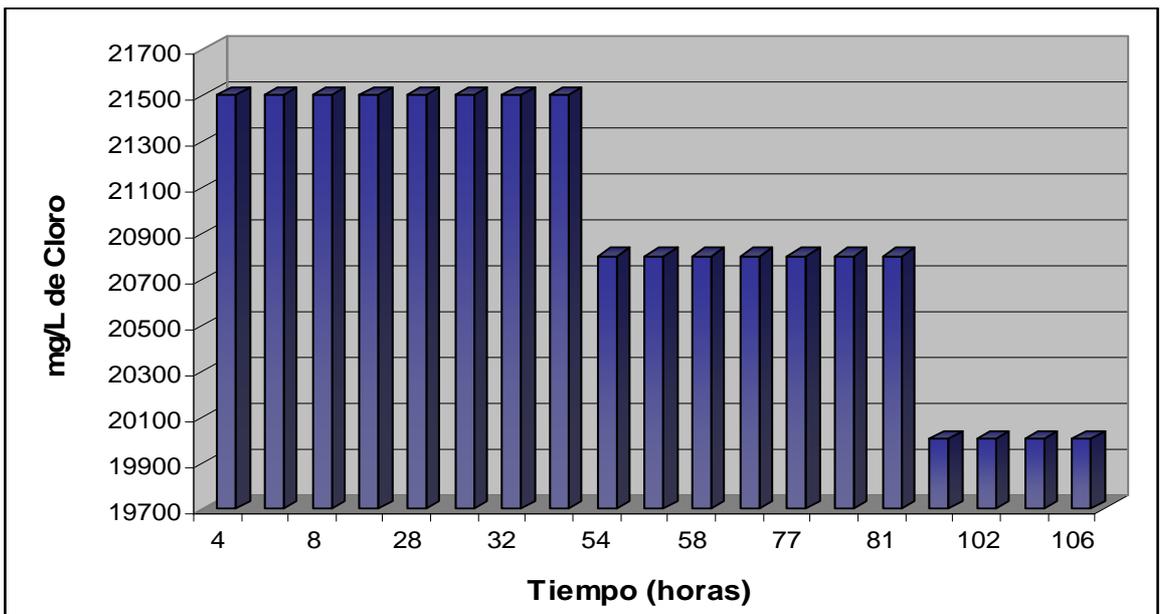
Tabla 26. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 7 (solución homogenizada)

Día No.	Tiempo (horas)	% _{m/v} Cl ₂	% _{m/v} Cl ₂ (Promedio / día)	mg/L Cl ₂	Variación mg/L Cl ₂
1	4	2,15	2,15	21 500	0
	6	2,15		21 500	
	8	2,15		21 500	
	10	2,15		21 500	
2	28	2,15	2,15	21 500	0
	30	2,15		21 500	
	32	2,15		21 500	
	34	2,15		21 500	
3	54	2,08	2,08	20 800	0
	56	2,08		20 800	
	58	2,08		20 800	
4	75	2,08	2,08	20 800	0
	77	2,08		20 800	
	79	2,08		20 800	
	81	2,08		20 800	
5	100	2,00	2,00	20 000	0
	102	2,00		20 000	
	104	2,00		20 000	
	106	2,00		20 000	

Grafica 21. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 7 (en % m/v de Cl₂), (ver tabla 26 anexos)



Grafica 22. Cambio con el tiempo en la concentración de la solución de cloro No. 7 (en mg/L de Cl₂), (ver tabla 26 anexos)



12.2. DEMANDAS DE CLORO

12.2.1. DEMANDAS DE CLORO DE AGUA CLARIFICADA EN DÍAS CÁLIDOS

Tabla 27. Demanda de cloro No. 1

Dosis de Cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,16	0,00	0,16
0,32	0,14	0,18
0,49	0,32	0,17
0,65	0,50	0,15
0,81	0,64	0,17
0,97	0,78	0,19
1,13	0,92	0,21
1,30	1,07	0,23
1,46	1,24	0,22
1,62	1,42	0,20

Grafica 23. Demanda de cloro No. 1, (ver tabla 27 anexos)

