

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

### IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO PÍLOTO DE MUESTREO AUTOMÁTICO PARA EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA LLOA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS EN  
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LIMA AGUAIZA JOSETH MARGARITA

[joethlima@hotmail.com](mailto:joethlima@hotmail.com)

SARABIA PANCHI FREDDY IVÁN

[sarabia.ef@gmail.com](mailto:sarabia.ef@gmail.com)

Director: SANTIAGO GUERRA SALCEDO

[santiago.guerra@epn.edu.ec](mailto:santiago.guerra@epn.edu.ec)

Quito, Julio 2020

## DECLARACIÓN

Nosotros, Joseth Margarita Lima Aguaiza y Freddy Ivan Sarabia Panchi declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación-COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



---

Joseth Margarita Lima Aguaiza



---

Freddy Iván Sarabia Panchi

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Joseth Margarita Lima Aguaiza y Freddy Iván Sarabia Panchi, bajo nuestra supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Santiago Guerra', with a faint red stamp or watermark below it.

---

Ing. Santiago Guerra MSc.  
DIRECTOR DE PROYECTO

---

Ing. Luis Ángel Jaramillo.  
CODIRECTOR DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres Antonio y Fanny, por el amor y apoyo constante e incondicional que me han dado en el transcurso de mi etapa estudiantil, por cuidarme y ser la inspiración de lucha, trabajo y esfuerzo que necesité para dar este paso, por ser la luz que supo guiarme a ser mejor tanto personal como profesionalmente. A mis hermanas, abuelitos y familia en general por su compañía, alientos, consejos y confianza depositada en mí.

A Ed, mi compañero de vida, por haber sido un apoyo importante para desarrollar este proyecto, por el cariño, amor, afecto y paciencia depositada en mí desde el inicio pero sobre todo por confiar en mí.

Un agradecimiento eterno a la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Politécnica Nacional, por darme la oportunidad de vivir esta experiencia de formación profesional. A su personal académico que inculcó en mí conocimiento importante para esta etapa de mi vida y el desarrollo de este proyecto.

Al "Equipo Dinamita", Sebastián y Galo, por ser los amigos que me apoyaron cuando más necesite y hacer de mis días universitarios la mejor etapa que he vivido, por sus risas, bromas, juegos y sinceridad.

Al Ing. Santiago Guerra por ser el pilar fundamental para lograr el desarrollo de este proyecto, por la paciencia para conmigo y sus ganas de apoyarnos desde el principio.

A Iván, por confiar en mí al realizar este proyecto y brindarme la oportunidad de obtener más conocimientos técnicos.

*Joseth Lima*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza, capacidad y por permitirme concluir con mi objetivo.

A mis padres, por ser pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi esposa y a mi hija por ser el apoyo incondicional en mi vida, que, con su amor y paciencia, me ayudan a alcanzar mis objetivos.

Agradezco a mi director de proyecto Ing. Santiago Guerra quién con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó a desarrollar este trabajo.

Al Ing. Freddy Muñoz, Ing. Irina Moncayo, Ing. Jaime Cahuasqui y Quím. Rafael Jácome por su apoyo en este proyecto.

A mis compañeros y amigos de estudio: Ing. Juan Ríos, Ing. Iván Reinoso, Ing. Henry Vaca, Tnlgo. Juan Andrés por sus consejos oportunos en esos momentos difíciles

Para finalizar agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por darme la oportunidad de culminar en sus aulas mis estudios.

*Freddy Sarabia*

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a:

A mis padres y hermanas que a diario me enseñan el valor de la familia.

Al personal de la Escuela Politécnica Nacional para que continúen compartiendo conocimiento y formando profesionales capaces de desarrollarse en el ámbito profesional.

Al personal que realiza la actividad de muestreo y sobre todo a las personas que luchan por hacer de este ambiente un medio sostenible para las futuras generaciones.

*Joseth Lima*

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi hij@ que está por venir, para ser un ejemplo de inspiración y constancia en su vida.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el proyecto se realice con éxito abriendo las puertas y compartieron sus conocimientos.

En especial a MSc. María Cristina Torres, una gran profesional y amiga que, con su preocupación sincera me motivó a retomar mis estudios y con sus conocimientos y gran trayectoria me ayudó ahora a concretar esta carrera.

