



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Tema: Optimización del proceso de coagulación en el tratamiento de agua a partir de la adición de basificantes en la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A

Trabajo de Titulación, Modalidad: Experiencia Práctica de Investigación y/o Intervención. Presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniera en Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Autor: Adriana Soledad Yugcha Pérez

Tutor: Quím. Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

Ambato-Ecuador

Agosto-2018

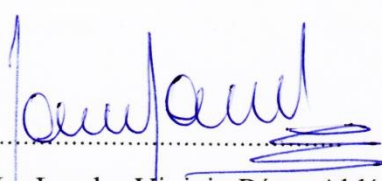
APROBACIÓN POR EL TUTOR

Quím. Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha ido prolijamente revisado. Por lo tanto autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Experiencia Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 26 de junio de 2018



Quím. Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás
C.I. 180270659-6
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Adriana Soledad Yugcha Pérez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



.....
Adriana Soledad Yugcha Pérez

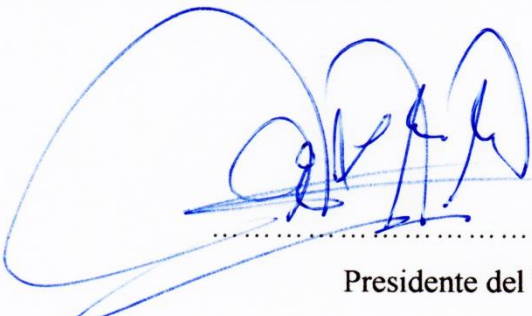
180424558-5

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación modalidad Experiencia Práctica de Investigación y/o Intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

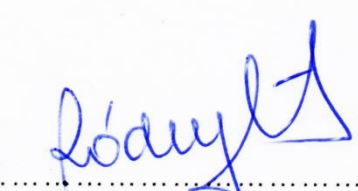
Para constancia firman:



.....
Presidente del Tribunal



.....
MSC. Manolo Alexander Córdova Suárez
CI: 180284250-8



.....
PhD. Dr. Rodney David Peñafiel Ayala
CI: 171228352-0

Ambato, 11 de julio de 2018

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



.....
Adriana Soledad Yugcha Pérez

180424558-5

AUTORA

DEDICATORIA

A mi padre por ser el promotor de un sueño e impulsarme a alcanzarlo,
.

A mis hermanos Javier y Jairo por todos los momentos que hemos compartido, sus palabras de aliento y motivación para no rendirme, a Cristina por ser más que una cuñada una amiga y a mis sobrinas Celeste y Emily quienes con sus pequeñas ideas y travesuras me cautivaron llenándome de alegría y gozo.

A mi familia y amigos por estar a mi lado compartiendo buenos y malos momentos.

Para José, por su amor y paciencia.

AGRADECIMIENTO

Al gran equipo de trabajo que conforma la EP-EMAPA-A y por permitirme ocupar instalaciones, en especial a Cathy, Jaque, Andre, Marcelo y David por su constante apoyo y guía brindada en la realización de la investigación.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por la formación dada; en especial los docentes Ing. Dolores Robalino, Quim. Mg. Lander, PhD. Dr. Rodney Peñafiel, Ing. Manolo Córdova MSc. e Ing. Geovanny Vega Mg. por resolver mis inquietudes e impulsar el desarrollo de la presente investigación gracias a su asesoría y motivación.

A Sandrita y Daniel quienes inculcaron en mí deseo de continuar con mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN POR EL TUTOR	II
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERECHOS DE AUTOR	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos.....	4
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes investigativos.....	5
2.1.1 Normativas para agua de consumo humano.....	7
2.2 Hipótesis.....	8
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	8
2.3.1 Variable independiente.....	8
2.3.2 Variable dependiente.....	8
CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1 Materiales	9
3.1.1 Materiales y Equipos.....	9
3.1.2 Reactivos	9

3.2 Métodos.....	10
3.2.1 Localización	10
3.2.2 Metodología	11
3.2.3 Muestreo de agua cruda en época de lluvia	12
3.2.4 Dosificación de coagulante y agentes basificantes	12
3.2.5 Análisis fisicoquímico de agua cruda	18
3.3 Diseño Experimental.....	18
3.3.1 Análisis estadístico.....	19
CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Análisis y discusión de los resultados.....	20
4.1.1 Evaluación de la concentración óptima de basificantes.....	20
4.1.2 Características fisicoquímicas de muestras resultantes de la prueba de jarras.....	24
4.1.3 Evaluación de características fisicoquímicas de agua tratada en base a la Norma NTE INEN 1108:2014 post-tratamiento aplicada por la EP-EMAPA-A25	
4.1.4 Estimación económica	26
4.2 Verificación de hipótesis.....	27
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
5.2 Conclusiones	28
5.3 Recomendaciones	30
MATERIALES DE REFERENCIA.....	31
Referencias Bibliográficas.....	31
ANEXOS	35
Anexo A Histórico de turbiedades de agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A.....	36
Anexo B Tablas de Resultados y Análisis estadístico	37
Anexo C Normativa para agua de consumo humano	47
Anexo D Fotografías	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles para agua cruda y de consumo a ser evaluados en el presente trabajo de investigación	8
Tabla 2 Equipos empleados en el proceso de investigación	9
Tabla 3 Características del coagulante policloruro de aluminio	13
Tabla 4 Interpretación del índice de saturación de langelier.....	17
Tabla 5 Métodos para análisis físico-químico para agua cruda	18
Tabla 6 Evaluación de los límites permisibles de las muestras resultantes de la prueba de jarras.....	26
Tabla 7 Costo de materiales e insumos para la dosificación de hidróxido de calcio para el tratamiento de agua cruda	27
Tabla 8 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 1	37
Tabla 9 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 2	39
Tabla 10 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 3	41
Tabla 11 Características fisicoquímicas del agua cruda empleada durante el periodo de estudio	43
Tabla 12 Resultados de las pruebas de jarras del agua cruda empleada durante el periodo de estudio.....	43
Tabla 13 Análisis estadístico considerando la combinación de las tres semanas del periodo de estudio para los mejores tratamientos de acuerdo al análisis de tukey al 95% de confianza.....	44
Tabla 14 Dosis óptima de los diferentes tratamientos avaluados en el periodo de investigación	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de la planta de tratamiento de agua potable Casigana	10
Figura 2 Representación esquemática de la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A.	56
Figura 3 Agua que ingresa al canal Huachi-Pelileo en la época lluviosa	57
Figura 4 Prueba de jarras realizada a los distintos tratamientos	57
Figura 5 Análisis físico y químicos realizados durante el periodo de estudio	57

RESUMEN

La adición de basificantes empleados para la potabilización del agua permiten acondicionar la misma para su óptimo tratamiento, influyendo principalmente parámetros fisicoquímicos como turbiedad, pH, sólidos disueltos totales, dureza cálcica y alcalinidad en el proceso de coagulación. Por lo tanto, se emplean distintos agentes basificantes como hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, carbonato de sodio y carbonato de calcio al 5%, teniendo como factores de estudio la concentración de coagulante, así como el volumen añadido de base para una remoción óptima la turbiedad. Para lo cual se emplea tres muestras de agua con alta turbiedad proveniente del canal Huachi-Pelileo captado en la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A en época lluviosa. Se emplea prueba de jarras para los distintos tratamientos, teniendo que el mejor basificante es el hidróxido de calcio (a1b2c1) con una remoción del 99.4% de turbidez, el mismo permite la reducción de por lo menos 20 mg/L de coagulante y de acuerdo a la norma INEN NTE 1108:2014 los parámetros evaluados se encuentran dentro de cumplimiento de los límites permisibles utilizados para agua potable.

Palabras clave: coagulación del agua, EP-EMAPA-A, potabilización del agua, parámetros de agua potable.

ABSTRACT

Adding basifying used in drinking water allows conditioning it for optimal treatment, mainly influencing physicochemical parameters such as turbidity, pH, total dissolved solids and alkalinity in the coagulation process. Therefore, different basifying agents such as sodium hydroxide, calcium hydroxide, sodium carbonate and calcium carbonate 5%, taking as factors study the concentration of coagulant, as well as the added volume of base for an optimal removal of the turbidity. For which three water samples used with high turbidity from the Huachi-Pelileo channel captured in the Casigana drinking water treatment plant of EP-EMAPA-A in the wet season. Jar test was used for the different treatments, the best basifying being calcium hydroxide (a1b2c1) with a removal of 99.4% of turbidity, allowing the reduction of at least 20 mg / L of coagulant and according to the norm INEN NTE 1108: 2014 the parameters evaluated are within compliance with the permissible limits used for drinking water.

Keywords: water coagulation, EP-EMAPA-A, water purification, drinking water parameters.

INTRODUCCIÓN

El agua captada de fuentes naturales superficiales como efluentes de ríos, vertientes, o incluso de fuentes subterráneas, posee varios contaminantes físicos, químicos y microbiológicos que deben ser removidos con la finalidad de que sea apta para el consumo humano (Brears, 2017).

En el Ecuador existen dos épocas climáticas, diferenciadas entre la época lluviosa (enero-abril/mayo) y época seca (junio-diciembre); por lo tanto, las características fisicoquímicas del agua varían significativamente entre estas dos épocas del año; puesto que, de acuerdo a la cantidad de lluvia que se presente provoca mayor arrastre de sedimentos, mayor turbiedad y color, baja alcalinidad y pH, lo cual conlleva al cambio de dosificación del producto químico empleado para la potabilización del agua.

La adición de reactivos básicos destinados para el tratamiento del agua para consumo humano generalmente ayudan en la corrección química y acondicionamiento del agua para adaptar su calidad a su destino (Degremont, 1979). Respecto a esto, Cruz, López, Torres, y Bueno (2015), mencionan que los alcalinizantes más empleados para llevar a cabo el proceso de ajuste de pH del agua potable son cal hidratada, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, carbonato de calcio e hidróxido de sodio. Además, (Bueno-Zabala, Torres-Lozada, y Delgado-Cabrera, 2014), los niveles bajos de alcalinidad generan la necesidad de realizar procesos de ajuste de pH, mismos que son monitoreados con el fin de evitar fenómenos de agresividad, corrosión o incrustaciones en los sistemas de distribución de agua.

Por lo tanto, el propósito de este estudio se basa en la búsqueda del basificante y su concentración óptima que permitan acondicionar el agua en el proceso de coagulación para la remoción de turbidez, con la finalidad de reducir el coagulante químico empleado y considerándose para ello la época lluviosa en nuestro país. De tal modo, la “EP-EMAPA-A” seguirá cumpliendo con las exigencias de calidad y productividad, brindando de esta manera confianza a la población Ambateña respecto al servicio de agua potable que brinda, manteniéndose técnicamente competente y bajo normas de calidad.

CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA

1.1 Tema

“Optimización del proceso de coagulación en el tratamiento de agua a partir de la adición de basificantes en la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A”

1.2 Justificación

La calidad del agua es inherente a su fuente, ya que depende de la hidrogeología de la cuenca así como de los niveles de actividad humana cercanos, afectando en su concentración de sustancias químicas, físicas, biológicas y radiológicas (Shammas, Wang, y Okun, 2015); por lo que, el mejoramiento de la calidad e inocuidad del agua para consumo conlleva a la adición de sustancias químicas para la potabilización de esta. (WHO, 2017b).

La variación del clima se considera un factor importante en la composición de las aguas ya que en tiempos de sequía, gran parte del agua que fluye por los canales de superficie proviene de las aguas subterráneas y de escorrentía, presentando bajas cantidades de sólidos en suspensión, mientras que en tiempos de inundaciones, el flujo de las corrientes lleva gran cantidad de sedimentos. De ello se deriva que la demanda en la dosificación de químicos añadidos en el proceso de coagulación para la obtención de agua de calidad varía en cada época (Shammas et al., 2015).

La eficiencia del proceso de coagulación se encuentra en función de la calidad del agua cruda, del coagulante o aditivos utilizados, de factores operativos, así como de las condiciones de mezclado, dosis de coagulantes y pH (WHO, 2017b). En relación a esto, Crittenden et al. (2012) mencionan que la dosificación de alumbre requerida para reducir la turbidez depende del pH; así como también del aumento de la alcalinidad del agua a ser tratada ya que esto mejora el efecto de los coagulantes (AWWA, 2009).

Además, la velocidad de reacción de la mayoría de compuestos metálicos involucrados en las reacciones de corrosión se puede controlar mediante la regulación de pH; sin embargo, al adicionar compuestos basificantes para lograr este objetivo se debe también controlar la calidad de agua en la tubería con la finalidad de prevenir la formación de incrustaciones o corrosiones en la misma.