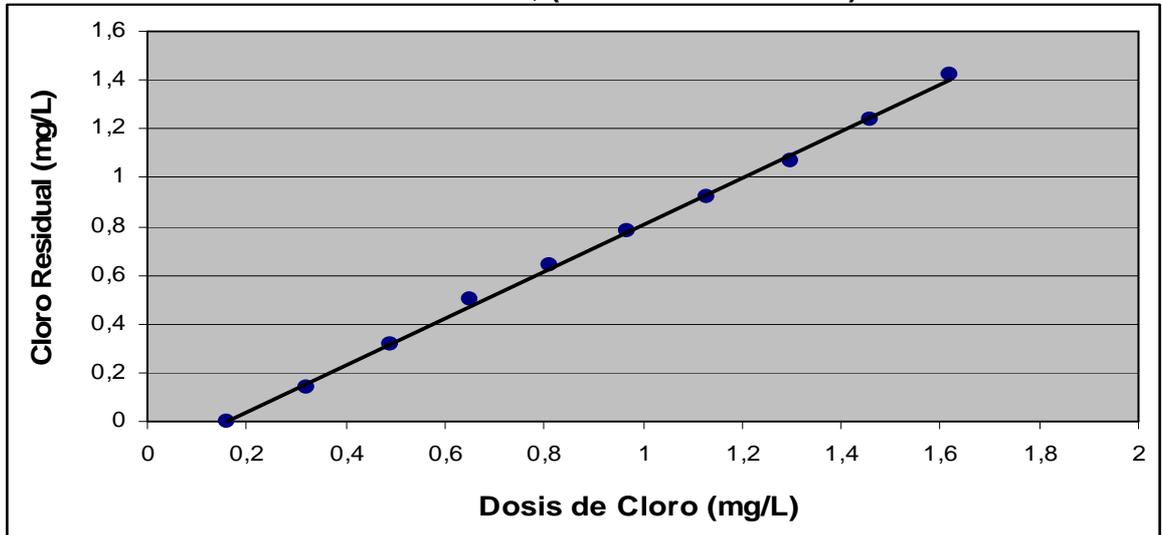


Tabla 28. Demanda de cloro No. 2

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,16	0,00	0,16
0,31	0,14	0,17
0,46	0,32	0,14
0,62	0,46	0,16
0,77	0,60	0,17
0,93	0,74	0,19
1,08	0,88	0,20
1,24	1,02	0,22
1,39	1,21	0,18
1,55	1,35	0,20

Grafica 24. Demanda de cloro No. 2, (ver tabla 28 anexos)

