	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:1 de 8

16

FECHA	jueves, 18 de junio de 2020
--------------	-----------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
------------------------	--------------------

TIPO DE DOCUMENTO	Pasantía
--------------------------	----------

FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------


PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental
---------------------------	----------------------

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Martínez Parra	Daniel Felipe	1069759821

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Suarez Pulido	Dalia Xiomara

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Formulación del protocolo para el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Pekín, Fusagasugá - Cundinamarca.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
08/06/2020	86

DESCRITORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Protocolo	Protocol
2. Recurso hídrico	Hidric resource
3. Unidad de filtrado	Filter unit
4. Uso eficiente y ahorro del agua	Efficient use and saving of water
5. Mantenimiento	Maintenance
6. Operatividad	Operability

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA:3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS


(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen

El uso eficiente y ahorro del agua se ha convertido en una necesidad crucial a nivel mundial para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico ya que este es esencial para la vida, el desarrollo y el ambiente. Por consiguiente, las entidades municipales prestadoras del servicio de acueducto según la ley 373 de 1997 deben elaborar y adoptar actividades y proyectos que conlleven al uso eficiente y ahorro del agua. En este documento, se desarrollaron y plantearon protocolos de mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico para la planta de tratamiento de agua potable Pekín, ubicada en el Municipio de Fusagasugá y operada por la Empresa de Servicios Públicos Emserfusa E.S.P. Entre los protocolos se incluyó la realización del Test de jarras y el mantenimiento correctivo de las unidades y equipos necesarios para su ejecución. Así mismo se formularon protocolos asociados con el mantenimiento de las unidades operativas de la bocatoma, cámara de llegada, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, sistema de cloración, unidades de pos – alcalinización, unidades de pre – alcalinización y tanque de almacenamiento. Los protocolos definen de forma clara las responsabilidades, de cada uno de los funcionarios de la planta en la operación y mantenimiento preventivo y correctivo de cada una de las unidades operativas, de tal forma que se garantice la reducción de las pérdidas del recurso hídrico en la planta.

Abstract

The efficient and time-consuming use of water has become a crucial need worldwide to guarantee the sustainability of the water resource, since it is essential for life, development and the environment. Consequently, the municipal entities that provide the aqueduct service according to “Ley 373 de 1997” must prepare and adopt activities and projects that lead to the efficient use and saving of water. In this document, protocols for the maintenance, operation, efficient use and saving of water resources were developed and proposed for the Pekín drinking water treatment plant, located in Fusagasugá and operated by the Emserfusa E.S.P. The protocols included carrying out the jar-test and the corrective maintenance of the units and equipment necessary for its execution. Likewise, protocols associated with the maintenance of the operative units of the intake, arrival chamber, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, chlorination system, post-alkalinization units, pre-alkalinization units and storage tank were formulated. The protocols clearly define the responsibilities of each of the plant's officials in the operation and preventive and corrective maintenance of each of the operating units, so as to guarantee the reduction of losses of water resources in the plant.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:4 de 8

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:


Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.coE-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:5 de 8

(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:


Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI __NO X.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.


LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:6 de 8

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:7 de 8

CreativeCommons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia CreativeCommons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (Ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Formulación del protocolo para el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Pekín, Fusagasugá - Cundinamarca.pdf	Texto
2. Protocolo de operación y mantenimiento, bocatomas.pdf	Tabla, texto
3. Protocolo de operación y mantenimiento, coaguladores.pdf	Tabla, texto
4. Protocolo de operación y mantenimiento, floculadores.pdf	Tabla, texto
5. Protocolo de operación y mantenimiento, sedimentadores.pdf	Tabla, texto
6. Protocolo de operación y mantenimiento, filtros.pdf	Tabla, texto
7. Protocolo de operación y mantenimiento, sistema de cloración.pdf	Tabla, texto
8. Protocolo de operación y mantenimiento, unidades de pre y	Tabla, texto

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2



**MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAar113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA:8 de 8**

pos alcalinización.pdf	
9. Protocolo de operación y mantenimiento, tanque de almacenamiento.pdf	Tabla, texto
10. Protocolo de mantenimiento y limpieza, unidades de dosificación y bombeo.pdf	Tabla, texto
11. Protocolo de mantenimiento y limpieza, equipos y máquinas.pdf	Tabla, texto
12. Protocolo de recibimiento de turno.pdf	Tabla, texto
13. Protocolo test de jarras.pdf	Tabla, texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Martínez Parra Daniel Felipe	

21.1-51.20

Formulación del protocolo para el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Pekín, Fusagasugá - Cundinamarca.

Daniel Felipe Martínez Parra

Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Fusagasugá

2020

Formulación del protocolo para el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Pekín, Fusagasugá - Cundinamarca.

Daniel Felipe Martínez Parra

Tutor interno. Dalia Xiomara Suarez Pulido

Bióloga. Magister en Ingeniería Ambiental

Tutor externo. Claudia Andrea Correa Sánchez

Microbióloga. Jefe División Plantas de Tratamiento, Emserfusa E.S.P

Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Fusagasugá

2020

Dedico este documento a las personas fundamentales en el planteamiento del protocolo sobre el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico, como al jefe de la división de plantas de tratamiento, y a cada una de las personas que hizo posible el desarrollo del proyecto de pasantía.

Agradezco a la Empresa de Servicios Públicos Emserfusa E.S.P en el Municipio de Fusagasugá, por permitirme realizar mis pasantías profesionales para la obtención de mi título como Ingeniero Ambiental. De igual manera, a los operarios de la planta de Pekín y auxiliares de laboratorio quienes brindaron la información, además de su apoyo en la formulación y revisión del documento.

El uso eficiente y ahorro del agua se ha convertido en una necesidad crucial a nivel mundial para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico ya que este es esencial para la vida, el desarrollo y el ambiente. Por consiguiente las entidades municipales prestadoras del servicio de acueducto según la ley 373 de 1997 deben elaborar y adoptar actividades y proyectos que conlleven al uso eficiente y ahorro del agua. En este documento, se desarrollaron y plantearon protocolos de mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico para la planta de tratamiento de agua potable Pekín, ubicada en el Municipio de Fusagasugá y operada por la Empresa de Servicios Públicos Emserfusa E.S.P. Entre los protocolos se incluyó la realización del Test de jarras y el mantenimiento correctivo de las unidades y equipos necesarios para su ejecución. Así mismo se formularon protocolos asociados con el mantenimiento de las unidades operativas de la bocatoma, cámara de llegada, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, sistema de cloración, unidades de pos – alcalinización, unidades de pre – alcalinización y tanque de almacenamiento.

Los protocolos definen de forma clara las responsabilidades, de cada uno de los funcionarios de la planta en la operación y mantenimiento preventivo y correctivo de cada una de las unidades operativas, de tal forma que se garantice la reducción de las pérdidas del recurso hídrico en la planta.

Planteamiento del problema	1
Justificación	8
Objetivos	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos	11
Marco referencial	12
Marco conceptual.....	12
Marco teórico.....	14
Generalidades del proceso de tratamiento de agua potable	19
Marco legal	20
Diseño metodológico	23
Fase 1: Diagnostico de las unidades operativas de la planta.	25
Fase 2: Diagnostico de equipos y protocolos de laboratorio para la caracterización del agua.	26
Fase 3: Formulación de los procedimientos y actividades, para el mantenimiento, lavado y operación de las unidades del sistema de tratamiento.	29
Fase 4: Formulación del protocolo de uso y ahorro eficiente del recurso hídrico.	29
Resultados y discusión	31
Descripción general de los procesos de la planta Pekín	31
Puntos críticos de pérdidas del recurso hídrico en el sistema operativo, y en las actividades de operación de la planta.	41
Perdidas del recurso hídrico en la planta Pekín	43
Protocolo de mantenimiento, lavado y operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico en la planta Pekín.....	44
Diagnostico final	47
Conclusiones	48
Recomendaciones	51
Referencias	58
Anexos	63

Figura. 1 Informe de gestión II semestre 2019, Emserfusa E.S.P - Resultados IRCA presentados en la página del Instituto Nacional de Salud a la fecha (03/07/2019).	6
Figura. 2 Localización Vereda Pekín. Secretaria de planeación de Fusagasugá (2019).....	23
Figura. 3 Ubicación planta de tratamiento de agua potable, Pekín. Emserfusa E.S.P (2019).	24
Figura. 4 Flujograma para la determinación de dosis óptima. López, A.C & Jiménez, B. F. (2016).....	28
Figura. 5 Planta de tratamiento de agua potable Pekín. Martínez (2020).	31
Figura. 6 Procedimientos de potabilización de agua en la planta de tratamiento Pekín. Martínez (2020).....	32
Figura. 7 Dosificador de Sulfato de Aluminio granulado tipo A, planta Pekín. Martínez (2020).	33
Figura. 8 Polímero catiónico (PAC), planta Pekín. Martínez (2020).	34
Figura. 9 Equipo dosificador de polímero catiónico (PAC), planta Pekín. Martínez (2020).	34
Figura. 10 Bomba dosificadora de PAC, planta Pekín. Martínez (2020).	35
Figura. 11 Cuarto de cloración, planta Pekín. Martínez (2020).....	37
Figura. 12 Tanque de almacenamiento, planta Pekín. Martínez (2020).	40
Figura. 13 Sistema de drenaje ó desagüe de filtros, planta Pekín.	42
Figura. 14 Avería en válvula de cierre; unidad de filtrado, planta Pekín. Martínez (2020).	42
Figura. 15 Accesorios y válvulas hidráulicas con presencia de averías y fugas, planta Pekín. Martínez (2020).	42
Figura. 16 Tuberías con presencia de fugas o averías, planta Pekín. Martínez (2020).	43
Figura. 17 Equipo de jarras, planta Pekín. Martínez (2020).	46
Figura. 18 Esquema de un lecho de secado de lodos. Tilley et al. (2014).	55
Figura. 19 Planos de proyección, proyecto Parque del Agua. Martínez (2020).	57
Figura. 20 Método de titulación para análisis de alcalinidad planta Pekín. Martínez (2020).....	64
Figura. 21 Formato 800-F-02, registro de parámetros de control, determinación óptima de coagulantes/floculantes, prueba de jarras, planta Pekín. Martínez (2020).	67
Figura. 22 Solución patrón al 1%; compuesta de Sulfato de Aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃ Tipo A, Policloruro de Aluminio (PAC), además de polímero catiónico (EXRO 626) al 0,01%, laboratorio planta Pekín. Martínez (2020).	67
Figura. 23 Patrones de lectura de color, planta Pekín. Martínez (2020).....	67
Figura. 24 Equipo centrifuga para medición de color, planta Pekín. Martínez (2020).....	67
Figura. 25 Turbidímetro digital HACH 2100, planta Pekín. Martínez (2020).	68
Figura. 26 pH - metro en solución estabilizadora Cloruro de Potasio (KCL), planta Pekín. Martínez (2020).	68
Figura. 27 Sistema de bombeo, planta Pekín. Martínez (2020).....	68
Figura. 28 Tablero de control del sistema de bombeo, planta Pekín. Martínez (2020).	68
Figura. 29 Generador eléctrico, planta Pekín. Martínez (2020).	69
Figura. 30 Válvulas, planta Pekín. Martínez (2020).	69

Figura. 31 Operario de turno y auxiliar de laboratorio en la caracterización del agua cruda, planta Pekín. Martínez (2020).....	viii 69
Figura. 32 Vertedero de aforo, planta Pekín. Martínez (2020).....	69
Figura. 33 Bodega de almacenamiento de sustancias químicas, planta Pekín. Martínez (2020).	69
Figura. 34 Salón de dosificación de sustancias química, planta Pekín. Martínez (2020.).....	69
Figura. 35 Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) empleado para el tratamiento de agua de agua cruda, planta Pekín. Martínez (2020).....	69
Figura. 36 Floculadores pantallas horizontales, planta Pekín. Martínez (2020).....	70
Figura. 37 Floculadores hidráulicos de flujo vertical tipo Alabama, planta Pekín. Martínez (2020).....	70
Figura. 38 Mantenimiento y lavado de floculadores, planta Pekín. Martínez (2020).	71
Figura. 39 Desinfección con hipoclorito de sodio al 10%, floculadores planta Pekín. Martínez (2020).....	71
Figura. 40 Unidades de sedimentación, planta Pekín. Martínez (2020).	71
Figura. 41 Módulos de sedimentación tipo colmena, planta Pekín. Martínez (2020).	71
Figura. 42 Lavado diario de los módulos de sedimentación tipo colmena, planta Pekín. Martínez (2020).....	71
Figura. 43 Módulos de sedimentación tipo colmena vacíos, en estado de limpieza y mantenimiento, planta Pekín. Martínez (2020).....	71
Figura. 44 Filtros, planta Pekín. Martínez (2020).....	72
Figura. 46 Operatividad de la válvula de salida en los filtros, planta Pekín. Martínez (2020).....	72
Figura. 47 Canaleta de lavado de filtros, planta Pekín. Martínez (2020).	72
Figura. 48 Lavado de filtros, planta Pekín. Martínez (2020).....	73
Figura. 49 Válvula de entrada y salida de agua en los filtros, planta Pekín. Martínez (2020).	73
Figura. 50 Fumigación de filtros con hipoclorito de sodio al 10%, planta Pekín. Martínez (2020).	73
Figura. 51 Compresor de aire, planta Pekín. Martínez (2020).....	73
Figura. 52 Cilindro de cloración en la respectiva báscula, planta Pekín. Martínez (2020).	73
Figura. 53 Cierre de cilindro de cloro con llave 800, planta Pekín. Martínez (2020).	73
Figura. 54 Cilindros de cloro gaseoso, planta Pekín. Martínez (2020).....	74
Figura. 55 Clorador, planta Pekín. Martínez (2020).....	74
Figura. 56 Eyector, planta Pekín. Martínez (2020).....	74
Figura. 57 Medidor de cilindros de cloración, planta Pekín. Martínez (2020).	74
Figura. 58 Tanque de pos - alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).	74
Figura. 59 Cuarto de pos - alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).	74
Figura. 60 Hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$, producto alcalinizante, planta Pekín. Martínez (2020).	75
Figura. 61 Cámara de llegada al tanque de pos - alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).	75

Lista de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de cloro en los procesos de desinfección de agua potable.
Martínez. (2020) 38

Tabla 2. Descripción hidráulica de la planta..... 40

El uso ineficiente y pérdida del recurso hídrico es una problemática que se ha intensificado por diversas actividades como el cambio climático, la agricultura, la ganadería intensiva en las partes altas, medias y bajas de las cuencas hidrográficas, además de la industrialización y comercio extensivo; derivados del crecimiento demográfico el cual está aumentando la demanda del recurso hídrico.

La Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá “Emserfusa E.S.P”, ofrece a los usuarios agilidad, transparencia y excelencia mediante la presentación continua de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo; generando así un equilibrio ambiental y rendimientos económicos suficientes para atender los crecimientos e inversiones sociales, y buscar el logro de sus objetivos enfocados en garantizar el suministro de agua potable a los usuarios, con calidad, continuidad, oportunidad y conservación. Así como la de realizar la recolección, transporte, disposición y tratamiento final de las aguas residuales generadas en el casco urbano del Municipio, y la de prestar de forma óptima y oportuna el servicio domiciliario de aseo en todos sus componentes.

La pasantía se realiza dentro del proceso operativo misional que lidera el jefe de la división de acueducto de Emserfusa E.S.P; donde se llevan a cabo los procedimientos relacionados con las garantías en la prestación del servicio y suministro de agua potable contemplados en la ley 142 de 1994 como lo son: captación, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte del recurso hídrico. Asimismo, la dependencia de acueducto realiza la caracterización del recurso hídrico

donde se incluyen análisis fisicoquímicos, con la finalidad de garantizar las dosificaciones óptimas, mediante la adición adecuada de coagulantes y floculantes. También se tiene en cuenta por parte de la división, el diagnóstico, evaluación, formulación y seguimiento de los programas, protocolo y manuales encaminados a la conservación, uso eficiente y ahorro del agua como lo determina la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, en los estatutos y normativas vigentes. xi

En la actualidad Emserfusa E.S.P está ejecutando acciones y proyectos en cuanto a la ampliación de la capacidad hidráulica de la planta, programas de uso eficiente y ahorro del agua en sistemas de captación y conducción; como también en la búsqueda de actividades que generen un impacto positivo en la eficiencia de la potabilización del recurso hídrico. Como una fase preliminar en la formulación de medidas correctivas para la pérdida del recurso hídrico en la planta, se capacitó al personal en el manejo y conservación de este recurso. Así mismo se establecieron algunas medidas o actividades obligatorias para el rehusó, el mantenimiento y lavado de cada uno de los sistemas de tratamiento de agua potable. A partir del diagnóstico y la consecución de información se formularon los protocolos para minimizar las pérdidas en cada una de las unidades operativas de la planta.

Por otro lado, el presente documento de pasantía enfatiza y facilita las definiciones y responsabilidades tanto preventivas como correctivas en la operación y mantenimiento de la planta, con la finalidad de generar el uso eficiente y ahorro del agua; atendiendo a las principales necesidades de conservación y distribución a los usuarios que se les brinda el servicio de acueducto en el Municipio de Fusagasugá.

Planteamiento del problema

Emserfusa, actualmente no cuenta con un manual de procedimientos adecuados para la intervención y mantenimiento de las unidades operativas en la planta de tratamiento de agua potable Pekín. Además, es mínima la capacitación de los operarios en el mantenimiento y uso adecuado de los sistemas operativos de la planta, como de los equipos de laboratorio para definir las dosificaciones óptimas en el tratamiento y caracterización del agua cruda. Por tal motivo, se hace necesaria la realización de capacitaciones continuas referentes a actividades técnico operativas, con la finalidad de garantizar el tratamiento del agua cruda, dando así cumplimiento a los estándares de calidad establecidos por la legislación colombiana.

En las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable se evidencian dos etapas: producción y distribución; en las cuales se generan diferencias en el volumen de agua de ingreso y salida, denominadas pérdidas, las cuales son originadas por la falta de discernimiento y gestión administrativa, además de la deficiencia en la realización constante del mantenimiento de las unidades operativas, cambio de equipos y tecnificación de la planta.

En el lavado y operatividad de las unidades de sedimentación y filtración, como también; en pérdidas por fugas en las tuberías averiadas u obsoletas con las que cuenta la planta Pekín, se generan pérdidas en un volumen aproximado de **285,186 m³** lo cual

representa un **29%** del recurso hídrico perdido comparado con la capacidad hidráulica de la planta que actualmente es de **983,402 m³**, y la cual cumple con un tiempo de retención hidráulica (TRH) total de **1.8 horas**. Además, la falta de conocimiento en el uso adecuado de ciertos equipos de laboratorio por parte de algunos operarios; radica en la falta de capacitación de operatividad y uso correctivo de dichos equipos e instrumentos por parte de los directivos. Lo expuesto anteriormente, podría ocasionar pérdidas de sustancias químicas empleadas para tal fin; al no analizar y comprender de forma correcta los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas por parte de los operarios. Por tal razón, es primordial centrarse en las acciones de uso eficiente y ahorro del agua en los sistemas operativos, como de la optimización y aplicación correcta de sustancias químicas empleadas para el tratamiento del agua cruda.

Por otro lado, en las unidades operativas donde se presentan mayores problemáticas por la falta de conocimiento y capacitación a los operarios de planta; es en el monitoreo y verificación en los procesos de floculación, manteamiento y lavado de filtros. En el proceso de floculación, en muchas ocasiones los operarios no tienen en cuenta que existe mala formación del floc o falta de peso de este, además de la presencia de grandes velocidades en los sistemas operativos continuos, que puedan romper el floc por la presencia de cambios bruscos en las velocidades de los caudales iniciales, generando un rompimiento de dichas partículas que pueden atravesar el filtro y alterar la calidad del agua producida. Así mismo, en el mantenimiento y lavado de los filtros se debe intervenir, aplicando un flujo suficiente de agua potable para remover el lecho filtrante y

producir el frote entre los granos del mismo, desechando el material removido a través de las canaletas de lavado; en este procedimiento se deben desocupar por completo ocho filtros con los que cuenta la planta al abrir el desagüe; generado pérdidas del recurso hídrico en un volumen de **236,980 m³** en cuatro (4) días correspondientes al tiempo total del mantenimiento, tanto de los sedimentadores como de las unidades de filtración de agua; lo que representa un **24%** de las pérdidas totales. Por lo que se hace necesario, plantear nuevas prácticas y recomendaciones a los funcionarios de la planta para la recirculación del agua anticipado al lavado y mantenimiento de los filtros y así, disminuir en un gran porcentaje las pérdidas totales de agua que se presentan en la planta Pekín.

Por otra parte, las consecuencias sociales, ambientales y económicas que se podrían asociar con la presencia de fallas en algunas unidades de tratamiento de la planta Pekín; generarían problemas de salud pública de los usuarios de la entidad; debido a las posibles filtraciones de sólidos suspendidos y disueltos en el agua tratada, lo que ocasionaría un peligro de infección parasitaria, diarrea hemorrágica, e insuficiencia renal, epidemias y posiblemente brotes esporádicos; por medio del contacto directo con la materia fecal y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida, por la presencia de bacterias como *Shigella*, *Escherichia coli*, *Vibrio* y *Salmonella*, y así mismo con la presencia de protozoos como *Entamoeba*, *Giardia* y *Cryptosporidium*, entre otros microorganismos. Además, se podrían ocasionar daños a los tejidos de forma corrosiva del tracto gastrointestinal por ingestión, enfermedades como el cáncer, la diabetes, Parkinson y el

Alzheimer, a raíz del aumento elevado de cloro gaseoso, aluminio, hierro y nitritos residuales en el agua potable, que se podrían ver evidenciados por el incumplimiento de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de la legislación colombiana, en el Decreto 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007, donde se incluye el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), el cual tiene la finalidad de determinar el grado de incidencia negativa en algunos parámetros que se utilizan en el debido proceso.

Se debe tener en cuenta, que la división de plantas de tratamiento de agua potable de la empresa, emplea sustrato definido (readycult) para el análisis de microorganismos por medio de la presencia o ausencia, debido a que no se cuenta en los laboratorios de análisis fisicoquímicos con ciertos equipos necesarios para el estudio microbiológico detallado, como por ejemplo el contador de colonias. El proceso se realiza tomando una muestra de 100 ml de agua y adicionando el sustrato definido, posteriormente se incuba la muestra durante un tiempo de 36 horas a una temperatura preestablecida; determinando así la ausencia o presencia de microorganismos. Se debe recalcar que sin duda el agua cruda captada presenta cierto tipo de microorganismos como lo son coliformes totales y fecales, que luego son removidos en el proceso de desinfección de la planta.

Igualmente, los métodos empleados para el tratamiento de agua son fundamentados a partir del diagnóstico y evaluación de las necesidades y capacidades tanto del sector y ubicación de la planta, como también de las condiciones fisicoquímicas y

microbiológicas que presenta el agua cruda a captar, con la finalidad de garantizar el funcionamiento eficaz de las medidas de control establecidas para abordar la gestión cotidiana de la calidad del agua apta para consumo humano, dando cumplimiento a la normatividad vigente. Es por eso que Emserfusa E.S.P y su planta de tratamiento de agua potable Pekín, emplean métodos eficientes y de calidad para la protección de la salud pública, manteniendo un IRCA menor o igual a 5% sin riesgo, en la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada a los usuarios de acuerdo con la normatividad vigente; evidenciado en el informe de gestión del segundo semestre del 2019, remitirse a la figura 1, y además cuenta con infraestructura y adecuación desde la captación del recurso, como su conducción, unidades de tratamiento, embalses de almacenamiento y sistemas de distribución aptos para tal fin. El efecto que conlleva una inestable, infraestructura, diseño, operación y mantenimiento; como también la aplicación de métodos ineficientes en el tratamiento y potabilización del agua, tienen una grave repercusión en la salud de las personas, a raíz de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y pueden desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Además exponer a la enfermedad a numerosas personas antes de que se detecte la contaminación microbiana relacionada con la contaminación o los métodos de tratamiento inadecuados del agua para consumo humano, produciendo consecuencias sociales y económicas.

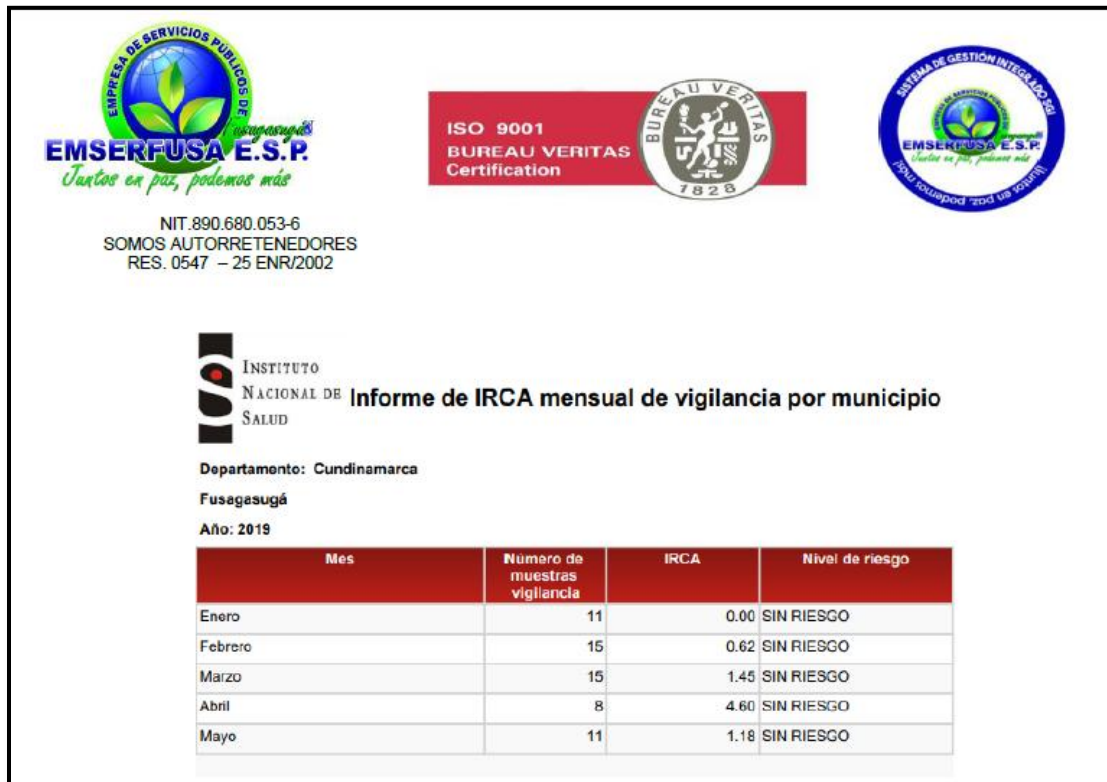


Figura. 1 Informe de gestión II semestre 2019, Emserfusa E.S.P - Resultados IRCA presentados en la página del Instituto Nacional de Salud a la fecha (03/07/2019).

El mantenimiento y/o ajustes de equipos de plantas de tratamiento de agua debe ser implementado continuamente, con la finalidad de garantizar una caracterización idónea y eficiente del recuso hídrico para su posterior tratamiento. Así mismo, los equipos, instrumentos y materiales empleados o ajustados deben cumplir con una serie de especificaciones de calidad y seguridad debidamente certificados, efectuados por medio del fabricante u organizaciones legales, con la finalidad de asegurar un monitoreo y análisis independiente de los posibles riesgos de contaminación del agua asociados a fallas de un material, equipo o proceso por la falta de ajustes y nivelación de estos.