La mayoría de índices desarrollados para caracterizar el potencial de corrosión se basan en la capacidad a depositar o disolver carbonato de calcio (WHO, 2017b), el índice de Langelier (IL), es uno de los índices empleados para evaluar la calidad del agua en la tubería, respecto a si esta es incrustante o corrosiva, para lo cual, se debe considerar algunos parámetros fisicoquímicos como son el pH, sólidos disueltos totales, dureza cálcica y alcalinidad (Kalyani, Rajesh, Reddi, Kumar, y Rao, 2017).

En la planta de tratamiento de agua potable Casigana se dispone de un tratamiento convencional en la cual se emplean productos químicos para la potabilización con certificaciones NSF. Durante todo el proceso productivo, se realiza el control de calidad del agua en cada una de las etapas, la información resultante debe encontrarse dentro de los límites establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1, para agua cruda; y Norma NTN INEN 1108:2014 AGUA POTABLE. REQUISITOS para agua potable.

En la actualidad, la EP-EMAPA-A en sus plantas de tratamiento de agua potable no considera el empleo de productos basificantes durante el proceso de coagulación; por lo tanto, la finalidad de este trabajo de investigación es determinar la dosis óptima de basificantes como ayudante de coagulación, reduciendo de esta manera el coagulante añadido y reduciendo los costos de producción inherente al tratamiento.

Por consiguiente, aplicar distintos agentes basificantes como hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, carbonato de calcio y carbonato de sodio para la regulación del pH en el agua a ser tratada, ayudará a obtener datos experimentales que nos permitan comparar los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos con la finalidad de evaluar la efectividad de cada uno de ellos en la remoción de turbidez y, a la vez,

desarrollar alternativas que permitan la optimización del proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable Casigana de la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A).

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Optimizar el proceso de coagulación mediante la adición de basificantes en el tratamiento de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Casigana de la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A).

1.3.2 Específicos

- Determinar la dosis óptima y efectividad de agentes basificantes específicamente: hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, carbonato de calcio, carbonato de sodio para la remoción de turbiedad en la producción de agua potable.
- Caracterizar la calidad del agua aplicando parámetros fisicoquímicos como Índice de Saturación de Langelier en el tratamiento de agua potable en la Planta Casigana de la EP-EMAPA-A.
- Evaluar el cumplimiento de los parámetros de producción de agua tratada en base a la Norma NTE INEN 1108 post-tratamiento aplicada por la EP-EMAPA-A.

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

Las cuencas hidrográficas o de captación se consideran como las unidades más importantes para su óptimo tratamiento, teniendo como fuentes principales de agua natural aquellas que provienen de aguas subterráneas y superficiales (Crittenden et al., 2012). La mayoría de aguas naturales muestran carga negativa en la superficie de sus moléculas, provocando que sea fuertemente dependiente del pH (AWWA, 2010).

La precipitación química en el proceso de coagulación resulta un proceso efectivo en la remoción de muchos contaminantes, la cual depende principalmente de la solubilidad de varios compuestos formados en el agua, basándose en el principio de LeChâtelier, en el que la concentración residual de un metal se encuentra en función del pH (AWWA, 2002), en consecuencia la adición de grupos hidroxilos provoca el aumento en el pH.

Un control óptimo de pH en el proceso de precipitación química (coagulación) permite reducir turbidez y color, ayuda en el control de la corrosión, la determinación de dosificaciones químicas adecuadas y un control adecuado de la desinfección (Shammas et al., 2015). Al mismo tiempo, reduce o elimina la repulsión y mejora la eliminación de partículas mediante procesos de sedimentación y filtración (AWWA, 2010). Por otra parte, la alcalinidad proporciona la capacidad de estabilizar el agua para mantener un pH óptimo necesario en la precipitación química durante el proceso de coagulación (Shammas et al., 2015).

La evaluación de metodologías de riesgo para mezclas de productos químicos en la etapa de coagulación del agua ha sido publicada por varios organismos autorizados y, aunque no existe una metodología aceptada por organismos reguladores, se considera que las concentraciones de productos químicos adicionados en el agua para consumo

humano deben ser muy pequeñas y su potencial de interacción limitado con la finalidad de no influir fisiológica y bioquímicamente en la población servida (WHO, 2017a).

Por lo que, en el tratamiento de agua potable se pueden agregar varios productos químicos, como por ejemplo el hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, carbonato sódico, carbonato cálcico que contribuyen a la alcalinidad y regulación del pH (Torres-Lozada, Bueno-Zabala, Delgado-Cabrera, Barba-Ho, y Cruz-Vélez, 2015); en todos los casos, resulta de gran importancia especificar la calidad de los productos químicos añadidos para que el agua final no contenga concentraciones inaceptables de contaminantes no deseados (WHO y Thompson, 2007).

Además, la Organización mundial de la salud (2017b), menciona que en condiciones operativas adecuadas, como la realización del proceso de coagulación a un pH óptimo, evitar el uso excesivo de dosis de aluminio, ajustar la velocidad de las paletas a su valor óptimo y filtrar de manera eficiente el flóculo de aluminio; permite reducir al mínimo las concentraciones residuales de aluminio en el agua tratada hasta 0,1 mg/l.

El pH controla la solubilidad y la velocidad de reacción de la mayoría de las especies de metales involucradas en las reacciones de corrosión (Degremont, 1979). La corrosión puede provocar fallas estructurales, fugas, pérdida de capacidad de las tuberías y deterioro de la calidad del agua, así como también, afectar los materiales que constituyen los sistemas de tratamiento y suministro, tanques, tuberías, válvulas y bombas, ya que en ciertas circunstancias el agua puede ser corrosiva, considerándose su control como un factor importante en la gestión del sistema de agua potable (WHO, 2017b).

El Índice de Saturación de Langelier permite predecir la tendencia del carbonato de calcio a precipitar o disolverse, proporcionando un indicador del grado de saturación del agua en condiciones de equilibrio con respecto al carbonato de calcio (Alsaqqar, Khudair, y Kareem Ali, 2014), mostrando la capacidad del agua a ser corrosiva o incrustante (Tavanpour, Noshadi, y Tavanpour, 2016); ya que el control de la corrosión involucra parámetros que dependen de concentraciones de calcio, bicarbonato,

carbonato y oxígeno disuelto, así como el pH, difiriendo según la calidad del agua y los materiales utilizados en el sistema de distribución (WHO, 2017b).

2.1.1 Normativas para agua de consumo humano

Las normas sobre agua de consumo pueden diferir, en naturaleza y forma, de unos países o regiones a otros (WHO, 2017b), por lo que, en respaldo a la adición de basificantes en agua natural se empleará la siguiente normativa en que se encuentran los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua para consumo humano.

2.1.1.1 Organización Mundial de la Salud (OMS)

Las Guías para la calidad del agua de la OMS incluyen valores de referencia para que la calidad de agua sea aceptable para su consumo humano (WHO, 2017b).

2.1.1.2 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

La norma técnica de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1 del TULSMA (2015), muestra criterios a tomar en cuenta para la captación de agua empleada para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional (**Ilustración C - 1**).

2.1.1.3 Normativa para Agua Potable

En el Ecuador se dispone de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 AGUA POTABLE. REQUISITOS, en la misma se establecen los niveles máximos permisibles que debe cumplir el agua para que sea apta para consumo humano, siendo aplicada para sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución (**Ilustración C - 2**).

Tabla 1 Límites máximos permisibles para agua cruda y de consumo a ser evaluados en el presente trabajo de investigación

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible		
		OMS	TULSMA	INEN 1108
Color aparente	-	15 uc	-	15 Pt-Co
Color real	-	-	100 uc	-
Turbiedad	NTU	5	100	5
Potencial de Hidrógeno	pH	6.5-8.5	6-9	-
Temperatura			Condición natural ± 3	
Sólidos Totales disueltos	mg/L	500-1000	1000	-
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	30-500	-	-
Dureza	mg CaCO ₃ /L	500	500	-
Aluminio-Al	mg/L	0.2	0.2	-

Fuente: INEN (2014); TULSMA (2015); WHO (2017b).

2.2 Hipótesis

Ho: La adición de basificantes en el tratamiento de agua en la Planta de Potabilización de Agua Casigana de la EP-EMAPA-A no permite optimizar el proceso de coagulación.

Ha: La adición de basificantes en el tratamiento de agua en la Planta de Potabilización de Agua Casigana de la EP-EMAPA-A permite optimizar el proceso de coagulación.

2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1 Variable independiente

Dosis de basificantes aplicadas al agua cruda.

2.3.2 Variable dependiente

Remoción de turbidez en el agua.

Características fisicoquímicas del agua resultante del proceso de coagulación.

Cumplimiento de normas de calidad post-tratamiento.

CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Materiales y Equipos

Tabla 2 Equipos empleados en el proceso de investigación

Equipo	Serie	Marca	Modelo	Código
Prueba de Jarras	203011112	Phipps y Bird	7790-901B	EQ-PC-017
Turbidímetro	30800008546	HACH	Turbidirect	EQ-PC-015
Turbidímetro	1211817	HACH	2100N Turbidimeter	EQ-064
Comparador de color	S/N	Orbeco Hellige	Acua Tester	EQ-PC-010
pHmetro	13292784764	Mettler Toledo	Sevengo	EQ-PC-018
Conductímetro	06070C550014	HACH	Sesion 5	EQ-PC-013
Espectrofotómetro	060500011329	HACH	2500	EQ-PC-011
Balanza analítica	B228111723	Mettler Toledo	MS 2048	EQ-PC-009
Bureta automática	08K19178	Brand	Titrette 1 a 50 ml	EQ-PC-019
	08K19173			EQ-PC-020
Pipeta automática	B550823997	Rainin	Pipet-Lite XLS	EQ-PC029

Fuente: Laboratorio de producción planta Casigana EP-EMAPA-A

3.1.2 Reactivos

- Policloruro de Aluminio (PAC)
- Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Carbonato de sodio (Na₂CO₃)
- Carbonato de Calcio (CaCO₃)

- Ácido Sulfúrico 0.02 N
- Anaranjado de metilo
- Solución EDTA 0.02 N
- Hidróxido de Sodio 1 N
- Murexida
- Kit reactivos aluminio (HACH 8012)
- Agua destilada