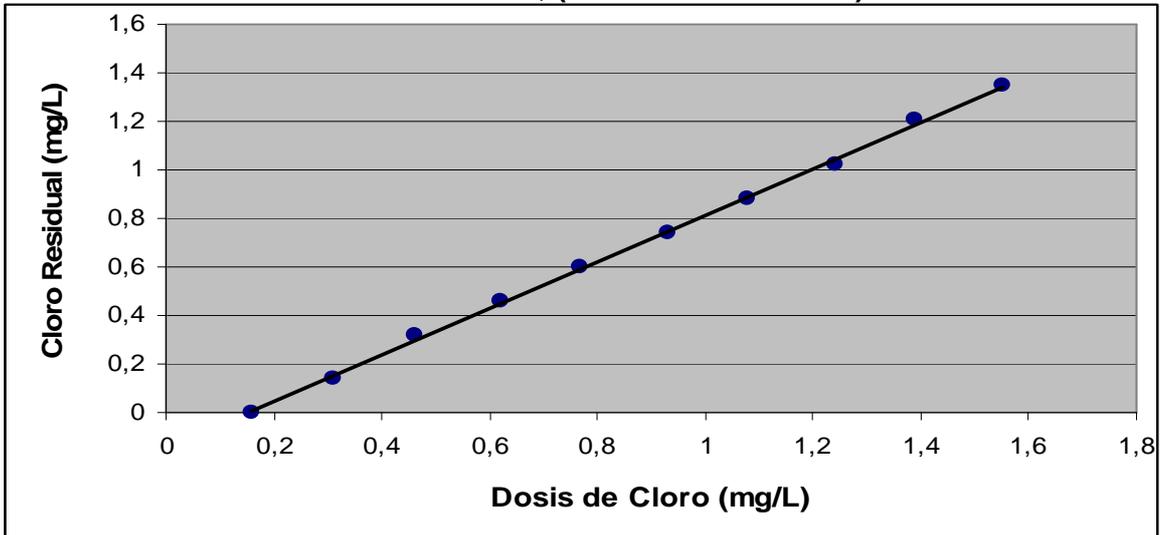


Tabla 29. Demanda de cloro No. 3

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,16	0,00	0,16
0,32	0,18	0,14
0,49	0,32	0,17
0,65	0,43	0,22
0,81	0,60	0,21
0,97	0,82	0,15
1,13	0,92	0,21
1,30	1,10	0,20
1,46	1,24	0,22
1,62	1,42	0,20

Grafica 25. Demanda de cloro No. 3, (ver tabla 29 anexos)

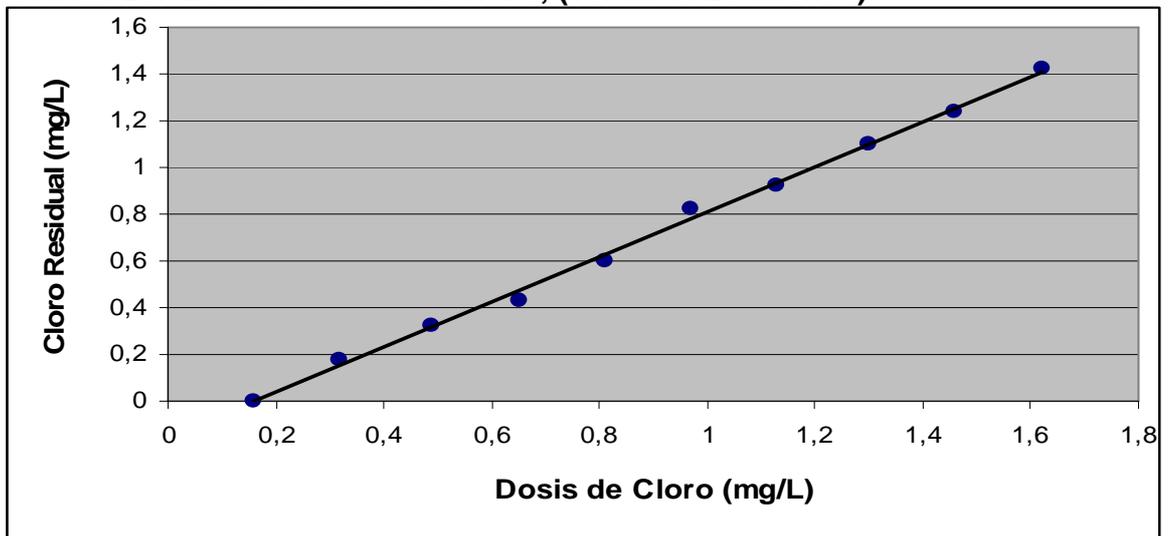


Tabla 30. Demanda de cloro No. 4

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,13	0,00	0,13
0,27	0,14	0,13
0,40	0,25	0,15
0,53	0,36	0,17
0,66	0,46	0,20
0,80	0,57	0,23
0,93	0,67	0,26
1,06	0,78	0,28
1,19	0,89	0,30
1,33	0,99	0,34

Grafica 26. Demanda de cloro No. 4, (ver tabla 30 anexos)