Las consecuencias ambientales teóricamente, se podrían ver evidenciadas en la escasez o sobre explotación del recurso agua, como también la pérdida del caudal ecológico de las dos principales fuentes de abastecimiento de agua del Municipio, como lo son la quebrada Honda y la quebrada Filadelfia, a partir del uso y ahorro ineficiente del recurso hídrico. De igual forma, la planta Pekín realiza el vertimiento de lodos a la quebrada los Curos y posteriormente a la quebrada la Parroquia; generando un incremento en las concentraciones de óxidos hidratados de aluminio y materia orgánica e inorgánica, formando depósitos de fangos en los tramos lentos del cauce, y este a la vez aumentando la turbiedad y el color de las aguas receptoras, produciendo una contaminación mayor en el recurso hídrico y planteado problemas medioambientales derivados de los residuos ocasionados en los procesos de coagulación/floculación generados principalmente en las unidades de decantación y filtración. Así mismos, el sobre costo económico y operativo que conlleva la neutralización y tratamiento de un mayor volumen de agua tratada, están determinados por un mayor consumo de sustancias químicas como lo son: Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, Policloruro de Aluminio ó PAC, Polímero catiónico (EXRO 626) y Cal, un mayor requerimiento de personal para la operatividad, el mantenimiento y lavado de los filtros, además del aumento elevado en el consumo de energía empleada para tal fin, entre otros.

Justificación

La gestión del uso eficiente y ahorro del agua, debe basarse en un enfoque netamente participativo; involucrando a usuarios, planificadores, administrativos y funcionarios operativos. Definiendo mecanismos e instrumentos para optimizar el uso racional del recurso hídrico y de los productos empleados en el tratamiento del mismo.

Debido a los altos costos administrativos, comerciales, ambientales, e inversión en infraestructura, mantenimiento y operatividad, reflejados en ocasiones a partir del uso irracional del agua como también, del uso desproporcionado de ciertas sustancias químicas empleadas en el tratamiento y potabilización del recurso hídrico, generadas a partir de la falta de fortalecimiento de programas, planes o proyectos de ahorro y uso eficiente del agua e implementación de capacitaciones de operatividad y concientización a los principales actores involucrados en el tratamiento y potabilización del recurso vital, como lo son, los funcionarios administrativos y operativos de la Empresa de Servicios Públicos del Municipio. Entendiendo que se deben realizar y unir esfuerzos para la promoción del uso eficiente, cuantificación ambiental y económica en dicho proceso, es fundamental optimizar la demanda de agua que permita mantener la capacidad de regulación de las cuencas y la armonía en el ciclo hidrológico; garantizando la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, y así mejorar la disponibilidad y acceso al agua, además de promover el uso racional y eficiente del agua tanto en la planta de tratamiento, como en los sectores y comunidades en general originando una concientización en cada uno de los administrativos, funcionarios y operarios de la

empresa por medio de la formulación e implementación de un protocolo que detalle los procedimientos para la operación y el mantenimiento respectivo de los equipos y unidades presentes en la planta Pekín, con el propósito de que el sistema y las unidades operativas funcionen de manera eficiente y fortalezcan así la gestión integral del agua; desarrollando estrategias de implementación y seguimiento de prácticas ahorradoras de agua y sustancias químicas, y que posteriormente puedan ser implementadas en cada una de las plantas de tratamiento de Emserfusa E.S.P.

Por lo tanto, se hace necesario diagnosticar y formular un protocolo de ahorro y uso eficiente del agua, como del mantenimiento y recomendaciones en la realización del test de jarras para la determinación de la dosificación de coagulante óptimo, en el tratamiento del recurso hídrico. A partir del desarrollo de esta práctica la Empresa podrá implementar las alternativas del uso y ahorro eficiente del agua, que implican el cumplimiento de la ejecución de los planes y normativas vigentes como la Ley 373 de 1997 y el Decreto 1090 de 2018, relacionadas con la conservación, uso y ahorro eficiente del recurso hídrico; disminuyendo las pérdidas del recurso hídrico en las distintas unidades operativas y garantizando la calidad del servicio por medio de buenas prácticas de operatividad y caracterización, contribuyendo así a la naturaleza y ecología de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la planta Pekín, con la finalidad de mejorar en un gran porcentaje la calidad, eficiencia y distribución del agua a los usuarios del Municipio; como también obtener resultados positivos en el manejo adecuado y óptimo de las sustancias químicas que se requieren en el tratamiento.

Por otra parte, el desarrollo de esta pasantía pretende aportar a la empresa herramientas que garanticen el cumplimiento del Decreto 1575 del 2007 como también de la Resolución 2115 del 2007, en las cuales se describe que el agua para consumo humano debe cumplir con ciertas características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad de agua en Colombia. Por lo tanto, se pretende una mayor seguridad de suministro y condiciones higiénicas en los tratamientos fisicoquímicos que mejorarían aún más la percepción que el público tiene de la Empresa de Servicios Públicos en la dependencia de acueducto. Generando así, un pago oportuno del servicio prestado por parte de los usuarios, al notar el compromiso y las medidas adoptadas por la empresa en el mejoramiento y optimización para el tratamiento del recurso hídrico.

Así mismo, los procedimientos establecidos en la formulación de dicho protocolo eficiente, pretende disminuir la pérdida del recurso hídrico en las distintas actividades de operatividad, mantenimiento y lavado, como también optimizar el uso adecuado y eficiente tanto de los equipos e instrumentos como de las sustancias químicas y materiales empleados en la caracterización y tratamiento del recurso; sin poner en riesgo la calidad del agua para consumo humano y el servicio prestado a la comunidad en general por parte de la empresa. Lo anterior, soportado por medio de análisis y pruebas fisicoquímicas, además de las evidencias fotográficas de operatividad, diseño e infraestructura de la planta.

Objetivos

Objetivo general

Formular un protocolo para el mantenimiento, operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico en la planta de tratamiento de agua potable de Pekín.

Objetivos específicos

1. Determinar las unidades operativas donde se efectúa una mayor pérdida y cuantificar el porcentaje del recurso hídrico perdido en los sistemas de tratamiento de la planta Pekín.
2. Establecer los procedimientos y actividades adecuados para el mantenimiento y operación de las unidades del sistema de tratamiento.

Marco referencial

Marco conceptual

Las plantas de tratamiento de agua potable están compuestas por un sistema de abastecimiento de agua denominado acueducto, que transportan por gravedad o por bombeo las aguas crudas, es decir, las aguas que no han sido sometidas a ningún proceso de tratamiento, y que son captadas desde las obras hidráulicas las cuales cumplen la función de regular y captar un caudal determinado y constante de agua, conducidas hasta sus respectivas cámaras de llegada. Dichas plantas están compuestas por una infraestructura óptima, además de equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua denominadas normas de calidad del agua potable.

La planta cuenta con un caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica, conservando sus condiciones normales de operación. En dicha infraestructura se cuenta con un laboratorio, en donde se realizan pruebas y análisis fisicoquímicos a muestras determinadas de agua, con la finalidad de tratarla por medio de unidades operativas y la adición de sustancias químicas.

Las unidades operativas y acciones que se tienen en cuenta para hacer funcionar correctamente las obras del sistema de abastecimiento de agua son: la coagulación que tiene por objeto la aglomeración de las partículas dispersas en el agua; por medio de la adición de un coagulante, normalmente una sal de aluminio o de hierro añadida al agua

para formar un precipitado de hidróxido. La floculación, que es un proceso por el cual partículas suspendidas se aglomeran para formar flóculos mayores. Generalmente para llevar esto a cabo se adicionan al agua sales de aluminio y de hierro. La sedimentación, en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes. Los sedimentadores que pueden emplearse son el de flujo horizontal y flujo vertical. También puede realizarse la sedimentación en unidades con manto de lodos, los que a su vez se dividen en sedimentadores de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentadores de manto de lodos de suspensión mecánica. Puede además emplearse los sedimentadores de alta tasa. De igual modo se tiene en cuenta el sistema de filtración mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso. Este proceso se puede realizar por filtración rápida o filtración lenta. La filtración rápida se divide en filtración ascendente y descendente. Puede filtrarse por gravedad o por presión, el lavado puede ser intermitente o continuo. También puede emplearse la filtración lenta sola o con diversas etapas de pre filtración. Asimismo, se realizan procesos de desinfección fisicoquímicos que permiten la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. Los procesos de desinfección que pueden realizarse son la cloración, ozonación, desinfección con dióxido de cloro, con rayos ultravioleta entre otros procesos.

Por último, se realiza una acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir la demanda por parte de las personas que se benefician con la prestación del servicio público. El almacenamiento del recurso, se realiza en un depósito destinado a

mantener agua para su uso posterior denominado tanque de almacenamiento, el cual debe estar disponible para suministrar agua en horas de máxima demanda y a la vez mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

En caso de presentar la pérdida del recurso por medio del sistema de acueducto, ocasionados por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios, se deben tener en cuenta una serie de acciones que se deben realizar en las estructuras y equipos con el fin de prevenir o reparar daños.

Marco teórico

El 71 % de nuestro planeta es agua, el 97.5 % de los recursos hídricos de la tierra es agua salada. El 2.5 % restante está en los continentes como agua dulce. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible. El total de agua dulce en nuestro planeta es de 39 millones de Km^3 , de los cuales 29 millones de Km^3 se encuentran en estado sólido en los casquetes polares y glaciares, 5 millones de Km^3 son aguas subterráneas y los otros 5 millones corresponden a las aguas superficiales. Sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible (en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo). Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con la lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible. En total, sólo un centésimo del 1% del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano. (Peláez, 2014)

Según las Naciones Unidas, en los próximos 25 años, de los 6.000 millones de habitantes actuales, se pasará a 8.300 en el año 2025. El problema es aún más grave si se considera la contaminación de los ríos y los lagos mundiales, pues aunque la escasez se deba a ciclos climatológicos extremos, la actividad humana está jugando un papel importante en el aumento de la escasez y en lo que se ha llamado el "stress del agua" o indicación de que no hay suficiente agua en cantidad y calidad; para satisfacer las necesidades humanas y medioambientales. (Plan de ahorro y uso eficiente del agua, 2011)

Según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas, realizado en el año 2012, más de 1.400 millones de personas carecen de la posibilidad de tener agua limpia y entre cuatro y seis millones, la mayoría niños, mueren cada año por enfermedades ligadas al agua no potable que consumen. Por otra parte, este estudio cuantifica en unos 3.350 millones los casos de enfermedades debido a la falta de acceso al agua limpia; provocando así, que anualmente alrededor de cada ocho segundos muera un niño por una enfermedad relacionada con el agua.

Según (Leiva & Caicedo, 2011), el ahorro y uso ineficiente del agua, además de su mala calidad, requieren de manera urgente un control de calidad, uso racional y conservación de este recurso indispensable. Estudios recientes reflejan que una mejora en la calidad del agua se ve reflejada en la reducción de enfermedades tales como anemia nutricional en niños y en general en la alimentación de la población más vulnerable.

En países como Bolivia, Brasil, Chile y Perú el consumo básico por suscriptor se encuentra establecido en promedio de quince metros cúbicos (15 m^3) mensuales. De acuerdo con lo anterior, se observa que en diferentes países de la región se han establecido rangos de consumo básicos inferiores al definido en Colombia. Según el Decreto 1006 de 1992 el consumo de agua básico en Colombia se establece alrededor de veinte metros cúbicos (20 m^3) mensuales por suscriptor, debido a que el promedio nacional se encontraba entre 17.68 m^3 y 24.92 m^3 ; equivalentes a 133 litros/habitante - día. El consumo promedio de los hogares urbanos con servicio de agua potable es de 200 litros/habitante - día y de 120 litros/habitante-día para los rurales. En la actualidad, en ciertas estratificaciones el consumo por suscriptor es mucho más elevado; lo que representan un volumen que supera los 80 litros/mensuales mínimos necesario para la calidad de vida razonable por persona; determinando así que el clima es un diferenciador notable del consumo en el país, además de la falta de propuestas en las principales ciudades de Colombia, encaminadas al uso eficiente y razonable del recurso hídrico con el que se cuenta.

Esta problemática del agua en algunas regiones del país se configura a partir del continuo y creciente déficit en la relación oferta y demanda del recurso hídrico. Es un factor que compromete seriamente las posibilidades del desarrollo sostenible debido a las alteraciones que sufren, de un lado, los fenómenos a través de los cuales se cumple el ciclo hídrico y de otro, la dinámica y funcionalidad del ciclo como tal, tanto en el espacio

terrestre como en el marino y el atmosférico. (Programa de uso eficiente y ahorro del agua, 2012)

Gran parte del agua subterránea finalmente vuelve a pasar al caudal de las aguas de superficie, que posteriormente son captadas, tratadas y distribuidas a la comunidad en general, por medio de las plantas de tratamiento de agua potable municipales o distritales.

Según el Decreto 2811 de 1974 o Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente en la República de Colombia, el agua se considera un bien común, de dominio público, que todas las personas tienen derecho a usar, pero también es un bien de interés económico o privado en cuanto es indispensable para el desarrollo de actividades económicas que sostienen el aparato productivo. De ahí que el recurso hídrico conserve una singularidad respecto a otros bienes, ya que sin éste la vida no es posible y el derecho a su uso debe ser garantizado por el Estado. La Constitución Política de Colombia de 1991, en el Capítulo 5, de la finalidad social del Estado y de los servicios públicos, dice: “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable”.