3.2 Métodos

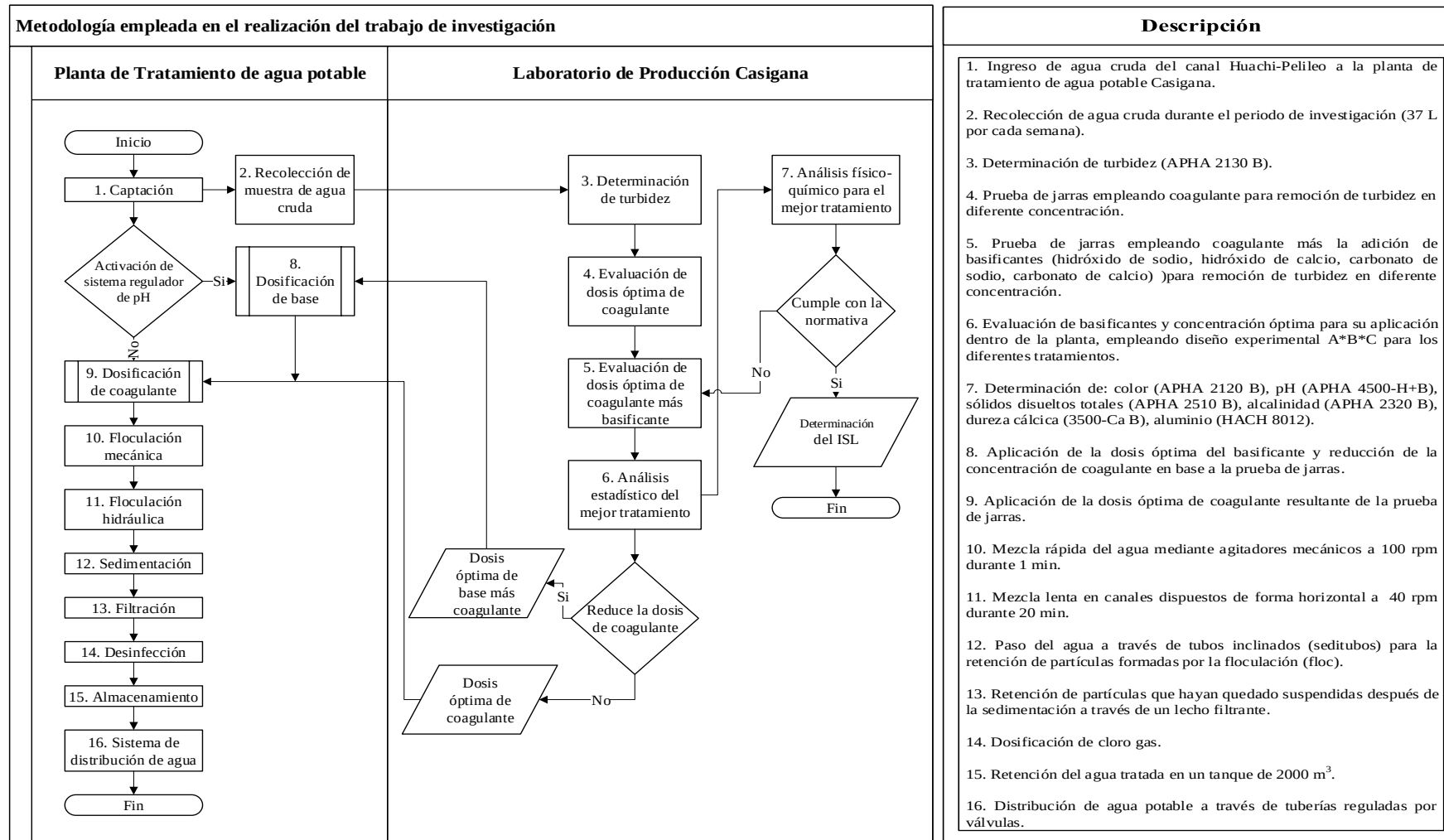
3.2.1 Localización

El estudio se realizó en la Planta de tratamiento de agua Potable Casigana de la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato, EP-EMAPA-A, ubicada en la vía antigua a Santa Rosa del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua; misma que se encuentra a $1^{\circ}16'35.85''$ S de longitud, $78^{\circ}38'33.59''$ O de latitud y a 2855 metros sobre el nivel del mar (Google Earth, s. f.).



Figura 1 Localización de la Planta de tratamiento de agua potable Casigana
Fuente: Google Earth, (s. f.).

3.2.2 Metodología



3.2.3 Muestreo de agua cruda en época de lluvia

Para el presente estudio de investigación, se consideró la época lluviosa del año; puesto que, es en esta temporada cuando el agua que ingresa a la planta de tratamiento tiene pH y alcalinidad baja, mayor cantidad de turbidez y sólidos suspendidos totales que deben ser removidos del agua para su posterior consumo.

La dosificación óptima de coagulante, así como de compuestos empleados en la regulación de pH (basificantes), requeridos en el tratamiento de agua; se pueden determinar a través de ensayos de Laboratorio mediante la utilización del equipo prueba de jarras, "Jar test" (WHO, 2017b). Por tanto, durante la ejecución del trabajo de investigación se recolectaron 37 Litros de agua cruda proveniente del canal Huachi-Pelileo del tanque de captación de la Planta de tratamiento de agua Casigana de la EP-EMAPA-A, de los cuales se empleó 36 L para ensayos de Laboratorio (dosificación de coagulantes y agentes basificantes) mediante el empleo del equipo prueba de jarras (203011112, Phipps y Bird, EQ-PC-017) y, 1 L para el análisis fisicoquímico de agua cruda, realizándose esto una vez por semana durante el periodo de tres semanas, considerando la época lluviosa del mes de enero de acuerdo con el cronograma de trabajo.

3.2.4 Dosificación de coagulante y agentes basificantes

Los productos empleados generalmente en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua son sales de hierro como cloruro férrico y sulfato férrico; y, sales de aluminio, como aluminato de sodio, policloruro de aluminio y polímeros orgánicos; los cuales se emplean para reducir materia orgánica, color, turbidez, ciertos niveles de compuestos tóxicos y microorganismos (Shammas et al., 2015). Por lo que se empleó como agente coagulante Policloruro de Aluminio al 5%, con diferente dosificación de acuerdo a la turbiedad presentada en la recolección de la muestra de agua cruda; este coagulante posee las siguientes características:

Tabla 3 Características del coagulante Policloruro de Aluminio

Características químicas		Características operacionales
Contenido de aluminio, Al	$9.0 \pm 0.8 \%$	Menor producción de lodos
Basicidad, como Al_2O_3	$30 \pm 10 \%$	Menor dependencia de temperatura y pH
Densidad a 20°C	1.365 ± 0.015 kg/L	pH óptimo de funcionamiento 5.0-9.0
pH a 20°C	0.3 ± 0.2	Menor variación de pH y alcalinidad
Turbiedad (NTU)	<50	Mayor remoción de materia orgánica

Fuente: QUIMPAC, (2017).

Los agentes basificantes empleados en el desarrollo experimental son Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Hidróxido de sodio (NaOH), Carbonato de calcio (CaCO_3) y Carbonato de sodio (Na_2CO_3), (Bueno-Zabala et al., 2014); en soluciones al 5% para agua cruda con valores de turbiedades altas.

Para determinar la dosificación óptima en el proceso de coagulación se empleó ensayos de laboratorio mediante el equipo de Prueba de Jarras (203011112, Phipps y Bird, EQ-PC-017) con seis puestos, control de velocidad y agitación programada, dónde se empleó 1 L de agua cruda por cada puesto, 3 concentraciones distintas de coagulante, así como 3 concentraciones de basificantes, aplicando una mezcla rápida de 100 rpm durante 1 min, una mezcla lenta de 40 rpm durante 20 min y un tiempo de sedimentación de 20 min, velocidades y tiempos de agitación que simulan los procesos empleados en la planta de tratamiento.

La mezcla rápida permite la homogenización del coagulante en el agua a tratar, mientras que la mezcla lenta permite la colisión y aglomeración de partículas en suspensión (Shammas et al., 2015).

A continuación de este proceso, se tomó como dosis óptima los mejores resultados en comparación con los límites permisibles en cuanto a color y turbiedad como lo indica en la Norma NTE INEN 1108 (2014), muestras que fueron empleadas para posteriores

análisis fisicoquímicos como concentración de pH, sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza cálcica, aluminio e índice de Langelier.

3.2.4.1 Determinación de turbiedad

Finalizada la prueba de jarras se midió inmediatamente la turbidez para evitar que ocurran cambios en las características de las muestras. Se tomó una alícuota de la muestra en la celda para turbidez y se homogenizó en la misma con la finalidad de evitar que se sedimenten partículas que hayan quedado en suspensión. Se procedió a tomar lectura de la medida nefelométrica en un turbidímetro (30800008546, HACH, EQ-PC-015), (APHA, AWWA, y WEF, 2017).

3.2.4.2 Determinación de color

Se empleó dos tubos Nessler con capacidad de 0.05 L, en el que se llenó el primero con agua destilada y el segundo con muestra de agua resultante del ensayo de laboratorio de la prueba de jarras; se colocó en el comparador de color (S/N, Orbeco Hellige, EQ-PC-10) y mediante comparación visual con la utilización de un disco platino-cobalto se tomó lectura del color aparente de las muestras (APHA et al., 2017).

3.2.4.3 Determinación de potencial de hidrógeno (pH)

Se sumergió el electrodo del pH-metro (13292784764, Mettler Toledo, EQ-PC-018) en la muestra, se agitó suavemente para evitar el arrastre de dióxido de carbono homogenizando a la vez la muestra, y finalmente al cabo de cierto tiempo de estabilización se tomó lectura (APHA et al., 2017).

3.2.4.4 Determinación de sólidos disueltos totales (SDT)

Mediante el empleo del conductivímetro (06070C550014, HACH, EQ-PC-013) se tomó lectura del valor correspondiente a SDT en mg/L, para lo cual, se sumergió el electrodo en la muestra, y se agitó suavemente para homogenizarla (APHA et al., 2017).

3.2.4.5 Determinación de alcalinidad

Se tomó 50 ml de la muestra en un matraz, adicionando como indicador 3 gotas de fenolftaleína, ácido sulfúrico 0.02 N como valorante empleando para ello una bureta automática (08K19178, Brand, EQ-PC-019), a continuación se empleó el volumen gastado en el viraje para el respectivo cálculo mediante la **Ec. 1** (APHA et al., 2017).

$$\text{Alcalinidad total, mgCaCO}_3/\text{l} = \frac{A * N * 50000}{\text{muestra (ml)}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

A=Volumen empleado del reactivo de titulación (ml)

N=Normalidad del ácido estándar (H_2SO_4 0.02N)

3.2.4.6 Determinación de dureza cálcica

Se colocaron 50 ml de la muestra en un matraz, adicionando a continuación 2 ml de NaOH 1 N, como indicador 0.1-0.2 g de murexida, y solución EDTA 0.02 N como valorante mediante la utilización de una bureta automática (08K19173, Brand, EQ-PC-020), a continuación se empleó el volumen gastado en el viraje para el respectivo cálculo mediante la **Ec. 2** (APHA et al., 2017).

$$Ca^{2+}, \text{mgCaCO}_3/\text{L} = \frac{A * B * 1000}{\text{muestra (ml)}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

A=Volumen empleado de ácido estándar (ml)

B= mg de CaCO_3 equivalente a 1 ml de reactivo de titulación en el punto final del indicador (*factor* = 1)

3.2.4.7 Determinación de la concentración de aluminio

El empleo de aluminio como coagulante da como resultado múltiples beneficios en los procesos de tratamiento de agua, sin embargo, se debe considerar su empleo de forma óptima, debido a los problemas que ocasiona a la salud humana (neurotoxicidad), (WHO, 2010). Por lo que se emplea para su identificación el método HACH 8012 (2010).

Se toma 50ml de la muestra a analizar en un Erlenmeyer, adicionando 1 sobre de ácido ascórbico, se procede a mezclar por 1 min y se añade 1 sobre de AlumVer con agitación por 50 seg. Finalmente se toma 10 ml de muestra en 2 celdas y se coloca en una de ellas 1 sobre de Bleaching. Transcurridos 20 min se procede a identificar la concentración de aluminio mediante el empleo del espectrofotómetro (060500011329, HACH-2500, EQ-PC-011), (HACH, 2000).

3.2.4.8 Determinación del Índice de Saturación de Langelier (ISL)

El ISL es empleado como control analítico, además, permite predecir si el CaCO_3 precipitará o se disolverá determinando la estabilidad y el pH óptimo del agua (De Sousa, Correia, y Colmenares, 2010; Torres-Lozada et al., 2015), el cual se obtiene mediante el empleo de la **Ec. 3**, donde pH y pH_s representan el potencial de hidrógeno de la muestra de agua y de saturación respectivamente.

$$ISL = pH - pH_s \quad \text{Ec. 3}$$

El pHs involucra parámetros fisicoquímicos como dureza cálcica y alcalinidad en $mgCaCO_3/l$ (Carbonato de Calcio), además, sólidos disueltos totales (mg/L), Temperatura (°C) ; los cuales se encuentran en función de las siguientes constantes (Kalyani et al., 2017):

$$pH_s = A + B - C - D + 9.3 \quad \text{Ec. 4}$$

$$A = \frac{\log_{10}(STD) - 1}{10} \quad \text{Ec. 5}$$

$$B = -13.12 \times \log_{10}(T + 273) + 34.55 \quad \text{Ec. 6}$$

$$C = \log_{10}(Ca^{2+} \text{ en } mgCaCO_3/l) - 0.4 \quad \text{Ec. 7}$$

$$D = \log_{10}(Alc. \text{ en } mgCaCO_3/l) \quad \text{Ec. 8}$$

Los valores obtenidos de las constantes A, B, C y D para el cálculo del pH de saturación (pHs) y el posterior cálculo del ISL se interpretan de acuerdo a la **Tabla 4**:

Tabla 4 Interpretación del Índice de Saturación de Langelier

ISL	Interpretación	
-5	Corrosión severa	- Agua subsaturada - Corrosiva - Tiende a disolver $CaCO_3$
-4 $\equiv$ -2	Corrosión media	
-0.5 $\equiv$ -1	Corrosión baja	
0	Equilibrio	- No se disuelve ni se deposita $CaCO_3$ - Agua saturada en equilibrio con de $CaCO_3$
0.5	Incrustación baja	- Agua sobresaturada - Incrustante - Tiende a precipitar $CaCO_3$
1 $\equiv$ 2	Incrustación moderada	
4	Incrustación media	
>5	Incrustación severa	

Fuente: Alsaqqar et al., (2014); Tavapour et al., (2016).