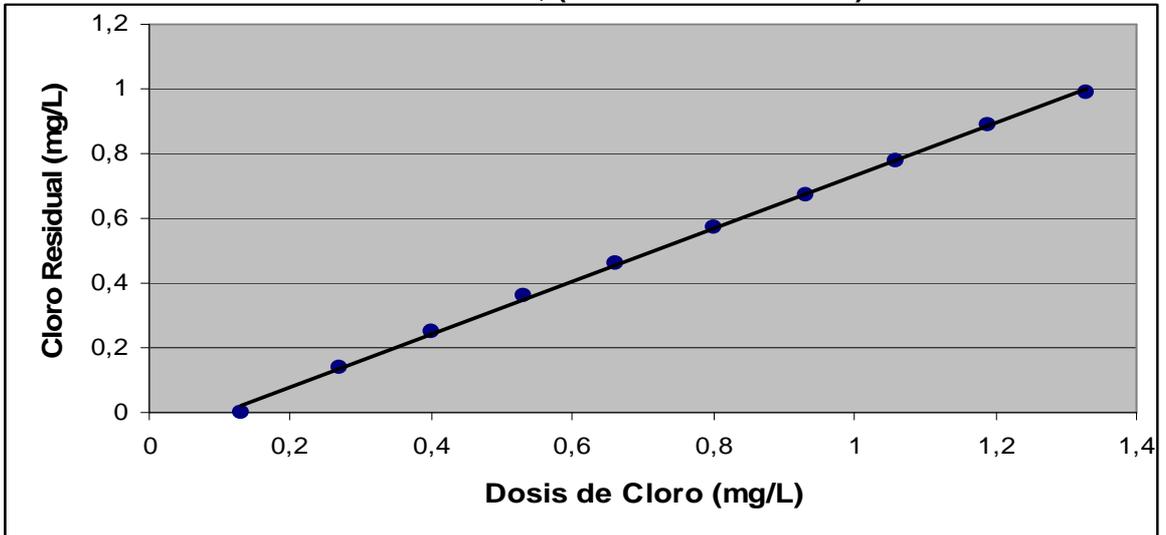


Tabla 31. Demanda de cloro No. 5

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,19	0,00	0,19
0,38	0,21	0,17
0,57	0,39	0,18
0,77	0,57	0,20
0,96	0,75	0,21
1,15	0,92	0,23
1,34	1,14	0,20
1,53	1,28	0,25
1,72	1,42	0,30
1,92	1,60	0,32

Grafica 27. Demanda de cloro No. 5, (ver tabla 31 anexos)

