

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**Herramienta para la mejora de la gestión físico-sanitaria de 10 ASADAS de
la región Pacífico Central de Costa Rica**

Modalidad proyecto de graduación para optar por el título de Licenciatura en
Tecnologías Limpias

Presentado por:
Daniela Baltodano Obando

Heredia, Costa Rica

02 de marzo de 2017

ACTA DE APROBACIÓN

HERRAMIENTA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN FÍSICO-SANITARIA DE 10 ASADAS DE LA REGIÓN PACÍFICO CENTRAL DE COSTA RICA

TRIBUNAL EXAMINADOR

M.Sc. Tomás Marino Herrera
Decano Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. María Chavez Villalobos
Representante de la Escuela de Ciencias Ambientales

Lic. Érika Herrera Delgado
Tutora

Lic. José Félix Rojas Marín
Lector

M.Sc. Sylvia Jiménez Cavallini
Lectora

Bach. Daniela Baltodano Obando
Sustentante

DEDICATORIA

Mayormente quiero dedicar este proyecto a mi familia: mami, Dennis, abuelito... Les agradezco de corazón por todo el apoyo y consejos que me han brindado a lo largo de los años que me han hecho la persona que soy. Sin ustedes nunca hubiese llegado a este momento.

Además, para todas aquellas personas que están en proceso de culminar un trabajo similar; respiren, cuenten hasta diez, ustedes pueden, el esfuerzo vale la pena al final.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco infinitamente a mis compañeros de generación, aquellos que han compartido conmigo todos los altibajos que conlleva la vida universitaria. Ustedes que se han convertido en mi familia, gracias por estar todavía conmigo después de ocho años, que estoy segura que se convertirán en muchos más.

También a aquellas personas que se han cruzado en el camino, por haberme dado empujoncitos en esos momentos en que más dudé de mi misma y por los amigos a la distancia, que también han estado apoyándome en cada paso del camino.

Por último, al grupo asesor que me brindó su apoyo para culminar de manera exitosa este proyecto. Érika Herrera; por su paciencia infinita y conocimientos, José Félix Rojas, por sus aportes invaluable y Sylvia Jiménez, por todo el aprendizaje adquirido y momentos compartidos en las giras, este trabajo también es para ustedes.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	3
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	5
OBJETIVOS	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	7
MARCO TEÓRICO	9
Contexto y Antecedentes	9
Bases teóricas	10
Uso de innovaciones tecnológicas	19
Programas o proyectos	20
METODOLOGÍA	22
Enfoque de la investigación y tipo de estudio	22
Criterios de selección del objeto y sitio de estudio	22
Metodología general	22
Procedimiento metodológico	23
I Fase: Diagnóstico de la condición actual de los sistemas de desinfección de 10 ASADAS de la Región Pacífico Central	23
II Fase: Determinación los puntos críticos de la gestión operativa para la identificación de riesgos	28
III Fase: Búsqueda de Tecnologías Limpias que mejor se adapten a la gestión físico-sanitaria de los acueductos objeto de estudio	30

IV Fase: Construcción de la herramienta que mejore la gestión físico-sanitaria de las ASADAS objeto de la presente investigación	30
--	----

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 33

I Fase: Análisis del contexto socioeconómico de la región Pacífico Central y el abastecimiento de agua para consumo humano por los acueductos comunales	33
---	----

Diagnóstico general de las ASADAS participantes	34
---	----

Caracterización de los acueductos mediante esquemas	40
---	----

II Fase: Puntos críticos de la gestión operativa	43
--	----

III Fase: Búsqueda de Tecnologías Limpias	45
---	----

IV Fase: Construcción de la herramienta que mejore la gestión físico-sanitaria	47
--	----

Protocolo de Cloración para la ASADA de Playa Azul	49
--	----

CONCLUSIONES 58

RECOMENDACIONES 58

ANEXOS 66

Anexo A: Esquema de los acueductos bajo investigación	66
---	----

Anexo B: Definición de los Protocolos de Cloración	76
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de demanda de cloro típica _____	13
Figura 2. Sistema volumétrico para efectuar una valoración _____	26
Figura 3. a) Muestra con las alícuotas de cloro, ácido acético y la punta de espátula de yoduro de potasio. b) Muestra después de agregar el almidón. c) Muestra después de la valoración. _____	27
Figura 4. Curva de demanda de cloro práctica _____	27
Figura 5. Porcentaje de terrenos propios y privados de las ASADAS participantes en el proyecto _____	36
Figura 6. Porcentajes de fontaneros presentes en los acueductos _____	37
Figura 7. Capacitaciones recibidas por las ASADAS _____	38
Figura 8. Control de cloro residual en los acueductos de las ASADAS participantes _____	39
Figura 9. Diagrama general mostrando los riesgos más importantes encontrados en los acueductos _____	41
Figura 10. Diagrama que representa una correcta cloración para un sistema de abastecimiento. _____	48
Figura 11. Curva de demanda de cloro obtenida para la ASADA de Playa Azul _____	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Reacciones del cloro en el agua_____	14
Cuadro 2. Propiedades de las variedades comerciales de cloro_____	15
Cuadro 3. Niveles de control de la calidad del agua potable y descripción de los parámetros analizados para cada uno _____	16
Cuadro 4. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos _____	18
Cuadro 5. Información general y aspectos administrativos de las ASADAS participantes_____	35
Cuadro 6. Simbología utilizada para la representación de los acueductos _____	40
Cuadro 7. Análisis FODA de los acueductos participantes _____	42
Cuadro 8. Matriz de estimación del nivel de riesgo _____	43
Cuadro 9. Riesgos encontrados para cada ASADA, con su respectiva evaluación, puntuación y calificación, utilizando los criterios establecidos en la metodología de Planes de Seguridad del Agua_____	43
Cuadro 10. Distintos equipos utilizados para la desinfección del agua_____	46
Cuadro 11. Requerimientos para el mantenimiento de cada sistema de desinfección y beneficios asociados a los mismos _____	47
Cuadro 12. Dosificación definida para la ASADA de Playa Azul. _____	52
Cuadro 13. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador _____	52
Cuadro 14. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo. _____	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema del acueducto de la ASADA de Guadalupe _____	66
Anexo 2. Esquema del acueducto de la ASADA de San Juan Grande _____	67
Anexo 3. Esquema del acueducto de la ASADA de Orocú _____	68
Anexo 4. Esquema del acueducto de la ASADA de Santa Rita _____	69
Anexo 5. Esquema del acueducto ASADA de Playa Azul _____	70
Anexo 6. Esquema del acueducto de la ASADA Vivero _____	71
Anexo 7. Esquema del acueducto de la ASADA de Coyolar _____	72
Anexo 8. Esquema del acueducto ASADA de Pital-Centeno _____	73
Anexo 9. Esquema del acueducto de la ASADA de Labrador. _____	74
Anexo 10. Esquema del acueducto de la ASADA de Macacona _____	75

CAPÍTULO I

ASPECTOS INTRODUCTORIOS

Resumen ejecutivo

La presente investigación se realizó en 10 ASADAS de la región Pacífico Central de Costa Rica, desarrollándose un Protocolo de Cloración para la mejora de la gestión físico-sanitaria de las mismas. Este Protocolo responde a una necesidad que han enfrentado los acueductos comunales desde su creación: la falta de apoyo técnico de entes como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Ministerio de Salud, lo que conlleva a que el servicio brindado por estos acueductos, que abastecen al 24,3% de la población del país, no sea de una calidad equiparable a otros entes como el mismo AyA o la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH)

La investigación fue diagnóstica, al caracterizar una situación concreta y sus rasgos más relevantes, mediante encuestas, observaciones y mediciones, así como el uso de datos obtenidos por el proyecto UNA Gota de Agua, del Laboratorio de Análisis Ambiental. Además, el desarrollo del Protocolo fue producto de la aplicación de la metodología de la Organización Mundial de la Salud denominada “Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo”, así como de la toma de muestras en las fuentes de cada acueducto, y la obtención de curvas de demanda de cloro, para la definición de una dosis adecuada que garantice la desinfección del agua.

Dentro de los resultados más relevantes se encontró el hecho que la cloración se presenta en el 100% de las ASADAS participantes, sin embargo, el método utilizado para la misma no puede garantizar el mantenimiento del cloro residual en el sistema, por lo que es necesario también combinar la dosificación propuesta con un equipo adecuado para la desinfección

Palabras clave: acueductos rurales, demanda de cloro, planes de seguridad del agua, Pacífico Central.

Introducción

Las ASADAS o Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales, son actores sociales de suma importancia para la gobernanza y la gestión del recurso hídrico. Actualmente presentan una serie de vulnerabilidades que deben ser subsanadas para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los acueductos comunales. Una de las problemáticas más acuciantes y que se pretenderá resolver como producto de la presente investigación, es la operación empírica de los sistemas de desinfección existentes, lo que puede traducirse en una situación más seria para las poblaciones abastecidas, debido a la posible transmisión de enfermedades hídricas por la proliferación de microorganismos patógenos o a la formación de subproductos de la desinfección, que son tóxicos para la salud. El objetivo general es proponer una herramienta con el fin de mejorar la gestión operativa de las ASADAS que forman parte del proyecto de investigación UNA Gota de Agua, tomando en cuenta el concepto de Tecnologías Limpias, para lo cual se llevarán a cabo actividades como la toma de muestras en las fuentes de cada acueducto y la obtención de curvas de demanda de cloro, en el que se utilizará como principal insumo la metodología de Planes de Seguridad del Agua, de la Organización Mundial de la Salud.

Justificación

El servicio de abastecimiento de agua en el país está a cargo de entes como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A, las municipalidades y las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), por lo que se puede afirmar que el acceso de la población al agua para consumo humano es alto. Sin embargo, este servicio cuenta con una serie de vulnerabilidades administrativas y operativas que deben ser subsanadas para que esta cobertura se vea traducida también en términos de calidad. A su vez, existe una interacción entre estas vulnerabilidades y amenazas naturales a las que se ven expuestos los sistemas, que en la mayoría de los casos no han sido evaluadas o consideradas. (Ministerio de Salud *et. al.* 2004; Navarro-Garro 2013)

Estas deficiencias se ven agudizadas en las ASADAS, representadas por grupos de vecinos organizados que procuran el acceso al agua para consumo humano en sus comunidades. El AyA tiene la obligación por ley (debido a lo establecido en el Reglamento

de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales, del año 2005) de asesorar y brindar apoyo técnico a estos entes. No obstante, existe una fiscalización y control deficiente por parte del ente rector.

Según el informe DFOE-AE-IF-07-2013 de la Contraloría General de la República (2013) y el Estado de la Nación (2013) existe una gran cantidad de irregularidades tanto administrativas como operativas, dentro de las que se pueden mencionar deficiencias económicas considerables que no permiten un enfoque empresarial, cobro de tarifas inferiores a la establecida por la ARESEP, asociaciones que no tienen suscrito el Convenio de Delegación, acueductos con este Convenio que se encuentran dentro del Gran Área Metropolitana (lo cual no debería ser, de acuerdo a la Ley Constitutiva del AyA), capacidad hídrica e hidráulica insuficiente, contaminación microbiológica y química, la operación empírica de los sistemas de desinfección existentes, entre otros. Esta situación conlleva a que estos entes operadores presenten los mayores índices de agua no potable en el país, en comparación con los demás entes operadores mencionados anteriormente, que alcanzan porcentajes de potabilidad hasta del 100%.

Brindar una pronta solución a estas situaciones es verdaderamente apremiante para la sostenibilidad de los acueductos y la potabilidad del agua se ve directamente afectada por las mismas. Debido a las condiciones empíricas mencionadas anteriormente en que se encuentran los sistemas, en ocasiones no se aplica la desinfección del todo o se aplica con una dosificación incorrecta, lo que tiene consecuencias para la salud humana, al existir el riesgo de la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua si la desinfección es deficiente y la afectación a la salud por la exposición crónica a subproductos de la desinfección, en el caso cuando la dosificación es excesiva. (Barrientos *et. al.* 2005)

Cabe destacar que el abastecimiento de agua apta para el consumo humano es un tema de interés nacional por la significancia que tiene para la salud pública, por lo que el Ministerio de Salud es un actor social importante en este ámbito y se ve comprometido legalmente debido a lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, publicado en La Gaceta en el año 2005; que es responsabilidad de este Ministerio brindar recomendaciones técnicas desde el punto de vista sanitario, para responder a necesidades de diseño, construcción y mantenimiento de los acueductos.

La importancia de este trabajo recae en el hecho de que un 24,3% de la población del país es abastecida por ASADAS, por lo cual es necesario que el servicio brindado sea en cantidad y calidad, lo que conlleva a asegurar el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. Asimismo, la resolución RRG-9289 del 27 de noviembre del 2008 de la ARESEP indica que el AyA debe buscar la normalización y estandarización de las condiciones de calidad de la prestación del servicio y de los puntos solicitados por la ARESEP, actualmente faltan cuatro por concluir para el primer semestre del 2016: calidad del agua, presiones mínimas de servicio, medición y proyectos de cuenca. Es importante destacar que el responsable ante la ARESEP es el AyA, por lo que su acción debe concentrarse más allá de la formación, capacitación y rectoría, se debe asegurar que todos los servicios delegados adquieran el compromiso de la mejora continua.

Por otro lado, la región Pacífico Central cuenta con aproximadamente el 25% del total de ASADAS en el país y la situación de las mismas está comprometida por su alta vulnerabilidad, debido a que la vida útil de la mayoría de los acueductos de esta zona del país ya han cumplido con su vida útil o están cercanos a hacerlo, por lo que es necesaria la aplicación de acciones que garanticen su alcance y mantenimiento de su sostenibilidad. (Ruiz 2009)

Problema de la investigación

El principal aspecto que dificulta el accionar del AyA como ente rector es el hecho que las siete Oficinas Regionales de Acueductos Comunes no cuentan con la capacidad necesaria para cumplir con el control que deben ejercer, establecido en el Reglamento de ASADAS ya que realizan visitas esporádicas originadas por denuncias. Además, no se cumple a cabalidad con la revisión de presupuestos, no se asiste a las asambleas de rendición de cuentas, se desconoce la producción de las fuentes de abastecimiento y su volumen de consumo, así como el mantenimiento preventivo y correctivo de los acueductos bajo su jurisdicción. (CGR 2013)

Aunado a esto, a pesar de la existencia del Instrumento de Caracterización de ASADAS” como parte del “Modelo de Atención Integral de Prestadores de Servicio Delegado”, concebido para determinar en cuáles ámbitos de la administración y operación de los sistemas se encuentran más débiles, este ha sido aplicado únicamente en el 10% de las ASADAS del país.

Por otro lado, con respecto a la operación de los acueductos, la resolución RRG-9289 del 27 de noviembre del 2008 de la ARESEP indica que el AyA debe buscar la normalización y estandarización de las condiciones de calidad de la prestación del servicio y de los puntos solicitados por la ARESEP, actualmente faltan cuatro por concluir, cuyo cumplimiento está pensado para el primer semestre del 2016: calidad del agua, presiones mínimas de servicio, medición y proyectos de cuenca.

Un aspecto que tiene un papel muy importante en la capacidad hidráulica lo constituye el mantenimiento preventivo, cuyo control por parte del AyA no está regulado en el Reglamento de ASADAS y cuya relevancia es restada del panorama general. En los casos analizados por la Contraloría General de la República, este mantenimiento se entiende únicamente como la limpieza de los tanques, omitiendo el funcionamiento general del sistema, la limpieza de las captaciones y las tuberías y en el caso donde se deban efectuar reparaciones, solo se efectúan a aquellas tuberías que están expuestas o de manera rústica o empírica.

Debido a las condiciones descritas con anterioridad, resulta necesaria la toma de acciones concretas y específicas, de manera que los esfuerzos realizados no sean dispersos y puedan contribuir a la gestión del AyA como ente rector, por lo que se plantea la siguiente pregunta como problema y objetivos para la presente investigación:

¿De qué manera se puede fortalecer la gestión de 10 ASADAS de la región Pacífico Central del país, para subsanar la falta de apoyo técnico de entes como el AyA y el Ministerio de Salud, con respecto al escaso conocimiento existente relacionado con la operación de sistemas de desinfección?

Objetivos

Objetivo general

- Proponer una herramienta para la mejora de la gestión físico-sanitaria de 10 ASADAS de la región Pacífico Central, tomando en cuenta el concepto de Tecnologías Limpias, para subsanar el trabajo empírico que se ha mantenido desde la creación de las mismas.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico en el que se determine la situación actual de la gestión físico-sanitaria de las ASADAS seleccionadas.
- Determinar los puntos críticos durante la desinfección, de manera que se establezcan los riesgos a los que está expuesto cada sistema, en este aspecto de la operación.
- Identificar las Tecnologías Limpias que mejor se adapten a la gestión físico-sanitaria de los acueductos objeto de estudio, tomando en cuenta su infraestructura y mantenimiento.
- Elaborar una herramienta que permita garantizar la mejora en la calidad de la gestión físico-sanitaria de los acueductos, que contribuya con la sostenibilidad del abastecimiento de agua de las poblaciones abastecidas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Marco Teórico

Dentro del marco de investigación de este proyecto resulta necesario considerar varios aspectos para su mejor comprensión, entre los que se pueden destacar: el contexto bajo el cual se desarrollará la investigación y los antecedentes que justifican la existencia de esta propuesta, así como las bases teóricas que la sustentan. Además, se describirá la pertinencia de considerar programas o proyectos ya existentes que contribuyan al desarrollo adecuado de esta investigación junto con la posibilidad de incorporar innovaciones tecnológicas disponibles en el país.

Contexto y Antecedentes

La figura de la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Comunes nació en la década de los 70 y fue creciendo a lo largo de los años hasta que fue institucionalizada en la década de los 90, con su respectivo reglamento y personería jurídica, bajo la tutela del AyA. Actualmente existen 761 acueductos, de los cuales 709, es decir, el 93%, están siendo administrados y operados por ASADAS, por lo que se puede destacar que la mayor parte de la población del país es abastecida por estos entes operadores. (Ministerio de Salud *et. al.* 2004; ICAA 2010; Programa Estado de la Nación 2013)

La Subgerencia de Gestión de Sistemas Delegados del AyA es la encargada de la fiscalización de estos entes, sin embargo, la problemática de este sector se mantuvo casi inalterable a lo largo del tiempo. Por este motivo, según la memoria 2006 – 2010 del ICAA (2010) se dio un relanzamiento del Programa de Fortalecimiento de Acueductos Rurales, con el objetivo de obtener la sostenibilidad de los mismos y las ASADAS operaran bajo un enfoque empresarial, dándosele prioridad a comunidades indígenas, comunidades sin acueducto y comunidades con un acueducto cuya vida útil ha finalizado, así como aquellos acueductos que no cuentan con desinfección.

En este Programa se adoptaron distintas estrategias como la adaptación de un esquema de PYMES para facilitar el financiamiento mediante planes de inversión (incluyéndose otras fuentes de financiamiento como FODESAF, KfW, la Agencia de Cooperación Española, el BID, entre otros), la actualización de la tarifa hídrica en el sector rural, aumentándose en un 40,7%, se desarrolló un Convenio de Cooperación con el INA,

al crearse la carrera “Gestión Integral de los Acueductos Rurales”, impartida por este Instituto, con el objetivo de mejorar la capacitación de los administradores y fontaneros. Aunado a esto, se han puesto a la disposición de las ASADAS unos módulos de capacitación publicados en el 2008, los cuales tocan distintas temáticas como el desempeño administrativo, técnico y operativo y se han realizado video-conferencias a través de la UNED. Además, se han concluido distintos programas, como el de atención a comunidades indígenas, beneficiando a poblaciones de Alto de Chirripó y Ujarrás y el de desinfección, en donde se realizó la adquisición de sistemas de cloración. (ICAA 2009; ICAA 2010)

Aunado a lo anteriormente descrito, el AyA en coordinación con el MINAET ha logrado un avance del 85% en el Inventario Nacional de Fuentes, por lo que se cuentan registradas 2 212 fuentes inscritas. Además, se cuenta con programas voluntarios como el Sello de Calidad Sanitaria y ha desarrollado estrategias para fortalecer las Uniones y Federaciones de ASADAS y se ha puesto en práctica en dos ASADAS el proyecto piloto de “Transparencia y Rendición de Cuentas de las Asociaciones de Administración de Acueductos Rurales”. (CGR 2013)

Asociada a la acción del AyA, es importante destacar que tanto el Ministerio de Salud como la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos han realizado acciones en este campo debido a la injerencia que tienen en el mismo. Por lo cual el Ministerio ha creado el Programa de Vigilancia Sanitaria, que evalúa a los entes quienes brindan el servicio desde el punto de vista operativo, mediante la valoración de las condiciones de infraestructura del acueducto, lo que determina su riesgo sanitario. Por otro lado, la ARESEP también realiza evaluaciones periódicas, por lo que estos entes reunieron esfuerzos y en el 2014 cuentan con un formulario unificado para la evaluación de las ASADAS, con el propósito de mejorar la coordinación entre estos entes.

Bases teóricas

Para lograr una mayor comprensión del presente proyecto de investigación resulta necesario inicialmente presentar la definición de una Asociación Administrativa de Acueductos y Alcantarillados Comunales, de ahora en adelante referida como **ASADA**, la cual tomando en cuenta las definiciones establecidas en el Reglamento que las rige (2005) y en el documento de CEDARENA denominado “Transparencia y rendición de cuentas en las ASADAS: Manual para las Asociaciones Administradoras de Sistemas de

Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) de Costa Rica” (2013), se pueden establecer los siguientes puntos:

- Las ASADAS son grupos de vecinos organizados que realizan labores de interés público, constituidos e inscritos como asociaciones (regidas bajo la Ley de Asociaciones No. 218, su reglamento y reformas), lo que implica que se deba conformar la Asamblea, la Junta Directiva y la Fiscalía. Su principal objetivo es la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los acueductos de sus comunidades en el abastecimiento de agua para consumo humano, en aquellos sitios fuera del Gran Área Metropolitana que no pueden ser cubiertos por el servicio brindado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y las municipalidades.
- Para poder brindar este servicio, resulta necesaria la firma del denominado Convenio de Delegación, en el que, como su nombre lo indica, el AyA delega la prestación del servicio a otro ente ajeno a la institución, sin dejar de ser ente rector en la materia. Además, es un título habilitante bajo el cual las ASADAS se convierten en custodios y administradores de fondos públicos.
- El AyA constituye el mediador directo entre las ASADAS y distintas instituciones estatales. Sin embargo, estas han de cumplir distintos aspectos, como el cobro de la tarifa fijada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), poseer la asignación de aprovechamiento del recurso hídrico otorgada por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), contar con el Programa para la Calidad del Agua Potable, con el fin de garantizar la vigilancia que debe realizarse de manera constante, según lo establecido por el Ministerio de Salud, entre otros.

Algunos conceptos importantes de aclarar a partir de este momento se hallan aquellos relacionados con la administración y operación de un sistema. Estos son tomados del Reglamento de ASADAS (2005), el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (2005), así como de otras fuentes bibliográficas:

Un **acueducto** es un *“sistema formado por obras accesorias, tuberías o conductos de caracteres diferentes, cuyo objeto es captar, tratar y distribuir agua potable, aprovechando*

la gravedad, o bien, la utilización de energía para su correspondiente bombeo, con la finalidad de proporcionar agua a un núcleo de población determinado. Comprende también los factores involucrados en la conservación y aprovechamiento del recurso natural y las obras de infraestructura, su construcción, mantenimiento, reposición y sostenimiento”.

El **agua para consumo humano** es la que *“cumple con las disposiciones de valores recomendados o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable y que al ser consumida, no causa daños en la salud”*. La diferencia de la misma con el concepto de **agua potable**, es que esta no se limita a ser utilizada únicamente para el consumo, sino que se emplea en otras actividades como el riego o la recreación.