3.2.5 Análisis fisicoquímico de agua cruda

De acuerdo a los criterios de calidad de agua destinada al consumo humano y uso doméstico previa a su potabilización y, las cuales requieran tratamiento convencional en sus operaciones para potabilizar el agua, como se muestra el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1; se identificaron parámetros fisicoquímicos como temperatura, turbiedad, color real, potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT), y concentración de aluminio (TULSMA, 2015), además, otros parámetros que permitan comprar la variabilidad de los datos experimentales obtenidos como alcalinidad y dureza cálcica, empleando los Métodos Estándar para examinación de agua y agua residual, edición 23 (APHA et al., 2017) , utilizados en el Laboratorio de Producción de la planta Casigana de la EP-EMAPA-A.

Tabla 5 Métodos para Análisis físico-químico para agua cruda

Parámetro	Método de ensayo	Método de referencia
Turbidez	Método Nefelométrico	APHA 2130 B
Color real	Método de comparación visual	APHA 2120 B
pH	Electrometría	APHA 4500-H ⁺ B
Temperatura	Termometría	APHA 2550 B
Sólidos Totales Disueltos	Potenciometría	APHA 2510 B
Alcalinidad	Titulación	APHA 2320 B
Dureza cálcica	Método trimétrico EDTA	APHA 3500-Ca B
Aluminio	Método Aluminon	HACH 8012

Fuente: APHA et al., (2017); HACH, (2000).

3.3 Diseño Experimental

Para el análisis de los resultados se empleó el diseño experimental factorial A*B*C, que permite estudiar la influencia de cada factor sobre la variable respuesta, tomando en cuenta para ello el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + R_i + \varepsilon_{ijkl};$$

donde μ representa la media general, A_i el efecto del nivel i -ésimo del factor A (Tipo de basificante), B_j efecto del nivel j en el factor B (Concentración de coagulante), y C_k efecto en el nivel k del factor C (Concentración basificante); $(AB)_{ij}$, $(AC)_{ik}$, $(BC)_{jk}$ efecto de la interacción doble en los niveles ij , ik , jk respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ efecto de la interacción triple en el punto ijk ; R_i el número de réplicas del experimento a realizar (2); ε_{ijkl} representa el error aleatoria de la combinación $ijkl$ (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

3.3.1 Análisis estadístico

Se empleó un análisis de varianza (Tablas de ANOVA) para el análisis e interpretación de resultados con nivel de confianza del 95%, así como pruebas de comparación múltiple Tukey que trabaja con rango máximo estandarizado con el objetivo de que en caso de rechazar la hipótesis nula permita hallar la diferencia significativa entre los parámetros obtenidos.

Para el análisis estadístico se emplearon los programas Infostat Version 2018e y EXCEL® (Anexo B-2: Análisis estadístico).

CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis y discusión de los resultados

Los datos históricos tomados de acuerdo a valores promedio de turbiedades de agua cruda entre 08h00, 10h00 y 14h00 del laboratorio de producción de Casigana muestran que durante la época de lluvia (enero-marzo/abril) se presenta mayor turbiedad en el mes abril del año 2017, con un valor promedio de 318.3 NTU (Anexo A -**Gráfica 5**); mientras que para la época de lluvia en el presente año (Anexo A - **Gráfica 6**) se muestra un valor promedio de hasta 2089 NTU, esto debido al aumento de pluviosidad presentada.

4.1.1 Evaluación de la concentración óptima de basificantes

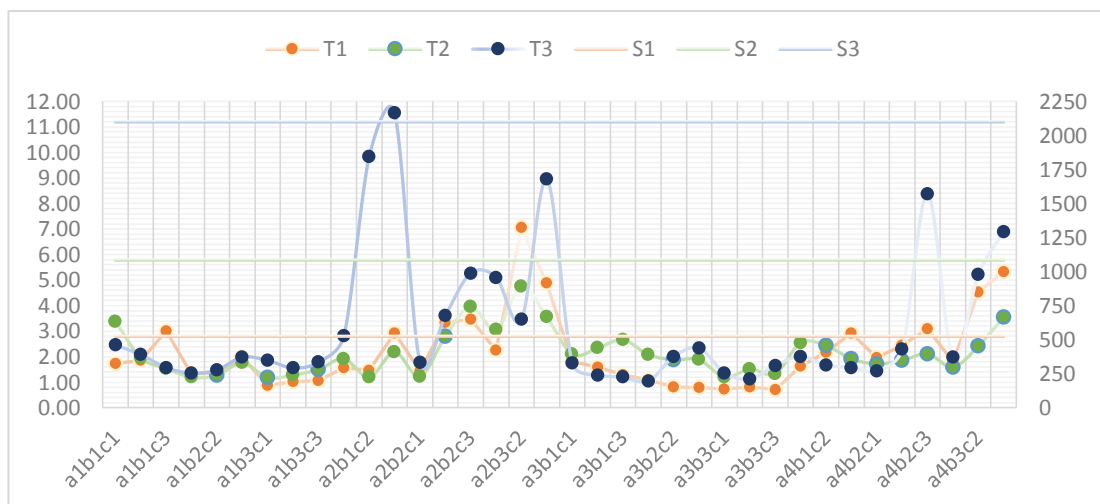
El proceso de coagulación se considera una de las etapas más importantes del proceso de tratamiento de agua, ya que de esto dependerá la eficiencia de los sedimentadores y filtros (Staff et al., 2012).

Para determinar que los basificantes aplicados en el proceso de coagulación del tratamiento de agua incrementan la remoción de turbidez en el agua cruda conjuntamente con el coagulante utilizado; se determinó la dosis óptima mediante el empleo de prueba de jarras y análisis estadístico, evaluando para ello el tipo de basificante, la concentración de coagulante y la concentración de basificante. Para tal efecto, se empleó la dosis óptima resultante de la prueba de jarras del mejor tratamiento sin coagulante (**Tabla 12**).

La coagulación al depender de la concentración de coagulante y pH, se evidenció que la adición de todos los tipos de basificantes empleados en el proceso de estudio permiten mayor formación de flóculos al finalizar la prueba de jarras; esto debido al diferencial de carga que se produce (AWWA, 2010), permitiendo que las partículas

coloidales desestabilizadas choquen entre sí, aglomerándose en mayor cantidad y facilitando de esta manera su posterior remoción en las siguientes etapas de tratamiento (Shammas et al., 2015).

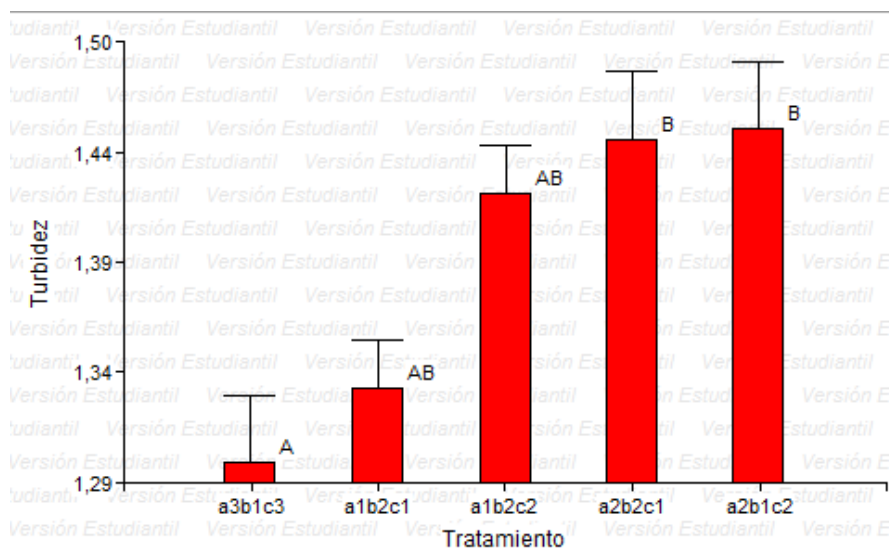
De esta forma se observa en la **Gráfica 1** la remoción de turbidez resultante de aplicar los distintos tratamientos de acuerdo al diseño experimental A*B*C, teniendo mejores resultados al emplear los cuatro tipos de basificantes en menor concentración, es decir al añadir 0.5 ml de las soluciones al 5 %. Al contrario, se observa que altas concentraciones de basificantes provocan menor remoción de turbidez; teniendo esto con mayor relevancia al emplear hidróxido de sodio (a2b1c3-T3) para una turbiedad de entrada de 2100 NTU, ya que este compuesto se considera como una base fuerte, provocando de tal forma mayor elevación de pH con respecto a los otros tipos de basificantes y, alterando de esta manera el rango óptimo de funcionamiento del coagulante de 5-9 UpH (**Tabla 3**); similares resultados se muestran al emplear concentraciones altas de carbonato de calcio (a4b2c3-T3), por lo que en ambos casos no hay una buena remoción de las partículas en suspensión sobrepasando los límites permisibles en cuanto a turbiedad de la Norma NTE INEN 1108:2014 (**Tabla 1**).



Gráfica 1 Remoción de turbidez en función a los tratamientos aplicados. T1, T2 y T3: turbidez (NTU) removida en la S1, S2 y S3 (semana 1, 2, y 3) respectivamente. Factor de estudio A: Tipo de basificante (a1: hidróxido de calcio, a2: hidróxido de sodio, a3: carbonato de calcio, a4: carbonato de sodio); B:

concentración de coagulante, para S1 y S2: 60, 70 y 80 mg/L y para S3: 100, 110, 120 mg/L; C: concentración de basificante (c1: 0.5, c2: 1.0, c3: 1.5 ml) al 5%.

De acuerdo a criterios evaluados en la Planta de tratamiento de agua Casigana, los valores a considerar como óptimos tras la realización de la prueba de jarras, se encuentran en el rango de 1,3- 1,5 de NTU de turbiedad; por tanto, el análisis estadístico toma este rango como mejores resultados los tratamientos expuestos en la **Gráfica 2**, teniendo que el tratamiento a1b2c1 y a1b2c2 se consideran estadísticamente iguales, se tiene que los mejores tratamientos son a3b1c3, a1b2c1 y a2b2c1.



Gráfica 2 Dosis óptima de coagulantes empelados en el tratamiento de agua de la Planta Casigana durante el proceso de estudio

El carbonato de calcio presentó mejor remoción de turbidez en la semana 2, mientras que la cal se mantuvo estable en las tres semanas de estudio; esto se debe a que los equivalentes químicos añadidos al agua están directamente relacionados con la alcalinidad (Torres-Lozada et al., 2015), lo que puede entorpecer el proceso de coagulación si no es aplicado en una dosis óptima; además de acuerdo a los resultados obtenidos en las muestra tomada de agua cruda para esta semana de tratamiento (**Tabla 11**) se presenta una alcalinidad menor en relación a la semana 1 y 3 de estudio, por consiguiente esta base actúa de mejor manera.

El hidróxido de sodio muestra mejores resultados al ser empleado en la semana 1 y 2, sin embargo, durante la semana 3 donde la turbidez se incrementó, este compuesto químico reduce su eficiencia a bajas concentraciones y sólo es efectivo incrementando la cantidad del producto en el agua; lo que no justificaría su uso puesto se considera como un compuesto químico muy peligroso, requiriendo mayores medidas de seguridad debido a su inestabilidad en el medio ambiente (Torres-Lozada et al., 2015); además, su empleo ha sido recomendado para aguas crudas con valores de alcalinidad menor a 20mg/L (Cruz et al., 2015).

El carbonato de sodio a pesar de su efectividad como ayudante de coagulación de acuerdo con los resultados obtenidos no cumple con los criterios requeridos por la Planta de tratamiento de agua Casigana, sumado a esto, se considera como un compuesto moderadamente peligroso (NFPA 704, 2017), catalogada como una sustancia sujeta a fiscalización (SETED, 2016).

Los resultados obtenidos al aplicar hidróxido de calcio (cal), muestran durante las tres semanas de estudio, mejores resultados en relación a los otros basificantes empleados, puesto que la mejor remoción de turbidez se obtiene al emplear 0,5 ml, al 5%; donde se remueve el 99,94% de la turbidez, incrementando la eficacia del proceso de coagulación, debido a que en temporada lluviosa el pH disminuye, esto se evidencia en días donde la acción de coagulante no reduce la turbidez o se requiere este en mayores concentraciones. Al regular el pH disminuye hasta 20 ppm del coagulante aplicado en aguas altamente turbias, tomando como referencia los resultados mostrados en el día 03 de enero del 2018 (**Anexo B-1 Tabla 12**), donde una concentración de 90 ppm de coagulante redujo de 1285 NTU a 16,9 NTU resultante de la prueba de jarras, mientras que una concentración aplicada de 70 ppm de coagulante con adición de 0,5 ml de hidróxido de calcio al 5%, a la misma muestra de agua reduce la turbidez hasta un valor de 1,32 NTU (**Anexo B-1 Tabla 9**).