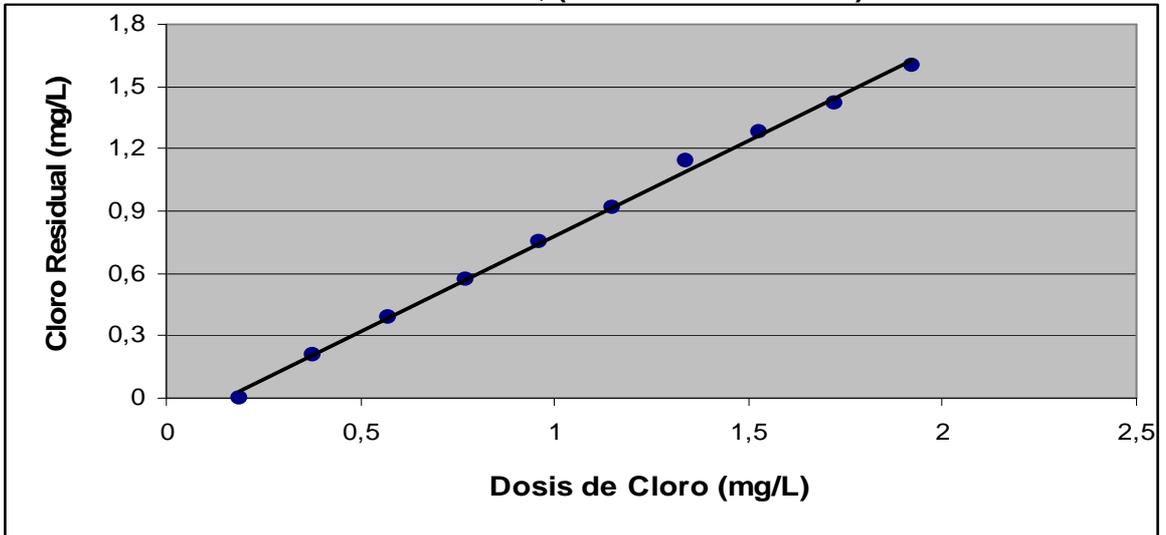
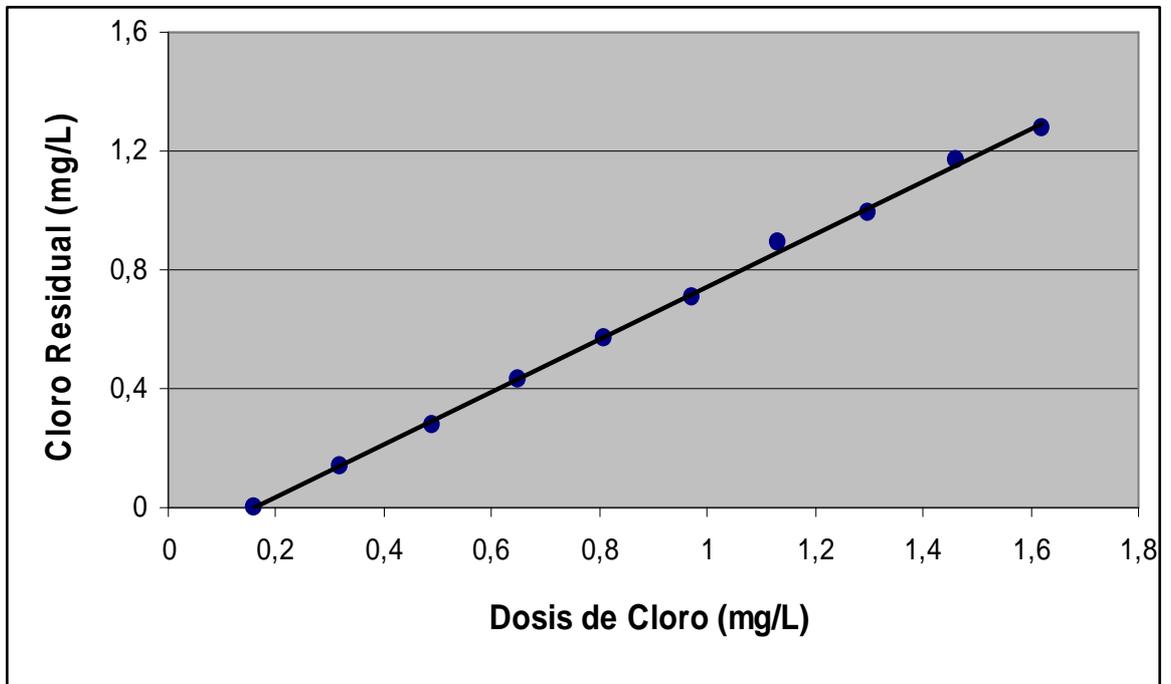


Tabla 32. Demanda de cloro No. 6

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,16	0,00	0,16
0,32	0,14	0,18
0,49	0,28	0,21
0,65	0,43	0,22
0,81	0,57	0,24
0,97	0,71	0,26
1,13	0,89	0,24
1,30	0,99	0,31
1,46	1,17	0,29
1,62	1,28	0,34

Grafica 28. Demanda de cloro No. 6, (ver tabla 32 anexos)



12.2.2. DEMANDAS DE CLORO DE AGUA CLARIFICADA EN DÍAS FRÍOS (LLUVIOSOS)

Tabla 33. Demanda de cloro No. 7

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,26	0,00	0,26
0,52	0,32	0,20
0,77	0,53	0,24
1,03	0,75	0,28
1,29	0,96	0,33
1,55	1,24	0,31
1,81	1,42	0,39
2,06	1,63	0,43
2,32	1,85	0,47
2,58	2,13	0,45

Grafica 29. Demanda de cloro No. 7, (ver tabla 33 anexos)