*Freddy Sarabia*

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO .....	3
1.4 MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1 ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DEL AGUA RESIDUAL .....	3
1.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL .....	4
1.4.3 DEFINICIÓN DE AGUA RESIDUAL .....	4
1.4.4 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN ECUADOR.....	5
1.4.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL .....	6
1.4.6 MUESTREO .....	10
2. METODOLOGÍA .....	17
2.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	17
2.1.1 GEOREFERENCIACIÓN DE LA PTAR LLOA.....	17
2.2 MÉTODOS.....	17
2.3 MATERIALES .....	18
2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LLOA .....	19
2.5 EQUIPO DE MUESTREO AUTOMÁTICO .....	21
2.6 PROCEDIMIENTO .....	26
2.6.1 INSTALACIÓN DEL SENSOR ULTRASÓNICO PARA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	26
2.6.2 CALIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO PARA LA INSTALACIÓN DEL EMA ISCO 6712 .....	27
2.6.3 PRE PROGRAMACIÓN PARA MEDICION DE CAUDAL.....	31



2.6.4 MUESTREO EN LA PTAR LLOA.....	33
2.6.5 PROGRAMACIÓN DEL EMA ISCO 6712 PARA MUESTREAR.....	44
2.7 GENERALIDADES DE MUESTREO AUTOMÁTICO.....	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54
3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR LLOA.....	54
3.2 VARIACIÓN DE CAUDAL.....	56
3.3 MEDICIÓN DE CAUDAL.....	57
3.3 SELECCIÓN DE PUNTOS DE SUCCIÓN PARA OBTENER UNA MUESTRA REPRESENTATIVA .....	61
3.4 COLECTA DE MUESTRA COMPUESTA .....	65
3.5 AHORRO ECONÓMICO DEL EMA ISCO COMO MEDIDOR DE CAUDAL .....	68
3.6 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MUESTREO AUTOMÁTICO .....	69
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
4.1 CONCLUSIONES .....	70
4.2 RECOMENDACIONES .....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> ECUACIONES PARA TIPOS DE VERTEDEROS SEGÚN SU FORMA GEOMÉTRICA	9
<b>TABLA 2.</b> FUNCIONES DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN .....	15
<b>TABLA 3.</b> PARÁMETROS DE ANÁLISIS EN LA PTAR LLOA .....	34
<b>TABLA 4.</b> FRECUENCIA DE MUESTREO DE PARÁMETROS EN LA PTAR LLOA .....	35
<b>TABLA 5.</b> OBTENCIÓN DEL CAUDAL DIARIO DE LA PTAR LLOA.....	54
<b>TABLA 6.</b> Q ISCO Vs Q VOLUMÉTRICO - Día 1 .....	57
<b>TABLA 7.</b> Q ISCO Vs Q VOLUMÉTRICO- Día 2 .....	58
<b>TABLA 8.</b> Q ISCO Vs Q VOLUMÉTRICO- Día 3 .....	58
<b>TABLA 9.</b> DIFERENCIA DE CAUDAL OBTENIDO DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO Y AUTOMÁTICO Día 1.....	59
<b>TABLA 10.</b> DIFERENCIA DE CAUDAL OBTENIDO DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO Y AUTOMÁTICO Día 2 .....	60
<b>TABLA 11.</b> DIFERENCIA DE CAUDAL OBTENIDO DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO Y AUTOMÁTICO Día 3 .....	60
<b>TABLA 12.</b> PORCENTAJE DE ERROR DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	60
<b>TABLA 13.</b> VALORES DE MEDICIÓN IN SITU OBTENIDOS EN EL PUNTO 1.....	64
<b>TABLA 14.</b> VALORES DE MEDICIÓN IN SITU OBTENIDOS EN EL PUNTO 2.....	64
<b>TABLA 15.</b> VALORES DE MEDICIÓN IN SITU OBTENIDOS EN EL PUNTO 3.....	64
<b>TABLA 16.</b> PAGO POR OPERADOR .....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>FIGURA 1.</b> UBICACIÓN DE LA PARROQUIA LLOA.....	1
<b>FIGURA 2.</b> MÉTODO VOLUMÉTRICO .....	7
<b>FIGURA 3.</b> AFORO PARSHALL.....	7
<b>FIGURA 4.</b> PARTES DE UN VERTEDERO.....	8
<b>FIGURA 5.</b> CLASIFICACIÓN DE VERTEDEROS. ....	8
<b>FIGURA 6.</b> VERTEDERO TIPO CREAGER DE LA PTAR LLOA .....	10
<b>FIGURA 7.</b> MÉTODOS DE MUESTREO.....	11
<b>FIGURA 8.</b> PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL LLOA.....	17
<b>FIGURA 9.</b> INGRESO VEHICULAR Y PEATONAL DE LA PTAR LLOA .....	19
<b>FIGURA 10.</b> ESQUEMA DE LAS UNIDADES FÍSICAS DE LA PTAR LLOA .....	20
<b>FIGURA 11.</b> EMA ISCO 6712 .....	21