En la mayoría de los casos, los usos del agua no consultan su disponibilidad ni su relación con los costos financieros y económicos que se generan por concepto de; la

disponibilidad del recurso agua de forma permanentemente, bajo unos parámetros de calidad aceptable para consumo humano, además de la contaminación generada por las aguas residuales domésticas vertidas directamente o después de un tratamiento primario. Adicional al deterioro de la oferta hídrica, se presentan problemas por demandas de agua elevadas por parte de los consumidores domésticos y pérdidas excesivas en los sistemas de acueducto que llegan a valores superiores del 50%. Es así como siendo la dotación neta máxima en el país de 175 l/hab/día, existen municipios en donde el desperdicio al interior de las viviendas hace que se presente consumos irresponsables de hasta 1.000 l/hab/día (RAS, 2000). Además, no solamente se evidencia mal uso o pérdida del recurso hídrico doméstico, agrícola o industrial, sino que también, se generan pérdidas en las instalaciones de las plantas de tratamiento de agua potable municipales o distritales, debido a las diferencias que se producen entre el volumen de agua que es captada e ingresa y el que sale, lo que se denominan pérdidas totales; generadas a partir de la falta de conocimientos en el uso adecuado de las unidades operativas por parte de los funcionarios, o por el mantenimiento, cambio o restructuración de los sistemas de conducción del recurso hídrico, como tuberías obsoletas o averiadas que presentan en muchos casos porcentajes elevados de fugas.

Es así como los acueductos requieren cada vez más, una mayor eficiencia en el uso del agua, lo cual puede ofrecer beneficios para el concesionario y el medio ambiente porque al disminuir la presión en la captación del agua de las fuentes, se reducen el volumen de agua residual, y por lo tanto se disminuye el caudal a tratar. El uso eficiente del agua

también permite aplazar la necesidad de invertir en costosas instalaciones de los sistemas de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales y por lo tanto reducir la demanda de energía para el bombeo, logrando ahorros significativos en los costos de capital, reduciendo, además, las emisiones de gases efecto invernadero. (EPA, 1998, Maddaus et al., 2014). Así mismo, existen oportunidades para mejorar la eficiencia y ampliar los suministros de agua potable. Esto a través de una mejor gestión de los sistemas de abastecimiento y del tratamiento agua, de la reducción de fugas de las redes y de la implementación de medidas de uso eficiente del agua en los hogares, empresas y plantas de tratamiento de agua potable. (Maddaus et al., 2014)

Para asegurar la asignación eficiente del recurso y reducir los conflictos por uso, para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es indispensable fortalecer la planificación integral del recurso hídrico y mejorar el conocimiento del mismo. En desarrollo de lo anterior, se han suscrito Pactos de Uso Eficiente del Agua, como mecanismos voluntarios para avanzar en acciones que promuevan prácticas de uso eficiente en los sectores priorizados de acuerdo con su demanda de agua, uno de ellos es el Pacto por el uso eficiente y Ahorro de agua, entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y ANDESCO (Cámara Sectorial Acueducto y Alcantarillado), MADS, 2012.

Generalidades del proceso de tratamiento de agua potable

Las plantas de tratamiento de agua potable o PTAP, consisten en una planta de procesos convencionales; donde se emplean diferentes tipos de sistemas unitarios, los cuales brindan la posibilidad de obtener agua potable con gran confiabilidad. Este tipo de sistemas de potabilización de aguas, son ideales para abastecer a comunidades medianas y grandes.

Consisten de manera general en un proceso enfocado en la remoción de sólidos suspendidos y algunos coloides presentes en el agua cruda, como también, de una desinfección que garantice la eliminación de material patógeno; este tipo de sistemas son considerados capaces de sortear altos desequilibrios o baja de calidad en la fuente de suministro que alimenta el sistema. Para potabilizar este tipo de aguas, se presenta un sistema de tratamiento, que de forma general está constituido por: una cámara de llegada, un vertedero y canal de mezcla rápida o coagulación, floculador, sedimentador, un sistema de filtrado descendente en arena y antracita, un tanque de desinfección y por último un tanque de almacenamiento de contacto.

Marco legal

En el año 1974 el entonces presidente de la república de Colombia en ejercicio de sus facultades extraordinarias conferidas, decreta Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente. Mediante el artículo 3 regula las aguas en cualquiera de sus estados, y en el artículo 70 establece dicho recurso hídrico para los

servicios de captación, almacenamiento y tratamiento de las aguas que abastecen a una población y para el servicio de las plantas de tratamiento de aguas negras.

Por otra parte, en el año 1991 se expide la Constitución Política de Colombia; por medio de la cual se reglamentan los derechos colectivos y del ambiente, como deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines, como también, la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, conservación y restauración.

En la Ley 142 de 1994; se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, como también las concesiones, permisos ambientales y sanitarios, destinados a tal fin.

Por otra parte, en el año 1997 se expide la Ley 373 por la cual se establece el “Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua”; entendiendo este programa como un conjunto de proyectos y acciones dirigidas que platean y deben implementar los usuarios del recurso hídrico, allí establecidos, para hacer un uso eficiente del agua y desincentivar su consumo excesivo.

En el Decreto 1575 de 2007, se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua

envasada. Luego, en 1998 por medio del Decreto 475, se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable., dentro de las cuales se encuentran las organolépticas, físico - químicas (pH, color, olor, sustancias flotantes, turbiedad, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro total, dureza total y cloro residual y microbiológicas de la calidad del agua potable.

De acuerdo al Decreto 3570 de 2011, artículo 18 numeral 2, se establece como responsabilidad de la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible dirigir las acciones destinadas a velar por la gestión integral del recurso hídrico, a fin de promover la conservación y el aprovechamiento sostenible del agua.

Años más tarde, por medio de la Resolución 0330 de 2017, se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, la cual reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

Diseño metodológico

La planta de tratamiento de agua potable Pekín, se encuentra localizada en la región Andina del país, al sur occidente del Departamento de Cundinamarca de la provincia del Sumapaz, exactamente en el Municipio de Fusagasugá dentro de la vereda Pekín alto, con un área aproximada de 242,12 hectáreas, como se observa en la figura 2, ubicado en el corregimiento oriental de la ciudad, con un área aproximada 3 hectáreas (figura 3). Su cabecera está localizada a los 4° 20' 00" de latitud norte y 74° 21' 00" de longitud oeste, a una altura de 1.728 m.s.n.m, y una temperatura media de 19° C. La humedad relativa media es de 85%, con máximos mensuales de 93% y mínimos mensuales de 74%, con una precipitación superior a los 1.250 mm y un brillo solar de 130 horas solares.

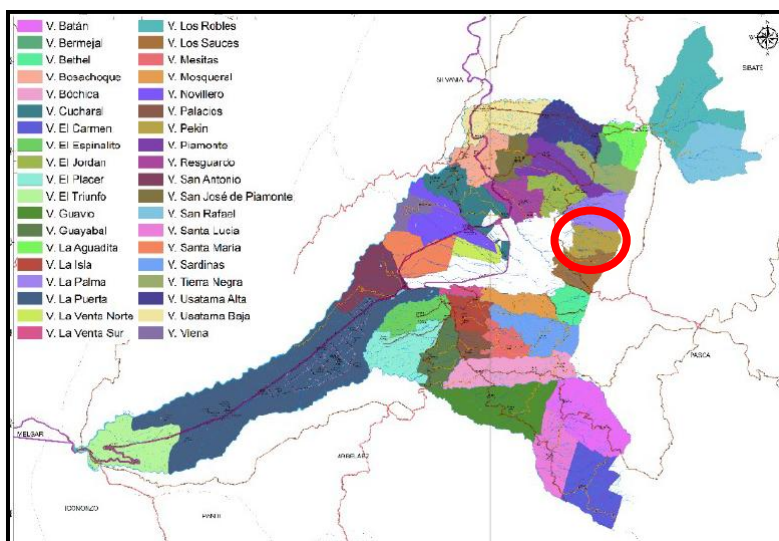


Figura. 2 Localización Vereda Pekín. Secretaria de planeación de Fusagasugá (2019).



Figura. 3 Ubicación planta de tratamiento de agua potable, Pekín. Emserfusa E.S.P (2019).

Para el desarrollo de la práctica profesional, se consideró un proceso de concertación con la participación de la entidad encargada de la prestación de servicios públicos de Fusagasugá, Emserfusa E.S.P y la academia. En algunas ocasiones se contó con la participación de algunos prestadores del servicio de agua potable, funcionarios y operarios de la planta de tratamiento de agua potable Pekín, donde todos los actores aportaron desde su conocimiento, aprendieron y se beneficiaron en la búsqueda de soluciones a las principales problemáticas de uso y ahorro eficiente del recurso hídrico, como también, en los procedimientos adecuados para la realización de un test o ensayo de jarras; con la finalidad de conocer las concentraciones o dosis óptimas para la aplicación de sustancias químicas en el tratamiento de agua potable. Los pilares fueron el trabajo interinstitucional e interdisciplinario, además de la participación con poder de decisión por parte de la dependencia del jefe de plantas y operarios principales en la labor de cada procedimiento unitario para el tratamiento y disposición del agua; en la búsqueda

de soluciones a los problemas y necesidades planteados. Para el desarrollo de los objetivos se tuvo en cuenta la experiencia de los proyectos y actividades de tratamientos de manejo integrado del recurso hídrico, por parte de los auxiliares de laboratorio y operarios de la planta Pekín. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se desarrollaron diferentes actividades tal como se describe a continuación:

Fase 1: Diagnóstico de las unidades operativas de la planta.

Se realizó un diagnóstico del estado, funcionamiento y mantenimiento de cada una de las estructuras y unidades operativas de la planta, como también de la operación realizada al recurso hídrico para su posterior distribución. Este diagnóstico consta de una descripción e información de cada una de las unidades del sistema de acueducto compuesto por infraestructura de captación, transporte, tratamiento y almacenamiento, además de la recolección y análisis de datos, estimación aproximada de pérdidas (%) de agua total. Esto se realizó mediante visitas a campo, fotografías, recolección de información proporcionada por parte de la Empresa de Servicios Públicos del Municipio.

El objetivo de este diagnóstico fue obtener información relacionada con las problemáticas actuales de infraestructura, operatividad, las posibles causas, verificación de puntos críticos de mayores pérdidas de agua en el sistema operativo y en las actividades de operación y mantenimiento en la planta Pekín. Además, la revisión de los protocolos implementados sobre el uso eficiente y ahorro del agua, teniendo en cuenta el cumplimiento de la normatividad vigente, Ley 373 de 1997 y Decreto 1090 de

2018. Basado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000.

Fase 2: Diagnostico de equipos y protocolos de laboratorio para la caracterización del agua.

El diagnostico que se realizó a los diferentes equipos de caracterización del recurso hídrico, así como de los procedimientos para la realización de los ensayos de jarras y determinación de la dosis óptima de sustancias químicas para el tratamiento del agua; contó con una descripción del paso a paso e información relacionada con el adecuado procedimiento para la realización del ensayo de jarras, y determinación de la dosis óptima tanto del coagulante como del floculante, además de la caracterización idónea del agua cruda y sus recomendaciones para el uso de los equipos de laboratorio. Las inspecciones se realizaron a todos los equipos empleados en la determinación de las propiedades del agua cruda, mediante visitas a campo, fotografías, recolección de información proporcionada por parte de auxiliares de laboratorio y operarios de planta.

A partir de esta información ya revisada, se generó el diseño y evaluación del protocolo para la realización correcta de una prueba de jarras, del mantenimiento y operación de cada uno de los sistemas operativos y equipos para la caracterización adecuada del recurso hídrico.

El principal objetivo de este diagnóstico fue obtener información relacionada con el estado actual de la operatividad y manejo de cada uno de los equipos de laboratorio, además del correcto procedimiento para la determinación de la dosis óptima de aplicación de sustancias químicas (figura 4); garantizando el uso racional de las sustancias químicas empleadas en el tratamiento del recurso hídrico, como también de la calidad y uso del agua potable distribuida a los usuarios de la Empresa, Emserfusa E.S.P.

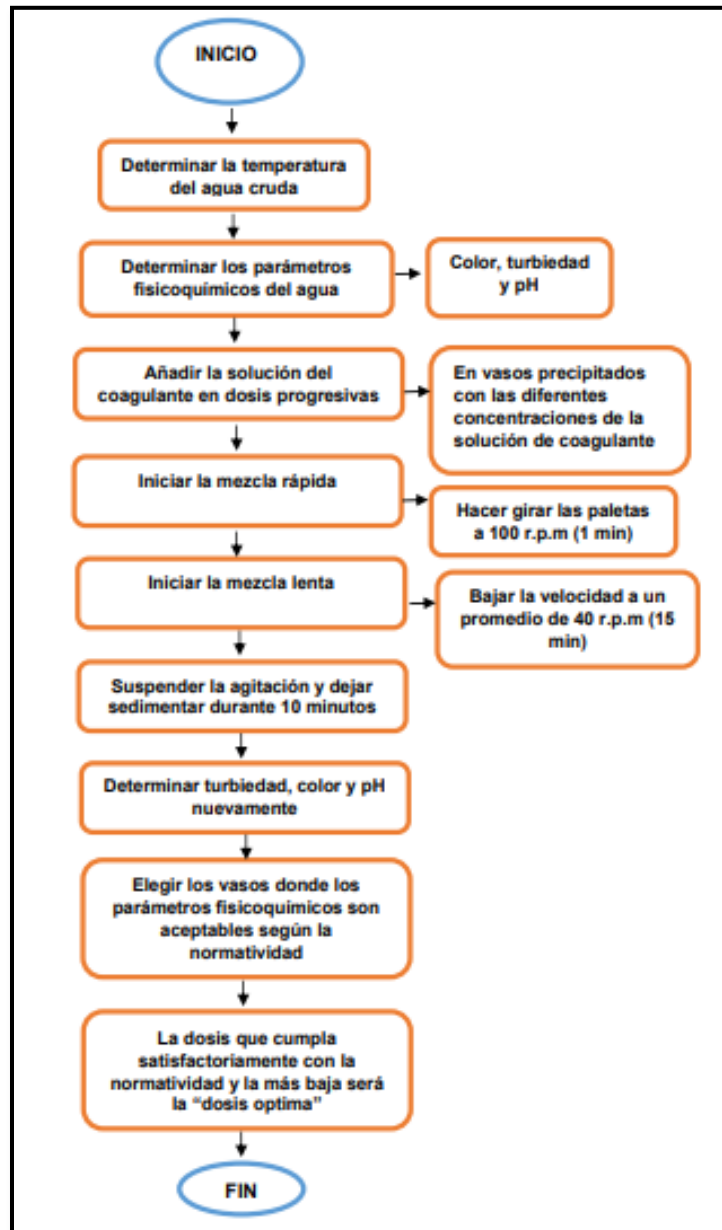


Figura. 4 Flujograma para la determinación de dosis óptima. López, A.C & Jiménez, B. F. (2016).