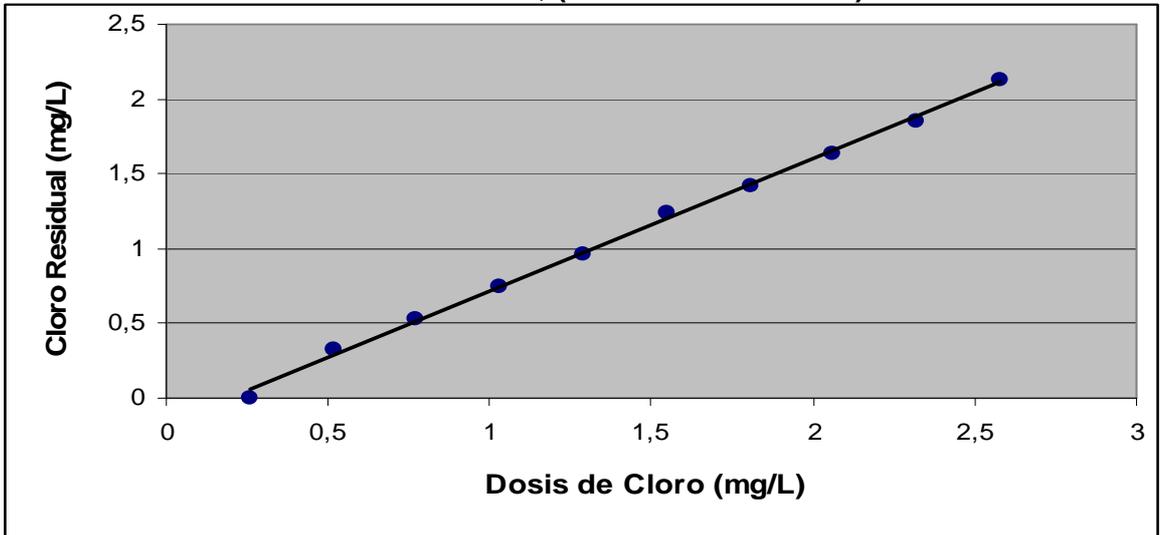
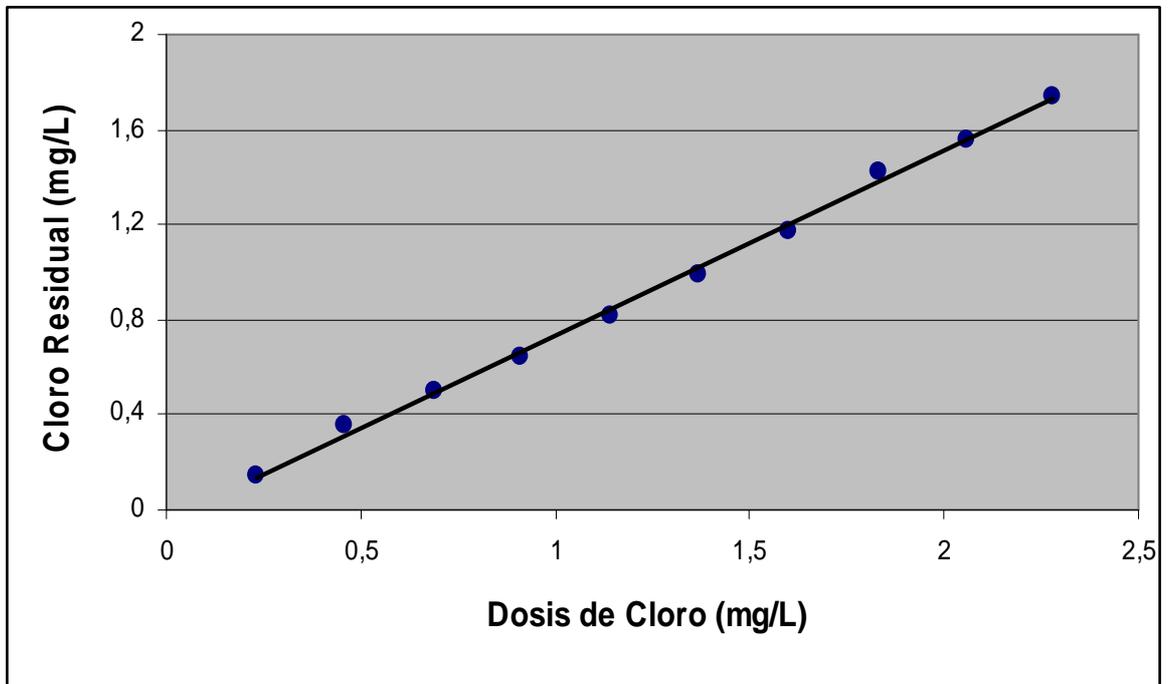