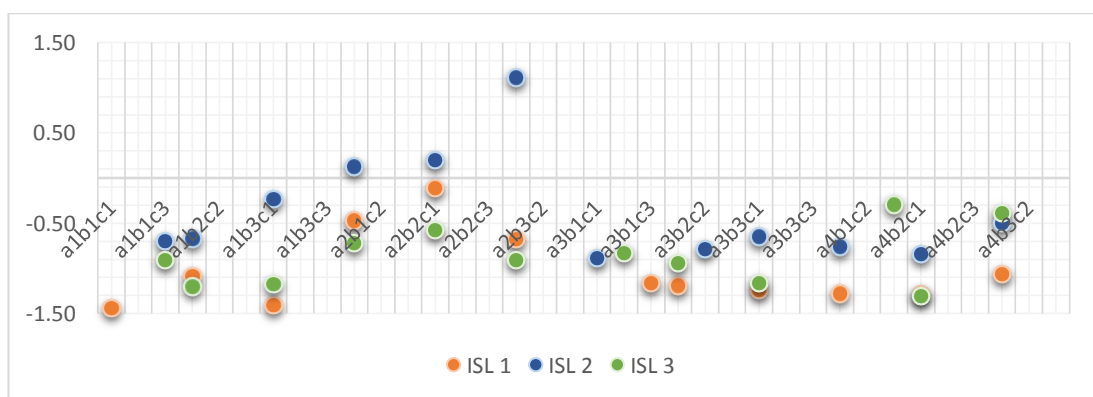
En adición a lo mencionado podemos decir que un volumen de 0.5 ml de hidróxido de calcio al 5% equivale a 25 mg/L teniendo una relación aproximada de 3:1 con respecto al coagulante empleado en la semana 1 y 2 del proceso de estudio (70 mg/L), por lo

que de acuerdo con Staff et al. (2012), se considera ésta relación de tres partes de coagulante y una parte de basificante como un coadyudante.

4.1.2 Características fisicoquímicas de muestras resultantes de la prueba de jarras

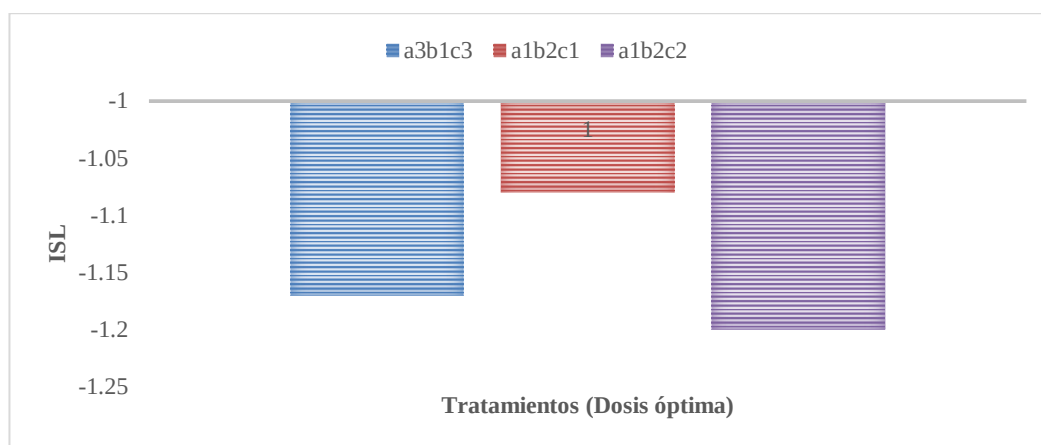
Una vez concluido el análisis de la dosis óptima de agentes basificantes empleados para el proceso de coagulación mediante el empleo de prueba de jarras, se tomó muestras del agua resultante tras aplicar los tratamientos que permitieron reducir la turbidez en el rango especificado dentro de la Planta de tratamiento de agua Casigana (1,3-1,5 NTU), mismos que se emplearon para evaluar características fisicoquímicas del agua tratada en función al índice saturación de Langelier.

En cuanto al índice de saturación de Langelier calculado para los mejores tratamientos como lo muestra la **Gráfica 3**, se evidencia que la mayor parte de los tratamientos tienen un valor de ISL negativo, considerándose de acuerdo a los resultados obtenidos en comparación con la interpretación del mismo (**Tabla 4**), que el agua resultante de los distintos tratamientos tienen capacidad de ser corrosivas en condiciones de equilibrio con respecto al carbonato de calcio (Alsaqqar et al., 2014; Tavanpour et al., 2016); y solamente los tratamientos empleados como basificante hidróxido de sodio en la semana 2 muestran la capacidad del agua a ser incrustante.



Gráfica 3 Comportamiento del ISL para los mejores tratamientos. ISL: índice de saturación de Langelier, donde 1, 2 y 3 representan los valores obtenidos de muestras de agua cruda con turbiedad de 525 NTU (S1), 1085 NTU (S2) y 2100 NTU (S3) finalizada la prueba de jarras.

Adicionalmente, de acuerdo al diseño experimental los resultados obtenidos muestran que el agua resultante de la prueba de jarras al aplicar los distintos tratamientos evaluados en el estudio, poseen corrosión baja; de acuerdo a la interpretación del Índice de Saturación de Langelier (**Tabla 4**), encontrándose los valores para las mejores dosis óptimas entre el rango de -1.08 a -1.20, como se muestra en la **Gráfica 4**. Por lo que, el agua resultante de este proceso se considera subsaturada con capacidad del agua a disolver CaCO_3 (Alsaqqar et al., 2014).



Gráfica 4 Índice de Saturación de Langelier. Tratamiento a3b1c3: carbonato de calcio (a3), concentración de coagulate (b1), concentración de basificante (1.5 ml al 5%-c3); a1b2c1: hidróxido de calcio (a1), concentración de coagulate (b2), concentración de basificante (0.5 ml al 5%-c1); a1b2c2: hidróxido de calcio (a1), concentración de coagulate (b2), concentración de basificante (1.0 ml al 5%-c3).

4.1.3 Evaluación de características fisicoquímicas de agua tratada en base a la Norma NTE INEN 1108:2014 post-tratamiento aplicada por la EP-EMAPA-A

En la **Tabla 6** se muestran los resultados de la caracterización físico y química del agua resultante de la prueba de jarras, en el cual puede apreciarse que los valores en cuanto a color y turbidez se encuentran dentro de los límites permisibles de la Norma NTE INEN 1108:2014 para las dosis óptimas de los tratamientos evaluados; sin embargo, al emplear otros parámetros fisicoquímicos en el presente estudio se tomó como valores de referencia los establecidos en las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (2017b), teniendo que la concentración de Aluminio en la combinación de los tratamientos a3b2c3 y a1b2c2 se encuentran fuera del límite permisible, no obstante, cabe mencionar que a continuación del

proceso de coagulación en el tratamiento de agua se procede con el proceso de filtración, en el que se puede remover hasta 0.1 mg/L de aluminio resultante (WHO, 2017b).

Tabla 6 Evaluación de los límites permisibles de las muestras resultantes de la prueba de jarras

Parámetro	Unidad	Normas para agua de consumo		Tratamientos (Dosis óptimas)		
		OMS	INEN 1108	a3b1c3	a1b2c1	a1b2c2
Color aparente	-	15 uc	15 Pt-Co	10	7.5	7.5
Turbiedad	NTU	5	5	1.28	1.32	1.36
Potencial de Hidrógeno	pH	6.5-8.5	-	7.37	7.45	7.17
Sólidos Totales disueltos	mg/L	500-1000	-	137.4	146.80	171.80
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	30-500	-	91	85.40	103.60
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	500	-	44	47.80	56.20
Aluminio-Al	mg/L	0.2	-	0.270	0.120	0.299

Fuente: (INEN, 2014; WHO, 2017b).

4.1.4 Estimación económica

El costo estimado para implementar el sistema de dosificación de hidróxido de calcio (cal) en el tratamiento de agua se expone en la **Tabla 7**, donde se toman en cuenta los reactivos e insumos necesarios para su aplicación.

Tabla 7 Costo de materiales e insumos para la dosificación de hidróxido de calcio para el tratamiento de agua cruda

Descripción	Unidad	Costo por unidad (USD)	Cantidad	Total
Hidróxido de calcio	Kg	0.31	0.0125 ^a	0.0039
Agua	L	0.00028	500	0.14
Energía eléctrica	kW/h	0.09	5.0 ^b	0.45
			Total (USD)	0.59

Nota: a: Valor de acuerdo a la mejor concentración de hidróxido de calcio (25 mg/L) para la preparación de 500 L de solución; b: Costo aproximado del consumo de un tanque agitador y una bomba para el sistema de dosificación.

La preparación de una carga de 500 L de solución de hidróxido de calcio al 5% (25 mg/L) tendría un costo de estimación de 0.59 USD, la cual estaría activa solo cuando se requiera y duraría un estimado de 2 días de acuerdo con las condiciones registradas del agua cruda que trata la planta Casigana. Mientras que, el aumento en la dosis de coagulante (Policloruro de aluminio) representaría un gasto mayor, puesto que esta sería continua y teniendo en cuenta que el costo medio de este insumo es de 0.72 USD por Kg. Por tanto, cuando se requiera mayores cantidades de coagulante para tratar agua altamente turbia, la aplicación de este sistema estaría justificado, ya que la dosificación de bases no es continua en el tratamiento de agua y su aplicación reduciría 20 mg/L de coagulante, teniendo similares resultados.

4.2 Verificación de hipótesis

Los basificantes empleados mediante prueba de jarras para determinar la dosis óptima de los mismos en el proceso de coagulación, permiten reducir la utilización de hasta 20 mg/L del coagulante de acuerdo al análisis e interpretación de resultados, actuando de forma eficaz en la remoción de turbiedad; por lo que se acepta la hipótesis alternativa (H_a).

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2 Conclusiones

- La adición de los cuatro tipos de basificantes (hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, carbonato de calcio y carbonato de sodio) en los distintos tratamientos aplicados de acuerdo al diseño experimental, demostraron mayor formación de flóculos finalizada la prueba de jarras, debiéndose a la desestabilización de las partículas (AWWA, 2010); los valores obtenidos al emplear coagulante más basificante (Anexo B) muestran mejor remoción de turbidez a diferencia de aplicar solamente coagulante (**Tabla 12**), teniendo relevancia la evaluación de los distintos tratamientos empleados en la etapa de coagulación, ya que esta se considera como la etapa primordial en el tratamiento de agua, puesto que la materia orgánica no tratada reacciona con el cloro empleado en la desinfección provocando la formación de trihalometanos (Crittenden et al., 2012). Los resultados de acuerdo al análisis estadístico del diseño experimental A*B*C con análisis de varianza al 95 % de confianza y pruebas de comparación Tukey utilizado en la realización del presente trabajo; muestran que la adición 0.5 ml de hidróxido de calcio al 5% (a1b2c1) tiene el 99.4% efectividad en la remoción de turbidez (**Gráfica 2**) con referencia a la turbidez de entrada para la época lluviosa empleada, permitiendo la reducción de hasta 20 mg/L del coagulante policloruro de aluminio; encontrándose dentro de los límites permisibles de la norma NTE INEN 1108:2014 en cuanto a turbiedad. Datos similares se obtienen al emplear como basificante alternativo carbonato de calcio (a3b1c3), sin embargo cabe mencionar que se requiere el empleo de CO₂ para su dosificación, por lo que su adición al proceso de coagulación resulta compleja (Bueno-Zabala et al., 2014). Sin embargo, de acuerdo a pruebas preliminares realizadas en el laboratorio de producción de agua potable Casigana, se tuvo que la dosificación de basificantes en los tratamientos empleados conforme al diseño experimental no tienen efecto en la remoción

de turbidez para la época seca, ya que es en esta época cuando la turbidez es baja, teniendo problemas en la captación de agua respecto al color, la cual es provocada principalmente por la descomposición de la materia orgánica disuelta y otros componentes inorgánicos y aunque este parámetro no causa efectos a la salud humana su presencia se considera estéticamente objetable (Shammas et al., 2015).