El **valor máximo admisible** *“corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias a partir de la cual existe un rechazo por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud”*. Por un lado, el **valor recomendado** es *“aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias que implica un riesgo mínimo o aceptable para la salud”*. Por otra parte, es importante destacar que toda aquella agua que sobrepase el valor máximo admisible no es apta para el consumo humano.

Una **asignación** es un permiso otorgado por el MINAET para la explotación de un caudal registrado en el Departamento de Aguas de esta institución, de una determinada fuente de abastecimiento, ya sea agua superficial, pozo o naciente.

La **desinfección** *“corresponde a un proceso físico-químico unitario cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano”*. La más utilizada en el país resulta ser la cloración y es importante efectuarla mediante la dosificación correcta, con el fin de garantizar esta destrucción y evitar la formación de subproductos de la misma, que serán mencionados en breve.

Para contar con la certeza de que la dosificación es correcta, resulta necesario efectuar en un laboratorio una **curva de demanda de cloro**, la cual constituye una representación gráfica de las interacciones del cloro con otras especies presentes en el agua (figura 1).

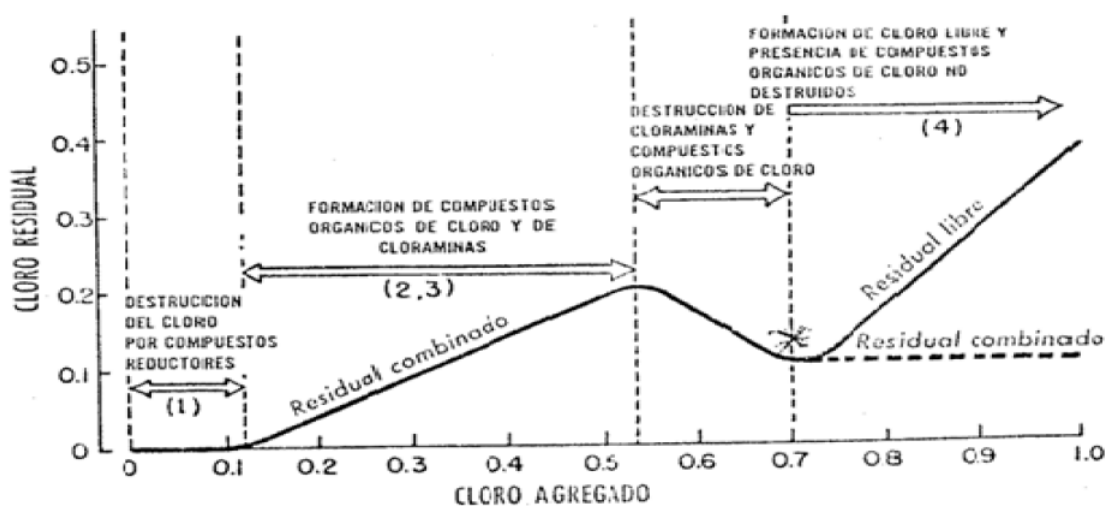


Figura 1. Curva de demanda de cloro típica

Detallando más este proceso, cabe aclarar que el cloro es un elemento muy reactivo y cuando se agrega en el agua, va a reaccionar con las sustancias disueltas o suspendidas en la misma, cuya concentración variará dependiendo de la fuente de abastecimiento (nacimiento, pozos o aguas superficiales). En una primera etapa, reaccionará con compuestos reductores, como el manganoso, el hierro, los nitritos y el ácido sulfhídrico, posteriormente reaccionará con sustancias orgánicas y amoníaco; formándose compuestos orgánicos clorados y cloraminas, que tienen poco efecto desinfectante en comparación con el cloro residual libre. El cloro residual formado hasta el momento va a reaccionar con los compuestos clorados y las cloraminas, por lo que disminuyen y una vez que estos compuestos son oxidados, se alcanza el denominado punto de quiebre, en donde la mayor parte del cloro agregado ya habrá reaccionado y queda un exceso, disponible para eliminar microorganismos patógenos y otras impurezas presentes en el agua, garantizando que la misma sea segura desde el momento de la cloración hasta que sea consumida. (Ocasio; López s.f.; USON 2013)

Lo anteriormente descrito puede ser sintetizado en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Reacciones del cloro en el agua

Reacción	Hidrólisis	Oxidación-Reducción	
Reacciona con:	H ₂ O	N amoniacal	Materia orgánica: Fe, Mn, SO ₄ ⁻ , H ₂ S, etc
Produce:	HOCl, OCl ⁻	NH ₂ Cl, NHCl ₂ , NCl ₃	Cloruros, HCl, NO ₂
Se denomina:	Cloro libre	Cloro combinado	Demanda

Fuente: Arboleda (2000)

Cuantitativamente, la demanda de cloro se define como la cantidad que se agrega, menos la cantidad que queda después de un determinado período de contacto, generalmente de 10 minutos. Por lo que, en la práctica, se debe agregar la cantidad de cloro suficiente al sistema con el fin de garantizar la formación de cloro residual libre y que no se formen subproductos por la adición de cloro en exceso como trihalometanos, ácidos acéticos halogenados, acetonitrilos halogenados, tricloroacetaldehído y clorofenoles, que son perjudiciales para la salud. (Díaz 2003; USON 2013)

Un aspecto muy importante que debe ser tomado en cuenta para la obtención de la curva de demanda de cloro es la **toma de las muestras de agua**, la cual se basa en el procedimiento establecido en el libro Métodos Normalizados para Aguas y Aguas Residuales, (2012) de APHA, AWWA y WEF. Las consideraciones a seguir son los siguientes:

1. El envase debe ser lavado dos o tres veces con el agua que será recolectada. Se numerará y registrará cada muestra para su posterior identificación. El registro debe contener el nombre del muestreador, la hora en que la misma fue tomada, su temperatura, contenido de cloro residual en caso necesario y localización exacta.
2. Se debe tener cuidado especial en el caso de la recolección de las muestras en sistemas de distribución y pozos pues resulta preciso dejar correr el agua durante unos minutos para asegurar que la muestra es representativa. Una vez se ha realizado esto, se procede conforme el punto 1. En el caso de las muestras tomadas en captaciones de agua superficial, nacientes o tanques, no se hace necesario efectuar lo antes descrito y solamente se realiza lo indicado en el punto 1.
3. Las muestras se deben mantener a 4°C en el campo, mediante una hielera.

Según la OPS (2007), la curva de demanda de cloro es un insumo que debe ser considerado para elegir un **sistema de desinfección** adecuado, en donde se deben considerar los siguientes aspectos, además de la dosificación del producto:

- El producto utilizado para la desinfección, el cual puede ser cloro gaseoso (aunque no es recomendable aplicarlo en el ámbito rural, debido a que usualmente se emplea para poblaciones superiores a los 5 000 habitantes), cal clorada, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio.
- La posibilidad de obtener fácilmente el producto en zonas rurales.
- La capacidad económica para asumir los costos de inversión, operación y mantenimiento y con el fin de evitar los riesgos asociados a la salud por la manipulación del cloro.
- La capacidad técnica para el uso, operación y mantenimiento de los equipos.
- Disponibilidad de repuestos.
- Aseguramiento de la calidad del agua distribuida, para no afectar la salud de la población abastecida.

Con respecto a los productos utilizados, según la OPS (2007), existen distintas variedades comerciales, cuyas propiedades varían, teniendo en cuenta el porcentaje de cloro activo, la estabilidad en el tiempo y la seguridad (cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades de las variedades comerciales de cloro

Nombre y fórmula	Nombre comercial	Aspecto	Porcentaje de cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad
Cal clorada. CaO	Polvo blanqueador, cloruro de cal	Polvo blanco y seco	15 a 35%	Media. Puede deteriorarse por la exposición a altas temperaturas, humedad o luz solar. Se pierde un 1% al mes, aproximadamente.	Corrosivo
Hipoclorito de sodio. NaClO	Blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria.	Disolución amarillenta	1 a 15%, en donde las concentraciones superiores al 10% son muy inestables.	Baja. Existe una pérdida del 2 al 4% por mes y es mayor si se almacena a una temperatura superior a los 30°C.	
	Hipoclorito		0,1 a 0,6%	Baja	Oxidante

	de sodio por electrólisis in situ				
Hipoclorito de calcio. $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	HTH, perclorón	Polvo, gránulos o tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 a 35% Granulado: 65 a 70% Tabletas: 65 a 70%	Buena. Pérdida del 2 al 2,5% por año	Corrosivo e inflamable en contacto con cierto ácidos

Un aspecto muy importante, dentro del cual está incluida la desinfección y la presencia de cloro residual libre es el **control de calidad del agua potable**. Este se define como la *“evaluación continua y sistemática de la calidad del agua desde la fuente, planta de tratamiento, sistemas de almacenamiento y distribución, según programas específicos que deben ejecutar los organismos operadores a fin de cumplir las normas de calidad”*. El programa establecido dentro del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y que debe ser cumplido por todas las ASADAS del país es el **Programa de Control de Calidad del Agua**, el cual establece cuatro niveles de calidad (cuadro 3).

Cuadro 3. Niveles de control de la calidad del agua potable y descripción de los parámetros analizados para cada uno

Nivel para el control de la calidad del agua potable	Descripción y parámetros analizados
N ₁	Programa de control básico, que junto a la inspección sanitaria, evalúa la operación y el mantenimiento del acueducto. Los parámetros son: • Coliformes fecales • E. coli • Color aparente • Turbiedad • Olor • Sabor • Temperatura • pH • Conductividad • Cloro residual libre • Cloro residual combinado

N ₂	Programa de control básico (N₁) ampliado con los siguientes parámetros: • Dureza total • Cloruro • Fluoruro • Nitrato • Sulfato • Calcio • Aluminio • Magnesio • Sodio • Potasio • Hierro • Manganeseo • Zinc • Cobre • Plomo
N ₃	Programa de control avanzado del agua potable. El N₂ se amplía con los siguientes parámetros: • Nitrito • Amonio • Arsénico • Cadmio • Cromo • Mercurio • Níquel • Antimonio • Selenio
N ₄	Programa ocasional aplicado en casos de riesgo inminente de contaminación. Los parámetros analizados pueden ser: • Sólidos totales disueltos. • Sulfuro de hidrógeno. • Cianuro. • Sustancias orgánicas de significado para la salud. • Subproductos de la desinfección. • Presencia de bacterias como Shiguella,

	Salmonella, entre otras.
--	--------------------------

Una metodología que resulta adecuada para garantizar el mantenimiento de la calidad del agua es la establecida por la Organización Mundial de la Salud para el desarrollo de **planes de seguridad del agua (PSA)**. En estos se aplica una evaluación integral de los riesgos, tomándose en cuenta a la vez su gestión, del sistema de abastecimiento, desde la cuenca hidrográfica en donde se encuentre la fuente, hasta la distribución al consumidor. Este se basa en principios y conceptos utilizados en otros sistemas de gestión de riesgos, como por ejemplo, la metodología **APPCC**, es decir, el análisis de peligros y puntos críticos de control, utilizado también en la industria alimentaria. (OMS 2008)

Esta metodología fue adaptada por Deere *et. al.* (2001) para su aplicación en la evaluación de los riesgos que se pueden presentar en un acueducto. Se desarrolló un método semicuantitativo basado en una matriz de riesgo, donde este se puede calificar desde bajo a muy alto (cuadro 4).

Cuadro 4. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos

Probabilidad de ocurrencia	Gravedad de la consecuencia				
	Efecto nulo o insignificante. Cal: 1	Efecto reglamentario leve. Cal: 2	Efecto organoléptico moderado. Cal: 3	Efecto reglamentario grave. Cal: 4	Efecto catastrófico en la salud pública. Cal: 5
Casi siempre/Una vez al día. Cal: 5	5	10	15	20	25
Probable/Una vez a la semana. Cal: 4	4	8	12	16	20
Moderada/Una vez al mes. Cal: 3	3	6	9	12	15
Improbable/Una vez al año. Cal: 2	2	4	6	8	10
Excepcional/Una vez cada 5 años. Cal: 1	1	2	3	4	5
Puntuación del riesgo	Menor a 6	6 a 9	10 a 15		Mayor a 15
Clasificación del riesgo	Bajo	Medio	Alto		Muy alto

Según la OMS (2008), un PSA posee tres componentes fundamentales como mínimo, para garantizar la protección a la salud mediante la vigilancia del sistema, los cuales son los siguientes:

- La **evaluación del sistema**, que determina si el acueducto en su conjunto, desde la fuente de abastecimiento hasta el sistema de distribución, tiene la capacidad de abastecer agua de calidad a la población y que cumpla con la legislación establecida en cada país.
- La **determinación de las medidas de control**, para disminuir los riesgos encontrados en la evaluación. Para cada una es necesario definir medidas de **monitoreo operativo**, que garantice la detección rápida de anomalías en el funcionamiento.
- La formulación de **planes de gestión** que deben ser aplicados durante el funcionamiento normal del sistema y cuando se produzca una anomalía, documentándose todo el proceso.

En conjunto con lo establecido anteriormente, se aplicará el concepto de **tecnologías limpias** para el desarrollo de las propuestas. Estas se hallan orientadas a la reducción de los impactos ambientales negativos que tienen las actividades antropogénicas. Una tecnología limpia permite la reducción de emisiones o descargas de un contaminante, la reducción en el consumo de energía, entre otros, de manera que se logre un balance medioambiental más limpio, mediante la restauración del balance en el desarrollo social, el crecimiento económico y el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. Cabe destacar que las tecnologías limpias corresponden tanto a la instalación de dispositivos que reduzcan el impacto antropogénico, como a la aplicación de buenas prácticas ambientales. (Arroyave; Garcés 2007)

Uso de innovaciones tecnológicas

Los cambios tecnológicos son usualmente promovidos por exigencias en el mercado, y son utilizados para adquirir ventaja competitiva. A lo largo de los años, producto de estas dos características es que ha surgido el concepto de tecnologías limpias, para mejorar la eficiencia de cualquier proceso, de manera que el impacto ambiental de

cualquier actividad antropogénica se vea disminuido al máximo. (Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico 2011)

En el caso de la gestión integral del recurso, se tienen distintos mecanismos e instrumentos, los cuales pueden categorizarse en tres ramas diferentes: prevención, minimización y tratamiento. En el caso de la gestión de las ASADAS, algunos ejemplos para cada categoría son las campañas educativas, el control del consumo, mejoras en la producción (en términos de cantidad y calidad, dándose de manera eficiente); en el caso de la prevención, para la minimización se encuentra la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías destinadas a la automatización y monitoreo efectuado en la operación del acueducto y minimización de las cargas contaminantes y control de vertidos en el caso del tratamiento (Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico 2011).

La presente investigación pretende enfocarse en tecnologías limpias en la categoría de la prevención, utilizando también el aspecto de la investigación y desarrollo de la minimización, en donde se pretende mejorar la gestión de los acueductos de las ASADAS del país mediante técnicas que permitan la mejora de la producción del agua para consumo humano.

Programas o proyectos

Un proyecto que cuenta con el apoyo es el denominado UNA Gota de Agua (que nació en octubre del 2012), en el que está involucrada la participación de la Universidad Nacional, Coca Cola FEMSA como parte de su Responsabilidad Social Empresarial y la Fundación CRUSA. Este tiene como objetivo la mejora de las capacidades técnicas y operativas con el fin de garantizar el acceso al agua para consumo humano en poblaciones rurales del país.

Para el proyecto se van a seleccionar aquellas ASADAS con menor desarrollo organizativo y se pretende brindarles capacitaciones en la gestión administrativa, financiera y sanitaria de manera que puedan ser autosuficientes, de forma que se logre la sensibilización de los actores involucrados en este proceso.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Metodología

Enfoque de la investigación y tipo de estudio

La presente investigación fue descriptiva o diagnóstica, ya que caracterizó una situación concreta y sus rasgos más relevantes, además contempló aspectos cualitativos y hallazgos holísticos, puesto que se realizó una revisión bibliográfica detallada con el fin de plasmar todas las observaciones posibles.

Esta investigación contempló en gran medida, como fuente secundaria, los resultados obtenidos por el proyecto UNA Gota de Agua, del Laboratorio de Análisis de Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Aunado a esto se realizaron encuestas, observaciones y mediciones, como parte de las fuentes primarias, para conocer la situación actual de las ASADAS objeto de estudio. Lo anterior fue enfocado desde el punto de vista operativo y administrativo, considerando tanto el proceso de desinfección como los costos de operación y mantenimiento del mismo.

Criterios de selección del objeto y sitio de estudio

Las ASADAS seleccionadas fueron las participantes del proyecto de investigación de la Universidad Nacional UNA Gota de Agua para el año 2013, el cual seleccionó 20 ASADAS de las regiones Pacífico Central y Chorotega, tomando en cuenta sus condiciones administrativas y operativas, ya sea que su situación fuera buena o no, de manera que se tuviera variedad en la selección. Cabe destacar que se contó con el apoyo de la Sede Regional del Pacífico Central del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Sin embargo, en la presente investigación se tomaron en cuenta las 10 ASADAS del Pacífico Central, por lo establecido en la justificación, además del hecho de ser el primer insumo para contribuir con la estandarización de la desinfección en las ASADAS del país.

Metodología general

La metodología que se utilizó es la establecida por la Organización Mundial de la Salud (2009), denominada “Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de

consumo”, con modificaciones con el fin de adaptarla a los objetivos de la investigación. Además, se utilizó la metodología propuesta en los Métodos Normalizados para Aguas y Aguas Residuales (2012) de APHA, AWWA y WEF en la toma de muestras de agua potable.

Procedimiento metodológico

I Fase: Diagnóstico de la condición actual de los sistemas de desinfección de 10 ASADAS de la Región Pacífico Central

Esta fase se dividió en dos partes:

a) Diagnóstico de la situación actual de los acueductos

Como parte del proyecto de investigación UNA Gota de Agua se obtuvieron insumos acerca de la situación actual de las ASADAS seleccionadas, a través de información obtenida por medio de encuestas y análisis físico-químicos. Se les prestó especial atención a aquellas características propias de la operación del sistema como la fuente de abastecimiento, el producto utilizado para la desinfección, la dosis añadida al acueducto y la existencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo, mapas de los acueductos, evaluación del riesgo sanitario, entre otros, los cuales deben ser tomadas en cuenta para la operación sostenible de un sistema de desinfección.

Además, se incluyeron aspectos como los siguientes:

➤ Caracterización del funcionamiento de los acueductos

Se efectuó mediante la elaboración y aplicación de un instrumento para caracterizar la operación actual de los acueductos, en donde se consideraron aspectos como los siguientes:

- **Presupuesto utilizado para el mantenimiento del acueducto:** Se determinó la capacidad de inversión con la que cuentan las ASADAS, de manera que se partió del dinero disponible cuando se formularon las propuestas.
- **Gastos de operación del sistema:** Se establecieron cuáles fueron los gastos y si estos pudieron ser optimizados.

- **Procedimiento para el control de la operación del acueducto:** Descripción del proceso que siguen los encargados del funcionamiento del sistema, para determinar posibles inconsistencias.
- **Sistema de desinfección:** Tipo de desinfección utilizada en el sistema, dosis añadida y de qué manera es adicionada, en qué sitios del acueducto se efectúa la dosificación, mantenimiento de control de cloro residual, entre otros.
- **Resultados de cloro residual de análisis efectuados para el Programa para la Calidad del Agua Potable:** Se pudo observar el comportamiento del cloro residual en el sistema a lo largo de un período de tiempo; por el último año o dos años, dependiendo de los registros que fueron facilitados por las ASADAS.

Los sistemas de abastecimiento fueron representados mediante esquemas con descripciones de las fuentes de abastecimiento, la desinfección utilizada, tanques de almacenamiento y redes de conducción y distribución. Se utilizó una nomenclatura propia para que estos fueran más fáciles de interpretar y de utilizar en la toma de decisiones.

b) Recolección de muestras en los acueductos para la determinación de las curvas de demanda de cloro

La metodología que fue utilizada para la recolección de muestras de agua potable de los acueductos de las ASADAS está establecida en los Métodos Normalizados para Aguas y Aguas Residuales (2012) de APHA, AWWA y WEF. Fue determinada una curva de demanda promedio para cada acueducto, con las muestras en las fuentes de abastecimiento, o en el caso que alguna fuente fuera de difícil acceso, se tomó en algún punto del sistema, antes de ser efectuada la desinfección.

Los componentes de los que se tomaron muestras en cada ASADA fueron los siguientes:

- San Juan Grande de Esparza. (5 pozos y 2 tanques)
- Vivero de Orotina (3 pozos y 2 tanques).
- Santa Rita de Orotina (4 pozos y 2 tanques).
- Orocú de Chomes (1 pozo y 1 tanque).
- Playa Azul (1 pozo y 1 tanque).

- Guadalupe de Esparza (2 nacientes y 1 tanque).
- Coyolar de Puntarenas (2 nacientes y 1 tanque).
- Macacona de Esparza (3 nacientes y 1 tanque).
- Pital-Centeno (1 naciente, 1 toma superficial y 2 tanques).
- Labrador (7 pozos y 4 tanques).

c) Capacitación en la técnica empleada para la determinación de las curvas de demanda de cloro

Una curva de demanda de cloro es una representación gráfica de las reacciones del cloro en el agua, necesaria para determinar la dosis de cloro requerida para la permanencia de cloro residual en el agua. La muestra que se utilizó para la capacitación provino de una naciente en condiciones naturales. El objetivo de la misma fue la familiarización con el procedimiento analítico empleado en la determinación de la curva de demanda de cloro y el desarrollo de las habilidades necesarias para la aplicación de la técnica.

Para efectuar esta determinación, fue necesario llevar a cabo una valoración, para la cual se necesitaron los siguientes materiales:

- Bureta de 10 mL.
- Cinco frascos yodimétricos de 250 mL.
- Tres pipetas de 10 mL.
- Una pipeta de 100 mL.
- Beakers.
- Disoluciones de tiosulfato de sodio, ácido acético y cloro comercial.
- Yoduro de potasio.
- Almidón como indicador.

El sistema puede ser observado en la **figura 2**.



Figura 2. Sistema volumétrico para efectuar una valoración

La muestra fue preparada de la siguiente manera:

- Se tomaron 100 mL de muestra y se agrega al frasco yodimétrico.
- Se agregó con la pipeta de 10 mL, una dosis determinada de la disolución de cloro. Para esta determinación se utilizaron alícuotas de 1, 2, 3, 4.5, 6 y 8 mL.
- Se adicionó 1 mL de ácido acético.
- Una punta de espátula de yoduro de potasio. La muestra obtuvo una coloración amarilla, cuyo tono será más intenso conforme más cloro se agregue. (figura 3.a.)
- Se dejó reposar en la oscuridad por cinco minutos.
- Posteriormente, se agregó 1 mL de almidón. La muestra cambió a un color azul oscuro, lista para ser valorada. (figura 3.b.)
- La bureta debió ser aforada con la disolución de tiosulfato de sodio, la cual debió ser agregada lentamente a la muestra, hasta que la coloración azul desaparezca. (figura 3.c.)

El proceso puede ser observado en la **figura 3**.