<b>FIGURA 12.</b> VISTA SUPERIOR DEL PANEL DE CONTROL DEL EMA ISCO 6712.....	23
<b>FIGURA 13.</b> VISTA POSTERIOR DEL PANEL DE CONTROL DEL EMA ISCO 6712.....	23
<b>FIGURA 14.</b> "BODEGA" PARTE INTERNA DEL EMA ISOC 6712.....	24
<b>FIGURA 15.</b> "BODEGA" CARRUSEL 24 BOTELLAS .....	24
<b>FIGURA 16.</b> SENSOR ULTRASÓNICO .....	25
<b>FIGURA 17.</b> MANGUERA DE SUCCIÓN Y STRAINER.....	25
<b>FIGURA 18.</b> DISTANCIA DE INSTALACIÓN DE UN SENSOR ULTRASÓNICO .....	26
<b>FIGURA 19.</b> PARTES DE UN VERTEDERO.....	27
<b>FIGURA 20.</b> DESGASTE DEL VERTEDERO	
<b>FIGURA 21.</b> ADECUACIÓN DEL VERTEDERO.....	28
<b>FIGURA 22.</b> LIMPIEZA DEL CANAL.....	29
<b>FIGURA 23.</b> MEDICIÓN DEL CANAL PARA LA INSTALACIÓN.....	29
<b>FIGURA 24.</b> REALIZACIÓN DE ORIFICIOS PARA ACOPLAR EL SENSOR .....	30
<b>FIGURA 25.</b> VERIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SENSOR .....	30
<b>FIGURA 26.</b> ANCLAJE DE REGLA PARA MEDICIÓN DEL CALADO .....	31
<b>FIGURA 27.</b> MEDICIÓN DEL CAUDAL POR MÉTODO VOLUMÉTRICO.....	33
<b>FIGURA 28.</b> PROBETA DE 1000 ML .....	33
<b>FIGURA 29.</b> VOLUMEN RECOLECTADO POR EL EMA ISCO 6712 EN 24H .....	37
<b>FIGURA 30.</b> SELECCIÓN DEL PUNTO DE SUCCIÓN EN EL AFLUENTE.....	38
<b>FIGURA 31.</b> PUNTO DE PRUEBA DE SUCCIÓN Nº 1 .....	39
<b>FIGURA 32.</b> PUNTO DE PRUEBA DE SUCCIÓN Nº 2 .....	40
<b>FIGURA 33.</b> PUNTO DE PRUEBA DE SUCCIÓN Nº 3 .....	41
<b>FIGURA 34.</b> CARRUSEL DE DESINFECCIÓN (EFLUENTE).....	42
<b>FIGURA 35.</b> DIMENSIONES DEL CANAL DE DESINFECCIÓN Y EL VERTEDERO DE SALIDA DE LA PTAR LLOA.....	43
<b>FIGURA 36.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 1 .....	44
<b>FIGURA 37</b> PROGRAMACIÓN - PASO 2 .....	44
<b>FIGURA 38.</b> PROGRAMACIÓN - PASO 2 .....	45
<b>FIGURA 39.</b> PROGRAMACIÓN - PASO 2 .....	45
<b>FIGURA 40.</b> PROGRAMACIÓN - PASO 3 .....	45
<b>FIGURA 41.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 4 .....	45
<b>FIGURA 42.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 5 .....	46
<b>FIGURA 43.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 6 .....	46
<b>FIGURA 44.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 7 .....	46