Fase 3: Formulación de los procedimientos y actividades, para el mantenimiento, lavado y operación de las unidades del sistema de tratamiento.

Después de conocidos los problemas y las diferentes acciones a realizar encaminadas al uso eficiente y ahorro del agua, de manera concertada se definieron las estrategias, procedimientos y actividades adecuados para el tratamiento y potabilización del recurso hídrico, que permitan mejorar, fortalecer y facilitar a cada una de las personas y entidades involucradas; como lo son, la Empresa de Servicios Públicos, los funcionarios y operarios de la planta, y los usuarios que se benefician de dicho servicio, sus acciones, procesos, acreditaciones y calidades referentes al recurso hídrico.

Fase 4: Formulación del protocolo de uso y ahorro eficiente del recurso hídrico.

El protocolo está enfocado a optimizar, el recurso hídrico y hacer un uso sostenible del mismo, mediante la identificación y caracterización de aquellos eventos que por su naturaleza producen efectos negativos sobre el medio y por tanto establecer medidas y recomendaciones adecuadas de control, operatividad y mantenimiento de las unidades de tratamiento del recurso hídrico. Para tal fin, es necesario dar continuidad al protocolo para el uso eficiente y ahorro del agua, dado que la gestión ambiental adelantada por la Empresa de Servicios Públicos “Emserfusa E.S.P” está proyectada, a mitigar las problemáticas de pérdidas de agua, además de la distribución de la misma en condiciones aptas y de calidad para consumo humano, efectuando un servicio óptimo y sustentable para las futuras generaciones, orientando hacía acciones que tiendan a la reducción de la

cantidad de agua, empleada en las diferentes actividades de los sistemas (desde la cámara de llegada hasta el tanque de almacenamiento), con el fin de disminuir el índice pérdidas de agua.

Resultados y discusión



Figura. 5 Planta de tratamiento de agua potable Pekín. Martínez (2020).

En la Figura 5 Planta de tratamiento de agua potable Pekín. Se evidencia la adecuación y distribución de los sistemas unitarios de tratamiento de agua de la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá, Emserfusa E.S.P.

Descripción general de los procesos de la planta Pekín

En la figura 6 se evidencian los procesos de tratamiento que se tienen en cuenta en la planta Pekín para la potabilización del recurso hídrico, por parte de Emserfusa E.S.P.

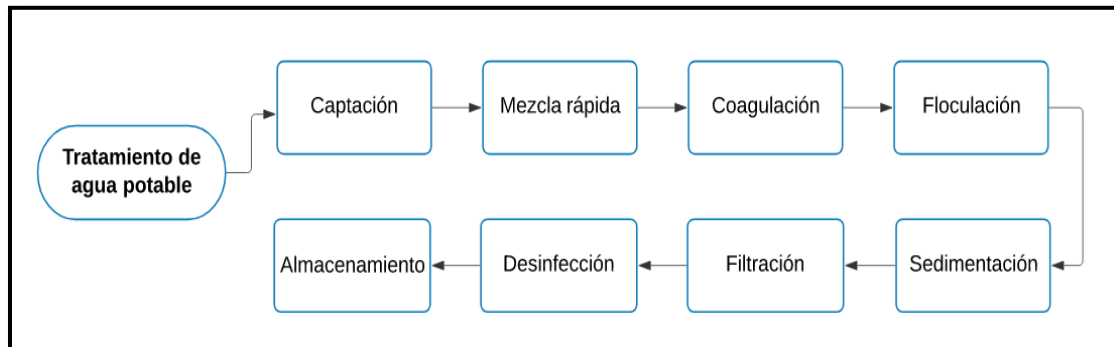


Figura. 6 Procedimientos de potabilización de agua en la planta de tratamiento Pekín. Martínez (2020)

La principal fuente de abastecimiento de la planta Pekín es la quebrada Honda y la quebrada Filadelfia, la cual es conducida por la línea de aducción hasta la PTAP. El ingreso del agua se realiza a través de la bocatoma de tipo fondo rejilla para ser transportada al tanque desarenador y posteriormente a un canal que conduce a los decantadores.

Por otro parte, el proceso de coagulación es normalmente la primera operación unitaria que se realiza dentro de una planta, en donde se lleva a cabo la mezcla de los productos químicos con el agua cruda. Previamente a dicha mezcla, se realizan ensayos de jarra en donde se tienen en cuenta las características del agua cruda realizando como mínimo la medición de parámetros fisicoquímicos como color, pH, turbiedad y alcalinidad. A partir de los resultados obtenidos en los procedimientos realizados anteriormente, se dispone por parte del operario a realizar los cálculos correspondientes para determinar la cantidad y la frecuencia de aplicación de la sustancia y así programar el dosificador tornillo volumétrico de Sulfato de Aluminio granulado tipo A (figura 7); el

cual funciona adicionando la sustancia sólida en la parte superior del equipo y posteriormente se gradúa la bandeja volumétrica por medio del sistema eléctrico operativo. El equipo de mezcla debe garantizar una homogenización total y perfecta dentro de ciertos parámetros establecidos según el tipo de coagulación seleccionada, este proceso de coagulado se realiza por medio del método de adsorción - desestabilización o método de barrido.



Posteriormente se realiza el proceso de floculación, en el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas (flocs) con peso específico superior al del agua. En este fenómeno, las partículas ya desestabilizadas en el proceso de coagulación, chocan unas con otras para formar coágulos de mayor tamaño y peso, garantizado a partir de la adición de polímero catiónico EXRO 626 (figura 8), denominado coadyuvante; el cual tiene la finalidad de mejorar o acelera el proceso de coagulación y floculación mediante la producción de flóculos de sedimentación rápida. Cuando se adiciona dicha sustancia por medio del equipo dosificador de PAC (figura 9), aumenta la densidad de los flóculos

de sedimentación lenta, convirtiéndolos en más rápidos de sedimentar. De igual forma, este mejora la tenacidad de los flóculos para que no se rompan durante el mezclado y proceso de sedimentación. Dicho proceso se usa para: la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica, además de la remoción de color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, floculación ó sedimentación, como también, la eliminación de algas y plancton en general, asimismo la remoción de sustancias productoras de sabor y olor en el agua cruda. La adición del polímero líquido es programada previamente a su aplicación por medio de la graduación de la bomba dosificadora de PAC (figura 10).





Figura. 10 Bomba dosificadora de PAC, planta Pekín. Martínez (2020).

La planta, cuenta con un floculador hidráulico de flujo vertical tipo Alabama; por medio del cual el agua fluye a través de una serie de cámaras entrando a cada una de ellas por medio de un accesorio, con salida ascensional hasta completar un tiempo de retención hidráulica (TRH) preestablecido por el diseñador y dependiendo del caudal de entrada. Se utiliza la acción de chorro del afluente para producir agitación del flujo y crear una mezcla y aglomeración del floc, mediante un codo de 90° colocado a una profundidad de aproximadamente 2.5 m por debajo del nivel del agua

La sedimentación es el proceso que se realiza posteriormente de la floculación; en donde se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad con ciertas características relacionadas con su peso específico, las cuales deben tener un mayor peso que del fluido. La planta cuenta con módulos de sedimentación tipo colmena.

Después del procedimiento realizado anteriormente, se cuenta con ocho unidades operativas de filtración, las cuales consisten en el paso del recurso hídrico por medios

porosos, con la finalidad de retener o remover un gran porcentaje de las impurezas y material suspendido que han pasado de los anteriores procesos. Los tanques de filtración están compuestos por arena y antracita, soportada por capas de piedra; debajo de dicho medio, se cuenta con un sistema de drenaje.

En los sistemas de filtrado se emplean variedad de materiales sólidos de adsorción, los cuales están formados por minúsculos poros a los que se les adhieren las sustancias no deseadas. Dentro de los materiales se encuentran arena y antracita como los más ampliamente utilizados, así mismo materiales compuestos por carbón activado, debido a su capacidad de atraer y retener compuestos no deseados basados en su gran número de poros. Esta característica le brinda al carbón activado una superficie específica de entre 500 y 1.500 metros cuadrados por gramo. Dentro de los beneficios del uso de carbón activado como material de adsorción, se encuentra su alto grado de purificación, desodorización, clarificación y remoción de materiales pesados como taninos y compuestos orgánicos volátiles.(Fluence Neuws Team, 2016).

El sistema de desinfección de la planta se realiza por medio del método de cloración, empleando cloro gaseoso (figura 11). El correcto control y operatividad del sistema de cloración requiere de mucha importancia, debido a que garantiza que el agua ofrecida a los usuarios se encuentre fuera de cualquier riesgo sanitario. Por consiguiente, se tienen en cuenta cada una de las normativas vigentes en la regulación y control de la calidad del agua para consumo humano como lo son la Resolución 2115 del 2007 y el Decreto 1575

del 2007, las cuales establecen que la aplicación de cloro gaseoso para el proceso de desinfección deben estar en un valor de aceptación mayor a 0.3 y menor a 2 mg de Cl_2/l . Así mismo, si una vez tratada el agua en los procesos unitarios anteriores presenta altos contenidos de materia orgánica, estos deben ser inhibidos por medio de la aplicación de cloro gaseoso en el procesos de desinfección. Según lo expuesto en la normatividad vigente no debe ser aplicado en un rango diferente al mencionado anteriormente, debido a que se estaría incumpliendo en el tratamiento del agua para un apto consumo humano, sin embargo, en las temporadas de invierno se debe inhibir la posible presencia y aumento de materia orgánica para no afectar los índices de riesgo de la calidad del agua (IRCA), adicionando una mayor aplicación de cloro gaseoso no mayor a 4 mg de Cl_2/l , con la finalidad de descomponer con una mayor efectividad la presencia de materia orgánica.



Para el tratamiento de desinfección en las plantas de tratamiento de agua potable, los productos químicos basados en cloro han sido los desinfectantes preferidos y empleados

para tal fin. Las ventajas y desventajas asociadas a los procesos de desinfección se describen a continuación, tabla 1:

Ventajas	Desventajas
Potencia y persistencia germicida de amplio espectro en los sistemas de distribución de agua.	La exposición a altos niveles de cloraminas puede irritar los ojos
Método más eficiente y económico.	Requiere de una mayor dosificación y tiempo de contacto.
Únicos desinfectantes que presentan propiedades residuales duraderas.	Reacción con ciertos materiales orgánicos, durante los procesos de desinfección del agua.
Alta protección residual, la cual previene un nuevo crecimiento microbiano y la contaminación del agua.	Generación de subproductos (compuestos de nitrógeno, hidrato cloral, trihalometanos (THM) y cloroformo, ácidos haloacéticos).
Reducción y control de gustos y olores en el agua potable.	Algunos de los subproductos generados, han sido identificados como potencialmente cancerígenos en concentraciones menores de 0.1 mg/l. (Gordillo, 2013)
Control químico. Destrucción del sulfuro de hidrógeno, además de la extracción de amoníaco y otros compuestos nitrogenados que poseen sabores desagradables.	Impactos en los ecosistemas que reciben descargas de cloro.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de cloro en los procesos de desinfección de agua potable. Martínez. (2020)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la desinfección con cloro es aún la mejor garantía del agua microbiológicamente potable (Oficina Regional de la OMS para Europa, *Drinking Water Disinfection*).

Por otro lado, el método más eficiente en el proceso de desinfección, es el cloro gaseoso principalmente debido a su gran eficiencia y bajo costo de operatividad que este implica. Así mismo, existen otros métodos con un alto valor de eficiencia pero elevados costos de operatividad como lo son la desinfección por permanganato de potasio (KMnO_4), flúor, ozono, luz ultravioleta (UV), entre otros.

Para la operación en las unidades de pos – alcalinización, la planta cuenta con un cuarto de almacenamiento de Carbonato de Calcio (CaCO_3), con la finalidad de contrarrestar las condiciones adversas de pH, turbidez y color en temporadas de invierno. De igual manera, se cuenta con la planta operacional requerida, con la experiencia necesaria para controlar cualquier tipo de exceso, con la finalidad de prevenir el derroche en la adición del Carbonato de Calcio. En caso de presentarse por cualquier infortunio un exceso en la adición de CaCO_3 , deberá contrarrestarse por medio de la adición de una sustancia acida.

Por último, se cuenta con un tanque de almacenamiento (figura 12), el cual consiste en una estructura para almacenar agua, construida con cemento, de forma rectangular, y se encuentre correctamente cubierta.



Figura. 12 Tanque de almacenamiento, planta Pekín. Martínez (2020).

A continuación, se relaciona y establece la capacidad y tiempo de retención hidráulica de los sistemas unitarios de la planta de tratamiento Pekín como se observa en la tabla 2. Los cálculos fueron obtenidos por medio del jefe de la división, sin embargo, estos se corroboraron con el acompañamiento de uno de los operarios de la planta en el transcurso de la pasantía.

Capacidad hidráulica de la planta: 983,402 m ³	Caudal promedio: 150 l/s
Tiempo de retención hidráulico (TRH): 1.8 horas	
Capacidad de sedimentadores: 417.312 m ³	Capacidad de floculadores: 241,87 m ³
Tiempo de retención hidráulico (TRH): 48 minutos	
Capacidad de filtros: 236,98 m ³	Tiempo de retención hidráulico (TRH): 10 minutos
Capacidad canales: 87,24 m ³	
Tanque de contacto: 95 m ³	
Tanque de almacenamiento: 1.400 m ³	

Tabla 2. Descripción hidráulica de la planta.