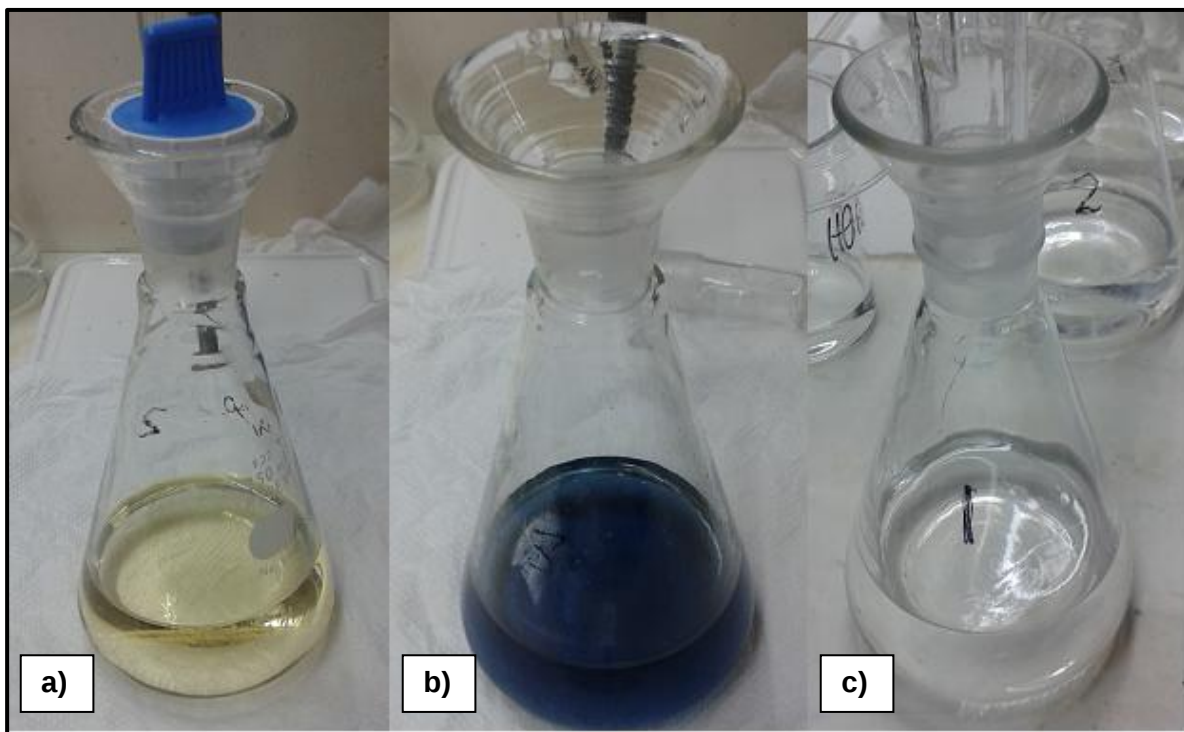


Figura 3. a) Muestra con las alícuotas de cloro, ácido acético y la punta de espátula de yoduro de potasio. b) Muestra después de agregar el almidón. c) Muestra después de la valoración.

En la **figura 4**, se detalla la curva de demanda de cloro obtenida como ejercicio de aplicación.

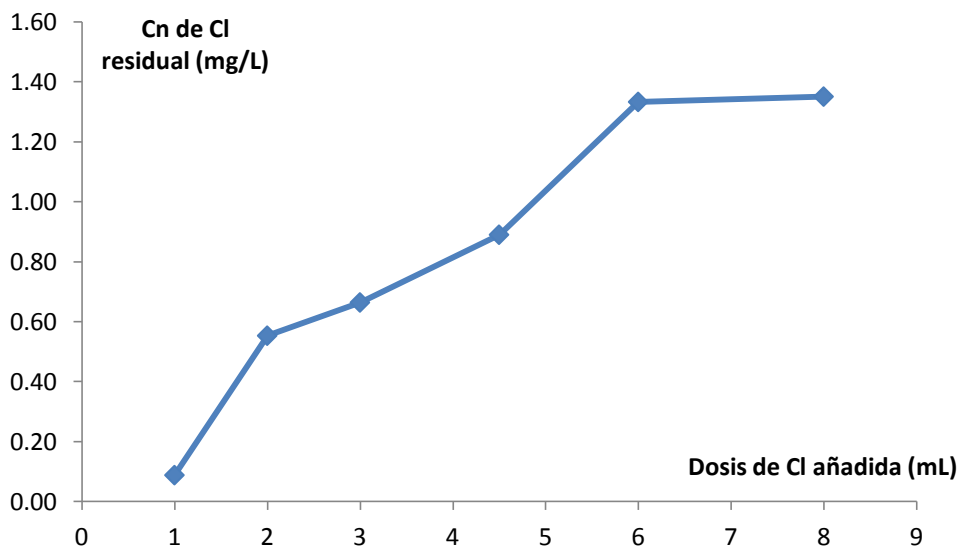


Figura 4. Curva de demanda de cloro práctica

En los ensayos de cloración como el estudiado, se adiciona cantidades conocidas crecientes de una disolución de cloro (de manera que se efectúe la mayor cantidad de dosificaciones posibles, para obtener una mejor visualización del punto de quiebre, en este caso, siendo necesario efectuar dosificaciones menores a 1 mL), a una muestra de agua de interés. La reacción más común que se da es por el amonio del agua, el cual va reaccionando con el cloro adicionado hasta la eliminación total del mismo; mediante la formación de monocloraminas (ClNH_2), estas pasan a dicloraminas (Cl_2NH) y luego a tricloruro de nitrógeno (Cl_3N) para detectar el cloro libre, en esta sección la curva de demanda de cloro debería tener un comportamiento no lineal. (Marín s.f.)

Según García (s.f.), la acción bactericida del cloro es importante, debido a que por su carácter oxidante inhibe el proceso enzimático de las bacterias, lo que resulta en su latencia o destrucción y esto depende de la concentración del cloro residual disponible, pH, temperatura y del tiempo de contacto.

Además, es necesario eliminar la turbiedad presente en la muestra, debido a que el cloro tiende a reaccionar con otros compuestos inorgánicos e impurezas orgánicas, afectando la demanda de cloro. Se recomienda medir el pH de la muestra antes de realizar el procedimiento ya que entre más alto el pH, la acción del ácido hipocloroso disminuirá considerablemente, debido a que no hay suficiente HClO con el cual pueda reaccionar. (Henry; Heinke 1999)

II Fase: Determinación los puntos críticos de la gestión operativa para la identificación de riesgos

Esta fase se dividió en dos partes:

a) Identificación y evaluación de los riesgos encontrados en los sistemas de abastecimiento

Se establecieron en los esquemas realizados en la fase anterior, todos los posibles peligros físicos, químicos y biológicos asociados a cada etapa que pudieron llegar a afectar la calidad del agua al provocar su contaminación o la interrupción del servicio. Los mismos fueron evaluados, mediante la determinación de la probabilidad de ocurrencia de cada uno, de manera que se pueda distinguir entre los riesgos significativos y los no significativos (fueron denominados significativos los riesgos clasificados como altos y muy altos). La evaluación de riesgos fue efectuada mediante el método semicuantitativo

basado en la matriz de riesgos propuesta por Deere *et. al.* (2001), en el que se registren todos los eventos peligrosos, con una estimación de la magnitud del riesgo. Este proceso se realizó de manera participativa con los colaboradores de las ASADAS que tengan conocimiento sobre el sistema, efectuándose una retroalimentación para que no quedaran riesgos sin evaluar.

Se constató si existían medidas de control para cada riesgo identificado, documentación acerca de la aplicación de las mismas, con el fin de recalcular el riesgo de todos los eventos peligrosos, en términos de probabilidad y gravedad, tomando en cuenta el instrumento 4.12 del Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua de la Organización Mundial de la Salud (2009).

b) Identificación y monitoreo de medidas de control para la disminución de los riesgos

Si en la etapa anterior se encontraran riesgos significativos y sus medidas de control son ineficaces o inexistentes, es necesario el diseño e implementación de un plan de mejora o modernización, a corto, mediano o largo plazo, de manera que no necesariamente esto signifique una inversión considerable. Se tomaron en cuenta aspectos como los siguientes:

- Mejora en los procedimientos operativos.
- Elaboración de protocolos para el control de incidentes.
- Atenuación de riesgos.
- Responsables de la aplicación de las medidas.
- Comunicación e informes a todas las partes interesadas.
- Entre otros.

Las medidas de control debieron ser registradas, en donde fueron definidos los intervalos de monitoreo (semanal, mensual, semestral, etc), el límite crítico, el responsable de la aplicación y la acción correctiva en caso necesario. Los parámetros tomados en cuenta pueden ser mensurables u observables. En el caso de las primeras, son parámetros como el cloro residual en la red de distribución, el pH, la turbiedad, el caudal, los Coliformes fecales, entre otros. Los observables están relacionados con el estado físico de las estructuras.

III Fase: Búsqueda de Tecnologías Limpias que mejor se adapten a la gestión físico-sanitaria de los acueductos objeto de estudio

Se procedió a determinar Tecnologías Limpias disponibles en el país, para adaptarlas a la desinfección de los acueductos, tomando en cuenta el análisis hecho en las etapas anteriores.

Con la información esté sintetizada, se efectuó un análisis de costo-beneficio, de manera que cada ASADA tuviera insumos suficientes con los cuales tomar una decisión para la mejora continua de su sistema de desinfección. Este fue presentado a manera de cuadro, en donde se estableció la mejor dosis, sistema y producto desde el punto de vista económico, con el fin de contribuir con una estandarización del proceso de desinfección.

Se efectuaron dos listas, en donde en una se establecieron todos los requerimientos para implementar el sistema y la segunda los beneficios, ya sean medibles económicamente o no, que conlleva su implementación. La primera lista incluyó aspectos como los siguientes:

- Costos de cada sistema de desinfección.
- Mantenimiento del sistema con la dosis especificada.
- Almacenamiento de los productos utilizados para la desinfección.
- Entre otros.

La lista de beneficios tomó en cuenta características como:

- Mejora en parámetros físico-químicos y microbiológicos.
- Reducción de costos en la operación del acueducto.
- Reducción de los riesgos identificados.
- Entre otros.

IV Fase: Construcción de la herramienta que mejore la gestión físico-sanitaria de las ASADAS objeto de la presente investigación

La herramienta es un insumo de fácil aplicación y comprensión, de manera que cada sistema de abastecimiento sea conocido por su operador y se mejore su gestión.

a) Definición del Protocolo de Cloración

Se definió tomando en cuenta las curvas de demanda de cloro determinadas en la I Fase, las cuales sirvieron de insumo para recomendar las dosis de cloro debidas para que el cloro residual se mantenga en el rango establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Este protocolo incluyó el procedimiento que debe seguirse para garantizar que la cloración se efectúe de manera correcta. Los aspectos a considerar fueron: frecuencia de desinfección, creación de registros en donde se establezca la hora y el lugar de dosificación, el encargado de llevarla a cabo y observaciones que se realicen durante el proceso, así como distintas operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de desinfección.

Para ello se desarrollaron programas de mantenimiento, tomándose en cuenta los riesgos establecidos en la fase II, con el fin de cerciorarse que la desinfección se va a mantener a lo largo del tiempo; que incluyan las actividades que deben realizarse cuando el sistema esté funcionando en condiciones normales y cuando se produzca algún incidente, para lo cual se evaluaron las posibles eventualidades. Fueron presentados a manera de cuadro, contemplando cada componente del acueducto, por lo cual lo que se tomó como insumo el Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de Sistemas de Abastecimiento, del AyA.

Además se utilizararon las siguientes fórmulas para el cálculo de la dosificación:

$$(1): g\ Cl_2 = x * caudal * \frac{604800\ s}{1000}$$

$$(2): Dosis\ preliminar = g\ Cl_2 / fracción\ porcentaje\ pureza$$

$$(3): Cálculo\ dosificación = \frac{Dosis\ preliminar}{masa\ pastilla}$$

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Presentación y discusión de resultados

I Fase: Análisis del contexto socioeconómico de la región Pacífico Central y el abastecimiento de agua para consumo humano por los acueductos comunales

Es conocido que en años recientes, algunos sectores de la costa Pacífica del país han experimentado un desarrollo económico relacionado con el turismo, siendo los cambios más evidentes en el Pacífico Norte y el Pacífico Central. Este desarrollo turístico está enfocado en las masas, dejando de lado el valor agregado de la riqueza natural de la zona que había tomado tanta importancia a principios de los años 90. Esto cambia con la apertura de los vuelos directos entre Estados Unidos y el Aeropuerto Internacional de Liberia, motor para el despegue del turismo de resorts y residencial, siendo los principales beneficiados los inversionistas privados en bienes raíces, los cuales construyeron complejos con restaurantes, spas, canchas de golf, entre otros. Aunado a esto, se ha dado el denominado “desarrollo hormiga”, el cual se caracteriza por la construcción desordenada de pequeños y medianos hoteles, casas de vacación, torres de apartamentos, condominios y comunidades de acceso restringido. Lo descrito anteriormente ha conllevado la aparición de consecuencias negativas para las comunidades rurales, tanto económicas, al aumentar la brecha de la pobreza, como ambientales, por la explotación de los recursos naturales por parte de este tipo de turismo (Honey; Vargas; Durham 2010).

Estos desarrollos rápidos y sin planificar provocan una repercusión negativa en la gestión del recurso hídrico, principalmente en las zonas donde se presenta escasez, deteriorando la calidad de vida de los residentes de las comunidades rurales, cuyo abastecimiento de agua depende de las ASADAS. Por otro lado, hay que tomar en consideración los efectos que el cambio climático tendría sobre las áreas costeras y tomando en cuenta dos escenarios; en uno donde se da un crecimiento rápido de la población y un desarrollo económico lento y en el otro, con bajo crecimiento poblacional y una tendencia más marcada a la sostenibilidad ambiental, se llega a la conclusión de que en ambos escenarios se tendrá estrés térmico y disminución en las precipitaciones, lo que significa todavía una mayor escasez en esas zonas vulnerables. Actualmente, se están observando cambios significativos, siendo el principal la disminución de la disponibilidad

del recurso hídrico durante la estación seca, tanto en las zonas costeras, como en las zonas altas y medias de las cuencas hidrográficas (Honey; Vargas; Durham 2010; Estado de la Nación 2014).

Por otro lado, a pesar de que en el país se cuenta con un nivel alto de acceso al agua de calidad potable (92,8%), esto no refleja la realidad en la que están inmersas las ASADAS ya que la gran mayoría (72,9%) abastece a sus poblaciones con agua captada de la fuente y distribuida directamente a la población sin un tratamiento previo, práctica que se observa mayoritariamente en el ámbito rural (Estado de la Nación 2014).

Además, cabe destacar que la mayoría de estos entes operadores son pequeños, únicamente el 4,7% de 1 495 ASADAS cuentan con más de 1 000 abonados, aspecto que limita la rentabilidad, es evidente que a menor cantidad de usuarios, se contará con una menor cantidad de recursos económicos para garantizar una correcta gestión del agua. (Estado de la Nación 2014)

Es conocido que las ASADAS del Pacífico Central presentan aspectos de vulnerabilidad relacionadas con el tiempo de construcción de los acueductos (la mayoría de más de 30 años, por lo que su vida útil ya fue superada), con la falta de procedimientos para la correcta desinfección y el crecimiento poblacional que se ha dado a lo largo de los últimos años, lo cual pone en riesgo a la población abastecida.

La Oficina Regional del AyA del Pacífico Central constituyó el principal aliado para obtener los contactos de las ASADAS de la zona, debido a que el mismo ha estado involucrado en las actividades realizadas por el proyecto UNA Gota de Agua. A partir del planteamiento de dicho proyecto, la Oficina Regional hizo la consulta de interés de participación, a partir de lo cual se definen las ASADAS participantes del presente proyecto. Según datos de esta entidad, un total de 30 ASADAS mostraron interés, de las cuales 10 han sido seleccionadas para formar parte de esta investigación y fueron propuestas por la Oficina Regional.

Diagnóstico general de las ASADAS participantes

El objetivo de este instrumento es recopilar la información de aspectos como la cantidad de abonados abastecidos, la situación de los terrenos en donde se asientan los acueductos, las capacitaciones recibidas, el ingreso mensual y los gastos para la operación y mantenimiento, así como la desinfección que efectúan en los acueductos.

Los resultados obtenidos serán mostrados a continuación:

Cuadro 5. Información general y aspectos administrativos de las ASADAS participantes

ASADA	Fecha de inicio de operación	Número de abonados	Administrador/ Junta Directiva	Plan de trabajo	Ingresos mensuales	Presupuesto operación
San Juan Grande	1999	480	Sí/Sí	Sí	¢2 millones	¢1 millón
Vivero	2001	500	Sí/Sí	No	¢4 millones	¢1 700 000
Santa Rita	1985	392	Sí/Sí	Sí	¢600 000	-
Macacona	2013	110	No/Sí	Sí	¢400 000	¢400 000
Orocú	2002	96	No/Sí	Sí	¢750 000	¢200 000
Playa Azul	2004	176	Sí/Sí	Sí	¢800 000	-
Guadalupe	2004	62	No/Sí	Sí	¢300 000	¢30 000
Coyolar	1994	50	No/Sí	No	¢240 000	-
Pital-Centeno	1990	1500	Sí/Sí	Sí	¢4 millones	-
Labrador	2005	526	Sí/Sí	Sí	¢26 millones	¢1 400 000

Es importante destacar la variabilidad con la que cuentan las ASADAS, tanto en la fecha de inicio de operación, como en la contratación de administrador y la organización de un plan anual de trabajo, el cual incluye aspectos como las actividades por realizar durante el año y el presupuesto destinado a las mismas, así como que estén organizadas mediante un cronograma. Esto determina aspectos de la estabilidad pues una ASADA que tiene una conformación reciente está sufriendo cambios propios de su situación, así como aquellas que no cuentan con administrador o plan de trabajo anual organizado pueden presentar una mayor dificultad para llevar a cabo una gestión adecuada. Por otro lado, cabe destacar la inestabilidad de los ingresos mensuales con los que cuentan las ASADAS, lo que puede indicar que no se estén cobrando la tarifa hídrica aprobada por la ARESEP, lo que repercute en la economía de ellas. Además, en el presupuesto de operación solo se mencionaron los gastos destinados al consumo eléctrico de aquellas ASADAS que cuentan con pozos y a las reparaciones efectuadas en los acueductos; no existe una cultura de prevención en los mismos y únicamente se destina presupuesto para estos conceptos, así como para el pago de salarios. Es importante mencionar que el ingreso por concepto de tarifas constituye el único insumo económico con el que cuentan las ASADAS para su funcionamiento, por lo que la mayoría de las veces resulta insuficiente para satisfacer a cabalidad todas las necesidades.

Además, se destacan los siguientes aspectos:

- **Ubicación del acueducto en terrenos propios o privados**

La pertenencia de los terrenos donde se encuentran las fuentes de abastecimiento a las ASADAS está íntimamente relacionada con la formulación de proyectos de protección del recurso hídrico y con la continuidad del mantenimiento de las estructuras del acueducto, aspectos que deben ser consultados de antemano con el dueño de la propiedad si es necesario efectuar algún tipo de cambio en estas, lo que en ocasiones dificulta, por ejemplo, el mantenimiento de las mallas de protección que deben rodear las fuentes de abastecimiento y los tanques de almacenamiento, aspecto que forma parte de la buena gestión sanitaria según la Metodología SERSA, del Ministerio de Salud (2013). Un 20% de las ASADAS tienen todos los componentes de sus acueductos en terrenos privados, un 50% corresponde a ASADAS que tienen tanto terrenos propios como privados. El 30% restante son aquellos acueductos que están asentados en terrenos propios de los entes.

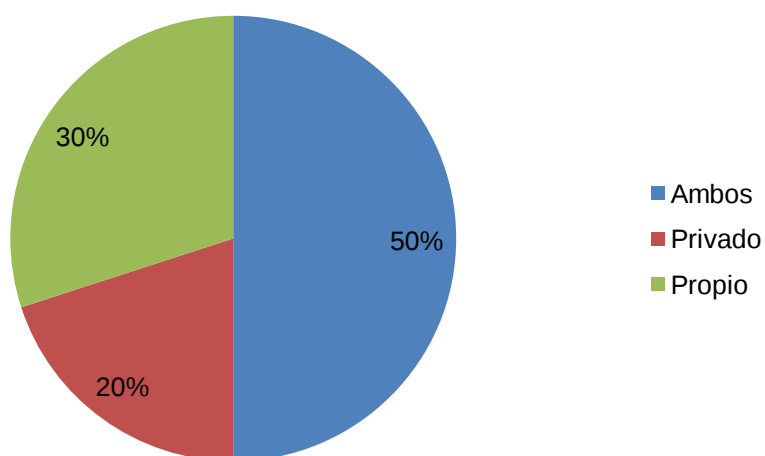


Figura 5. Porcentaje de terrenos propios y privados de las ASADAS participantes en el proyecto

- **Contratación de fontaneros**

Los fontaneros corresponden una parte muy importante para asegurar una adecuada operación y mantenimiento del acueducto, por lo que es necesario considerar su contratación para determinar las condiciones actuales de los mismos. Un 80% de las ASADAS cuentan con uno, mientras que un 20%, no; siendo en este caso, los miembros de las Juntas Directivas quienes se encargan de este proceso, por lo que en ocasiones podría llegar a ser desatendido para cumplir con las obligaciones propias de formar parte de la Junta. Es de suma importancia que el acueducto cuente con una persona exclusiva que lleve a cabo las funciones de realizar la limpieza de las estructuras del acueducto, localización de fugas en el sistema y efectuar las reparaciones pertinentes en caso de ser necesarias, lectura de medidores, mantener el cloro residual en la red, entre otras (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2006).

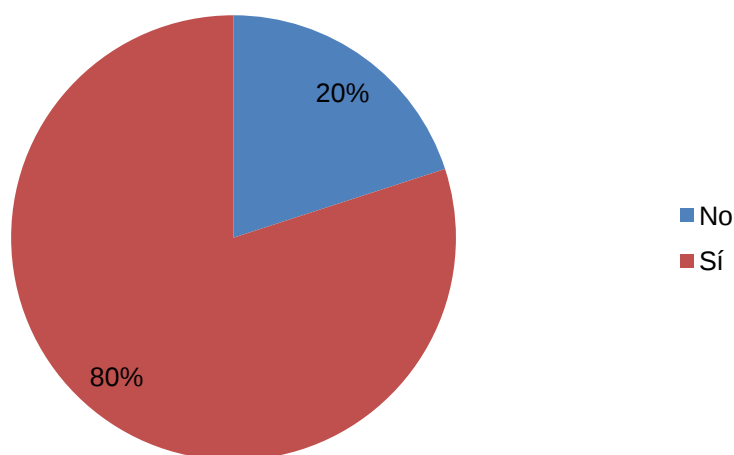


Figura 6. Porcentajes de fontaneros presentes en los acueductos

Sin embargo, hay aspectos que debilitan este aspecto tan importante, como lo son el tiempo de las contrataciones, un total de 40% de los fontaneros que se encuentran trabajando en los sistemas no lo hacen a tiempo completo, un 10% tiene un contrato de medio tiempo, un 10% lo hace de manera voluntaria, pero de manera constante y un 10% lo hace de manera ocasional, lo que dificulta en gran medida las funciones descritas anteriormente y por consiguiente, la operación y mantenimiento del acueducto. Además, el 60% de los fontaneros no cuentan con ningún tipo de capacitación. Por otro lado, el tiempo de servicio en el sistema es de menos de 3 años en el 50% de los casos, lo que

también dificulta la gestión adecuada del acueducto al no tener un conocimiento tan amplio del mismo.

- **Capacitaciones recibidas por los miembros de las ASADAS**

Una de las problemáticas más apremiantes de las ASADAS es la falta de conocimientos administrativos y técnicos de sus miembros. Por este motivo, que se impartan capacitaciones es de suma importancia para el mantenimiento de estos entes a lo largo del tiempo. Cabe destacar que un 70% de las ASADAS participantes indicaron que han recibido capacitaciones, sin embargo, únicamente 3 ASADAS han recibido capacitaciones en temáticas operativas y las mismas no tocaban el tema de la desinfección, sino que se concentraban en aspectos de fontanería e interpretación de análisis físico-químicos. Por otro lado, un 30% no ha recibido ningún tipo de capacitación. Lo antes descrito se representa en la **figura 7**.