Tabla 34. Demanda de cloro No. 8

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,23	0,14	0,09
0,46	0,36	0,10
0,69	0,50	0,19
0,91	0,64	0,27
1,14	0,82	0,32
1,37	0,99	0,38
1,60	1,17	0,43
1,83	1,42	0,41
2,06	1,56	0,50
2,28	1,74	0,54

Grafica 30. Demanda de cloro No. 8, (ver tabla 34 anexos)

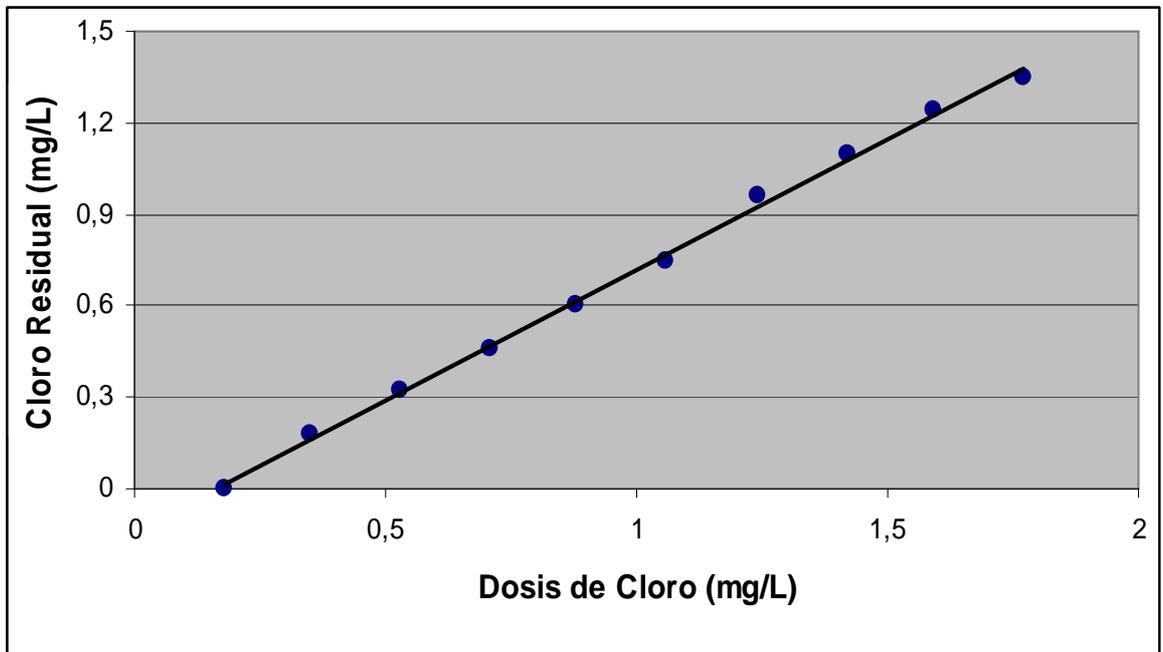


12.2.3. DEMANDA DE CLORO DE AGUA CRUDA EN DÍA CÁLIDO

Tabla 35. Demanda de cloro No. 9

Dosis de cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Diferencia entre Dosis de Cloro y Cloro residual (mg/L)
0,18	0,00	0,18
0,35	0,18	0,17
0,53	0,32	0,21
0,71	0,46	0,25
0,88	0,60	0,28
1,06	0,75	0,31
1,24	0,96	0,28
1,42	1,10	0,32
1,59	1,24	0,35
1,77	1,35	0,42

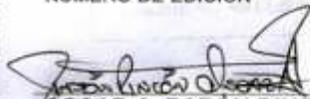
Grafica 31. Demanda de cloro No. 9, (ver tabla 35 anexos)

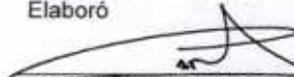


12.3. REPORTE MICROBIOLÓGICO

	LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA	
	Reporte de Ensayo	
	RDE-2008	Página 1 de 4

SOLICITANTE : ACUEDUCTO CESTILLAL EL DIAMANTE
 REPRESENTANTE : JULIAN PAYAN
 DIRECCIÓN : ALTAGRACIA
 FECHA DE MUESTREO :
 LUGAR DE MUESTREO :
 FECHA DE RECEPCIÓN : FEBRERO 28/08
 NÚMERO DE PÁGINAS : CUATRO(4)
 NÚMERO DE EDICIÓN : MARZO 04/ 08