<b>FIGURA 45.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 8 .....	47
<b>FIGURA 46.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 9 .....	47
<b>FIGURA 47.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 10 .....	47
<b>FIGURA 48.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 11 .....	47
<b>FIGURA 49.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 12 .....	48
<b>FIGURA 50.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 13 .....	48
<b>FIGURA 51.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 14 .....	48
<b>FIGURA 52.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 15 .....	49
<b>FIGURA 53.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 16 .....	49
<b>FIGURA 54.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 17 .....	49
<b>FIGURA 55.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 18 .....	49
<b>FIGURA 56.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 19 .....	51
<b>FIGURA 57.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 20 .....	51
<b>FIGURA 58.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 21 .....	51
<b>FIGURA 59.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 22 .....	51
<b>FIGURA 60.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 23 .....	52
<b>FIGURA 61.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 24 .....	52
<b>FIGURA 62.</b> PROGRAMACIÓN- PASO 25 .....	52
<b>FIGURA 63.</b> COMPARACIÓN DEL Q DISEÑO Vs Q DIARIO DE 3 DÍAS. ....	55
<b>FIGURA 64.</b> REPRESENTACIÓN DE CAUDALES HORARIO QUE INGRESA A LA PTAR LLOA .....	56
<b>FIGURA 65.</b> POLÍGONO DE FRECUENCIA DE LA VARIACIÓN DE CAUDAL OBTENIDA DEL MÉTODO VOLUMÉTRICO Y LA MEDICIÓN DEL EMA ISCO 6712 .....	59
<b>FIGURA 66.</b> PUNTO DE PRUEBA DE SUCCIÓN Nº 1 .....	61
<b>FIGURA 67.</b> COLOCACIÓN DE HIELO EN LA "BODEGA" DEL EQUIPO .....	65
<b>FIGURA 68.</b> EXTRACCIÓN DEL BOTELLÓN DE 10 L CON LA MUESTRA COMPUESTA.....	65
<b>FIGURA 69.</b> HOMOGENIZACIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA ALMACENADA EN EL BOTELLÓN.....	66
<b>FIGURA 70.</b> EXTRACCIÓN LA MUESTRA COMPUESTA ALMACENADA EN LOS TARROS DE 1 L.....	66
<b>FIGURA 71.</b> DIFERENCIA DE VOLUMEN ENTRE UNA MUESTRA Y OTRA .....	67
<b>FIGURA 72.</b> HOMOGENIZACIÓN DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS RECOLECTADAS EN LOS TARROS DE 1L .....	67

**SIGLAS**

AM	Acuerdo Ministerial
AR	Agua Residual
EMA	Equipo muestreador automático
EMA ISCO	Equipo muestreador automático Marca ISCO modelo 6712
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
EPP	Equipo de Protección Personal
EPC	Equipo de Protección Colectiva
ESFOT	Escuela de Formación de Tecnólogos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
ISO	Organización Internacional de Estandarización
L3C	Laboratorio de Control de Calidad de Agua
MAE	Ministerio del Ambiente
OD	Oxígeno Disuelto
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
pH	Potencial Hidrógeno
STD	Sólidos Totales Disueltos

## RESUMEN

Los diferentes usos del agua originan la contaminación de este recurso. El agua residual es susceptible a las reacciones físicas, químicas y biológicas que alteran la calidad, para conocer las características de este flujo se realiza un muestreo.

El muestreo es una actividad que exige criterio y conocimiento técnico; además de recurso humano calificado en todo el proceso de recolección y análisis de parámetros de calidad de agua. La recolección de la muestra es trascendental para no generar datos erróneos y tener información exacta de las características de un lugar. Adicionalmente, la interpretación de los datos obtenidos del muestreo debe permitir la toma de decisiones adecuadas en la operación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y control de la descarga del efluente, es por esto que la elección del método de muestreo, frecuencia de muestreo, volumen de la muestra, toma de muestras para medición de parámetros *in situ* y de laboratorio debe ser el más adecuado.