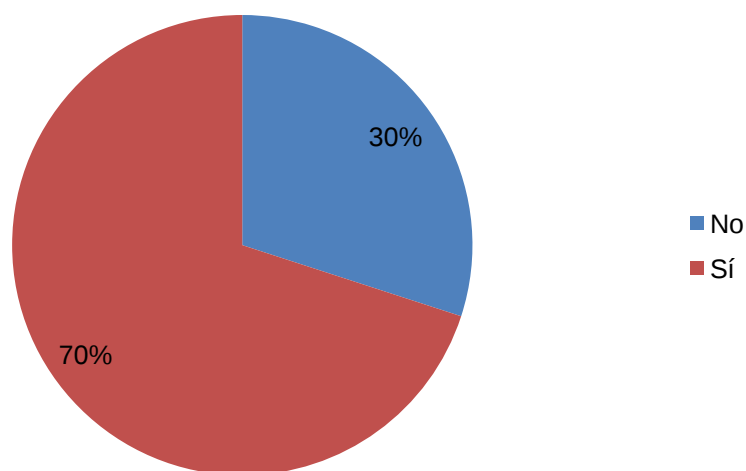


Figura 7. Capacitaciones recibidas por las ASADAS

- **Desinfección efectuada en los acueductos**

Es importante destacar que todas las ASADAS participantes efectúan desinfección por medio de la cloración en sus acueductos. El producto utilizado son las pastillas de hipoclorito de sodio o calcio en diferentes presentaciones comerciales que posteriormente serán analizadas y tomadas en cuenta para el cálculo de la dosis óptima de cloro. Cabe destacar que no todas las ASADAS cuentan con un dosificador, el 50% de las ASADAS

utilizan un flotador perforado colocado en el tanque, en la entrada de agua, para que pase a través de las pastillas adicionales, las vaya desgastando y de esta manera se cloro. Por otro lado, el 50% restante utiliza un clorador modelo Accu-Tab 3012, que posteriormente también será analizado.

- **Control de cloro residual en el sistema**

A pesar de que todas las ASADAS participantes efectúan la cloración del agua que ingresa a los sistemas, únicamente el 30% de ellas hacen un control de cloro residual, por lo que no pueden asegurar que el agua destinada a la distribución tenga la concentración suficiente de cloro para garantizar su seguridad de uso y consumo humano, o más bien, que la concentración de cloro presente en el agua sobrepase lo recomendado por la norma y sea perjudicial para la salud si se consume en un largo plazo (Figura 8).

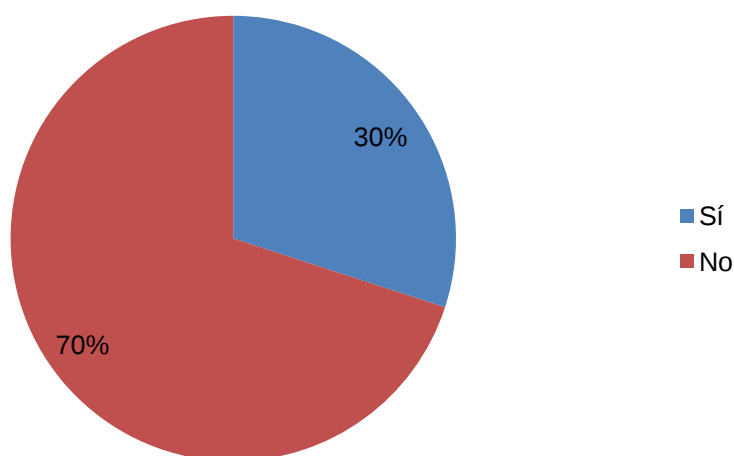


Figura 8. Control de cloro residual en los acueductos de las ASADAS participantes

Además, cabe destacar que todas las ASADAS participantes no cuentan con un manual de operación de su acueducto propiamente dicho. En todos los casos, la operación del acueducto se concentra principalmente en mediciones ocasionales en las fuentes, lectura de los medidores en las casas, reparación de fugas y limpieza ocasional de los componentes del acueducto. Estas características deberán ser tomadas en cuenta para las evaluaciones posteriores.

Caracterización de los acueductos mediante esquemas

Para facilitar la caracterización de los acueductos involucrados en la presente investigación, se representaron los acueductos por medio de esquemas, que pueden ser observados en el Anexo A.

Se utilizó la siguiente simbología para la representación gráfica de los acueductos:

Cuadro 6. Simbología utilizada para la representación de los acueductos

Símbolo	Significado
	Fuente de abastecimiento
	Tanque de abastecimiento/casa
	Red de distribución
	Tubería
F	Riesgo físico
Q	Riesgo químico
B	Riesgo biológico

A manera de resumen, se va a presentar un diagrama de flujo general, en donde se indican los riesgos más comunes encontrados en los acueductos:

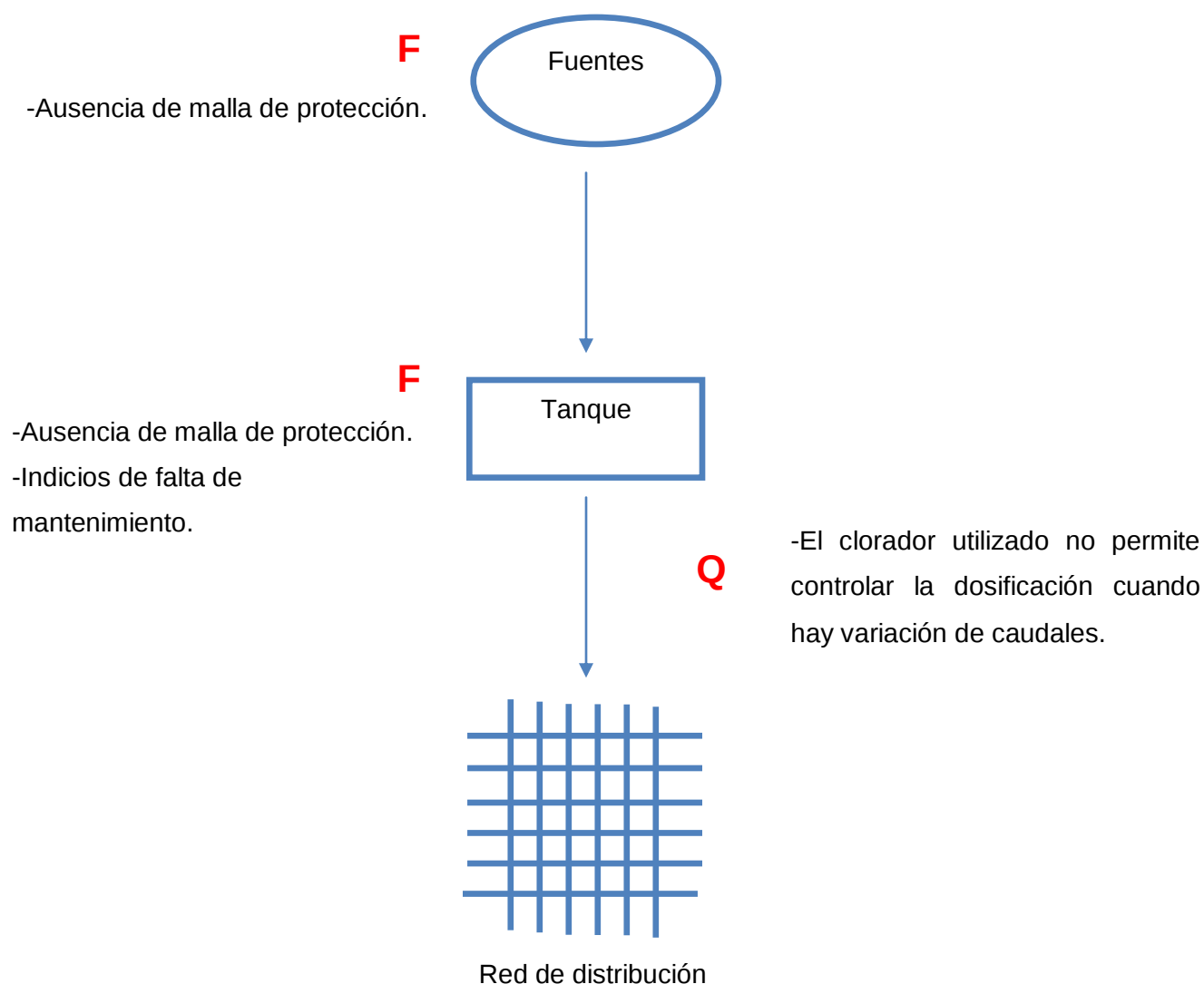


Figura 9. Diagrama general mostrando los riesgos más importantes encontrados en los acueductos

La manera en que pueden ser subsanados los riesgos físicos encontrados es mediante un programa de mantenimiento preventivo, que también se encuentra respaldado por el Reglamento de normas técnicas y procedimientos para mantenimiento preventivo de sistemas de abastecimiento de agua (2001), vigente actualmente. Es importante el desarrollo de este aspecto en las ASADAS; al no contar con un procedimiento para el control de la operación del acueducto expone a las mismas a enfocarse en acciones correctivas, lo que podría significar pérdidas económicas o del

recurso hídrico al darse paradas forzadas o imprevistas. Las actividades definidas en este programa están enfocadas en la planificación, programación, control y ejecución, de manera que los componentes del acueducto y los equipos del mismo se mantengan funcionando segura y eficientemente, de manera que se reduzca al máximo el costo final de operación del sistema (Aguas del Norte Antioqueño S.A. 2011).

Para facilitar el análisis de los resultados una vez concluida la primera fase, se presenta el siguiente análisis FODA:

Cuadro 7. Análisis FODA de los acueductos participantes

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
-80% de las ASADAS cuenta con fontanero.	-71% de las ASADAS pueden optar por un reconocimiento voluntario como el Sello de Calidad Sanitaria.	-40% de los fontaneros contratados no están a tiempo completo.	-80% de las ASADAS tienen los componentes de sus acueductos asentados en terrenos privados o una combinación de terrenos propios y privados.
-70% de las ASADAS participantes han recibido capacitaciones en temáticas administrativas, de fontanería o de interpretación de análisis físico-químicos.		-60% de los fontaneros no cuentan con capacitaciones.	
-La cloración se da en el 100% de las ASADAS.		-50% de los fontaneros tiene menos de 3 años de servicio en el sistema.	
		-El método utilizado para la desinfección no garantiza el mantenimiento del cloro residual en el sistema.	
		-No existe un procedimiento para el control de la operación del acueducto.	

II Fase: Puntos críticos de la gestión operativa

La evaluación de los puntos críticos de la gestión operativa de los acueductos participantes de la presente investigación se hizo tomando en cuenta el siguiente cuadro, tomada de Astillero *et. al.* (2012), la cual fue adaptada de Deere *et. al.* (2001)

Cuadro 8. Matriz de estimación del nivel de riesgo

Probabilidad	Casi seguro (5)	Ya ha ocurrido anteriormente y volverá a ocurrir.
	Probable (4)	Ya ha ocurrido anteriormente y es posible que vuelva a ocurrir.
	Moderada (3)	Es posible y podría ocurrir en determinadas circunstancias.
	Improbable (2)	No puede descartarse totalmente.
	Excepcional (1)	No ha ocurrido y es muy improbable que ocurra.
Gravedad	Muy grave (5)	Posible enfermedad.
	Grave (4)	Posibles efectos sobre la salud a largo plazo.
	Moderada (3)	Consecuencias organolépticas o incumplimiento prolongado sin relación con la salud.
	Menor (2)	Consecuencias locales, sin relación con la salud, ni con parámetros de cumplimiento u organolépticos.
	Insignificante (1)	Impacto insignificante, alteración pequeña del funcionamiento normal del abastecimiento. Agua segura.

Tomando en cuenta los parámetros anteriormente descritos, las visitas de campo y las experiencias de cada encargado de los acueductos, se construyó el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Riesgos encontrados para cada ASADA, con su respectiva evaluación, puntuación y calificación, utilizando los criterios establecidos en la metodología de Planes de Seguridad del Agua

ASADA	Riesgo	Evaluación (Probabilidad * Gravedad)	Puntuación	Clasificación
Guadalupe	F: Ausencia de malla de protección en fuentes y tanques, lo que conllevaría una posible contaminación del agua por ingreso a la zona de animales o personas. (SERSA 2013)	3*3	9	Medio

	F: Falta de mantenimiento del tanque.	3*3	9	Medio
	F: Diferencias significativas de presión.	3*2	6	Medio
	Q: Ausencia de cloración en la zona alta del acueducto.	5*4	20	Muy alto
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
San Juan Grande	Q: Ausencia de cloración en la zona alta del acueducto.	5*4	20	Muy alto
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Orocú	F: Ausencia de malla de protección en el tanque	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Coyolar	F: Ausencia de respiradero o tubería de rebalse, lo que podría llevar a cambios en la presión del sistema o desbordamiento del tanque de reunión de la fuente. (Corcos 2005)	2*2	4	Bajo
	F: Ausencia de malla de protección en el tanque	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Santa Rita	F: Ausencia de malla de protección en las fuentes.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
	B: Presencia de tanques sépticos en las cercanías de las fuentes.	1*5	5	Bajo
Playa Azul	F: Ausencia de malla de protección en el tanque	3*3	9	Medio
	F: Falta de mantenimiento del tanque.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la	4*3	12	Alto

	dosificación cuando hay variación de caudales.			
Vivero	F: Ausencia de malla de protección en los pozos Borbollón y Vivero.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Pital-Centeno	F: Ausencia de malla de protección en fuentes y tanques.	3*3	9	Medio
	F: Indicios de falta de mantenimiento en los tanques.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Labrador	F: Ausencia de malla de protección en el Pozo 5.	3*3	9	Medio
	F: Indicios de falta de mantenimiento en los tanques.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto
Macacona	F: Ausencia de malla de protección en fuentes y tanques.	3*3	9	Medio
	Q: El clorador utilizado no permite controlar la dosificación cuando hay variación de caudales.	4*3	12	Alto

III Fase: Búsqueda de Tecnologías Limpias

Es importante destacar que el principal objetivo de las Tecnologías Limpias es la incorporación de cambios en un proceso determinado para generar una serie de beneficios relacionados con la utilización más eficiente de los recursos, para lograr la reducción de los impactos ambientales. Estos cambios pueden incluir la utilización de equipos, bienes, servicios, manuales, buenas prácticas, entre otros (Arroyave; Garcés 2007).

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito, hay distintas características que deben ser consideradas para la selección del equipo adecuado para llevar a cabo el proceso de desinfección en un acueducto. Según la OPS (2007), esto depende de las características del producto utilizado para la cloración, la dosis de cloro por adicionar y el caudal del agua por desinfectar. En el siguiente cuadro se pueden observar ejemplos de los equipos más comúnmente aplicados en el ámbito rural, que de hecho son los utilizados en las ASADAS participantes de la presente investigación.

Cuadro 10. Distintos equipos utilizados para la desinfección del agua

Tipo de cloro utilizado	Equipo	Producto	Características relevantes	Características de la dosis
Solución o sólido	Tubo con orificio en flotador.	Hipoclorito de sodio o calcio	Su elemento principal es un tubo de PVC con varios orificios que se colocan por debajo del nivel de la disolución, fijándose luego a un dispositivo flotante. La disolución ingresa al sistema y fluye por gravedad hasta el punto de aplicación. La tasa de dosificación se ajusta al cambiar la profundidad de inmersión de los orificios.	<u>Caudales:</u> -Menor a 0,25 L/s: 1,00 Kg ^(*) -0,26 – 0,75 L/s: 2,00 Kg ^(*) -0,76 – 1,50 L/s: 4,00 Kg ^(*) Mayor a 1,50 L/s: Goteo ^(*)
Sólido	Dosificador por erosión		De los más utilizados en comunidades pequeñas. Estos disuelven las tabletas a una tasa predeterminada gradual, mientras el caudal de agua pasa a través del dispositivo, proporcionando la dosificación justa para la desinfección del agua.	

Fuente: OPS (2007), Conza; Páucar (2013)

(*) En todos los casos, la medida está dada por la utilización de tabletas de hipoclorito de calcio al 30%.

Cada sistema de los anteriormente descritos cuenta con requerimiento específicos para su correcto funcionamiento, los cuales pueden ser observados en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Requerimientos para el mantenimiento de cada sistema de desinfección y beneficios asociados a los mismos

Sistema de desinfección	Costos asociados	Acciones de mantenimiento	Almacenamiento de los insumos
Tubo con flotador	-Los materiales utilizados pueden ser encontrados en el ámbito local. -Se evita la corrosión por ser de plástico. -No se requiere mantenimiento de válvulas. -Su limpieza es sencilla. -\$2,50/kg.	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.	Las tabletas son fáciles de manipular y almacenar.
Dosificador por erosión	-Fáciles de manipular y mantener. -No necesita energía eléctrica. -Duraderos. -Costo intermedio, tomando en cuenta el costo de las tabletas, varía entre \$150 - \$400		

Fuente: OPS (2007), Conza; Páucar (2013)

Las características mencionadas en los cuadros anteriores serán los principales insumos para la construcción del Protocolo, que forma parte de la siguiente fase de la presente investigación.

IV Fase: Construcción de la herramienta que mejore la gestión físico-sanitaria

En esta sección se presentará un único Protocolo de Cloración (el resto podrá ser revisado en el Anexo B), el cual tendrá las siguientes secciones:

- Introducción.
- Definiciones.
- Aspectos generales de la aplicación.
- Metodología.
- Definición de la dosificación.
- Programa de mantenimiento preventivo.

Además, cabe destacar que para efectuar los cálculos, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La mezcla que se efectúa dentro del tanque es perfecta, en donde se implica que la composición y temperatura del agua que se encuentra dentro del tanque es siempre uniforme. (Aznar y Cabanelas 2008)
- La permanencia del agua en el tanque es la suficiente para que se empiece a generar cloro residual antes de llegar a la primera casa de la red.
- El caudal que pasa a través del sistema de cloración es constante.

Con respecto a este último punto, también es necesario considerar que el sistema empleado por las ASADAS bajo estudio, en donde las pastillas se colocan en la entrada del tanque, no es el más adecuado, debido a que no se pueden considerar variaciones en el caudal para ajustar la dosificación de una manera rápida. Esto fue considerado sin cambios dentro del cálculo por cuestiones de costos, pero se propone el siguiente cambio en el sistema de cloración para su mejora, en donde se redirige una parte del caudal al clorador y posteriormente ingresa de nuevo al sistema con una concentración de cloro residual conocida (Accu-Tab 2008).

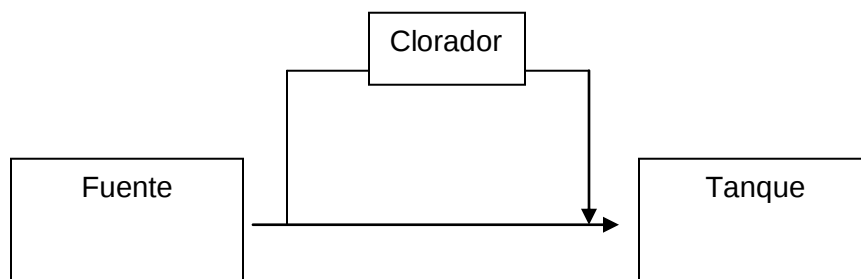


Figura 10. Diagrama que representa una correcta cloración para un sistema de abastecimiento.

Protocolo de Cloración para la ASADA de Playa Azul

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para la obtención del mismo.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante la cual impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en el consumo de la misma.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir, la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuado el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, la curva de demanda de cloro para la ASADA de Playa Azul es la siguiente:

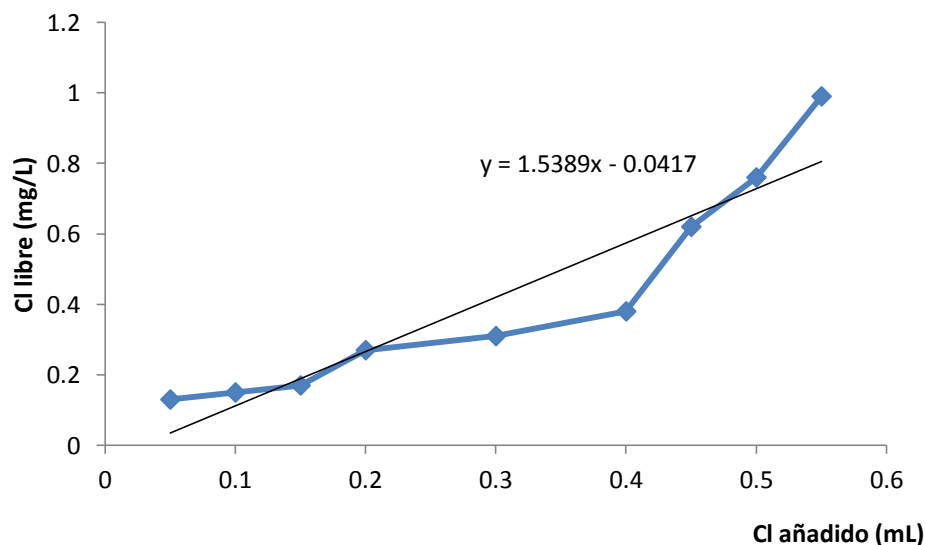


Figura 11. Curva de demanda de cloro obtenida para la ASADA de Playa Azul

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con una única fuente, un pozo con un caudal de 2,8 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 85 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas ACL-90, con una concentración de cloro al 90% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figura 11), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 12. Dosificación definida para la ASADA de Playa Azul.

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	924.76	1406.69	4/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y su responsable, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 13. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozo Playa Azul	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		

Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema. -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozo Playa Azul	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Adicionar 4 pastillas al equipo.		
	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozo Playa Azul	-Ejecutar una desinfección del pozo.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea		

	siempre posible.		
Pozo Playa Azul	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 14. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Playa Azul		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección	

	()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 4 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Playa Azul se obtiene lo siguiente:

- a)** Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b)** Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800

segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.

- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de ácido tricloroisocianúrico (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 464.82/210.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.90. Esto es definido como **dosís preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación:

Pasos (a) y (b)

$$0.2220 * 2,8 * \frac{604800}{1000} = 376.0143 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$376.0143 \text{ g } Cl_2 * \frac{2[232.41 \frac{\text{g}}{\text{mol}} C_3N_3O_3Cl_3]}{3[70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2]} = 832.2809 \text{ g } C_3N_3O_3Cl_3$$

Paso (d)

$$\frac{832.2809}{0.90} = 924.7565 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{924.7565}{200} = 4.6238 \text{ pastillas/mes}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Tomar en cuenta el factor del caudal para el cálculo de la dosificación de pastillas en cada caso particular resulta difícil, por lo que los valores presentados en los protocolos toman en cuenta que el valor del mismo así como el volumen total a clorar, se mantiene constante.
- La sostenibilidad de las ASADAS es variable, por lo que la gestión resulta un reto tanto para el ente rector, AyA, como para los líderes comunales.
- A pesar que existen varias opciones disponibles en la cloración de los acueductos rurales, para la presente investigación se tomó la decisión de mantener los dosificadores utilizados por cuestiones de practicidad y el presupuesto de la operación.