Puntos críticos de pérdidas del recurso hídrico en el sistema operativo, y en las actividades de operación de la planta.

En la determinación de los puntos críticos de mayor pérdida de agua en la planta de tratamiento Pekín, se pudo evidenciar que, en la procedencia del lavado de los filtros se produce un alto porcentaje de pérdida del recurso hídrico, debido a que el agua tratada es evacuada hacia el desagüe general (figura 13) y de aquí a los cuerpos de agua, generando pérdidas del recurso en un **25,5%**; equivalentes a un volumen de **236,98 m³/días de mantenimiento**. Dicho volumen de agua evacuado fluye por las tuberías o canales de conducción de desagüe de la planta; y no se genera retorno del recurso por los canales de agua para la culminación de su tratamiento y posterior almacenamiento, por lo tanto, son aguas vertidas y perdidas en su totalidad ocasionados a partir de falta de adecuación y tecnificación de la planta en las unidades de filtración, como también, por la carencia en la orientación a los funcionarios y operarios en las actividades de mantenimiento y lavado de los mismos.

Por otro lado, la unidad de filtrado número ocho (8), presenta averías en una de las válvulas de ingreso procedente del canal de agua sedimentada; lo que ocasiona un ingreso mínimo y constante del recurso que podría generar el reboce y pérdida de este, cuando se evidencia un mayor flujo y velocidad del agua a filtrar; debido a un mayor caudal de ingreso del recurso a la planta generado por variaciones climáticas. Actualmente, es sellado el ingreso del agua de forma inadecuada por los operarios de planta como se observa en la figura 14.



Figura. 13 Sistema de drenaje ó desagüe de filtros, planta Pekín.



Figura. 14 Avería en válvula de cierre; unidad de filtrado, planta Pekín. Martínez (2020).



Se identificó que existen pérdidas en ciertas tuberías debido a la presencia de fugas o averías en algunos de los sistemas de conducción y válvulas hidráulicas (figura 15). Además del reconocimiento de tuberías obsoletas (figura 16); que deben ser reparadas o sustituidas para evitar fugas que ocasionan pérdidas tanto económicas como ambientales para la Empresa.



Figura. 15 Accesorios y válvulas hidráulicas con presencia de averías y fugas, planta Pekín. Martínez (2020).



Perdidas del recurso hídrico en la planta Pekín

En el sistema operativo de filtración de la planta, se generan pérdidas en un volumen de **236,98 m³** de agua, cada 20 días. El porcentaje de agua perdida en el sistema de filtración es de aproximadamente **26%**, comparado con el volumen de agua que representa la capacidad hidráulica de la planta.

Por otro lado, se identificaron principales tuberías con presencia de fugas y averías, las cuales conducen el agua a los procesos de post alcalinización y almacenamiento del

recurso hídrico. También se observó que, en los procesos de lavado de las unidades operativas de la planta, ocurren pérdidas del recurso hídrico en menor cantidad. El volumen de pérdida del agua por fugas o daños en tuberías, además del mal uso en el lavado de las unidades operativas estimado por el funcionario de planta es de **43,00 m³**; lo equivalente al **4%** de las pérdidas totales de la planta.

El volumen total de pérdidas de agua en la plana Pekín es de **280,00 m³** cada veinte (20) días aproximadamente. Lo que representa un **30%** comparado con la capacidad hidráulica de la planta que actualmente es de **983,402 m³** de agua. Lo anterior demuestra claramente que no se está realizando un uso eficiente y ahorro adecuado del agua.

Protocolo de mantenimiento, lavado y operación, uso eficiente y ahorro del recurso hídrico en la planta Pekín

Para el cumplimiento del objetivo específico número tres, se formularon las siguientes fichas:

- Protocolo de operación y mantenimiento, bocatoma.
- Protocolo de operación y mantenimiento, coaguladores.
- Protocolo de operación y mantenimiento, floculadores.
- Protocolo de operación y mantenimiento, sedimentadores.
- Protocolo de operación y mantenimiento, filtros.
- Protocolo de operación y mantenimiento, sistema de cloración.

- Protocolo de operación y mantenimiento, unidades de pre – alcalinización y pos – alcalinización.
- Protocolo de operación y mantenimiento, tanque de almacenamiento.
- Protocolo de mantenimiento y limpieza, unidades de dosificación y bombeo.
- Protocolo de mantenimiento y limpieza, equipos y máquinas.
- Protocolo de recibimiento de turno.
- Protocolo test de jarras.

Las fichas relacionadas constan del tipo de medida, una descripción de la unidad, una inspección preliminar en la cual se realiza un diagnóstico y la formulación de diferentes actividades de operatividad, mantenimiento y lavado; estableciendo su frecuencia, personal responsable, equipos y sustancias necesarias para llevar a cabo la labor, además de sus recomendaciones. Finalmente se determinan las medidas de monitoreo.

Igualmente, en la ficha del protocolo test de jarras se detallan los procedimientos para la determinación de la dosis óptima del coagulante, como también las recomendaciones para el correcto mantenimiento y limpieza del equipo de jarras (figura 17). Así mismos, se establecen los métodos y forma adecuada para la caracterización del recurso hídrico, incluyendo los parámetros fisicoquímicos como la medición de color, turbiedad, pH y alcalinidad, los cuales corresponden a los parámetros mínimos a tener en cuenta para la determinación y análisis del agua cruda y tratada.

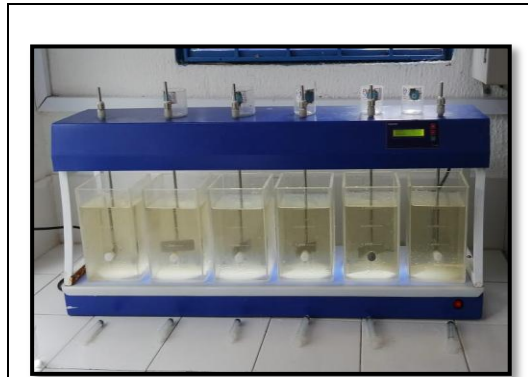


Figura. 17 Equipo de jarras, planta Pekín. Martínez (2020).

Para dar cumplimiento a la formulación de los protocolos, se anexan las fichas enunciadas anteriormente.

Diagnostico final

Gracias al trabajo realizado durante el periodo de pasantías en la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá, Emserfusa E.S.P, se entregó información procedente del estado actual de las unidades de operación de la planta de tratamiento de agua potable Pekín, además de la identificación de puntos críticos y porcentajes de pérdidas del recurso hídrico en la planta. También se obtuvo desarrollo del protocolo de uso eficiente y ahorro del agua en cada una de las unidades en los procesos de operación, mantenimiento y lavado de cada sistema. Dando cumplimiento en cuanto a las acciones y procedimientos que deben ejecutar cada uno de los operarios y funcionarios de la Empresa para alcanzar el uso y manejo adecuado del agua, contribuyendo a la reducción de un gran porcentaje de pérdidas del recurso hídrico en la planta.

Por otra parte, se recopiló información para la dependencia del acueducto de la Empresa Emserfusa E.S.P, la cual puede ser utilizada e implementada para sus funcionarios, lo cual puede ser la base para un nuevo seguimiento y evaluación de los programas y protocolos de uso eficiente y ahorro del agua de las demás plantas de la dependencia como lo son, planta Central y planta la Venta.

Conclusiones

La Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá en su dependencia de acueducto, actualmente no cumple con programas o protocolos encaminados al uso eficiente y ahorro del agua, en cada una de sus plantas de tratamiento de agua potable.

Gracias a los trabajos y seguimientos realizados en la planta de tratamiento de agua potable Pekín, se logró determinar la operatividad y el grado de la infraestructura de los acueductos y unidades de cada uno de los sistemas de tratamiento del recurso hídrico de la Empresa Emserfusa E.S.P; las cuales presentan notables daños físicos como grietas y fugas en algunas de sus tuberías de conducción, además de la falta de capacitación en el mantenimiento y lavado de cada una de las unidades de tratamiento, generan el desperdicio del agua diariamente y de igual forma la falta de arreglos pertinentes en las tuberías de conducción y tanques de filtración. Por otra parte, en el desarrollo de la investigación para la formulación de las medidas correctivas, se evidenció que la empresa no ha realizado las capacitaciones de mantenimientos y lavados correctivos para los sistemas operativos a sus funcionarios y demás operarios; con la finalidad de reducir en un gran porcentaje las pérdidas del recurso hídrico en la planta Pekín por los manejos inadecuados que se efectúan. Dando así cumplimiento a medidas y normativas vigentes, en la implementación de programas ó protocolos encaminas a un correcto uso y ahorro de este recurso tan indispensable.

De igual manera, se identificó que las mayores pérdidas del recurso se están efectuando en el sistema de filtración, debido a las fugas y daños que la unidad número ocho (8) presenta actualmente por un volumen de **236,98 m³** de agua. Además de la falta de capacidad de la planta para realizar el retorno del agua, una vez se realiza el lavado y limpieza de las unidades.

Las actividades y seguimientos pertinentes realizados en la Empresa prestadora del Servicio Público, además de la información brindada por parte del jefe de división de plantas, funcionarios y operarios sobre la operatividad, mantenimiento y lavado de las unidades de tratamiento de agua, y sobre el reconocimiento en la falta de programas y protocolos de uso eficiente y ahorro del agua, se logró determinar y dar desarrollo al proyecto encaminado a la reducción de un gran porcentaje del recurso hídrico en el seguimiento y procedimiento correctivo en la operatividad, mantenimiento y lavado de los sistemas de tratamiento de la planta. Asimismo se realizó la formulación de un protocolo del test de jarras basado en el método de adiciones estándar, el cual permite realizar correcciones en los procedimientos a desarrollar para la determinación de la dosis óptima en el tratamiento del agua, y también la operatividad de equipos para la caracterización adecuada del recurso; con el propósito de emplear eficientemente y ahorrar las sustancias químicas utilizadas en dicho tratamiento; estableciendo por medio de ellos las actividades correctivas de operatividad y mantenimiento que se llevan a cabo en la planta de tratamiento.

Para finalizar, la formulación de los protocolos establecidos se realizan con el propósito de implementarlos y aportar a la empresa mecanismos y estrategias encaminadas al uso eficiente y ahorro del agua en la planta Pekín, como también en la contribución de la calidad del recurso hídrico en su tratamiento. Por lo tanto, no se cuenta con una validación de los mismos.

Recomendaciones

Se sugiere a la Empresa prestadoras del servicio de acueducto, realizar y ejecutar programas y protocolos de ahorro y uso eficiente del recurso hídrico cada cinco años como lo indica la ley 373 de 1997. Igualmente, que se realicen las capacitaciones pertinentes a los operarios de cada una de las plantas de tratamiento, encaminadas a la operatividad, lavado y mantenimiento correctivo y preventivo, enfocado en el uso y preservación del agua.

Por otro lado, se sugieren una serie de actividades y proyectos, con el propósito de generar efectividad en el cumplimiento de uso y ahorro eficiente del agua en la planta Pekín, además de ocasionar una mayor conciencia tanto a los funcionarios de la Empresa, como de la comunidad en general. A continuación, se establecen las recomendaciones:

Optimización del polímero EXRO 626 en el proceso de dosificación

Se sugiere optimizar el proceso de dosificación de polímero en planta de tratamiento de agua potable Pekín, debido a que el aforo de salida de la dosificación evidencia que se desperdician **26,523 m³/día**. Si se optimiza el proceso con un gasto de **3%** sería un gasto aproximado de **8,00 m³/día**, con un ahorro diario de **18 m³/día**. Para este procedimiento se requiere la adquisición de cuatro (4) bombas dosificadoras de sustancias químicas. El propósito de dichas bombas dosificadoras es el de ahorrar en gran cantidad el polímero, debido que las dosificaciones en cada uno de los floculadores serían adecuados con el

caudal que presenta. Por otro lado, las condiciones fisicoquímicas del agua mejorarían en un **30%** debido a que no hay exceso ni defecto de la aplicación del coadyuvante. Es por dicha razón que se requiere la adecuación de este proceso. Además de la reubicación y adecuación de la caseta de dosificación del polímero catiónico EXRO 626; con características de aspecto tipo sólido granular, pH de aproximadamente 7 unidades y distribuido en sacos de 25 kilos; dicha área debe ser fresca y estar debidamente señalizada. De igual forma, se debe tener en cuenta que dicho polímero tiene una vida útil de un año en el saco mientras este se encuentre totalmente seco; y de 3 días en una solución del 0,1% al 0,05% que se encuentre lista para usar, por lo tanto debe tenerse en cuenta un espacio para el manejo, preparación y aplicación de la sustancia en el dosificador.

Por otro lado, según (Zuleta. D, 2017) y la evaluación de uso del polímero EXRO con referencia FLOQUAT 2565 para el tratamiento de aguas naturales en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner; se evidencia que el uso de polímero catiónico FLOQUAT con referencia 2565 de la casa EXRO, presenta resultados favorables y un alto rendimiento en el transcurso de preparación, dosificación y estabilización en el proceso de coagulación removiendo el 99% de suciedad del agua. Así mismo, es recomendable puesto que este ayuda a que la remoción de partículas sea mayor y el gasto de agua al momento de lavar los filtros sea menor ya que el tiempo de duración en el lecho filtrante es mayor y por lo tanto genera menos cantidad de lodos. Por lo tanto, se recomienda realizar el estudio correspondiente al polímero EXRO -FLOQUAT con

referencia 2565 teniendo en cuenta tanto las características fisicoquímicas del agua captada como las condiciones hidráulicas de la planta Pekín, con la finalidad de optimizar el polímero empleado en los procesos de dosificación y tratamiento, además de mejorar aun más la eficiencia en la planta de tratamientos.