Con lo expuesto anteriormente, el trabajo de muestreo puede ejecutarse con más precisión a través de una variedad de equipos automáticos existentes en el mercado; el modelo ISCO 6712 es el más apropiado para condiciones de confinamiento, espacios reducidos y condiciones atmosféricas adversas, pero con dimensiones geométricas perfectamente definidas, por lo que el objetivo de este trabajo es desarrollar un protocolo de muestreo automático para la PTAR Lloa, parroquia rural del Distrito Metropolitano de Quito.

Para cumplir con el objetivo, se realizó trabajo de campo que permitió establecer los parámetros hidráulicos requeridos por el equipo muestreador automático EMA ISCO 6712 para su instalación. Los valores de caudal obtenidos fueron contrastables a los tomados de forma manual. De igual manera, se identificaron los puntos de succión representativos para muestreo del afluente y efluente, obteniendo muestras representativas que puedan ser analizadas en laboratorio, asegurando datos confiables de calidad del agua que puedan servir a los operadores de la PTAR, quienes están a cargo del buen funcionamiento de la misma.

## ABSTRACT

The different uses of water cause contamination of this resource. The residual water is susceptible to physical reactions, chemical and biological substances that alter the quality, to know the characteristics of the flow a sampling is carried out.

Sampling is an activity that requires judgment and technical knowledge; in addition to qualified human resources throughout the process of collecting and analyzing water quality parameters. The sample collection is important to avoid generating erroneous data and to have exact information on the characteristics of a place.

The interpretation of the selected data from the sampling must allow adequate decisions to be made in the operation of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) and the control of effluent discharge, which is why the choice of the sampling method, frequency Sampling, sample volume, sampling for on-site and laboratory parameter measurement should be most appropriate.

Sampling work can be done more accurately through a variety of affected automated equipment on the market; the ISCO 6712 model is the most suitable for confinement conditions, small spaces and adverse atmospheric conditions, but with perfectly defined geometric dimensions, so the objective of this work is to develop an automatic sampling protocol for the WWTP Lloa, rural parish of the Quito Metropolitan District.

To meet the objective, field work was carried out that established the hydraulic parameters required by the EMA ISCO 6712 automatic sampling equipment for its installation. The lost flow values were verifiable to those taken manually. Likewise, it identifies representative suction points for influent and effluent sampling, obtaining representative samples that can be analyzed in the laboratory, ensuring reliable water quality data that can be used by the WWTP operators, who are in charge the proper functioning of it.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Históricamente los sistemas de alcantarillado de las parroquias de Quito han descargado el agua residual en las quebradas y ríos más cercanos. Esto ha ocasionado un aumento en la contaminación del agua, a tal punto que los cuerpos receptores (principalmente ríos) donde se descarga finalmente el agua, han excedido su capacidad de depuración (Arrieta, 2014). La problemática mencionada ha dado paso a la creación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR's) para depurar el agua contaminada antes de ser descargada. (EPMAPS, 2011).

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito a través de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), diseñó y construyó la PTAR LLOA en el año 2017 (Figura 1), la misma que inició su operación en el año 2018 (EPMAPS, 2011).



**Figura 1.** Ubicación de la Parroquia Lloa

**Fuente:** Quito cultura, 2019



El agua residual de la parroquia es conducida mediante el sistema de alcantarillado y posteriormente depurada en la PTAR que se encuentra ubicada al sur oeste de la ciudad de Quito, y pertenece a la Administración Municipal Zona Sur “Eloy Alfaro” (EPMAPS, 2011).

La parroquia de Lloa tiene alrededor de 1.494 habitantes que se dedican a actividades tradicionales como la agricultura, ganadería y microempresas lácteas (Consultora Morales, 2019). Los procesos productivos de estas actividades provocan arrastre de materiales y/o elementos como: arena, sedimentos, plaguicidas, fertilizantes, nutrientes, fósforo, nitrógeno, que se descargan a la red de alcantarillado.

Adicionalmente, esta parroquia es una zona de turismo que acoge a una población flotante considerable los fines de semana, lo que conlleva a mayores concentraciones de carga contaminante para la PTAR (Agentes patógenos, compuestos orgánicos, grasas y aceites, materias fecales, contaminantes orgánicos), así como; variaciones en el caudal (EPMAPS, 2011).