OSCAR A. PABÓN RINCÓN.
 Analista de Laboratorio
 Elaboró


CARLOS HUMBERTO MONTOYA N.
 Director de Laboratorio
 Matricula PQI-0177
 Aprobó


PAULA ANDREA GIRALDO A.
 Jefe de calidad (E)
 Certificado TQ- 283
 Revisó

Dirección: Laboratorio de análisis de Aguas y Alimentos UTP- Edificio de Aguas, contiguo a la biblioteca. **Correo electrónico:** labaguas@utp.edu.co. **Telefax:** 3 21 57 50

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA - NIT 891.480.035-9 - APARTADO AEREO 097
 TEL. CONS. 313 7300 - FAX: 321 3206 PEREIRA (RIS) COLOMBIA - www.utpeduc.co



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

Reporte de Ensayo

RDE-2008

Página 2 de 4

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:

DESCRIPCIÓN	TIPO DE MUESTRA	FECHA Y HORA DE MUESTREO	LUGAR DE MUESTREO	MUESTRA TOMADA POR	FECHA RECEPCIÓN DE MUESTRA	CÓDIGO INTERNO DE MUESTRA	OBSERVACIONES
Agua Cruda Entrada Captación	Agua Cruda				Febrero 28 /08	1	MUESTRA RECIBIDA
Agua Clarificada	Agua en proceso				Febrero 28 /08	2	MUESTRA RECIBIDA
Agua Primer punto desinfección	Agua en proceso				Febrero 28 /08	3	MUESTRA RECIBIDA
Agua Entrada Tanque Altagracia	Agua Tratada				Febrero 28 /08	4	MUESTRA RECIBIDA

TRABAJO REALIZADO: ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: NO APLICA

INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD: NO APLICA

A OCEANO AZUL

A OCEANO AZUL

Director de Laboratorio

Fecha:

CARLOS HUMBERTO

Director de Laboratorio

Fecha:

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
CALLE 14 N° 139 28P - PEREIRA - URU
TEL: 313 400 0000 - FAX: 313 400 0001
WWW.UTP.EDU.CO

	LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA	
	Reporte de Ensayo	
	RDE-2008	Página 3 de 4

RESULTADOS:

FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO/ PROCEDIMIENTO	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	IDENTIFICACIÓN CÓDIGO INTERNO			
						1	2	3	XXX-X
Febrero 28 /08	Coliformes Totales	Filtración por Membrana		---	UFC/100 mL	>1600	340	62	---
Febrero 28 /08	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por Membrana		---	UFC/100 mL	760	50	0	---

FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO/ PROCEDIMIENTO	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	RANGO PERMITIDO: Resolución 2115/2007 de Min Protección Social.	UNIDADES	IDENTIFICACIÓN CÓDIGO INTERNO			
						4	XXX-X	XXX-X	XXX-X
Febrero 28 /08	Coliformes Totales	Filtración por Membrana		---	UFC/100 mL	7	---	---	---
Febrero 28 /08	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por Membrana		---	UFC/100 mL	0	---	---	---

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA - NIT 891.480.035-9 - APARTADO AÉREO 097
 TEL. CONN: 313 7300 - FAX: 321 3306 PEREIRA (RIS) COLOMBIA - www.utp.edu.co

	LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA	
	Reporte de Ensayo	
	RDE-2008	Página 4 de 4

OBSERVACIONES:

- Los resultados contenidos en el presente reporte se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Aguas y alimentos
- A este informe se le anexa el registro de condiciones ambientales cuando el laboratorio se responsabiliza de la toma de las muestras
- Este resultado hace referencia única y exclusivamente a las muestras analizadas.
- Los ensayos microbiológicos son realizados por el Microbiólogo con énfasis en alimentos OSCAR A. PABÓN RINCÓN
- Este reporte expresa fielmente el resultado de los análisis realizados. No podrá ser reproducido totalmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio.
- Los análisis se realizaron basados en procedimientos que se encuentran en el Standard methods for the examination of water and wastewater edición 20.