Recomendaciones

- Para el caso de la ASADA de Labrador, es necesario volver a tomar las muestras de todas sus fuentes ya que para el presente proyecto fue posible únicamente muestrear un pozo.
- La correcta dosificación se puede llevar a cabo tomando en cuenta la sugerencia del desvío del caudal a un dosificador, porque de esta manera se puede llegar a controlar la dosificación.
- Para obtener una dosificación más exacta, se puede efectuar un estudio de los tiempos de residencia del agua en los tanques de almacenamiento.
- Por otro lado, es necesario obtener más puntos en las curvas de demanda de cloro, de esta manera, se garantiza un resultado más exacto de dosificación.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Accu-Tab. 2008. A cost effective solution with the Accu-Tab system. (en línea). Consultado 20 oct 2016. Disponible en http://accu-tab.com/Portals/0/pdfs/Accu-Tab_MunicipalWater_CapBrochure_English.pdf
- ACTRAV, s.f. Módulo 6: Formulación del Proyecto. (en línea). Consultado 15 jun 2014. Disponible en <http://actrav.itcilo.org/library/spanish/manuales09/cooperacion-sindical/m6-formulacion-del-proyecto.pdf>
- Aguas del Norte Antioqueño S.A. 2011. Manual de operación, mantenimiento y control del acueducto urbano municipio Yarumal-Antioquía. (en línea). CO. Consultado 22 oct 2016. Disponible en <http://www.yarumal.gov.co/aguas/documentos/MANUAL%20OP%20Y%20MANT%20ACUEDUCTO%20DE%20YARUMAL.pdf>
- APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Eugene W. Rice. 22 ed. 1496 p.
- Arboleda Valencia, J. 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. McGraw Hill. 3era ed. 793 p.
- ARESEP (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos). 2008. Resolución RRG-9289. La Gaceta. Diario Oficial (CR). dic. 11. Vol. 240.
- Arroyave, J.A; Garcés, L.F. 2007. Tecnologías ambientalmente sostenibles. Producción + Limpia. Jul – Dic. Vol. 1. No. 2: 78-86.
- Astillero Pinilla, M *et. al.* 2012. Planes de seguridad del agua. Análisis de peligros y evaluación de los riesgos en un abastecimiento de Bizkaia. Aplicación a una captación. Revista de Salud Ambiental. 12 (2): 122-125.
- Aznar, A; Cabanelas, C. 2008. Ingeniería de reacciones. (en línea). Consultado 20 oct 2016. Disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/material-de-clase-1/MC-F-003.pdf>
- Barrientos, Y. *et. al.* Calidad microbiológica del agua y riesgo sanitario de dos acueductos rurales en el estado Vargas, Venezuela. Investigación y Postgrado. Vol. 20. No. 1: 115-141.

- CEDARENA (Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales). 2013. Transparencia y rendición de cuentas en las ASADAS: Manual para las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) de Costa Rica. PNUD. 56 p.
- CGR (Contraloría General de la República). 2013. Informe de la auditoría de carácter especial sobre la razonabilidad del control ejercido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados sobre la gestión de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales. (en línea). Consultado 25 abr 2014. Disponible en http://www.cgr.go.cr/apex/see_own.SEE_PRC_ARCHIVO_EXPEDIENTE?p_fuente=SIGYD_D&P_FILE=2013016235&P_USER=nobody.
- Conza, A; Páucar, J. 2013. Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad sin planta de tratamiento en zonas rurales. (en línea). Consultado 24 oct 2016. Disponible en <http://www.agualimpia.org/pdf/AGUALIMPIA%20Manual%20OyM%20Agua%20Potable%20rural%20final.pdf>
- Corcos, G. 2005. Aire en tuberías de agua. (en línea). Consultado 18 oct 2016. Disponible en <https://aplv.org/files/Aire%20En%20Tuberias.pdf>
- Díaz, C. 2003. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamiento avanzado de aguas residuales domésticas. RIPDA-CYTED, D.F., MX. 269 p.
- Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. 2011. Guía Metodológica de Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias. (en línea). Consultado 26 abr 2014. Disponible en http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/proyectos_norma/proyectos/221111_guia_planes_reconversion_tecn_limpas.pdf
- Estado de la Nación. 2014. Capítulo 4. Armonía con la naturaleza. (en línea). Consultado 13 nov 2014. Disponible en <http://www.estadonacion.or.cr/20/assets/cap-4-estado-nacion-20-2014-baja.pdf>

- García, R. (s.f.). Manual de prácticas de laboratorio de Ingeniería Sanitaria (en línea). Consultado 13 nov 2014. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/52373390/6/COLOR-RESIDUAL>
- Guevara Villegas, D. 2015. Elaboración de un protocolo del sistema de cloración continua para garantizar la calidad del agua de consumo humano en la Parroquia Huambaló. (en línea). Consultado 23 oct 2016. Disponible en <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/752/1/TUABQF004-2015.pdf>
- Henry G y Heinke G. 1999. Ingeniería Ambiental. México. PRENTICE HALL. 2 ed. 800p.
- Honey, M; Vargas, E; Durham W. H. 2010. Impacto del Turismo Relacionado con el Desarrollo en la Costa Pacífica de Costa Rica. (en línea). Consultado 13 nov 2014. Disponible en [http://www.responsibletravel.org/resources/documents/Coastal-tourism-documents/Informe%20Ejecutivo/Informe_Ejecutivo_-_Impacto_del_Turismo_Relacionado_con_el_Desarrollo_en_la_Costa_Pac%C3%83%C2%ADfica\[1\].pdf](http://www.responsibletravel.org/resources/documents/Coastal-tourism-documents/Informe%20Ejecutivo/Informe_Ejecutivo_-_Impacto_del_Turismo_Relacionado_con_el_Desarrollo_en_la_Costa_Pac%C3%83%C2%ADfica[1].pdf)
- ICAA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2010. Memoria 2006 – 2010. (en línea). Consultado 24 abr 2014. Disponible en <http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente33.pdf>
- ICAA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2009. Plan Estratégico 2007- 2015. (en línea). Consultado 24 abr 2014. Disponible en <http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente38.pdf>
- ICAA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 2009. AyA: Responsabilidad Social y alianzas público privadas para la gestión integral del agua potable y saneamiento. (en línea). Consultado 17 oct 2016. Disponible en <http://www.aliarse.org/documentos/AYA.pdf>
- IIICAB (Instituto Internacional de Integración Convenio Andrés Bello). 2008. La investigación cualitativa. (en línea). Consultado 14 may 2014. Disponible en <http://www.iiicab.org.bo/Docs/doctorado/dip3version/M2-3raV-DrErichar/investigacion-cualitativa.pdf>

- Marín, R. (s.f.). Análisis de aguas y ensayos de tratamiento (en línea). ES. Consultado 13 nov 2014. Disponible en http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/ensayos_tratamiento.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2006. Fontanería rural: Municipios menores y zonas rurales. (en línea). Consultado 17 oct 2016. Disponible en http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MAVDT-0021%20No_9/MAVDT-0021-N9.pdf
- Ministerio de Salud et. al. 2004. Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas. (en línea). Consultado 29 mar 2014. Disponible en <http://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>
- Navarro-Garro, A. et. al. 2013. Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla. Tecnología en Marcha. Vol. 26. No. 3: 62-73.
- Ocasio, N; López, M.E. s.f. El uso del cloro en la desinfección del agua. (en línea). Consultado 27 may 2014. Disponible en http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/uso_cloro.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2008. Planes de seguridad del agua. (en línea). Consultado 27 may 2014. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_4_fig.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2009. Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. (en línea). Consultado 21 may 2014. Disponible en http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789243562636_spa.pdf?ua=1
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2007. Guía para la selección de sistema de desinfección. (en línea). Consultado 10 set 2016. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- OxyQuem. 2015. ACL-90 Disinfecting Tablets. (en línea). Consultado 25 set 2016. Disponible en http://www.oxy.com/OurBusinesses/Chemicals/Products/Documents/isocyanurates/ACL_90_DT.pdf

Programa Estado de la Nación. 2013. Capítulo 4: Armonía con la naturaleza. XIX Informe del Estado de la Nación. (en línea) Consultado 06 mar 2014. Disponible en http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/Cap%204-Estado%20Nacion%2019.pdf

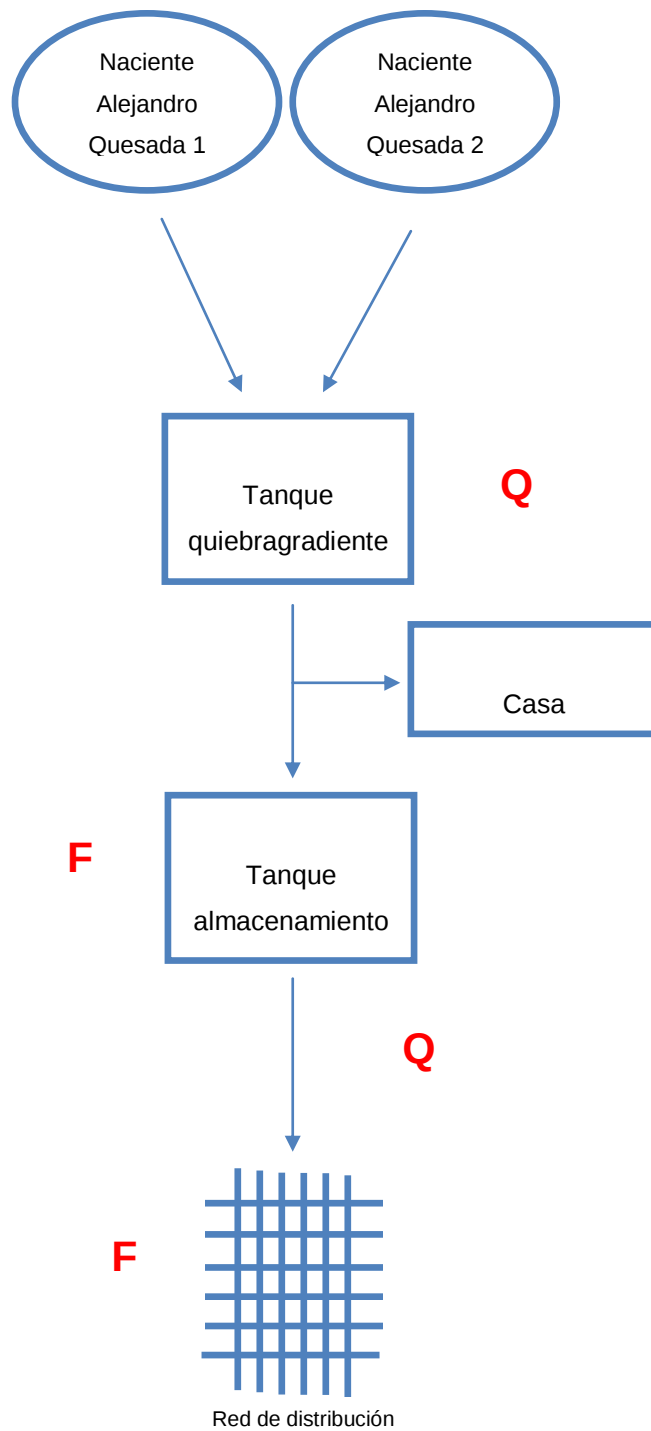
Ruiz, C. Caracterización de la región Pacífico Central. Dirección de Planificación, AyA. (en línea). Consultado 12 jun 2014. Disponible en <http://www.aya.go.cr/trabajos-pdf4/caracterizacion-region-pacifico-central/caracterizacion-region-pacifico-central.pdf>

USON (Universidad de Sonora). 2013. Capítulo 1: Generalidades sobre el cloro. (en línea). Consultado 27 may 2014. Disponible en tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/23129/Capitulo1.pdf

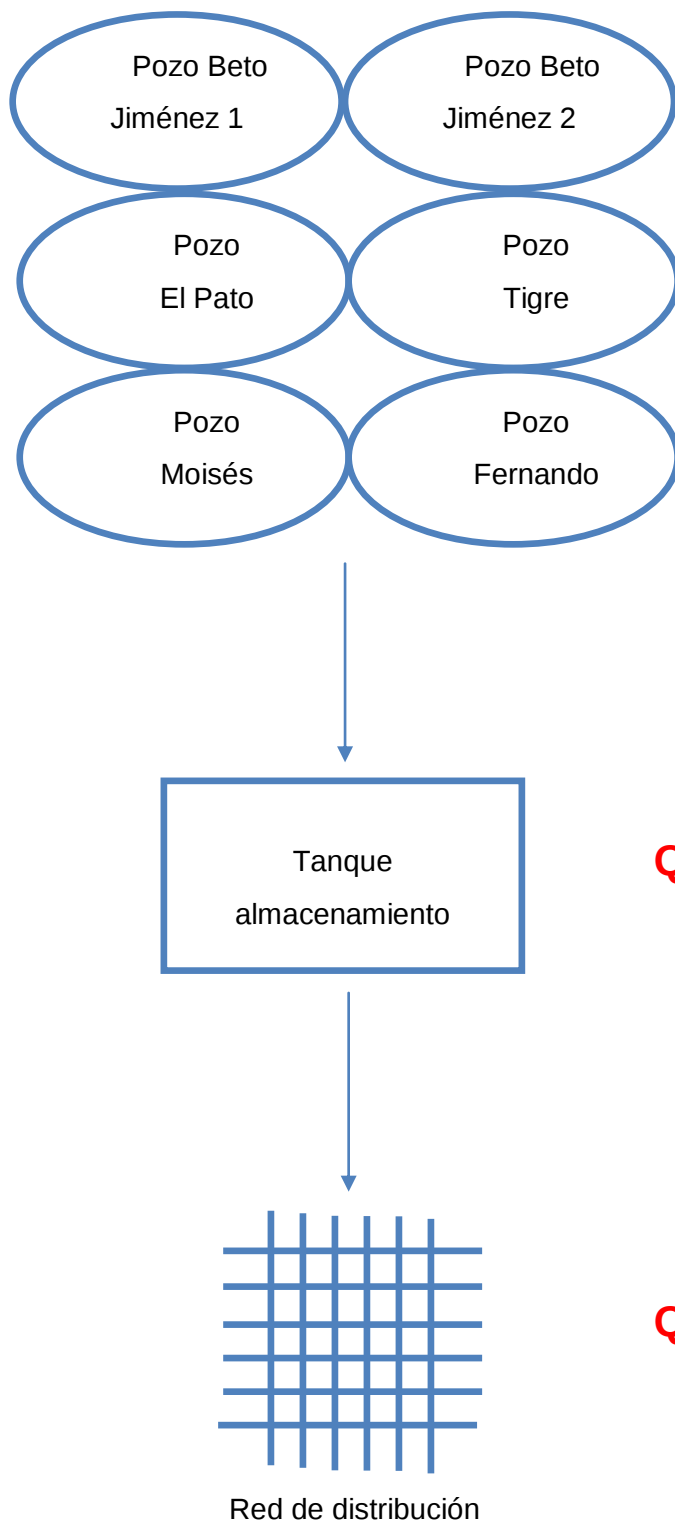
ANEXOS

Anexos

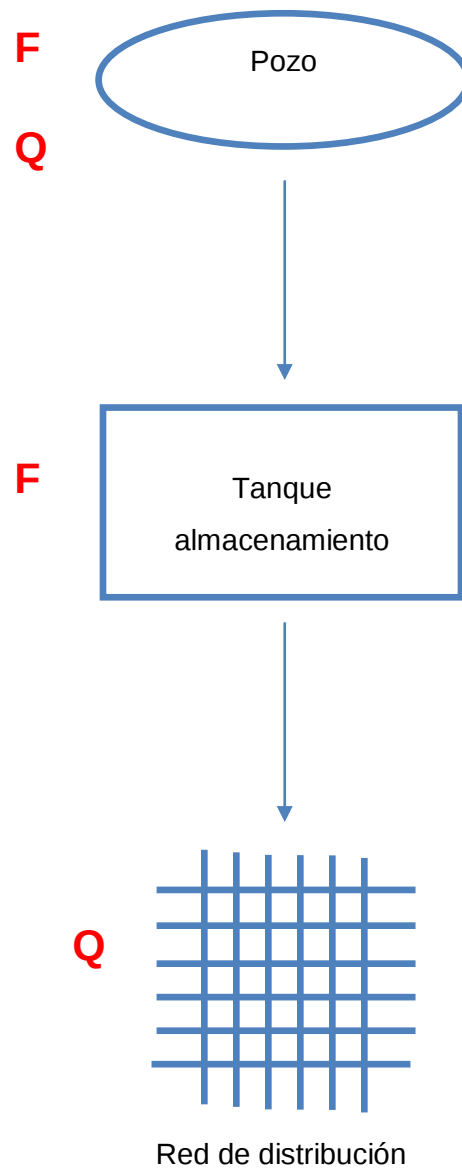
Anexo A: Esquema de los acueductos bajo investigación



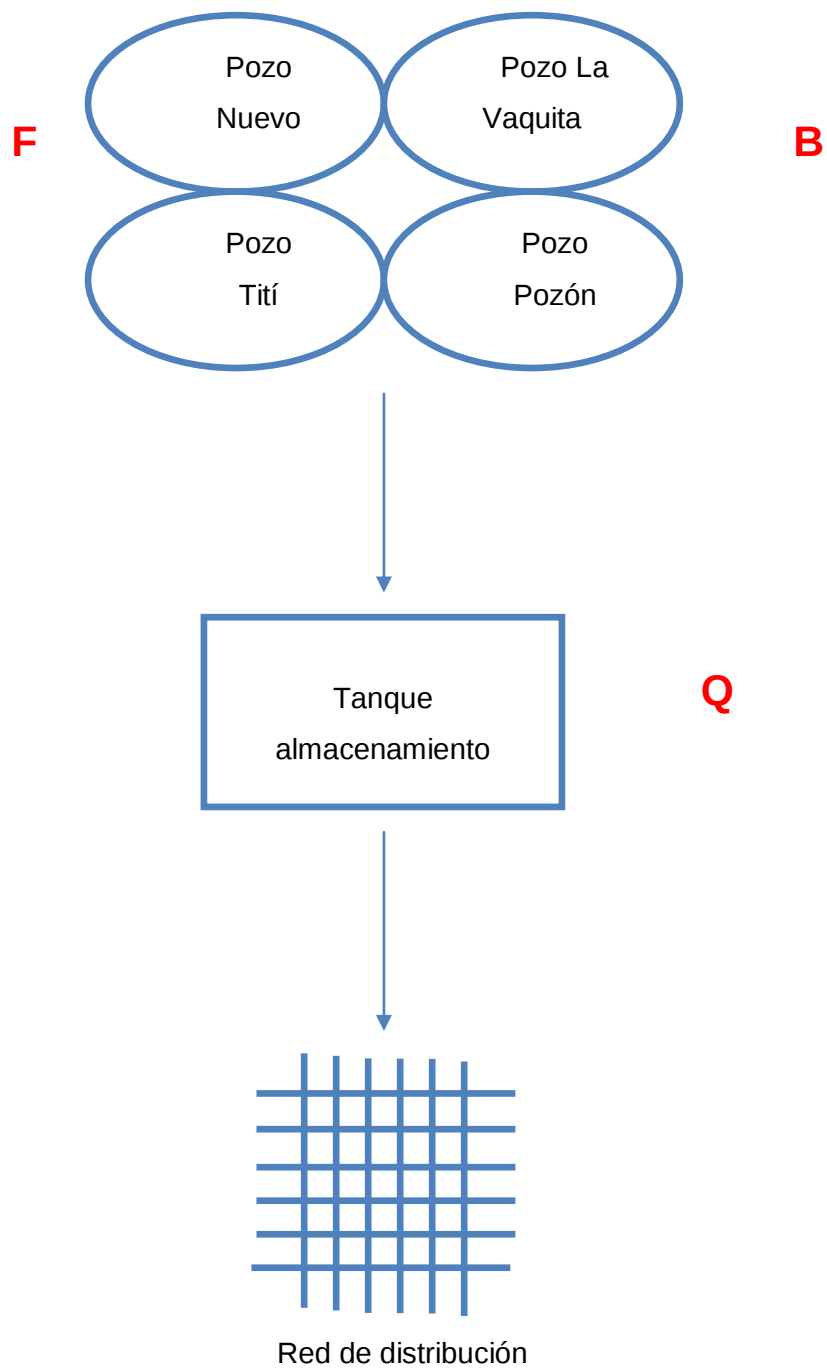
Anexo 1. Esquema del acueducto de la ASADA de Guadalupe



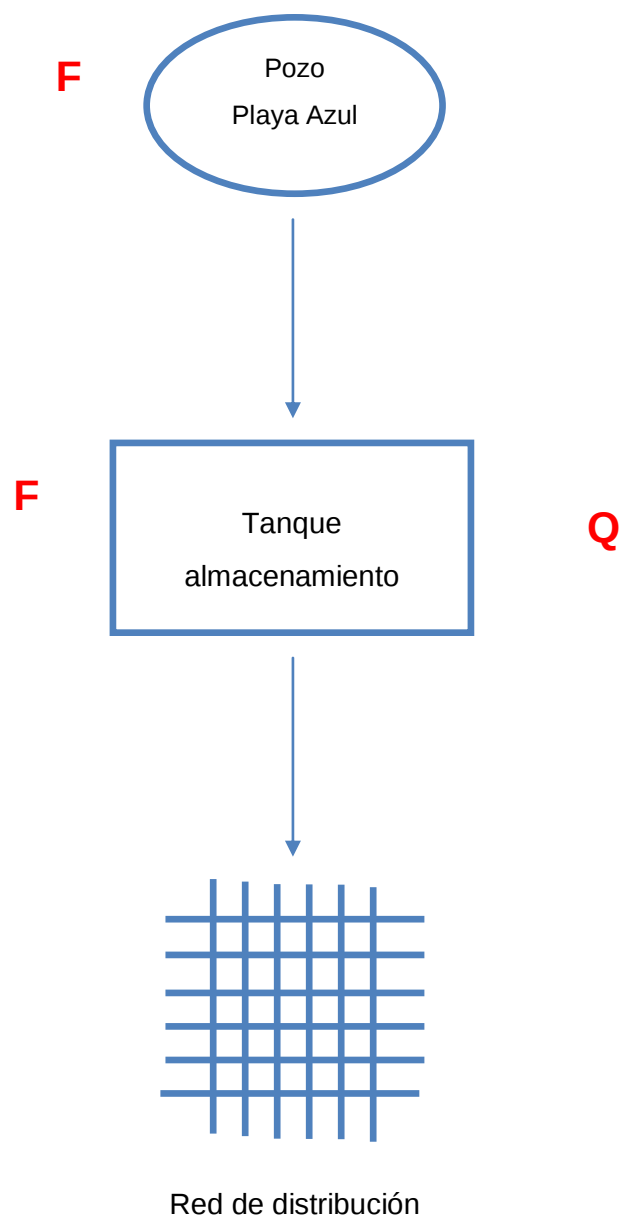
Anexo 2. Esquema del acueducto de la ASADA de San Juan Grande



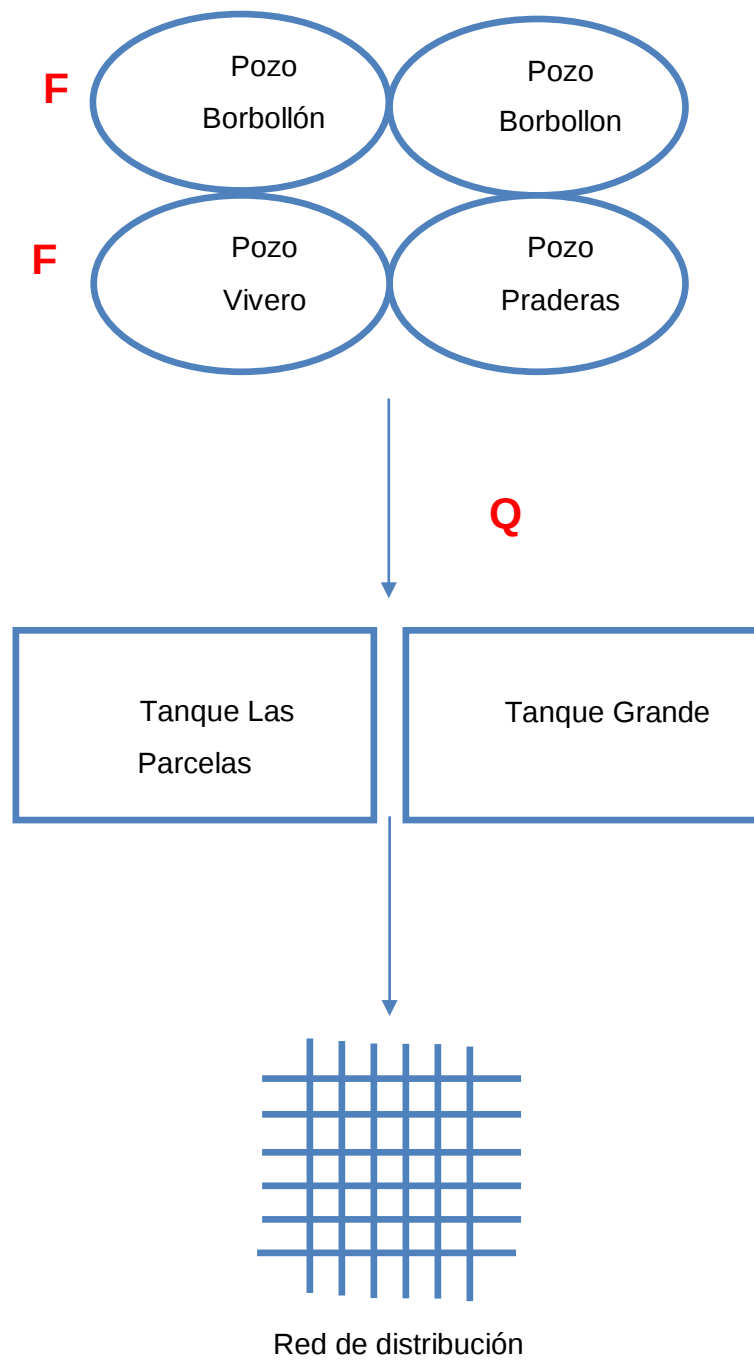
Anexo 3. Esquema del acueducto de la ASADA de Oroquí