Igualmente, el polímero seleccionado en el tratamiento del agua potable, debe cumplir con estudios previos a su optimización e implementación y tener en cuenta las condiciones hidráulicas de la planta, como también las condiciones y parámetros fisicoquímicos. Por lo tanto se restringe la sugerencia a dos polímeros puntuales como lo son polímero catiónico EXRO con referencia 626 y polímero catiónico EXRO con referencia FLOQUAT 2565.

Adecuación de la electrobomba de lavado de unidades operativas, y vaciado de filtros y sedimentadores.

Se recomienda mejorar los procesos de lavado de las unidades operativas de filtración, debido a que, en la actualidad, se realiza con agua potable y el gasto de sustancia química al igual que energías eléctrica no es favorable para la Empresa. Por esta razón se recomienda la compra e instalación de una electrobomba centrífuga autocebante SIEMENS de 4", altura máxima de 20 metros, tipo de corriente 220/440 (V) voltios, material consistente en acero, acabado resistente y con una capacidad de flujo mínima de 250 l/min.; con la finalidad de recircular el volumen de agua evacuada para la realización de dicho procedimiento de lavado y mantenimiento. Así mismo, si se llegará a emplear

dicho sistema; se estarían economizando en sustancias químicas como Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, Policloruro de Aluminio (PAC) y Polímero Catiónico adicionados en los procesos anteriores, igualmente se ahorraría un gran porcentaje del recurso hídrico, y consumo de energía eléctrica, puesto que la el agua ya cumple con un tiempo de retención hidráulico (TRH).

Lecho de secado de lodos

La generación de lodos producidos en el tratamiento de potabilización del agua en la planta Pekín no tiene ningún tratamiento, debido a que no se cuenta con ningún sistema de aprovechamiento de dicho subproducto y es vertido a la quebrada los Curos y posteriormente a la quebrada la Parroquia, contaminando dichos recursos hídricos. Por tal motivo los lodos deben ser tratados, puesto que están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud. Es debido a esto, que se recomienda la retención y deshidratación de lodos por medio de la adecuación e implementación de lechos de secado al aire.

Los lechos de secado son filtros poco profundos, llenos de arena y grava, con un sistema de drenaje en su parte inferior con la finalidad de recolectar los lixiviados. Los lodos a tratar son descargados sobre la superficie del sistema para deshidratarse (Figura 18). Este secado se basa en el drenaje de líquidos a través de la arena y la evaporación al aire del agua presente en la superficie de los lodos. Su diseño y operación son muy sencillos y fáciles de comprender, siempre y cuando la tasa de carga de los lodos esté

bien seleccionada y los puntos de entrada de los lodos estén bien diseñados. Según las características de los lechos de secado, una fracción variable desde un 50 hasta un 80 % se drena como lixiviados, líquidos todavía contaminados que deben ser recolectados y tratados antes de su descarga en el ambiente. Una vez secados hasta el grado deseado, los lodos son extraídos del lecho manual o mecánicamente. Un tratamiento posterior para la estabilización y la reducción de patógenos puede ser necesario, según su uso o disposición final. Al considerar la instalación de un lecho de secado, se debe considerar no solo su facilidad de operación a bajos costos, sino también la amplia extensión de terreno que será necesaria. (Tilley et al., 2014).

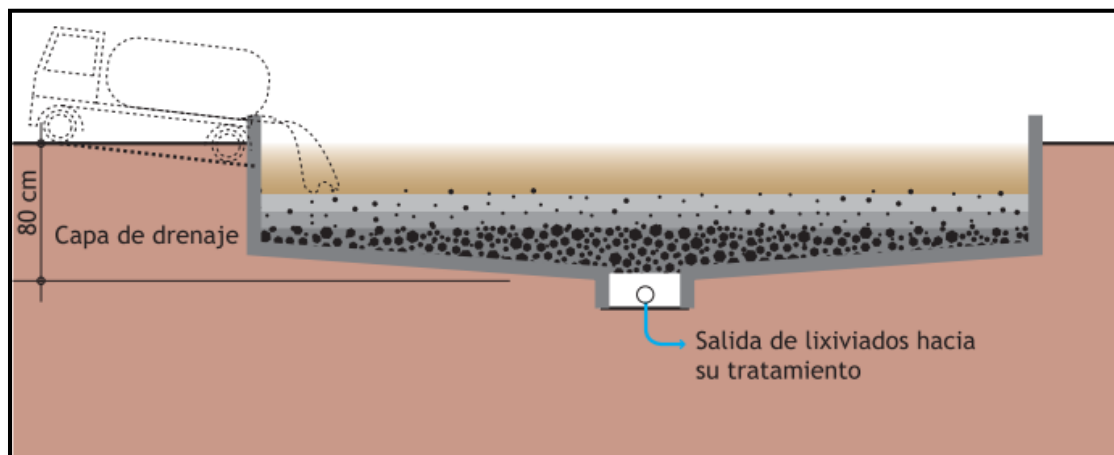


Figura. 18 Esquema de un lecho de secado de lodos. Tilley et al. (2014).

Instalación sensor de nivel en rebose de la planta

Se recomienda la compra e instalación de un sensor de nivel en tanque de distribución debido a posibles pérdidas del agua potable, generados por el rebose de la misma cuando

el tanque de distribución llega a su máximo nivel. Esto con el propósito de evidenciar el nivel adecuado del tanque sin generar desperdicios del recurso.

Proyecto parque del agua

Por la gran extensión de tierra y abundante biodiversidad de fauna y flora en el sector donde se encuentra actualmente ubicada la planta Pekín, se recomienda generar variedad de actividades de concientización del recurso hídrico, a la comunidad en general en el proyecto parque del agua, con el fin de dar un valor agrado a la Empresa y generar conciencia a la comunidad por medio de charlas y recorridos acerca del buen uso y ahorro eficiente del agua, siendo dicho recurso vital para la vida.

La propuesta del parque del agua, se tiene proyectada por parte de la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá con ayuda de Secretaria de Agricultura, Ambiente y Tierras del Municipio. Actualmente el documento, se encuentra en proceso de formulación. Dicho parque se proyectará con senderos ecológicos, aulas ambientales, un museo del agua, además de un recorrido por los diferentes procesos de tratamiento de agua cruda en la planta (figura 19).



La formulación de la propuesta se está realizando por parte de un operario de la planta Pekín y el pasante de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cundinamarca. Así mismo se cuenta con el aval de la Alcaldía Municipal, la gerencia de la Empresa Emserfusa E.S.P y el jefe de división de plantas de tratamiento.

Referencias

LEY 142 (11 de julio de 1994). Obtenido del régimen de los servicios públicos domiciliarios y otras disposiciones:

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

LEY 373 (11 de junio de 1997). Obtenido del programa para el uso eficiente y ahorro del agua:

https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf.

DECRETO 2811 (18 de diciembre de 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente:

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf.

DECRETO 475. (10 de marzo de 1998). Obtenido de normas técnicas de calidad del agua potable: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>.

DECRETO 1575 (09 de mayo de 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para consumo humano:

<https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>.

DECRETO 1090 (28 de junio de 2018). Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua y se dictan otras

disposiciones: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto%201090%20de%202018.pdf>.

ABREU, I. R. (2001). Manual Operación y Mantenimiento Planta de Tratamiento Haina-Manoguayabo. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/haina.pdf>.

AMBIENTE, E. C. (2002). Operación y mantenimiento de plantas. Obtenido de [http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\) \(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)%20(2).pdf).

COLOMBIA, C. D. (1991). Constitución Política de Colombia. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/037_O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores/O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores.pdf.

CRAUN, G.F., BULL, R.J., CLARK, R.M., DOULL, J., GRABOW, W., MARSH, G.M., OKUN, DA., REGLI, S., SOBSEY, M.D. Y SYMONS, J.M. Balancing Chemical and Microbial Risks of Drinking Water Disinfection, Part 1, Benefits and Potential Risks. *J Water SRT -- Agua*, 1994; 43(4): 192-199.

EPA. (1998). Lineamientos para el Plan de Conservación del Agua.

GORDILLO DE C. G. E. (2013). Investigación técnica y económica sobre desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación. E.T.S.I. de Caminos, canales y puertos. Tesis Doctoral. 99-102 pp.

GUIA DE AHORRO Y USO EFICIENTE DEL AGUA (2002). Publicado por: Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales. Recuperado de: https://sig.unad.edu.co/documentos/sgc/documentos_referencia/GUIA_AHORRO_Y_USO_EFICIENTE_DE_AGUA.pdf.

INTERNACIONAL-AVINA., C. (2012). Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Obtenido de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable: <http://www.avina.net/avina//wp-content/uploads/2013/03/modulo-5-ok.pdf>.

LÓPEZ, A. C & JIMÉNEZ B. F (2016). Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable san antonio-asociacion sucuneta. Facultad del medio ambiente y recursos naturales, tecnología: gestión y servicio público, Universidad distrital francisco José de caldas. Bogotá D.C. Obtenido de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4195/2/Anexo%20-%20Manual%20de%20operaciones%20PTAP%20San%20Antonio%20-%20Asociacion%20Sucuneta.pdf>.

MADS. (2012). Pacto por el uso Eficiente del Agua y Ahorro del Agua. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible andesco - cámara sectorial acueducto y alcantarillado.

MADS-ANDESCO. (2015). Pacto por el Uso Eficiente y Ahorro del Agua. Pactos por el Uso Eficiente del Agua (pág. 5). Bogotá: ANDESCO. Recuperado de andesco.org:

http://www.andesco.org.co/images/Camaras/medioambiente/PACTOAGUA_Junio17.pdf.

MANUAL DE ADMINISTRACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. (2015). Obtenido de manual de administración, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y saneamiento básico:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5A82544C0887919A05257CF40070B2CA/\\$FILE/1_pdfsam_Guate_Administracion_operacion_y_mantenimiento_APS.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5A82544C0887919A05257CF40070B2CA/$FILE/1_pdfsam_Guate_Administracion_operacion_y_mantenimiento_APS.pdf).

PLEACE NEWS TEAM. (2016). Obtenido de ¿Qué es la adsorción?:

<https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-adsorcion/>.

POTABLE, E. A. (2016). La coagulación - floculación en el proceso de tratamiento.

Obtenido de la coagulación - floculación en el proceso de tratamiento:

<http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>.

RAS. (2000). REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO TITULO A. Obtenido de

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf.

RAS. (2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO TITULO B. Obtenido de http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf.

RAS. (2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO TITULO C. Obtenido de http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf

ROMERO ROJAS, JAIRO ALBERTO. 1999. Potabilización del Agua. México, D.F: Alfaomega, 1999.

TILLEY, E., LÜTHI, C., MOREL, A., ZURBRÜGG, C., SCHERTENLEIB, R. (2014). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Dübendorf, Suiza: EAWAG. Disponible en: http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium_e/spanish_version.

UNATSABAR. (2005). Procedimientos para la operación y mantenimiento de la red de distribución. Obtenido de procedimientos para la operación y mantenimiento de la red de distribución: <http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/agua/143esp-O&Mredesdirtr.p>.

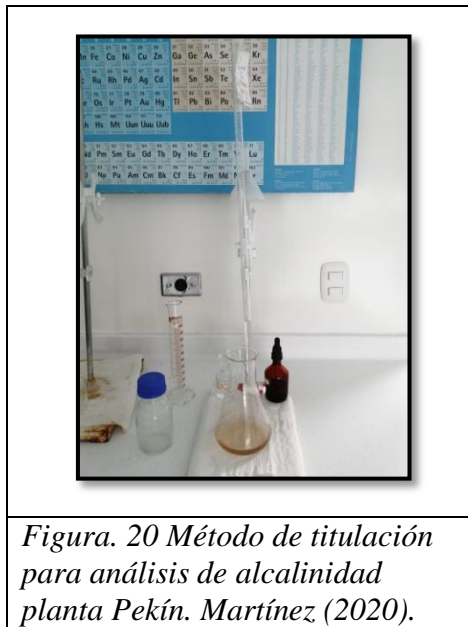
ZULETA, D. (2017). Evaluar el uso del polímero FLOQUAT 2565 para tratamiento de aguas naturales en la planta Francisco Wiesner. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. Obtenido de: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2680/DOCUMENTO%20FINAL%20FINAL%20dz%20para%20CD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Anexos


Anexo A. Formato 800-F-02, registro de parámetros de control, determinación óptima de coagulantes/floculantes, prueba de jarras

La realización del test de jarras experimental con ayuda del auxiliar de laboratorio de aguas, se realizó en tres ocasiones, una prueba cada mes correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo. Además, se realizó el acompañamiento en algunas de las pruebas realizadas por los operarios; las cuales se efectúan tres veces por día, en el turno correspondiente de cada funcionario como lo exige la normatividad vigente, según las características de capacidad de la planta. Así mismo, se tuvieron en cuenta los procedimientos y resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas por los operarios para el desarrollo del protocolo.

Por otro lado, como se evidencia en el anexo A, análisis experimental 1 no se realizaron ni obtuvieron en su totalidad los parámetros de agua cruda; al corresponder a una prueba experimental. El pH del agua cruda en la planta Pekín varía entre 6,5 y 8,0 UND, así mismo, el color aparente de la muestra cruda se encuentra en un rango de 28 a 32 UPC. Por último, el proceso para conocer la alcalinidad, se efectúa por medio del método de titulación (figura 20), el cual consiste en determinar la molaridad de la muestra de agua, con el fin de conocer su acidez o basicidad.