- Para la determinación del Índice de Langelier, se evaluó parámetros fisicoquímicos como pH, sólidos disueltos totales, alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$), y dureza cálcica ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) en las mejores muestras resultantes de la prueba de jarras aplicada en los distintos tratamientos, considerando para ello parámetros de turbiedad y color (Anexo B), mostraron que el agua posee corrosión baja (**Gráfica 4**) entre los valores de -1.08 a -1.20 para las dosis óptimas, por lo que se considera que el agua muestra capacidad de corrosión respecto al equilibrio del carbonato cálcico presente en el agua.
- Los parámetros físico químicos evaluados en el agua post-tratamiento de la prueba de jarras, para los distintos tratamientos utilizados, muestran el cumplimiento con los límites permisibles de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 aplicada por la EP-EMAPA-A, así como el cumplimiento con valores referenciales internacionales de la Organización Mundial de la Salud, a excepción de la concentración de aluminio residual, sin embargo, se debe considerar que luego de la etapa de sedimentación se cuenta con la etapa de filtración en la se puede remover hasta 0.1 mg/L de aluminio residual (WHO, 2017b).

5.3 Recomendaciones

- De aplicarse la presente investigación se recomienda emplear aspas batidoras en el dosificador de cal, de forma que las aspas permitan mantener la cal en suspensión facilitando su dosificación en la regulación de pH para el acondicionamiento del agua a ser tratada.
- Para disminuir la cantidad de materia coloidal suspendida, así como de sedimentos arrastrados por el caudal proveniente del canal Huachi-Pelileo que ingresa a la planta de tratamiento Casigana se recomienda implementar un sistema de prefiltración previamente al ingreso de agua cruda, el cual permitirá reducir en gran medida los altos valores de turbidez resultantes de la época lluviosa.
- Se recomienda monitorear el Índice de Saturación de Langelier finalizado el proceso de tratamiento de potabilización de agua, con el fin de evitar fenómenos de corrosión o incrustaciones que puedan afectar al sistema de distribución de agua, así como a sus instalaciones.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- Alsaqqar, A. S., Khudair, B. H., y Kareem Ali, S. (2014). Evaluating Water Stability Indices from Water Treatment Plants in Baghdad City. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(6), 1344-1351. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.614124>
- APHA, AWWA, y WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association*, (23), 416, 484.
- AWWA. (2002). *Calidad y tratamiento del agua : manual de suministros de agua comunitaria*. (R. D. Letterman, Ed.) (5.^a ed.). Madrid: McGraw-Hill, American Water Works Association.
- AWWA, S. (2009). *Water Treatment: Principles and Practices of Water Supply Operations*. Denver, United States: American Water Works Association.
- AWWA, S. (2010). *Operational Control of Coagulation and Filtration Processes (M61)*. Denver, United States: American Water Works Association.
- Brears, R. C. (2017). *Urban Water Security*. New York, UNITED KINGDOM: John Wiley y Sons, Incorporated.
- Bueno-Zabala, K. A., Torres-Lozada, P., y Delgado-Cabrera, L. G. (2014). Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 17(2), 563-575.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial*. (A. G. E. S. A. de C.V, Ed.) (8.^a ed.). México.

- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., y Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment : Principles and Design* (Third). Hoboken, UNITED STATES: Wiley.
- Cruz, Y., López, M., Torres, P., y Bueno, K. (2015). *Evaluación de alcalinizantes en el proceso de ajuste del pH para el agua tratada del río CAUCA*.
- De Sousa, C., Correia, A., y Colmenares, M. C. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de malariología y salud ambiental*, 50(2), 187-196.
- Degremont. (1979). *Manual técnico del agua* (4.^a ed.). Bilbao: GRAFO.
- Google Earth. (s. f.). Mapa de Tungurahua - Ecuador. Recuperado 24 de junio de 2018, a partir de <https://earth.google.com/web/>
- Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.^a ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- HACH. (2000). *Water Analysis Manual*, (3).
- INEN. (2004). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 440. Colores de identificación de tuberías.
- INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS, (5), 2, 4.
- Kalyani, D. S., Rajesh, V., Reddi, E. U. B., Kumar, K. C., y Rao, S. S. (2017). Correlation between corrosion indices and corrosiveness of groundwater: a study with reference to selected areas of Krishna District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Earth Sciences*, 76(16), 568. <https://doi.org/10.1007/s12665-017->

NFPA 704. (2017). Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response. Recuperado 27 de junio de 2018, a partir de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=704>

QUIMPAC. (2017). Policloruro de Aluminio. Recuperado 8 de julio de 2018, a partir de <http://www.quimpac.com.ec/portfolio-item/policloruro-de-aluminio/>

SETED. (2016). Registro Oficial N°753-SETED-ST-2016-020.

Shammas, N. K., Wang, L. K., y Okun, D. A. (2015). *Water Engineering : Hydraulics, Distribution and Treatment*. New York, UNITED STATES: John Wiley y Sons, Incorporated.

Staff, M. W. H. A., Staff, C. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., y Crittenden, J. C. (2012). *Principles of Water Treatment*. Somerset, UNITED STATES: John Wiley y Sons, Incorporated.

Tavanpour, N., Noshadi, M., y Tavanpour, N. (2016). Scale Formation and Corrosion of Drinking Water Pipes: A Case Study of Drinking Water Distribution System of Shiraz City. *Modern Applied Science*, 10(3), 166.

Torres-Lozada, P., Bueno-Zabala, K. A., Delgado-Cabrera, L. G., Barba-Ho, L. E., y Cruz-Vélez, C. H. (2015). Corrosion control using hydroxide and bicarbonate alkalising agents. *DWESD Water Eng. Sci. Discuss*, 8(8), 53-76. <https://doi.org/10.5194/dwesd-8-53-2015>

TULSMA. (2015). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI Anexo 1. *Texto Unificado de*

Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

WHO. (2010). Aluminium in drinking-water. *World Health Organization*.

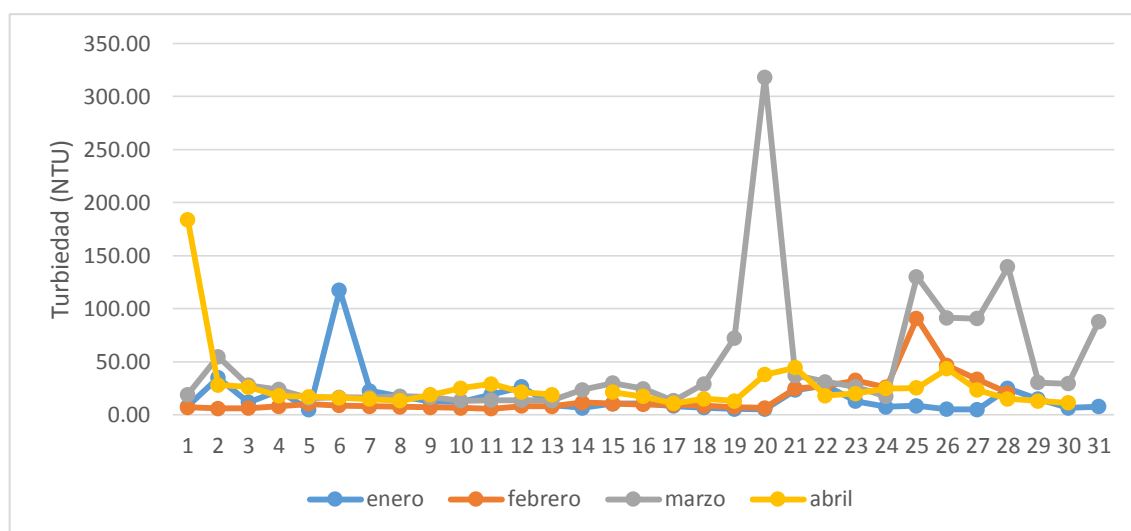
WHO. (2017a). *Chemical mixtures in source water and drinking-water*. World Health Organization. Ginebra, Suiza: World Health Organization.

WHO. (2017b). *Guidelines for Drinking - Water Quality*. World Health Organization.

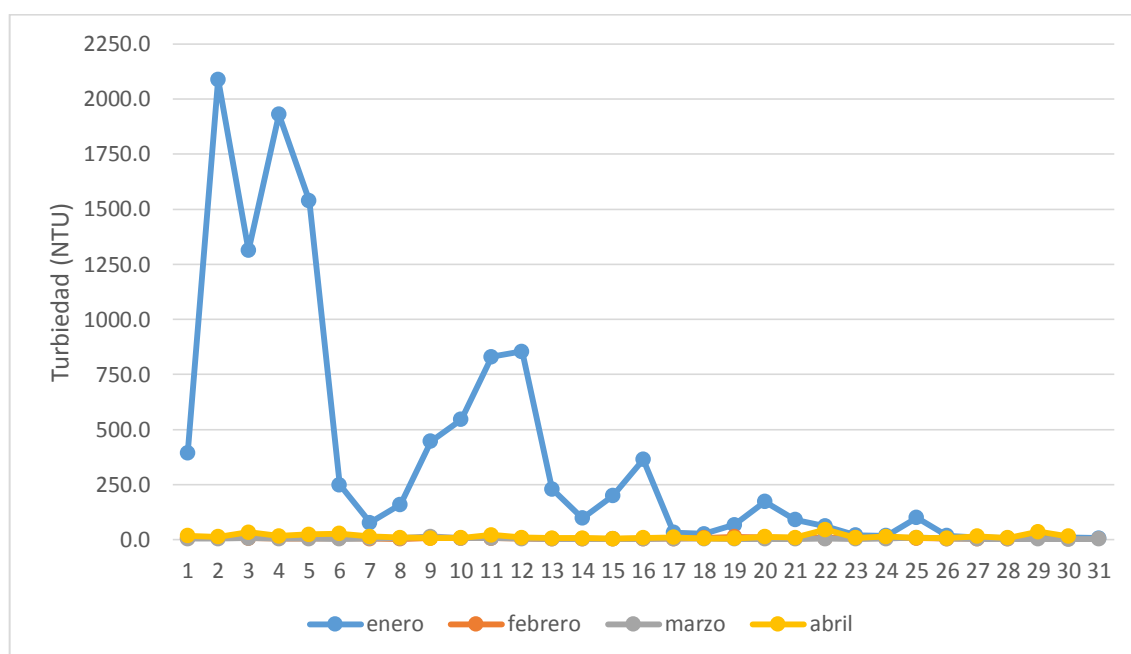
WHO, y Thompson, T. P. (2007). *Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk assessment*. Ginebra, Suiza: World Health Organization.

ANEXOS

Anexo A *Histórico de turbiedades de agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A*



Gráfica 5 *Histórico de turbiedades de agua cruda de la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A (2017). Valores promedio tomados a las 08h00, 10h00 y 14h00 del laboratorio de producción Casigana.*



Gráfica 6 *Histórico de turbiedades de agua cruda de la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A (2018). Valores promedio tomados a las 08h00, 10h00 y 14h00 del laboratorio de producción Casigana.*

Anexo B Tablas de Resultados y Análisis estadístico

Anexo B- 1 Tablas de Resultados

Tabla 8 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 1

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
A	B	C		Turbiedad		Color		pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Hidróxido de calcio	60	0.5	a1b1c1	1.73	1.75	7.5	7.5	7.08	142.90	89.40	47.40	0.120	-1.43
		1.0	a1b1c2	1.86	1.84	7.5	7.5	7.56					
		1.5	a1b1c3	3.04	2.96	15	15	8.13					
	70	0.5	a1b2c1	1.34	1.29	7.5	7.5	7.45	146.80	85.40	47.80	0.153	-1.08
		1.0	a1b2c2	1.37	1.37	7.5	7.5	7.13					
		1.5	a1b2c3	1.95	2.00	10.0	10.0	7.33					
	80	0.5	a1b3c1	0.88	0.87	5	5	7.13	150.00	82.60	48.80	0.194	-1.41
		1.0	a1b3c2	1.03	1.02	8	8	7.25					
		1.5	a1b3c3	1.05	1.06	7.5	7.5	7.64					
Hidróxido de sodio	60	0.5	a2b1c1	1.53	1.58	7.5	7.5	8.11	161.90	119.40	31.20	0.792	-0.47
		1.0	a2b1c2	1.47	1.44	7.5	7.5	9.38					
		1.5	a2b1c3	2.89	2.95	10.0	10.0	9.73					
	70	0.5	a2b2c1	1.43	1.47	7.5	7.5	8.46	153.20	104.40	36.00	0.876	-0.11
		1.0	a2b2c2	3.36	3.34	10.0	10.0	9.27					
		1.5	a2b2c3	3.47	3.45	13	13	9.29					
	80	0.5	a2b3c1	2.23	2.28	10	10	7.89	153.20	104.20	36.60	1.140	-0.67
		1.0	a2b3c2	7.00	7.10	20	20	9.14					
		1.5	a2b3c3	4.89	4.90	15	15	9.68					
Carbonato de calcio	60	0.5	a3b1c1	1.83	1.79	13	13	9.30					
		1.0	a3b1c2	1.60	1.58	10	10	7.85					
		1.5	a3b1c3	1.28	1.32	10.0	10.0	7.37	137.40	91.00	44.00	0.270	-1.17