La operación de un sistema de depuración debe tener directrices claras en cada uno de sus procesos tanto físicos, como químicos. Para ello, es necesario contar con protocolos de operación, que proporcionen una guía adecuada al personal técnico a cargo, para realizar las actividades de manera técnica, minimizando errores y cumpliendo con las normas de seguridad industrial y salud ocupacional ante los riesgos biológicos y físicos existentes (EPMAPS, 2011).

Es importante mencionar que este proyecto se desarrolló durante la crisis sanitaria del coronavirus (COVID 19), declarado como pandemia por la OMS el 11 de marzo del 2020 cuya principal afección son las vías respiratorias, la propagación del virus originó que en el mundo se declare emergencia de salud pública y se inicie la “cuarentena”, sin fecha de culminación hasta la presentación de éste proyecto (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un protocolo piloto de muestreo automático para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lloa.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la información sobre los parámetros hidráulicos, requeridos por el equipo muestreador automático.
- Identificar los puntos de succión representativos para muestreo del afluente y efluente.
- Establecer los procedimientos de muestreo automático para el afluente y efluente en la PTAR de la Parroquia de Lloa.

## **1.3 ALCANCE DEL PROYECTO**

Las directrices que se presentan a continuación son una guía para los operadores de la EPMAPS, para muestrear y medir caudal con el equipo automático ISCO 6712 (EMA ISCO 6712) en la PTAR Lloa.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

En esta sección del documento se presentan las definiciones pertinentes para el entendimiento conceptual del proyecto.

### **1.4.1 ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

Antes de la era Neolítica, cuando las personas eran cazadores- recolectores se vivía en un mundo renovable (Morillo, 2017). Todos los productos que la naturaleza proveía se aprovechaban al máximo, y la tierra tenía la capacidad de reintegrar los desechos originados por los seres humanos al ambiente y así completar los ciclos de la naturaleza (Grupo de Agua y Saneamiento, 2015).

Durante el neolítico, cuando los humanos cambiaron sus actividades por productores y comerciantes, se originó una población creciente con un alta

densidad demográfica y sedentaria, ocasionando gran producción de desechos; pero su aumento significativo imposibilitó a la naturaleza reintegrar los desechos a un ciclo de vida (Morillo, 2017).

El crecimiento desmesurado de las agrupaciones humanas en áreas determinadas se dio gracias a la disponibilidad de agua, por tal motivo, se volvió importante crear sistemas de conducción para que el agua llegue a diversas zonas. El acceso al recurso hídrico generó aguas residuales, las cuales al no ser conducidas y tratadas de manera adecuada producen contaminación, enfermedades, entre otros (EPMAPS, 2019).

#### **1.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

Una PTAR es un sistema secuencial para depurar el agua residual mediante la operación de unidades físicas y procesos biológicos/químicos (George Tchobanoglous & Franklin Burton, 1995). Estos procesos permiten retirar la contaminación del agua tras haber sido utilizada en actividades humanas con el fin de preservar la salud del medio.

El sistema de tratamiento del agua residual consta de cuatro niveles de depuración (George Tchobanoglous & Franklin Burton, 1995):

- Tratamiento preliminar: Primeras operaciones físicas en las que se remueven sólidos gruesos, arenas y grasas para evitar dañar los equipos electromecánicos y procesos biológicos (desarenador, desbaste, y desengrasado).
- Tratamiento primario: Proceso mediante el cual se completa la remoción de sólidos o partículas suspendidas mediante la decantación primaria.
- Tratamiento secundario: Proceso biológico en el cual se transforma la materia orgánica en materia estable, mediante la biodegradación celular
- Tratamiento terciario: Son tratamientos adicionales para la eliminación de la carga orgánica residual y de otras sustancias contaminantes.

#### **1.4.3 DEFINICIÓN DE AGUA RESIDUAL**

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y La Cultura “UNESCO” (UNESCO, 2017), define al agua residual como: “Agua de

composición variada proveniente de las descargas, que por su naturaleza no puede usarse nuevamente y al ser vertida en cuerpos receptores altera el equilibrio de los ecosistemas y la salud pública”.