Análisis experimental 1

	REGISTRO DE PARÁMETROS DE CONTROL, DETERMINACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTES/FLOCULANTES. PRUEBA DE JARRAS	CÓDIGO 800-F-02 VERSIÓN 03 PÁGINA 1 de 1				
	PLANTA DE TRATAMIENTO: <u>PEKIN</u> Prueba Mensual No. <u>EXPERIMENTAL</u> FUENTE: <u>Q. HONDA / FILADELFA</u> Q <u>150 LS</u> HORA: <u>2:00 pm</u> DIA: <u>MIÉRCOLES</u> FECHA: <u>04/03/2020</u> TIPO DE COAGULANTES: <u>POLIQUINSA</u> - (<u>Jarra</u>) con <u>Al₂SO₄ TPA A</u> <u>#2 (1+2) #3, #4 #5 y #6</u> <u>Macken flocc 2.</u>					
	AGUA CRUDA: TURBIDEZ <u>3,49</u> UTN COLOR _____ UPC pH _____ UND ALCALINIDAD _____ mg/l CaCO ₃					
AGUA FLOCULADA (SEDIMENTADA):						
JARRA No.:	1	2	3	4	5	6
LITROS DE AGUA	2	2	2	2	2	2
MILILITROS SOLUCION DE SULFATO AL 1%	2,6	<u>1,2</u> 0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
DOSIF. SULFATO mg/l 1%	Por <u>13</u>	Por <u>0,6</u>	Por 8	Por 10	Por 12	Por 14
MILILITROS SOLUCION DE PAC AL %	-	-	-	-	-	-
MILILITROS SOLUCION DE POLIMERO AL %	-	-	-	-	-	-
MILILITROS SOLUCION DE CAL AL %	-	-	-	-	-	-
COLOR UPC						
TURBIDEZ UTN	4,66	2,38	2,26	2,63	2,75	3,06
pH UND						
ALCALINIDAD mg/l CaCO ₃						
REGISTRO DE OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO: <u>#12 = POLIQUINSA + Macken flocc.</u> <u>NO AUMENTO SEDIMENTACIÓN - NO GENERA CARACTERÍSTICAS</u> <u>de flocculamiento respecto al Coagulante que se maneja</u> DOSIFICACIÓN ÓPTIMA (mejores parámetros) por <input style="width: 50px;" type="text"/> mg/L						
NOTA: LA PRUEBA DE JARRAS SE DEBE REALIZAR, EFECTIVAMENTE, AL MENOS UNA VEZ EN CADA TURNO. LEA INSTRUCCIONES.						
OPERARIO: _____			Vo. Bo. _____ <u>Alberto / Daniel</u> JEFE DIVISIÓN PLANTAS DE TITO Y/O AUXILIAR DE LABORATORIO			
REALIZÓ Y EVALUÓ _____						

Fuente. Emserfusa E.S.P & Martínez (2020).

Análisis experimental 2



**REGISTRO DE PARÁMETROS DE CONTROL,
DETERMINACIÓN ÓPTIMA DE
COAGULANTES/FLOCULANTES. PRUEBA DE
JARRAS**

CÓDIGO 800-F-02

VERSIÓN 03

PÁGINA 1 de 1

PLANTA DE TRATAMIENTO: PERU Prueba Mensual No. EXPERIMENTAL DC
 FUENTE: Q. H 015013
 HORA: 11:30pm DIA: Miércoles FECHA: 04-03/2020
 TIPO DE COAGULANTES: POLYQUINSA - (Jarra con $Al_2SO_4^2$ tipo D)

AGUA CRUDA: 2,5 UTN COLOR 32 UPC
 TURBIDEZ 7,05 UND ALCALINIDAD 7 mg/l CaCO₃
 pH 7,05

AGUA FLOCULADA (SEDIMENTADA):

JARRA No.:	1	2	3	4	5	6
LITROS DE AGUA	2	2	2	2	2	2
MILILITROS SOLUCION DE SULFATO AL 1%	2,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
DOSIF. SULFATO mg/l 1%	Por 13	Por 6	Por 8	Por 10	Por 12	Por 14
MILILITROS SOLUCION DE PAC AL %	-	-	-	-	-	-
MILILITROS SOLUCION DE POLIMERO AL %	-	-	-	-	-	-
MILILITROS SOLUCION DE CAL AL %	-	-	-	-	-	-
COLOR UPC	16	32	28	32	18	18
TURBIDEZ UTN	2,19	1,59	1,75	2,16	0,79	0,65
pH UND	4,99	6,49	6,47	6,35	6,41	6,18
ALCALINIDAD mg/l CaCO ₃						

REGISTRO DE OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO: flor en jarra #1 / #5 y #6

DOSIFICACIÓN ÓPTIMA (mejores parámetros) por 12/14 mg/L

NOTA: LA PRUEBA DE JARRAS SE DEBE REALIZAR, EFECTIVAMENTE, AL MENOS UNA VEZ EN CADA TURNO. LEA INSTRUCCIONES.

OPERARIO: _____

REALIZÓ Y EVALUÓ

Vo. Bo. Alberto Daniel

JEFE DIVISIÓN PLANTAS DE TTTO Y/O AUXILIAR DE LABORATORIO

Fuente. Emserfusa E.S.P & Martínez (2020).

Anexo B. Registros fotográficos, planta Pekín.

Toma de fotografías de cada una de las unidades de operatividad, sustancias químicas, equipos y aéreas de operatividad de la planta.

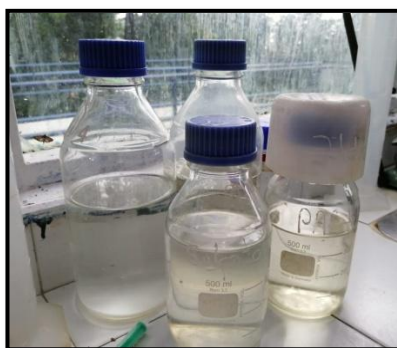


Figura. 21 Formato 800-F-02, registro de parámetros de control, determinación óptima de coagulantes/floculantes, prueba de jarras, planta Pekín. Martínez (2020).

Figura. 22 Solución patrón al 1%; compuesta de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ Tipo A, Policloruro de Aluminio (PAC), además de polímero catiónico (EXRO 626) al 0,01%, laboratorio planta Pekín. Martínez (2020).

Figura. 23 Patrones de lectura de color, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 24 Equipo centrifuga para medición de color, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 25 Turbidímetro digital HACH 2100, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 26 pH - metro en solución estabilizadora Cloruro de Potasio (KCL), planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 27 Sistema de bombeo, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 28 Tablero de control del sistema de bombeo, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 29 Generador eléctrico, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 30 Válvulas, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 31 Operario de turno y auxiliar de laboratorio en la caracterización del agua cruda, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 32 Vertedero de aforo, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 33 Bodega de almacenamiento de sustancias químicas,



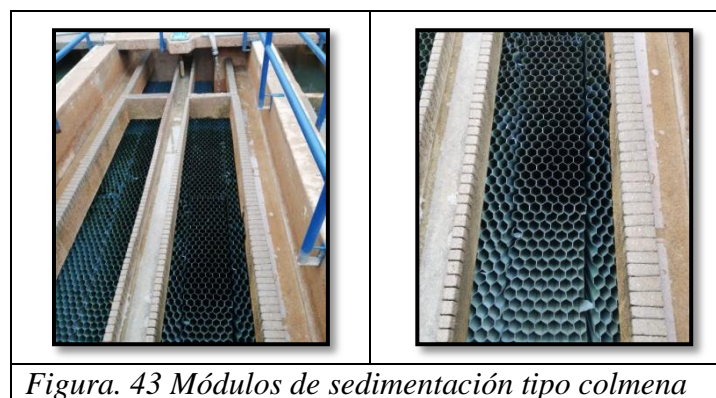
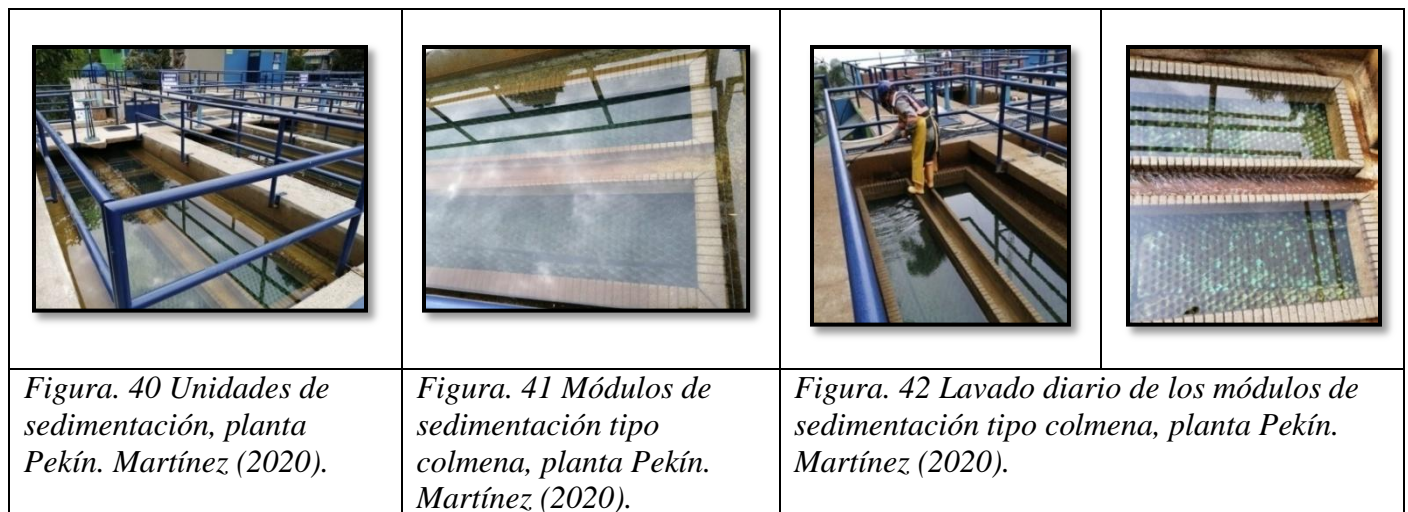
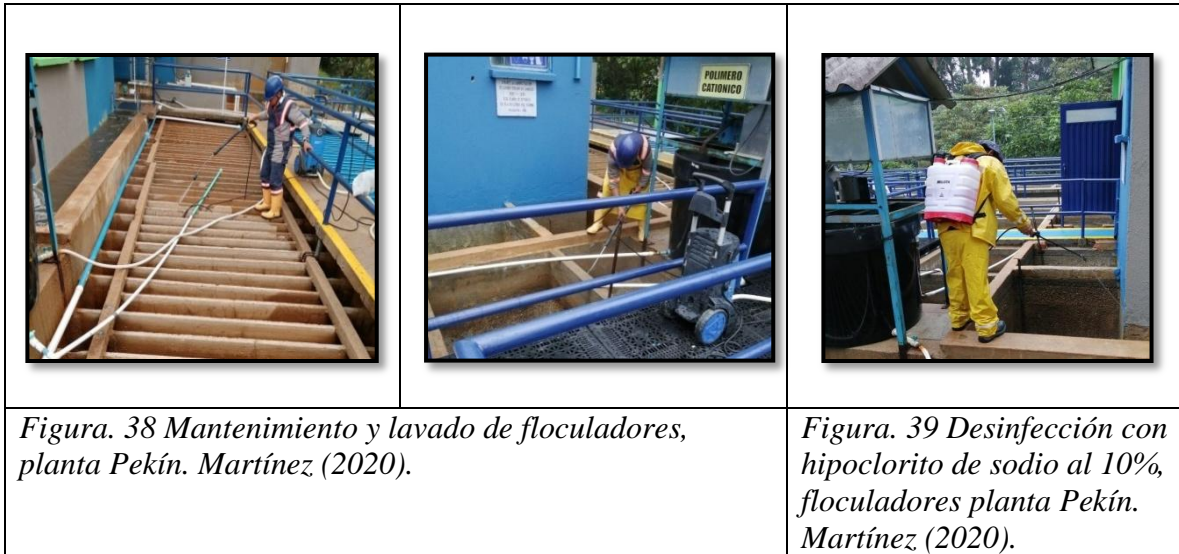
Figura. 34 Salón de dosificación de sustancias



Figura. 35 Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) empleado para el

<i>planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>química, planta Pekín. Martínez (2020.)</i>	<i>tratamiento de agua de agua cruda, planta Pekín. Martínez (2020).</i>
---------------------------------------	--	--





vacíos, en estado de limpieza y mantenimiento, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 44 Filtros, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 45 Operatividad de la válvula de salida en los filtros, planta Pekín. Martínez (2020).

Figura. 46 Canaleta de lavado de filtros, planta Pekín. Martínez (2020).

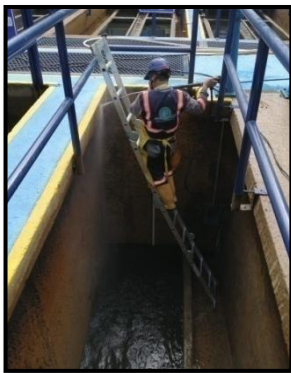


Figura. 47 Lavado de filtros, planta Pekín. Martínez (2020)



Figura. 48 Válvula de entrada y salida de agua en los filtros, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 49 Fumigación de filtros con hipoclorito de sodio al 10%, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 50 Compresor de aire,







Figura. 51 Cilindro de



Figura. 52 Cierre de cilindro de

<i>planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>cloración en la respectiva báscula, planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>cloro con llave 800, planta Pekín. Martínez (2020).</i>
---------------------------------------	---	--

			
<i>Figura. 53 Cilindros de cloro gaseoso, planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>Figura. 54 Clorador, planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>Figura. 55 Eyector, planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>Figura. 56 Medidor de cilindros de cloración, planta Pekín. Martínez (2020).</i>

	
<i>Figura. 57 Tanque de pos - alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).</i>	<i>Figura. 58 Cuarto de pos - alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).</i>



Figura. 59 Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, producto alcalinizante, planta Pekín. Martínez (2020).



Figura. 60 Cámara de llegada al tanque de pos-alcalinización, planta Pekín. Martínez (2020).