Continuación

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
A	B	C		Turbiedad		Color		pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Carbonato de calcio	70	0.5	a3b2c1	1.10	1.05	7.5	7.5	7.38	191.20	86.40	44.60	-	-1.19
		1.0	a3b2c2	0.80	0.83	7.5	7.5	7.40					
		1.5	a3b2c3	0.81	0.78	5.0	5.0	7.53					
	80	0.5	a3b3c1	0.72	0.76	3	3	7.32	138.30	85.00	44.60	-	-1.24
		1.0	a3b3c2	0.82	0.81	5.0	5.0	7.28					
		1.5	a3b3c3	0.70	0.72	2.5	2.5	7.47					
Carbonato de sodio	60	0.5	a4b1c1	1.65	1.62	7.5	7.5	7.32	155.30	97.80	36.20	-	-1.28
		1.0	a4b1c2	2.14	2.20	15.0	15.0	7.89					
		1.5	a4b1c3	2.94	2.91	18	18	8.27					
	70	0.5	a4b2c1	1.96	1.97	8	8	7.28	161.80	102.60	37.60	-	-1.28
		1.0	a4b2c2	2.43	2.44	13	13	7.46					
		1.5	a4b2c3	3.12	3.06	15	15	8.61					
	80	0.5	a4b3c1	1.79	1.78	7.5	7.5	7.53	126.60	97.00	36.40	-	-1.06
		1.0	a4b3c2	4.49	4.56	15.0	15.0	7.77					
		1.5	a4b3c3	5.29	5.34	25	25	8.50					

Nota: Factor de estudio A: Tipo de basificante empleado, B: concentración de coagulante (mg/L), C: concentración de basificante (0.5-1.0-1.5 ml) al 5%; R1: Réplica 1, R2: Réplica 2 (NTU); Color Pt-Co; SDT: Sólidos disueltos totales; Alc. Total: Alcalinidad total como mg/L de CaCO₃; Ca, CaCO₃: Dureza cálcica como mg/L de CaCO₃; Al³⁺: Concentración de aluminio; ISL: Índice de Saturación de Langelier.

Tabla 9 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 2

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
A	B	C		Turbiedad		Color		pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Hidróxido de calcio	60	0.5	a1b1c1	3.35	3.41	15	15	7.67					
		1.0	a1b1c2	1.91	2.01	12.5	12.5	7.64					
		1.5	a1b1c3	1.53	1.55	10	10	7.62	158.20	127.80	50.60	0.148	-0.70
	70	0.5	a1b2c1	1.21	1.18	7.5	7.5	7.69	159.70	110.20	53.60	0.254	-0.67
		1.0	a1b2c2	1.28	1.25	7.5	7.5	7.74					
		1.5	a1b2c3	1.73	1.78	7.5	7.5	7.64					
	80	0.5	a1b3c1	1.17	1.20	5	5	8.12	163.20	110.00	54.40	-	-0.23
		1.0	a1b3c2	1.27	1.28	5	5	8.68					
		1.5	a1b3c3	1.50	1.50	7.5	7.5	7.63					
Hidróxido de sodio	60	0.5	a2b1c1	1.93	1.90	12.5	12.5	8.54	171.80	115.60	45.20	-	0.13
		1.0	a2b1c2	1.17	1.22	7.5	7.5	8.56					
		1.5	a2b1c3	2.16	2.20	12.5	12.5	9.19					
	70	0.5	a2b2c1	1.20	1.24	7.5	7.5	8.61	172.00	115.20	46.20	0.304	0.20
		1.0	a2b2c2	2.80	2.78	12.5	12.5	8.65					
		1.5	a2b2c3	3.97	3.93	15	15	9.45					
	80	0.5	a2b3c1	3.08	3.05	15	15	9.49	174.20	111.80	51.20	-	1.12
		1.0	a2b3c2	4.76	4.76	15	15	9.72					
		1.5	a2b3c3	3.55	3.55	15	15	10.00					
Carbonato de calcio	60	0.5	a3b1c1	2.08	2.11	10	10	7.65	155.60	54.80	72.20	0.372	-0.88
		1.0	a3b1c2	2.37	2.31	10	10	7.71					
		1.5	a3b1c3	2.67	2.66	12.5	12.5	7.93					

Continuación

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
				Turbiedad		Color							
A	B	C		R1	R2	R1	R2	pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Carbonato de calcio	70	0.5	a3b2c1	2.09	2.07	7.5	7.5	7.66					
		1.0	a3b2c2	1.89	1.87	7.5	7.5	7.70	160.40	55.80	78.80	-	-0.79
		1.5	a3b2c3	1.88	1.88	7.5	7.5	7.80					
	80	0.5	a3b3c1	1.21	1.17	5	5	7.78	157.80	61.20	82.20	0.220	-0.65
		1.0	a3b3c2	1.51	1.52	7.5	7.5	7.88					
		1.5	a3b3c3	1.33	1.33	7.5	7.5	8.20					
Carbonato de sodio	60	0.5	a4b1c1	2.53	2.56	12.5	12.5	7.83	163.00	110.00	31.80	0.131	-0.76
		1.0	a4b1c2	2.45	2.43	12.5	12.5	7.52					
		1.5	a4b1c3	1.90	1.93	10	10	7.23					
	70	0.5	a4b2c1	1.71	1.72	15	15	7.57	154.30	129.00	40.20	-	-0.84
		1.0	a4b2c2	1.86	1.85	15	15	8.05					
		1.5	a4b2c3	2.10	2.12	15	15	8.54					
	80	0.5	a4b3c1	1.59	1.59	7.5	7.5	7.78	171.70	141.60	50.60	0.104	-0.50
		1.0	a4b3c2	2.40	2.43	12.5	12.5	8.03					
		1.5	a4b3c3	3.55	3.55	15	15	8.18					

Nota: Factor de estudio A: Tipo de basificante empleado, B: concentración de coagulante (mg/L), C: concentración de basificante (0.5-1.0-1.5 ml) al 5%; R1: Réplica 1, R2: Réplica 2 (NTU); Color Pt-Co; SDT: Sólidos disueltos totales; Alc. Total: Alcalinidad total como mg/L de CaCO₃; Ca, CaCO₃: Dureza cálcica como mg/L de CaCO₃; Al³⁺: Concentración de aluminio; ISL: Índice de Saturación de Langelier.

Tabla 10 Resultados de parámetros físico-químicos evaluados en la semana 3

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
A	B	C		Turbiedad		Color		pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Hidróxido de calcio	60	0.5	a1b1c1	2.45	2.46	7.5	7.5	7.29					
		1.0	a1b1c2	2.09	2.07	7.5	7.5	7.30					
		1.5	a1b1c3	1.59	1.56	7.5	7.5	7.41	170.70	108.00	61.00	0.330	-0.91
	70	0.5	a1b2c1	1.35	1.36	7.5	7.5	7.17	171.80	103.60	56.20	0.299	-1.20
		1.0	a1b2c2	1.47	1.49	7.5	7.5	7.19					
		1.5	a1b2c3	1.97	2.00	10	10	7.21					
	80	0.5	a1b3c1	1.84	1.86	5	5	7.23	172.80	100.60	54.20	0.371	-1.17
		1.0	a1b3c2	1.57	1.55	5	5	7.25					
		1.5	a1b3c3	1.78	1.80	7.5	7.5	7.28					
Hidróxido de sodio	60	0.5	a2b1c1	2.80	2.82	15	15	7.72	176.60	118.80	42.20	0.273	-0.72
		1.0	a2b1c2	9.82	9.85	30	30	9.03					
		1.5	a2b1c3	11.70	11.40	40	40	9.50					
	70	0.5	a2b2c1	1.77	1.79	10	10	7.88	177.30	112.80	42.60	0.203	-0.58
		1.0	a2b2c2	3.63	3.59	20	20	9.00					
		1.5	a2b2c3	5.28	5.26	20	20	9.47					
	80	0.5	a2b3c1	5.10	5.11	15	15	7.54	187.40	109.20	45.40	0.344	-0.90
		1.0	a2b3c2	3.46	3.46	20	20	8.90					
		1.5	a2b3c3	8.94	8.96	30	30	9.50					
Carbonato de calcio	60	0.5	a3b1c1	1.72	1.77	7.5	7.5	7.73					
		1.0	a3b1c2	1.28	1.28	7.5	7.5	7.53	184.90	103.40	58.40	0.154	-0.83
		1.5	a3b1c3	1.20	1.20	7.5	7.5	7.48					

Continuación

Factores de estudio			Tratamientos	Parámetros físicos para seleccionar dosis óptima				Parámetros químicos evaluados de las dosis óptimas de cada tratamiento					
				Turbiedad		Color							
A	B	C		R1	R2	R1	R2	pH	SDT	Alc. Total	[Ca, CaCO ₃]	Al ³⁺	ISL
Carbonato de calcio	70	0.5	a3b2c1	1.08	1.01	5	5	7.38	162.30	109.20	91.20	59.80	0.131
		1.0	a3b2c2	2.02	2.00	10	10	7.36					
		1.5	a3b2c3	2.35	2.32	10	10	7.32					
	80	0.5	a3b3c1	1.35	1.38	5	5	7.20	163.20	104.60	89.00	56.60	0.206
		1.0	a3b3c2	1.13	1.12	5.0	5.0	7.35					
		1.5	a3b3c3	1.66	1.65	7.5	7.5	7.12					
Carbonato de sodio	100	0.5	a4b1c1	2.00	2.02	10	10	7.26					
		1.0	a4b1c2	1.68	1.65	7.5	7.5	7.42					
		1.5	a4b1c3	1.58	1.57	7.5	7.5	8.05	215.00	151.20	67.00	42.20	0.302
	110	0.5	a4b2c1	1.43	1.46	5	5	7.06	187.40	135.20	76.20	44.00	0.291
		1.0	a4b2c2	2.13	2.45	10	10	7.39					
		1.5	a4b2c3	8.39	8.38	25	25	7.98					
	80	0.5	a4b3c1	2.00	1.98	7.5	7.5	7.97	178.60	134.80	74.80	44.60	0.548
		1.0	a4b3c2	5.43	5.00	15	15	8.02					
		1.5	a4b3c3	6.85	6.94	20	20	8.07					

Nota: Factor de estudio A: Tipo de basificante empleado, B: concentración de coagulante (mg/L), C: concentración de basificante (0.5-1.0-1.5 ml) al 5%; R1: Réplica 1, R2: Réplica 2 (NTU); Color Pt-Co; SDT: Sólidos disueltos totales; Alc. Total: Alcalinidad total como mg/L de CaCO₃; Ca, CaCO₃: Dureza cálcica como mg/L de CaCO₃; Al³⁺: Concentración de aluminio; ISL: Índice de Saturación de Langelier.

Tabla 11 Características fisicoquímicas del agua cruda empleada durante el periodo de estudio

Parámetros físico – químicos	Unidades	Método de ensayo	Agua Cruda		
			1	2	3
Turbiedad	NTU	APHA 2130 B	525	1085	2100
Color real	Pt/Co	APHA 2120 B	100	100	100
pH	UpH	APHA 4500-H+B	7.99	7.86	7.67
Temperatura	°C	APHA 2550 B	12.8	13.7	13.5
SDT	mg/L	APHA 2510 B	130.50	143	138.1
Alcalinidad Total	mg/L	APHA 2320 B	103.00	40.2	88
Calcio	mg CaCO ₃ /L	APHA 3500 Ca-B	12.60	29.4	45
ISL	-	-	-1.03	-0.70	-0.86

Fuente: Laboratorio de Producción de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A. SDT: sólidos disueltos totales y, 1: Semana 1; 2: Semana 2; 3: Semana 3 del periodo de estudio.

Tabla 12 Resultados de las pruebas de jarras del agua cruda empleada durante el periodo de estudio

Jarra	Semana 1			Semana 2			Semana 3		
	DC	T	Color	DC	T	Color	DC	T	Color
1	50	25.4	60.0	40	800.2	>100	90	3.85	30
2	60	11	40.0	50	760	>100	100	2.76	25
3	70	2.12	15.0	60	650	>100	110	2.46	20
4	80	1.57	10.0	70	150.3	>100	115	1.9	17.5
5	90	1.13	10.0	80	25.3	75	120	1.78	12.5
6	100	2.15	7.5	90	16.9	30	125	1.41	10
DO	80 ppm			90 ppm			125 ppm		
pH	7.55			7.21			7.29		
Alc.	90			62.4			81		
Aluminio	0.091			0.121			-		

Fuente: Laboratorio de Producción de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A. DC: Dosis de coagulante (ppm); T: turbiedad (NTU); Alc.: Alcalinidad (mg/L de CaCO₃); Aluminio: mg/L (Método HACH 8012); DO: dosis óptima.