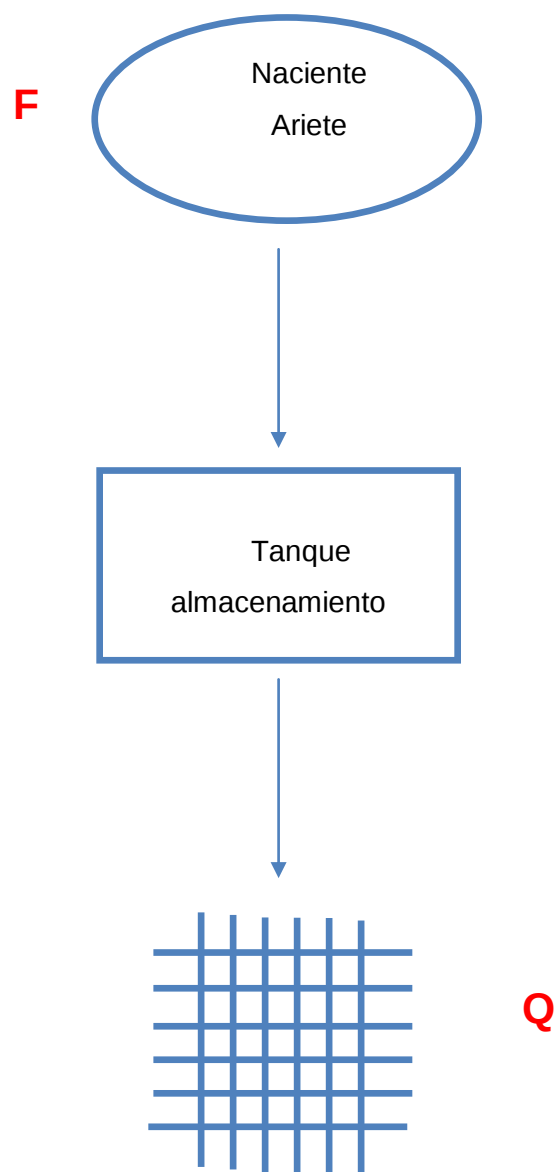
Anexo 4. Esquema del acueducto de la ASADA de Santa Rita



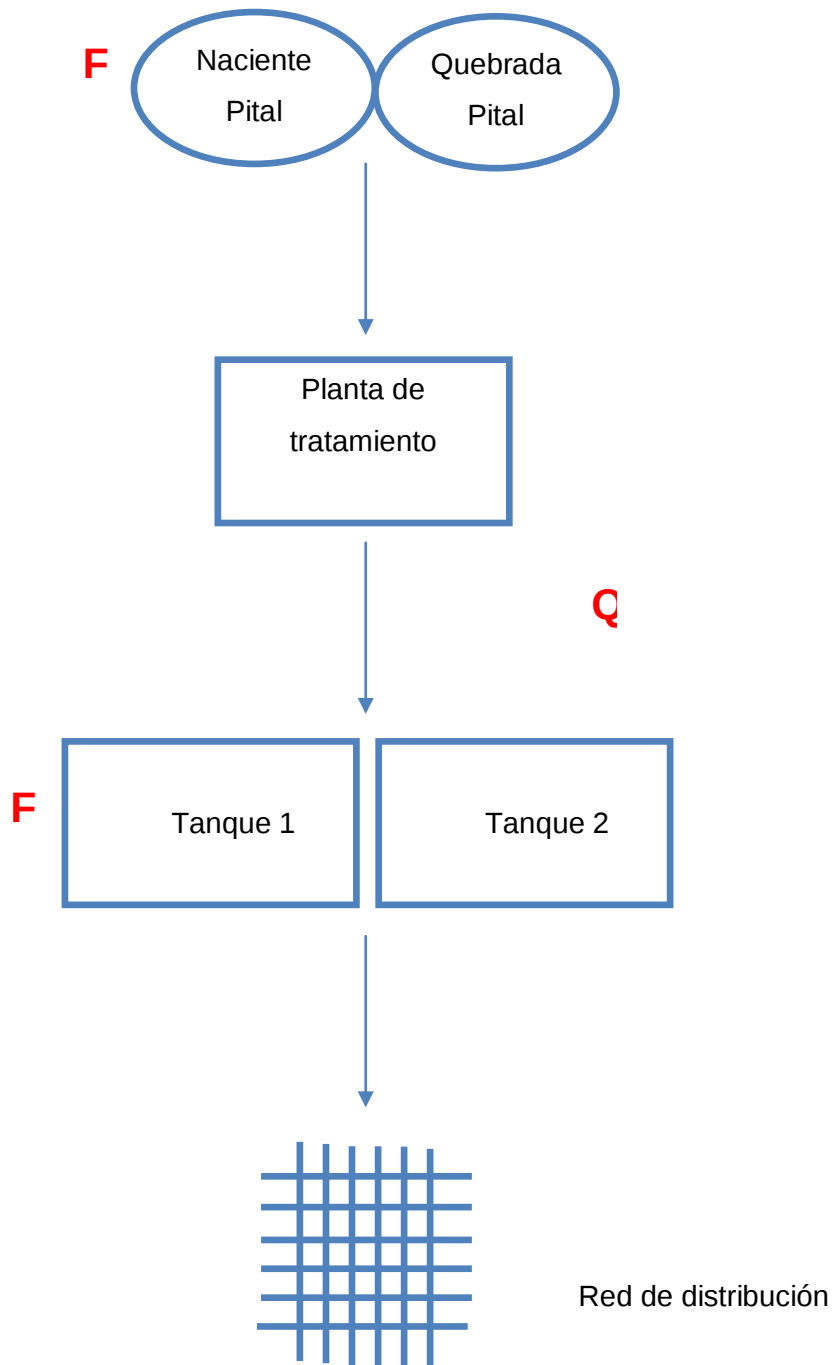
Anexo 5. Esquema del acueducto ASADA de Playa Azul



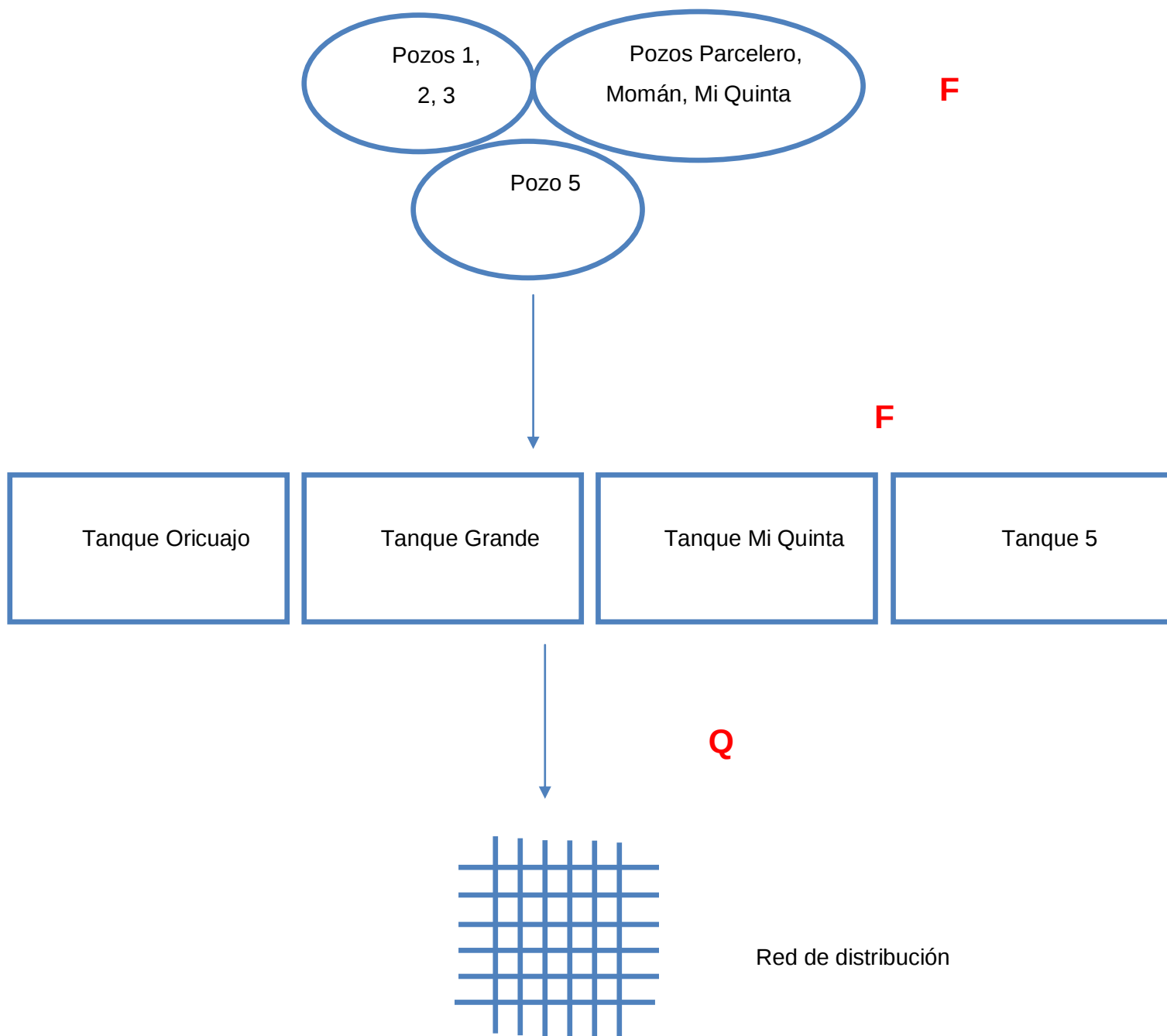
Anexo 6. Esquema del acueducto de la ASADA Vivero



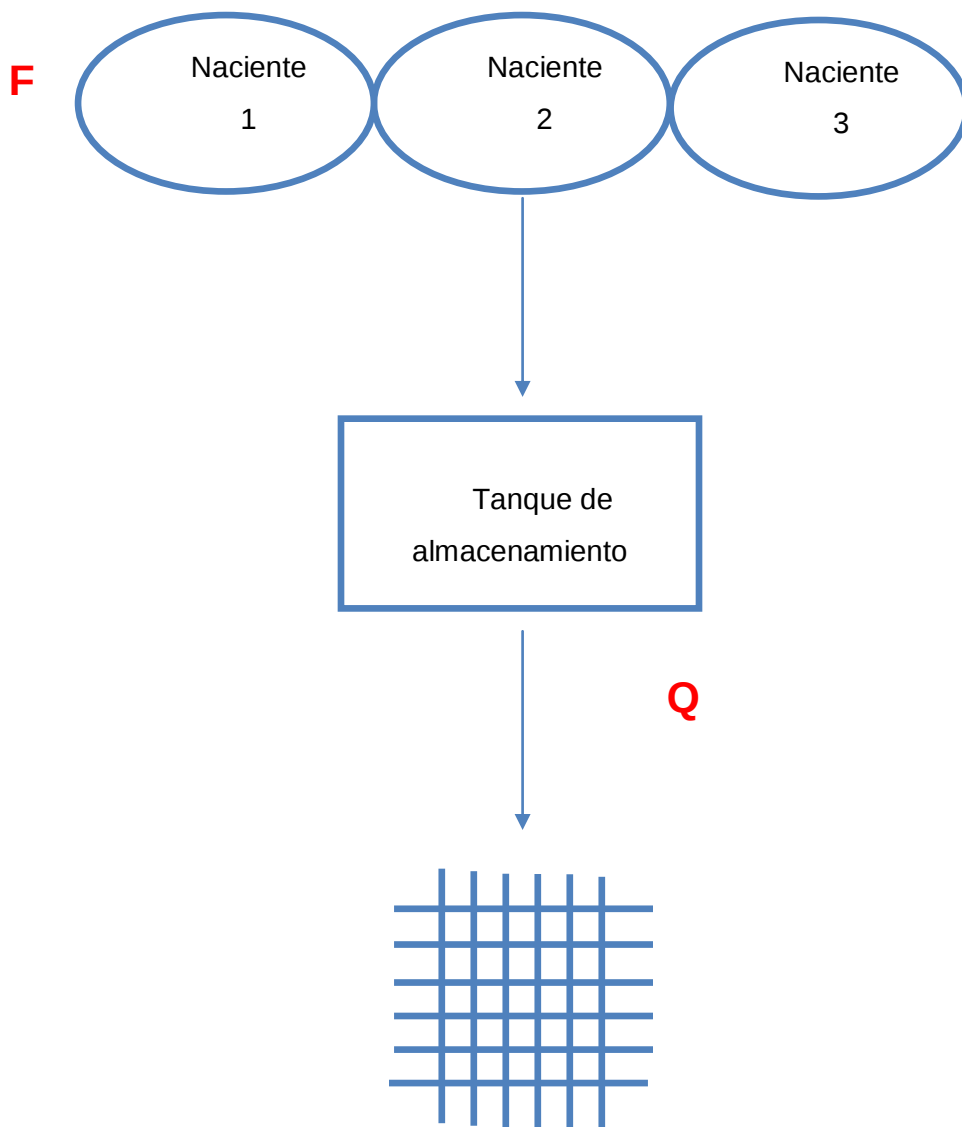
Anexo 7. Esquema del acueducto de la ASADA de Coyolar



Anexo 8. Esquema del acueducto ASADA de Pital-Centeno



Anexo 9. Esquema del acueducto de la ASADA de Labrador.



Anexo 10. Esquema del acueducto de la ASADA de Macacona

Anexo B: Definición de los Protocolos de Cloración

- **Protocolo de Cloración para la ASADA de San Juan Grande**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliometitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante la cual impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en el consumo de la misma.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y posteriormente obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua por clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro por utilizar. Posteriormente se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir, la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de San Juan Grande son las siguientes:

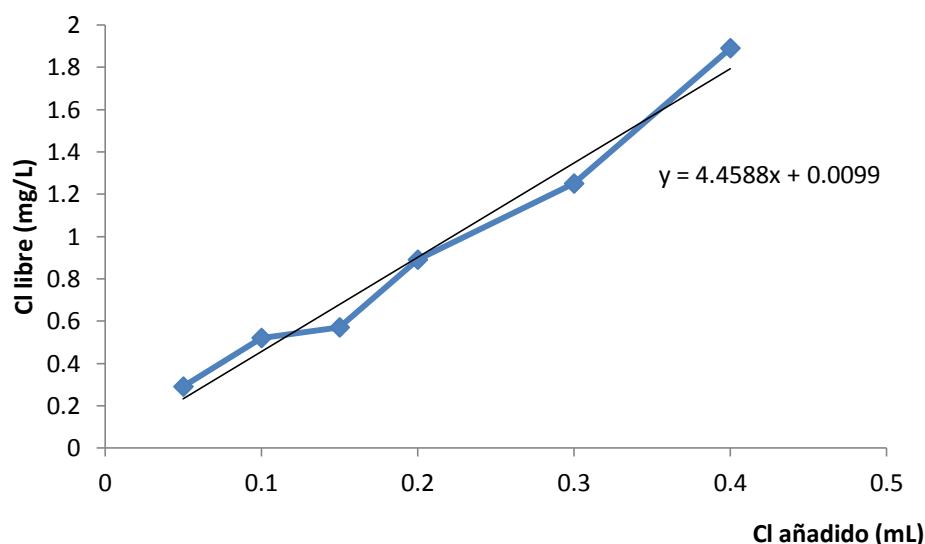


Figura 1. Curva de demanda de cloro para el pozo 1 de la ASADA de San Juan Grande.

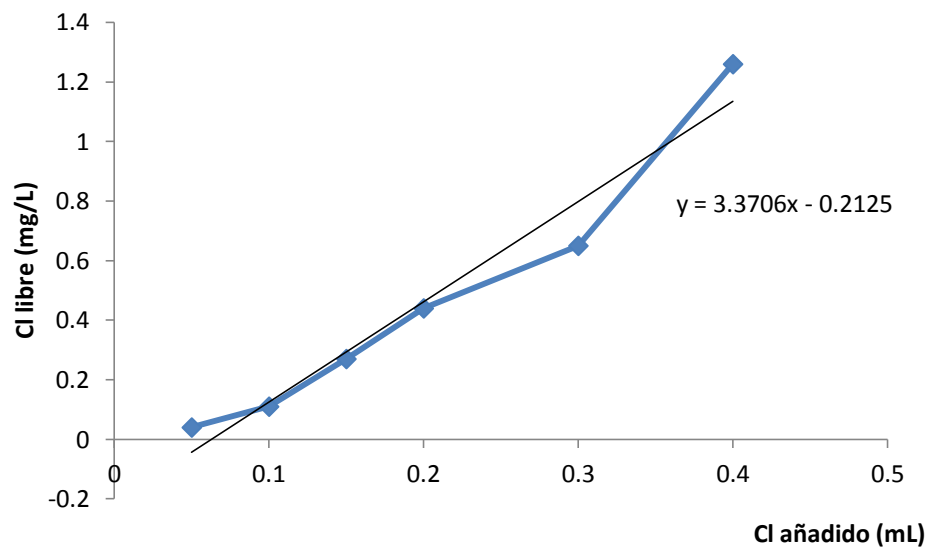


Figura 2. Curva de demanda de cloro para el pozo 2 de la ASADA de San Juan Grande.

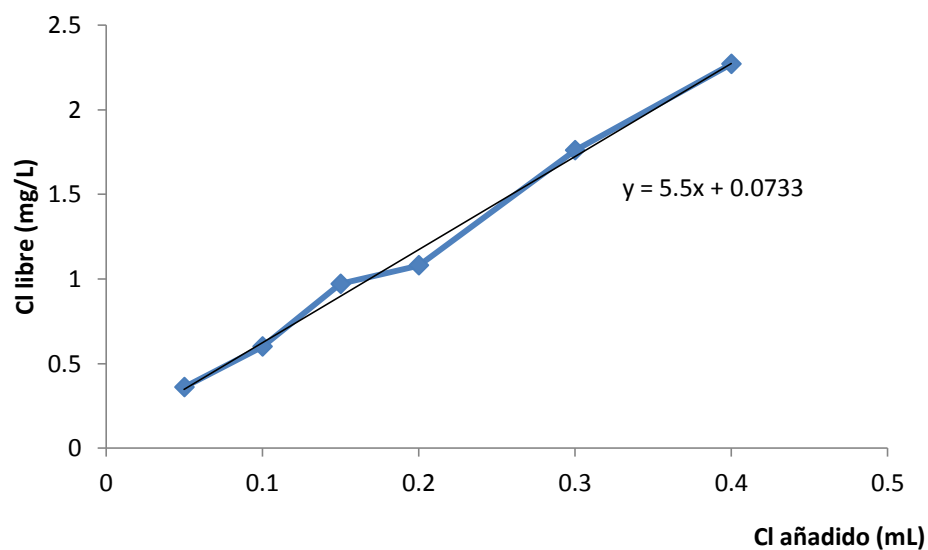


Figura 3. Curva de demanda de cloro para el pozo 3 de la ASADA de San Juan Grande.

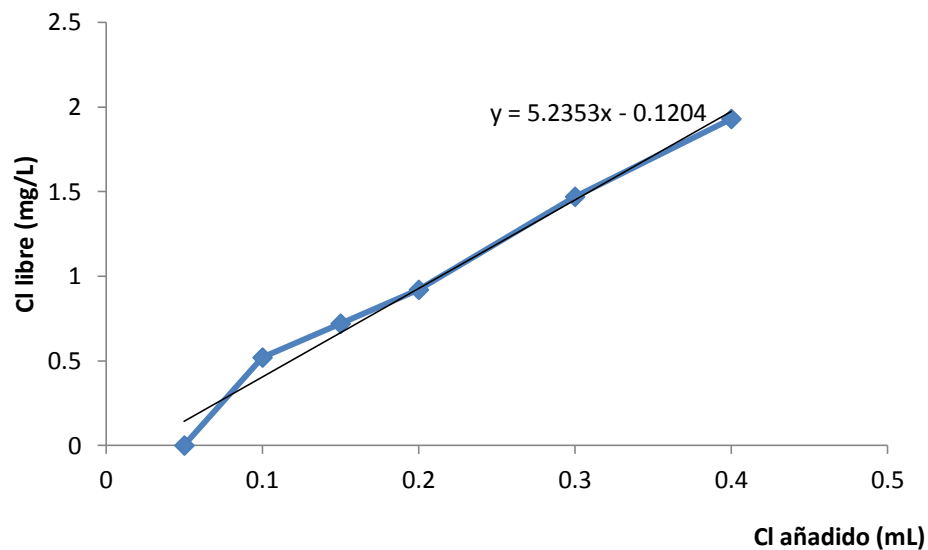


Figura 4. Curva de demanda de cloro para el pozo 4 de la ASADA de San Juan Grande.

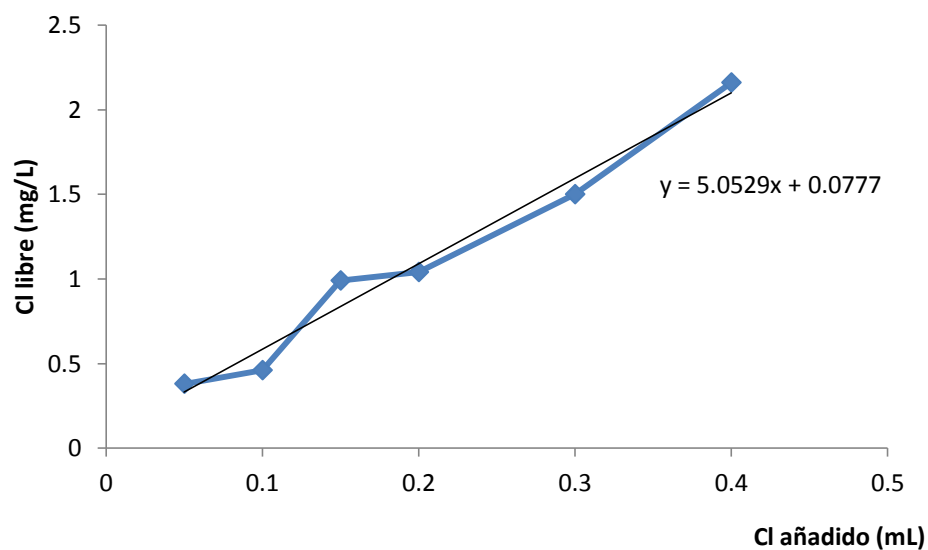


Figura 5. Curva de demanda de cloro para el pozo 5 de la ASADA de San Juan Grande.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con cinco pozos con un caudal total de 16,5 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 115 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figuras 1-5), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de San Juan Grande

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	1549.14	2875.12	11/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. Su definición se utilizó considerando el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozos	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozos	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de	Mensual	Fontanero

	bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.		
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozos	-Ejecutar una desinfección del pozo.		
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.	Semestral	Fontanero
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Pozos	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.		
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.	Anual	Fontanero
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA San Juan Grande		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 11 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de San Juan Grande se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0651 * 16.5 * \frac{604800}{1000} = 649.2702 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$649.2702 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 1317.09 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d): Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{1549.14}{0.68} = 2278.15 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{2278.15}{200} = 11.39 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Guadalupe**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia en la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios

(amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).

- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos formados por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para la obtención del mismo.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en el consumo de la misma.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.

- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuado el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de Guadalupe son las siguientes:

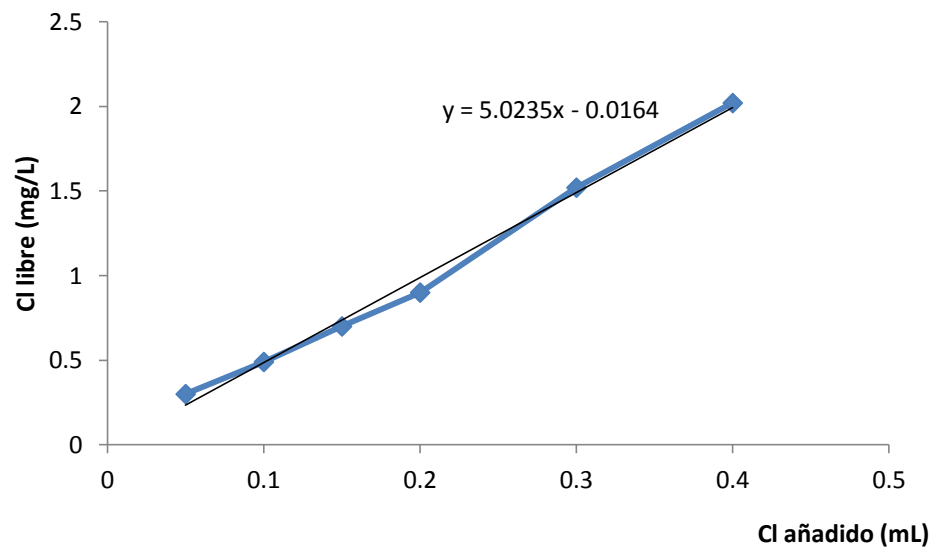


Figura 1. Curva de demanda de cloro para la naciente 1 de la ASADA de Guadalupe.

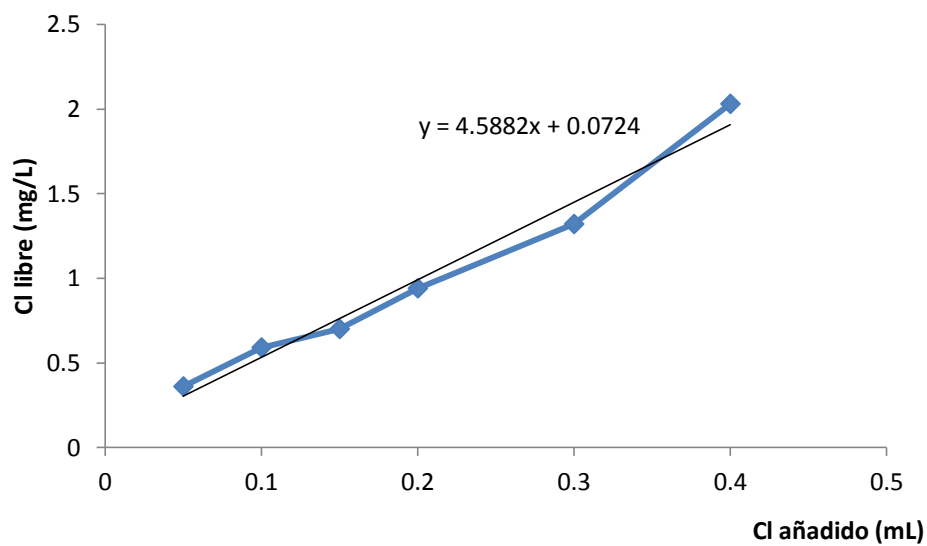


Figura 2. Curva de demanda de cloro para la naciente 2 de la ASADA de Guadalupe.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con dos nacientes con un caudal de 1,48 L/s.

- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 20 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 65% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figuras 1-2), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Guadalupe

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	102.22	215.80	1/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Nacientes	-Eliminar cualquier tipo de elemento que dificulte el ingreso del agua a la captación.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Nacientes	-Realizar un aforo de las captaciones.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de		

	las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Nacientes	-Ejecutar una desinfección de la captación.		
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.	Semestral	Fontanero
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Nacientes	-Revisar minuciosamente los alrededores de las captaciones para detectar cualquier tipo de contaminación.		
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.	Anual	Fontanero
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación

actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Guadalupe		Fecha:
Componente:		Observaciones
Naciente(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Aforo de las captaciones ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 1 pastilla ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Guadalupe se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0630 * 1.48 * \frac{604800}{1000} = 56.38 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$56.38 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 114.36 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d): Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{102.22}{0.68} = 150.32 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{150.32}{200} = 0.75 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Vivero**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios

(amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).

- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para la obtención del mismo.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.

- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan. Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de Vivero son las siguientes:

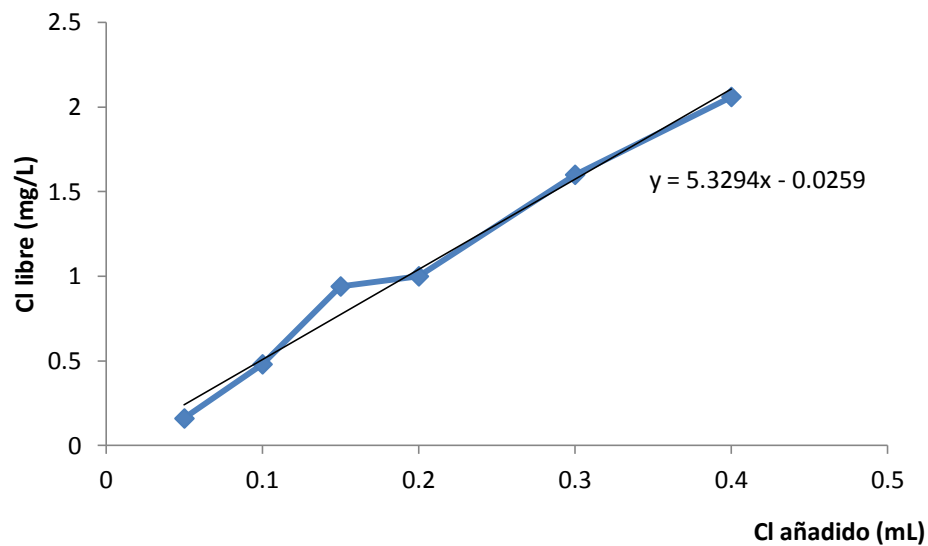


Figura 1. Curva de demanda de cloro para el pozo 1 de la ASADA de Vivero.

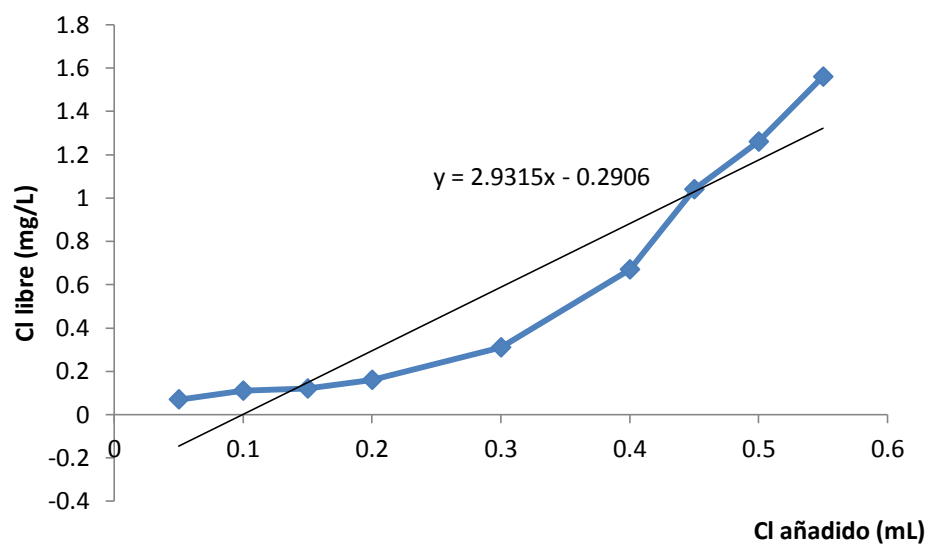


Figura 2. Curva de demanda de cloro para el pozo 2 de la ASADA de Vivero.

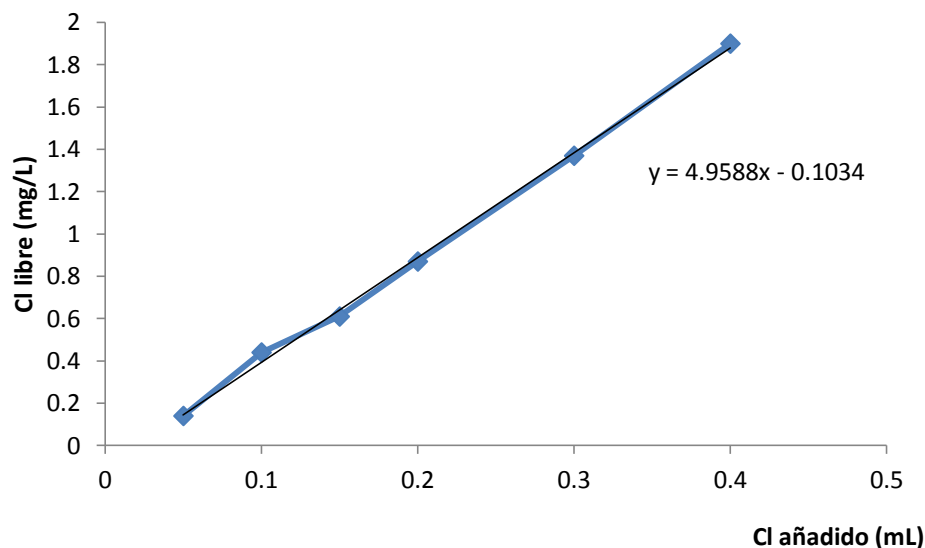


Figura 3. Curva de demanda de cloro para el pozo 3 de la ASADA de Vivero.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con tres pozos con un caudal total de 24,20 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 225 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figuras 1-3), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Vivero

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	3404.20	5572.86	25/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el

siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozos	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozos	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar		

	impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozos	-Ejecutar una desinfección del pozo.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Pozos	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada "Observaciones", el fontanero debe anotar cualquier anomalía

que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Vivero		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 11 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Vivero se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0612 * 24.2 * \frac{604800}{1000} = 895.02 \text{ g Cl}_2$$

Paso (c)

$$895.02 \text{ g Cl}_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Ca(ClO)}_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Cl}_2} = 1815.61 \text{ g Ca(ClO)}_2$$

Paso **(d)**: Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{3404.20}{0.68} = 5006.17 \text{ g}$$

Paso **(e)**

$$\frac{5006.17}{200} = 25.03 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Coyolar**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliometitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.

- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.

- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y posteriormente obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Posteriormente se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, la curvas de demanda de cloro para la ASADA de Coyolar es la siguiente:

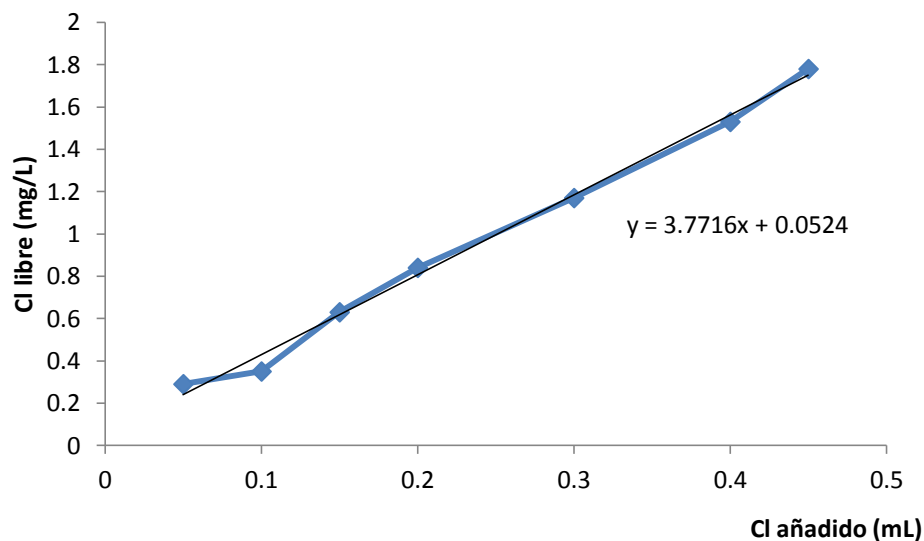


Figura 1. Curva de demanda de cloro obtenida para la ASADA de Coyolar

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con dos nacientes con un caudal total de 0,38 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 50 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figura 1), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Coyolar

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	45.00	118.59	1/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Naciente	-Eliminar cualquier tipo de elemento que dificulte el ingreso del agua a la captación.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Hipoclorador	-Adicionar 3 pastillas al equipo.	Semanal	Fontanero
Nacientes	-Realizar un aforo de las captaciones.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador		

	con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Nacientes	-Ejecutar una desinfección de la naciente.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Nacientes	-Ejecutar una inspección minuciosa para detectar cualquier anomalía.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Coyolar		Fecha:
Componente:		Observaciones
Naciente(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Aforo de las captaciones ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 1 pastilla ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Coyolar se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0656 * 0.38 * \frac{604800}{1000} = 15.09 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$15.09 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 30.61 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d):

$$\frac{30.61}{0.68} = 45.00 \text{ g}$$

Paso (e):

$$\frac{45.00}{200} = 0.22 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Santa Rita**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para la obtención del mismo.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante la cual impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de Santa Rita son las siguientes:

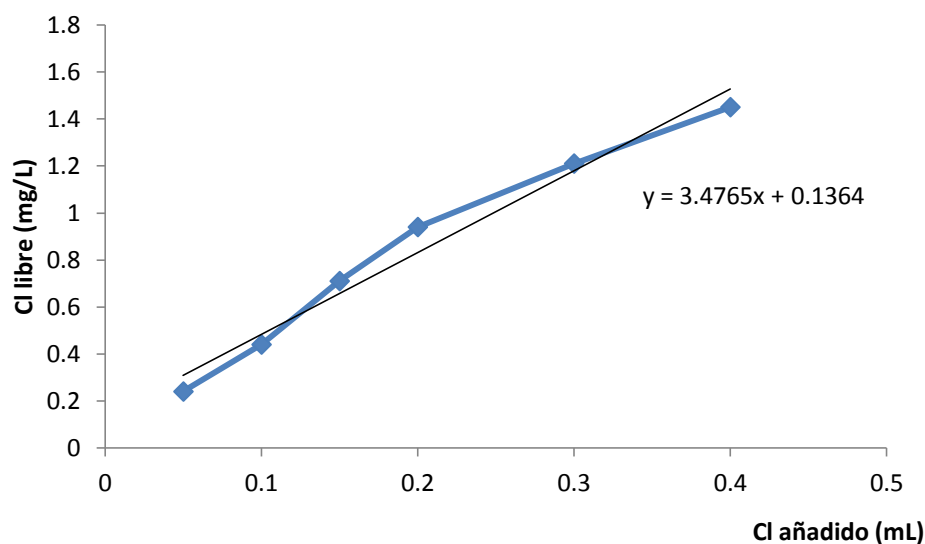


Figura 1. Curva de demanda de cloro para el pozo 1 de la ASADA de Santa Rita.

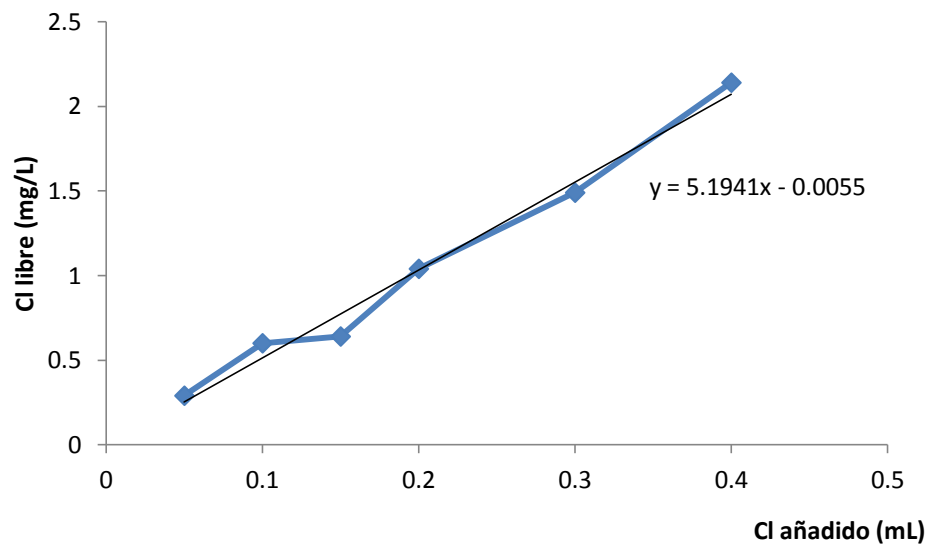


Figura 2. Curva de demanda de cloro para el pozo 2 de la ASADA de Santa Rita.

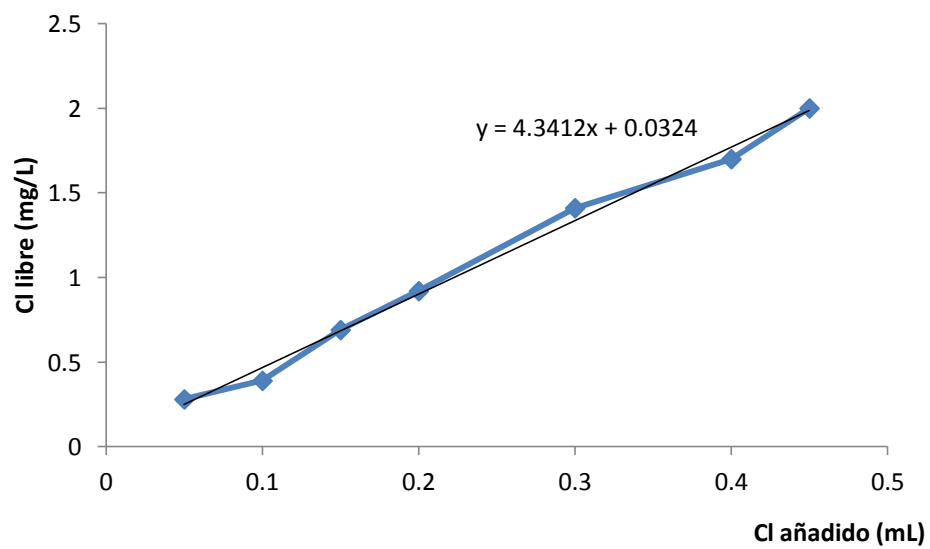


Figura 3. Curva de demanda de cloro para el pozo 3 de la ASADA de Santa Rita.

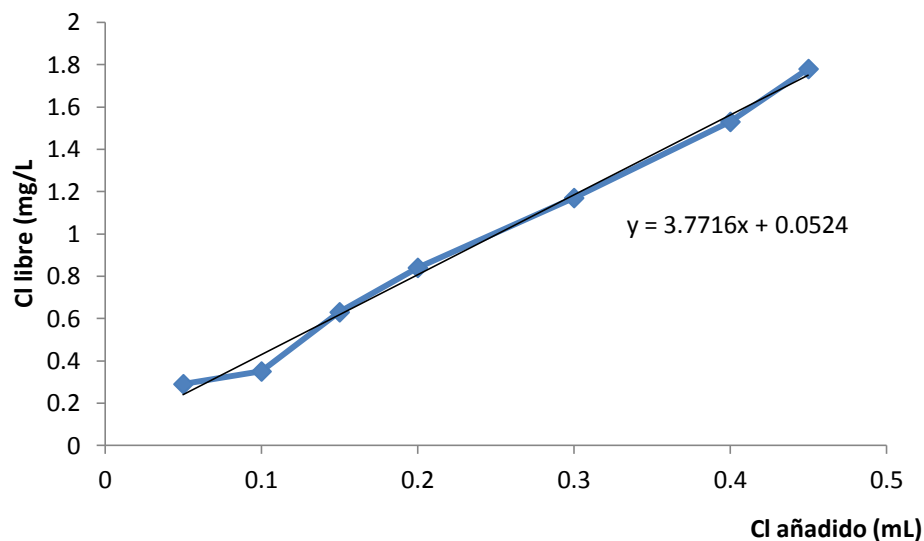


Figura 4. Curva de demanda de cloro para el pozo 4 de la ASADA de Santa Rita.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con cuatro pozos con un caudal total de 13,28 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 180 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 65% y una masa aproximada de 325 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figura 1), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Santa Rita

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	891.80	1976.48	6/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozo	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozo	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o		

	madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozo	-Ejecutar una desinfección del pozo.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Pozo	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Santa Rita		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 6 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como

mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Santa Rita se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos **(a)** y **(b)**

$$0.0471 * 13.28 * \frac{604800}{1000} = 377.96 \text{ g } Cl_2$$

Paso **(c)**

$$377.96 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 766.73 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso **(d)**: Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{891.80}{0.68} = 1311.47 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{1311.47}{200} = 6.56 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Orocú**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.

- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, la curvas de demanda de cloro para la ASADA de Orocú es la siguiente:

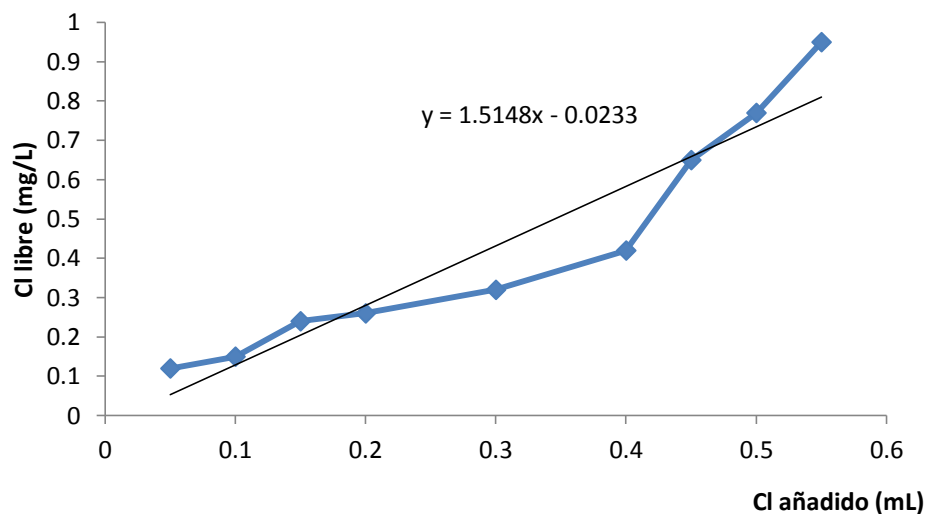


Figura 1. Curva de demanda de cloro obtenida para la ASADA de Orocú

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con un pozo con un caudal total de 10 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 100 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figura 1), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Orocú

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	2618.50	4670.86	13/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozo	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema. -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozo	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		

Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozo	-Ejecutar una desinfección del pozo.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Pozo	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Orocú		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 13 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Orocú se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.2134 * 10 * \frac{604800}{1000} = 1290.81 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$1290.81 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 2618.50 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d).

$$\frac{2618.50}{0.68} = 3850.73 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{3850.73}{200} = 13.09 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Pital-Centeno**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliometitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).

- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.

- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de Pital-Centeno son las siguientes:

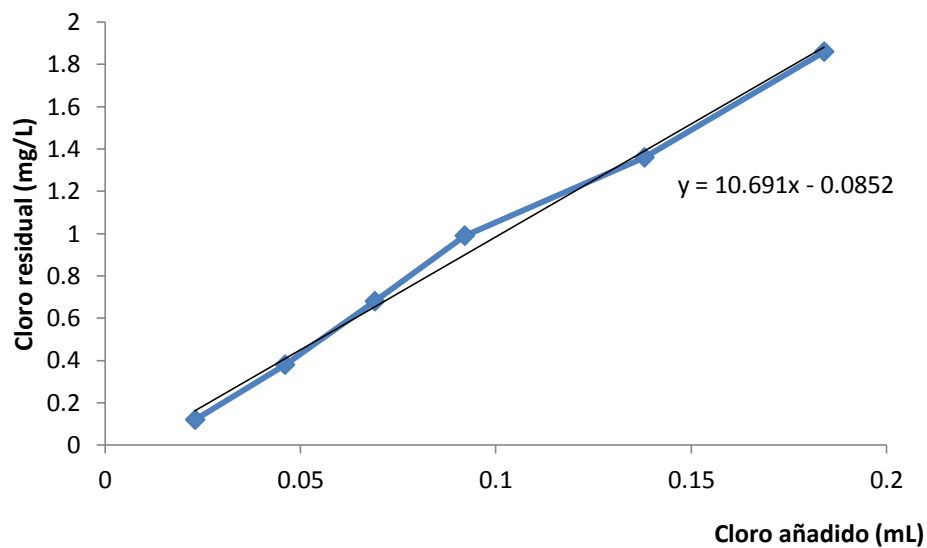


Figura 1. Curva de demanda de cloro para la fuente de la ASADA de Pital-Centeno.

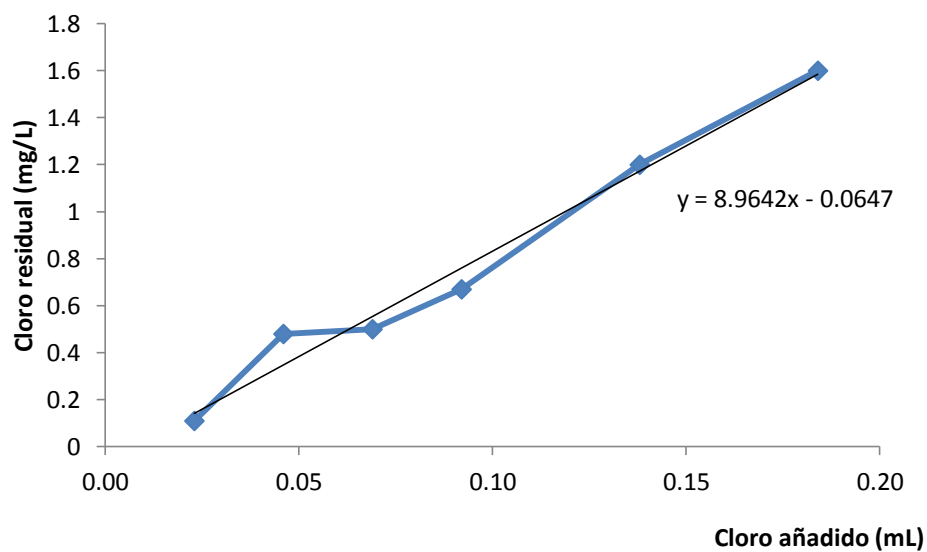


Figura 2. Curva de demanda de cloro para la muestra superficial de la ASADA de Pital-Centeno.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con una naciente y una captación de agua superficial, con un caudal total de 23 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 219 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figuras 1-2), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Pital-Centeno

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	1016.71	1808.54	5/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Nacientes y captación superficial	-Eliminar cualquier tipo de elemento que dificulte el ingreso del agua a la captación.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		

Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema. -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Nacientes	-Realizar un aforo de las captaciones.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Nacientes	-Ejecutar una desinfección de la captación.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Nacientes y	-Revisar	Anual	Fontanero

captación superficial	minuciosamente los alrededores de las captaciones para detectar cualquier tipo de contaminación.		
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada “Observaciones”, el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Pital-Centeno		Fecha:
Componente:		Observaciones
Naciente(s) o toma superficial	-Limpieza del predio ()	
	-Aforo de las captaciones ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las	

	mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 5 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de San Juan Grande se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800

segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.

- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosís preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0360 * 23 * \frac{604800}{1000} = 501.20 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$501.20 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 1016.71 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d): Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{1082.37}{0.68} = 2278.15 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{1082.37}{200} = 5.41 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Labrador**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).
- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.
- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, la curvas de demanda de cloro para la ASADA de Labrador es la siguiente:

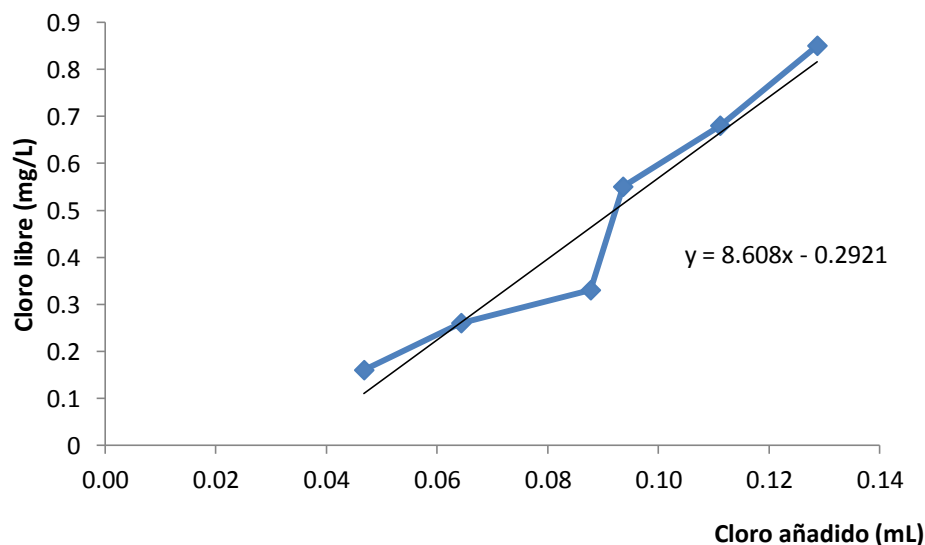


Figura 1. Curva de demanda de cloro obtenida para la ASADA de Labrador

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con siete pozos con un caudal total de 18 L/s. Sin embargo, para el cálculo de la dosificación se tomó en cuenta un único pozo.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 131 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figura 1), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Labrador

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	1519.03	2288.68	11/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Pozos	-Mantener la caseta de bombeo limpia. -Accionar las válvulas para asegurar su buen funcionamiento y la ausencia de fugas.	Diario	Fontanero

Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema. -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Pozos	-Llevar a cabo la limpieza del predio. -Revisar la caseta de bombeo, para determinar posible deterioro de sus componentes.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas. -Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Pozos	-Ejecutar una desinfección del pozo.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su		

	interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Pozos	-Revisar el equipo de bombeo, realizando ajustes necesarios y una limpieza exterior.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada "Observaciones", el fontanero debe anotar cualquier anomalía que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Labrador		Fecha:
Componente:		Observaciones
Pozo(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Funcionamiento de válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 11 pastillas ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Labrador se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.0688 * 18 * \frac{604800}{1000} = 748.82 \text{ g } Cl_2$$

Paso (c)

$$748.82 \text{ g } Cl_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Ca(ClO)_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} Cl_2} = 1519.03 \text{ g } Ca(ClO)_2$$

Paso (d)

$$\frac{1519.03}{0.68} = 2233.87 \text{ g}$$

Paso (e)

$$\frac{2233.87}{200} = 11.17 \text{ pastillas/mes}$$

- **Protocolo de Cloración ASADA de Macacona**

Introducción

La creación del presente protocolo resulta de suma importancia para la mejora de la gestión de los acueductos rurales en la zona objeto de estudio. Pretende facilitar la desinfección de las aguas utilizadas para el consumo humano, de manera que estas sean seguras, garantizando que no contengan presencia de microorganismos, ni subproductos de la cloración en ninguna parte durante su recorrido de la fuente a los hogares.

Para asegurar una mejor comprensión de los conceptos mencionados posteriormente, se presentan las siguientes definiciones, tomadas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) y Arboleda (2000):

Definiciones

- **Agentes patógenos:** Microorganismos causantes de enfermedades como bacterias (salmonellas, shigellas, vibrio comma, yersinia, *E. coli*), protozoarios (amebas, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*), virus (hepatitis, poliomelitis) y trematodos (áscaris, *Schistosoma manzoni*, *Dracunculus medinensis*).

- **Cloro libre:** Cloro que se mantiene presente en el agua una vez que se han concluido todas las reacciones químicas. Es el que cuenta con el mayor poder desinfectante.
- **Desinfección:** “Proceso físico-químico cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua por utilizar para consumo humano.”
- **Inocuidad del agua:** Agua que no ocasiona ningún riesgo significativo para su consumo.
- **Subproductos de la desinfección:** Compuestos que se forman por la reacción del cloro libre con otros compuestos orgánicos, que se conoce que son perjudiciales para la salud si son consumidos de manera prolongada.

A continuación se presentan los aspectos generales de la aplicación del protocolo, así como la metodología seguida para su obtención.

Aspectos generales de la aplicación de este protocolo

La creación principal del protocolo obedece a la operación empírica de los sistemas de desinfección en los acueductos rurales de la región Pacífico Central del país, que corresponde a una vulnerabilidad importante que impide que este aspecto de la gestión de estos acueductos sea la adecuada.

La desinfección es el paso final del tratamiento necesario para que una determinada agua se vuelva apta para el consumo humano. Esta debe ser complementada con procesos previos como la filtración, sedimentación o coagulación para garantizar la eliminación de organismos patógenos que pueden llegar a transmitir enfermedades en caso de ser ingerida, garantizando así la inocuidad y la seguridad en su consumo.

Un aspecto de suma importancia que debe ser tomado en cuenta durante este procedimiento es la selección de un desinfectante que cuente con determinadas características como las siguientes, según Arboleda (2000):

- Suficiente poder de desinfección para la destrucción o inactivación de los patógenos causantes de enfermedades.
- El consumo del agua debe ser seguro cuando finalice el tratamiento, al evitar la generación de subproductos de la desinfección que pueden aumentar la toxicidad del agua o darle un sabor desagradable.

- Costo bajo.
- Manejo sencillo.
- Su concentración en el agua debe ser medida fácilmente.
- Efecto residual para evitar posteriores contaminaciones.

Hay distintos métodos de desinfección físicos y químicos, sin embargo, el presente protocolo se concentrará en el método de la desinfección con cloro, debido a que es el método más utilizado en las ASADAS objeto de estudio.

El proceso de cloración cuenta con ventajas como su eficiencia, que alcanza porcentajes superiores al 90%, la facilidad de su aplicación y de la medición del efecto residual por medio de métodos simples y al alcance de todos. (Arboleda 2000)

Metodología

Cuando se adiciona cloro al agua, el mismo reacciona con todos los compuestos que se encuentran presentes en la misma, por lo que es necesario agregar la cantidad suficiente de cloro para que interactúe con todos estos compuestos y que posteriormente quede el denominado cloro residual, que según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S, vigente durante la aplicación del proyecto) debe mantenerse entre 0,3 y 0,6 mg/L.

El procedimiento que debe efectuarse en un laboratorio es la obtención de la curva de demanda de cloro. Esta debe ser obtenida para cada fuente individualmente y con posterioridad obtener una concentración promedio de cloro en gramos por litro para las concentraciones mínima y máxima. En este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua a clorar y el porcentaje de pureza de la pastilla de cloro a utilizar. Después se debe calcular la cantidad de pastillas, es decir la dosis óptima en gramos, que deben ser adicionadas al sistema en un período determinado para que esas concentraciones se mantengan.

Una vez efectuando el procedimiento necesario de toma de muestras y análisis en el laboratorio, las curvas de demanda de cloro para la ASADA de Macacona son las siguientes:

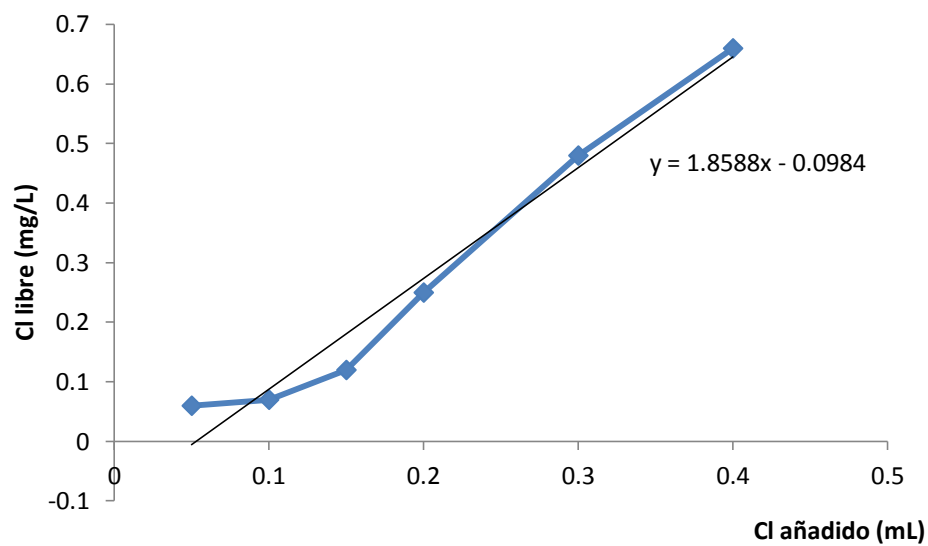


Figura 1. Curva de demanda de cloro para la naciente 1 de la ASADA de Macacona.

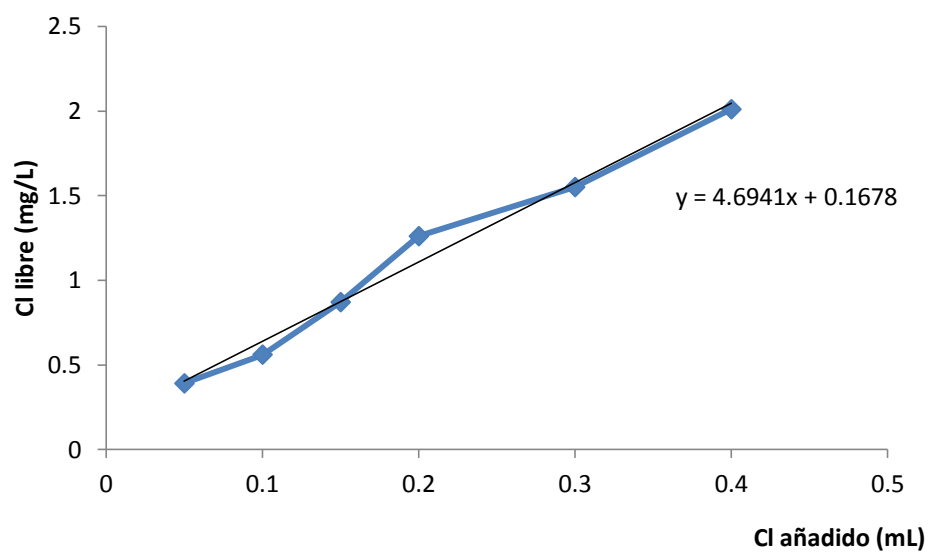


Figura 2. Curva de demanda de cloro para la naciente 2 de la ASADA de Macacona.

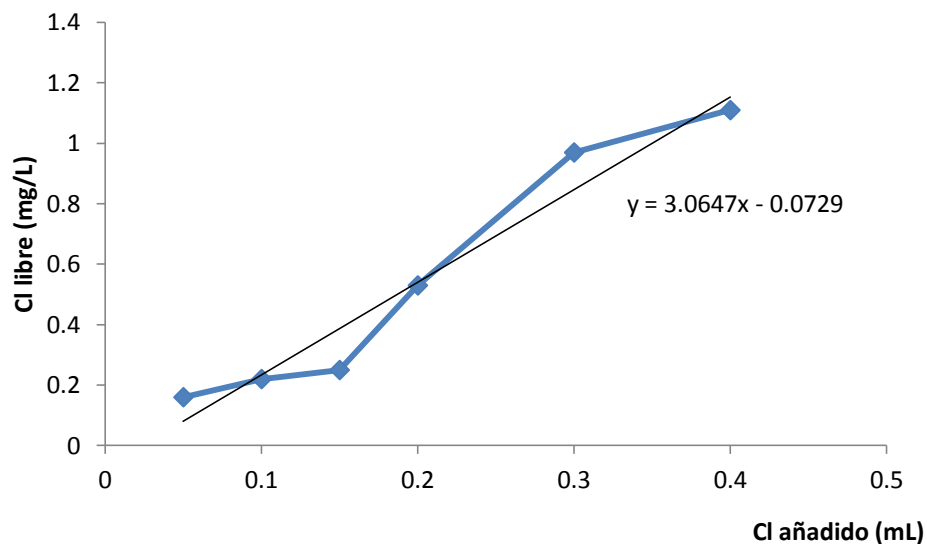


Figura 3. Curva de demanda de cloro para la naciente 3 de la ASADA de Macacona.

Definición de la dosificación

Para la definición de la dosificación es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ASADA cuenta con tres nacientes, con un caudal total de 10 L/s.
- El volumen total a clorar en el tanque de abastecimiento es de 100 m³.
- El producto utilizado para la cloración son las pastillas Accu-Tab, con una concentración de cloro al 68% y una masa aproximada de 200 g por pastilla.

Después de haber obtenido la curva de demanda de cloro práctica (Figuras 1-3), la dosificación definida es la siguiente:

Cuadro 1. Dosificación definida para la ASADA de Macacona

	0,3 mg/L	0,6 mg/L	Cantidad mínima de pastillas y frecuencia	Encargado
Dosis (g)	1294.75	2289.65	6/mes	Fontanero

Programa de mantenimiento preventivo

Se van a definir actividades de mantenimiento para cada componente del acueducto, así como su frecuencia y el responsable de las mismas, lo cual puede ser observado en el siguiente cuadro. La definición del mismo se utilizó tomando en cuenta el Reglamento de mantenimiento preventivo vigente actualmente y el manual propuesto por Conza y Páucar (2012):

Cuadro 2. Programa de mantenimiento preventivo para fuentes, tanques, redes e hipoclorador

Fuente	Actividad	Frecuencia	Responsable
Nacientes	-Eliminar cualquier tipo de elemento que dificulte el ingreso del agua a la captación.	Diario	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Registro de niveles del tanque en las horas de mayor y menor consumo.		
Redes de conducción y distribución	-Mantener un registro de las presiones en el sistema -Verificar el funcionamiento de las válvulas.		
Nacientes	-Realizar un aforo de las captaciones.	Mensual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Llevar a cabo la limpieza de los alrededores. -Verificar la integridad de las mallas de protección.		
Redes de conducción y distribución	-Recorrer la red en su totalidad para la detección de posibles fugas.		
Hipoclorador	-Verificar si los agujeros están obstruidos, si lo están, limpiarlos con una varilla de plástico o madera. -Eliminar impregnaciones calcáreas.		

	-Lavar el hipoclorador con agua y escobilla de plástico, tanto interna como externamente.		
Nacientes	-Ejecutar una desinfección de la captación.	Semestral	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Realizar una limpieza del tanque sin ingreso a su interior, mediante la válvula de limpieza.		
Redes de conducción y distribución.	-Efectuar una limpieza de los alrededores de los medidores, para que su lectura sea siempre posible.		
Nacientes	-Revisar minuciosamente los alrededores de las captaciones para detectar cualquier tipo de contaminación.	Anual	Fontanero
Tanque de almacenamiento	-Ejecutar una limpieza profunda que requiere el ingreso al tanque, para eliminar cualquier tipo de incrustación o sedimento. Es necesaria una desinfección posterior.		
Redes de conducción y distribución	-Efectuar un recorrido completo de la misma y a profundidad.		

Informe de resultados de la aplicación del protocolo

A manera de complemento a lo establecido anteriormente en el protocolo, se presenta el siguiente registro que deberá ser llenado cada vez que se efectúa un recorrido del acueducto. De esta manera se mantendrán datos actualizados acerca de la situación actual del acueducto y también del comportamiento del mismo una vez que se empiece a aplicar el protocolo. El registro debe ser llenado por el fontanero, una vez al mes. Dentro de la sección denominada "Observaciones", el fontanero debe anotar cualquier anomalía

que detecte en el sistema y en el dado caso en el que el sistema cuente con más de una fuente o tanque, debe ser identificada adecuadamente en este apartado también.

Cuadro 3. Ficha de campo que facilita la aplicación del protocolo.

ASADA Macacona		Fecha:
Componente:		Observaciones
Naciente(s)	-Limpieza del predio ()	
	-Aforo de las captaciones ()	
Tanque(s)	-Limpieza de los alrededores ()	
	-Estado de las mallas de protección ()	
	-Registro de nivel ()	
Redes	-Registro de las presiones ()	
	-Verificación del funcionamiento de las válvulas ()	
	-Presencia de fugas ()	
	-Limpieza de los alrededores de los medidores ()	
Hipoclorador	-Dosificación de 6 pastilla ()	
	-Verificar obstrucciones en los agujeros ()	
	-Efectuar limpieza general ()	

Además, se presenta la siguiente memoria de cálculo, que debe ser aplicada cuando haya alguna variación en el caudal, ya sea por cambios propios de la estación seca o lluviosa, o por la adición al sistema de una nueva fuente. Si este es el caso, cabe destacar que es necesario de una curva de demanda de cloro para esa nueva fuente por medio de un análisis de laboratorio.

Memoria de cálculo para la obtención de la cantidad mínima de pastillas

La curva de demanda de cloro brinda los gramos de cloro molecular (que es el que se transforma en el cloro libre) necesarios para la obtención de 0.3 mg/L establecidos como mínimo en la legislación vigente, que determinará también la cantidad mínima de pastillas que deben ser adicionadas al sistema.

Para en el caso de la ASADA de Macacona se obtiene lo siguiente:

- a) Se debe multiplicar los mg/L obtenidos de la curva de demanda de cloro (se puede solicitar el dato al laboratorio encargado de la elaboración de la misma, o los presentados en el presente protocolo si llega a ocurrir una variación en el caudal) por el caudal total a clorar en L/s.
- b) Ese dato se multiplica por la cantidad de segundos en los que tarda una pastilla en disolverse, que según Guevara (2015) es de una pastilla por semana (604800 segundos). Luego, se divide entre 1000 para que el dato esté expresado en gramos.
- c) Lo obtenido son los gramos de cloro libre, que deben ser convertidos a los gramos de hipoclorito de calcio (ingrediente activo de las pastillas), por lo que se debe multiplicar por la fracción 142/70.
- d) Luego se debe dividir entre la fracción del porcentaje de pureza de la pastilla, es decir, 0.68. Esto es definido como **dosis preliminar**.
- e) Por último, se divide entre la masa de cada pastilla, es decir, 200 gramos. Este es el **cálculo final de dosificación**.

Lo anteriormente descrito puede observarse a continuación, siendo efectuado para un único pozo para ilustrar los pasos. Sin embargo, cabe destacar que a partir de dos fuentes es necesario obtener el promedio para que el resultado sea representativo.

Pasos (a) y (b)

$$0.2143 * 10 * \frac{604800}{1000} = 1296.28 \text{ g Cl}_2$$

Paso (c)

$$1296.28 \text{ g Cl}_2 * \frac{142 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Ca(ClO)}_2}{70 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{Cl}_2} = 2629.59 \text{ g Ca(ClO)}_2$$

Paso **(d)**: Los gramos expresados en esta ecuación son el promedio obtenido después de haber hecho los pasos (a), (b) y (c) para cada una de las fuentes.

$$\frac{2629.59}{0.68} = 1294.75 \text{ g}$$

Paso **(e)**

$$\frac{1294.75}{200} = 6.47 \text{ pastillas/mes}$$