Anexo B- 2 Análisis estadístico

Tabla 13 Análisis estadístico considerando la combinación de las tres semanas del periodo de estudio para los mejores tratamientos de acuerdo al análisis de Tukey al 95% de confianza

Número de Tratamiento	Tratamiento	Turbidez (NTU)
1	a1b2c1	1.34
1	a1b2c1	1.29
2	a1b2c1	1.21
2	a1b2c1	1.18
3	a1b2c1	1.35
3	a1b2c1	1.36
4	a1b2c2	1.37
4	a1b2c2	1.37
5	a1b2c2	1.28
5	a1b2c2	1.25
6	a1b2c2	1.47
6	a1b2c2	1.49
7	a3b1c3	1.28
7	a3b1c3	1.32
8	a3b1c3	1.2
8	a3b1c3	1.2
9	a2b2c1	1.43
9	a2b2c1	1.47
10	a2b2c1	1.2
10	a2b2c1	1.24
11	a2b1c2	1.47
11	a2b1c2	1.44
12	a2b1c2	1.17
12	a2b1c2	1.22
13	a3b1c2	1.58
13	a3b1c2	1.6
14	a3b1c2	1.28
14	a3b1c2	1.28
15	a1b3c2	1.27
15	a1b3c2	1.28
16	a1b3c2	1.57
16	a1b3c2	1.55
17	a1b1c3	1.53
17	a1b1c3	1.55
18	a1b1c3	1.59
18	a1b1c3	1.56

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbidez	36	0,99	0,98	1,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

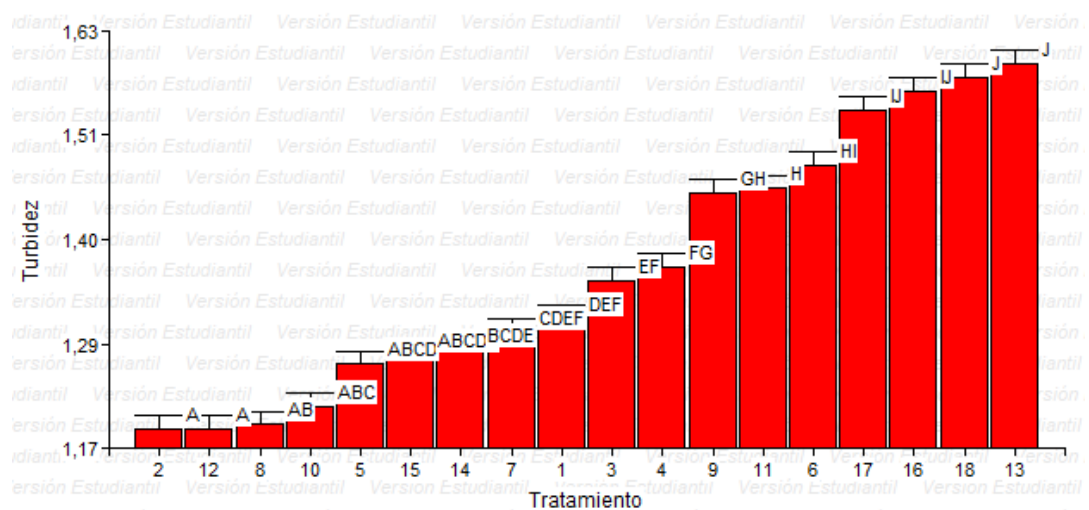
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,66	17	0,04	91,95	<0,0001
Tratamiento	0,66	17	0,04	91,95	<0,0001
Error	0,01	18	4,2E-04		
Total	0,67	35			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08264

Error: 0,0004 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2	1,20	2	0,01	A
12	1,20	2	0,01	A
8	1,20	2	0,01	A B
10	1,22	2	0,01	A B C
5	1,27	2	0,01	A B C D
15	1,28	2	0,01	A B C D E
14	1,28	2	0,01	B C D E
7	1,30	2	0,01	C D E F
1	1,32	2	0,01	D E F
3	1,36	2	0,01	E F
4	1,37	2	0,01	F G
9	1,45	2	0,01	G H
11	1,46	2	0,01	H I
6	1,48	2	0,01	H I J
17	1,54	2	0,01	I J
16	1,56	2	0,01	I J
18	1,58	2	0,01	J
13	1,59	2	0,01	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Gráfica 7 Dosis óptima de coagulantes empelados en el tratamiento de agua de la Planta Casigana durante el proceso de estudio

Análisis estadísticos para dosis óptima de coagulantes empelados en el tratamiento de agua de la Planta Casigana durante el proceso de estudio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbidez	14	0,74	0,62	3,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,05	4	0,01	6,37	0,0103
Tratamiento	0,05	4	0,01	6,37	0,0103
Error	0,02	9	1,9E-03		
Total	0,07	13			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13167

Error: 0,0019 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
a3b1c3	1,30	2	0,03	A	
a1b2c1	1,34	4	0,02	A	B
a1b2c2	1,43	4	0,02	A	B
a2b2c1	1,45	2	0,03		B
a2b1c2	1,46	2	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 14 Dosis óptima de los diferentes tratamientos evaluados en el periodo de investigación

Número de tratamiento	Tratamientos	Turbidez (NTU)	
1	a3b1c3	1.28	1.32
2	a1b2c1	1.34	1.29
3	a1b2c1	1.35	1.36
4	a1b2c2	1.47	1.49

Nota: Análisis estadístico mediante empleo de Infostat Version 2018e, considerando que el tratamiento 2 y 3 son estadísticamente iguales mediante el empleo de Tukey al 95% de confianza.

Anexo C Normativa para agua de consumo humano

Ilustración C - 1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, Tabla 1

**NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE
DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO
AGUA**

LIBRO VI ANEXO 1

4.1.20 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

4.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
- c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

4.1.1.2 Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 1):

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500

Continua...

Continuación

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural $\pm$ 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	10,0
Benzo(a) pireno		µg/l	0,01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000

Continúa...

Continuación

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Xilenos (totales)		µg/l	10 000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropano	µg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

Nota:

Productos para la desinfección: Cloroformo, Bromodichlorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.

Ilustración C - 2 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 AGUA POTABLE. REQUISITOS



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 1108
Quinta revisión
2014-01

AGUA POTABLE. REQUISITOS

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.
ICS: 13.000.20

10 Páginas

Continuación

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE REQUISITOS	NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión 2014-01
---	----------------------------	---

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud Pública. *REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS PROCESADOS* Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

4. DEFINICIONES

4.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1.1 Agua potable. Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

4.1.2 Agua cruda. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

4.1.3 Límite máximo permitido. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

4.1.4 ufc/ml. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

4.1.5 NMP. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

4.1.6 mg/l. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

4.1.7 Microorganismo patógeno. Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

4.1.8 Plaguicidas. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

Continuación

NTE INEN 1108

2014-01

4.1.9 Desinfección. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

4.1.10 Subproductos de desinfección. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

4.1.11 Cloro residual. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

4.1.12 Sistema de abastecimiento de agua potable. El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

4.1.13 Sistema de distribución. Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

5. REQUISITOS

5.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

5.2 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicas		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.7
Boro, B	mg/l	2.4
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0.07
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 a 1.5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2.0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Mercurio, Hg	mg/l	0.006
Níquel, Ni	mg/l	0.07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3.0
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Radiación total α *	Bq/l	0.5
Radiación total β **	Bq/l	1.0
Selenio, Se	mg/l	0.04

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu.

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra.

2014-0281

2 de 10

Continuación

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifos	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

2014-0281

3 de 10

Continuación

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodiclorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

2014-0281

4 de 10

Continuación

NTE INEN 1108

2014-01

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

2014-0281

5 de 10

Anexo D Fotografías

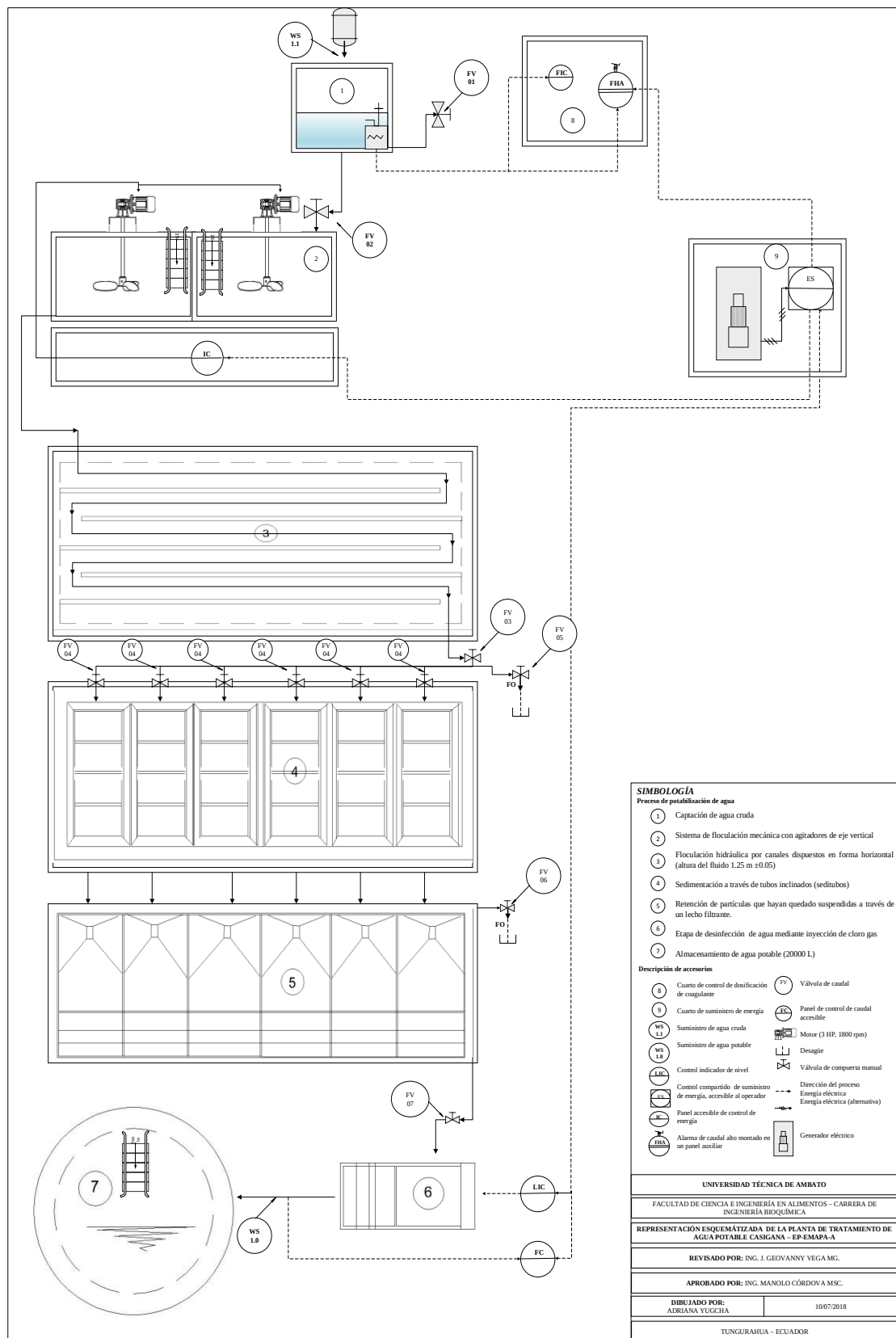


Figura 2 Representación esquemática de la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A, (Creus, 2011; INEN, 2004).



Figura 3 Agua que ingresa al canal Huachi-Pelileo en la época lluviosa



Figura 4 Prueba de jarras realizada a los distintos tratamientos



Medición de turbiedad



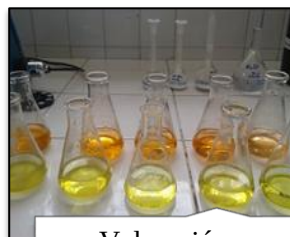
Identificación de color



Medición de pH



Valoraciones



Valoración (Alcalinidad)



Valoración (Dureza cálcica)



Identificación de Aluminio

Figura 5 Análisis físico y químicos realizados durante el periodo de estudio