Adicionalmente, el Acuerdo Ministerial 028, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluente: Recurso Agua (Ministerio del Ambiente, 2015), indica que el agua residual es la suma de varias descargas municipales, domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, entre otras; todas provenientes de actividades humanas y que tengan degradación de su calidad inicial.

#### **1.4.4 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN ECUADOR**

El agua residual al ser la suma de varias descargas provenientes de actividades humanas tiene una combinación de contaminantes que pueden afectar los ecosistemas y la salud pública. Estos contaminantes están identificados en parámetros físicos, químicos y microbiológicos como resultado del uso que se le da a este recurso (IPROMA, 2016).

El agua residual causa impactos ambientales en los cuerpos receptores. Esta problemática ha ocasionado que en Ecuador se regule la descarga del agua residual tanto al alcantarillado como a los cuerpos de agua a través de lineamientos propuestos por el Ministerio del Ambiente (MAE) a través del Acuerdo Ministerial (AM) 028, en el punto 5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce en la tabla 10, establece los parámetros de calidad en valores máximos permisibles, indica también que los parámetros de las AR que no cumplan los rangos permitidos, deberán ser tratados mediante tratamiento convencional ya sea de origen público o privado.

Para evaluar el cumplimiento de estos parámetros es necesario instalar sistemas de medición. Las propiedades y características de las aguas residuales son inestables y se pueden alterar por factores como el tiempo, lugar o temperatura, es por esto que algunos parámetros deben ser medidos *in situ* (IPROMA, 2016)

De acuerdo con Nayaran (2014), los parámetros de medición *in situ* o de campo más relevantes son:

- Potencial Hidrógeno (pH)

- Conductividad
- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Turbidez

De igual forma indica que los parámetros de mayor análisis en laboratorio son (Narayan, 2014):

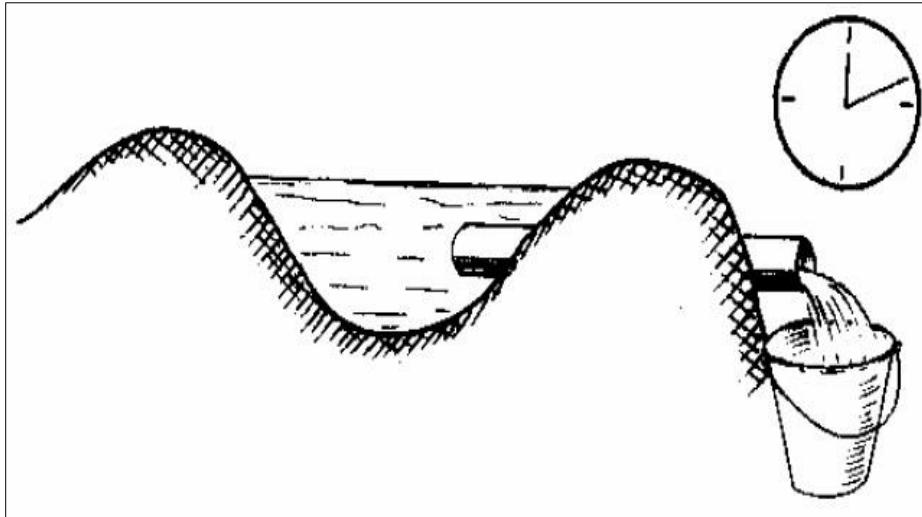
- Sólidos totales
- Dureza
- Cloro Activado
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

#### **1.4.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL**

Las aguas residuales necesitan un constante monitoreo ya sea para la determinación del volumen o para regular los parámetros de calidad antes de una descarga a cuerpos de agua conforme dicte la normativa vigente (Zambrano & Echeverría, 2018). La determinación del caudal se hace con ayuda de varias estructuras hidráulicas a través de varios métodos: método volumétrico y método de velocidad/ superficie, aforos directos como el aforo Parshall o indirecto como los vertederos (Sánchez, 2013).

Para realizar el monitoreo de caudal es importante considerar el diseño y construcción de las estructuras hidráulicas para facilitar al personal técnico encargado de monitoreo, con el respectivo método adecuado efectuar su trabajo de la mejor manera posible (TULSMA, 2017).

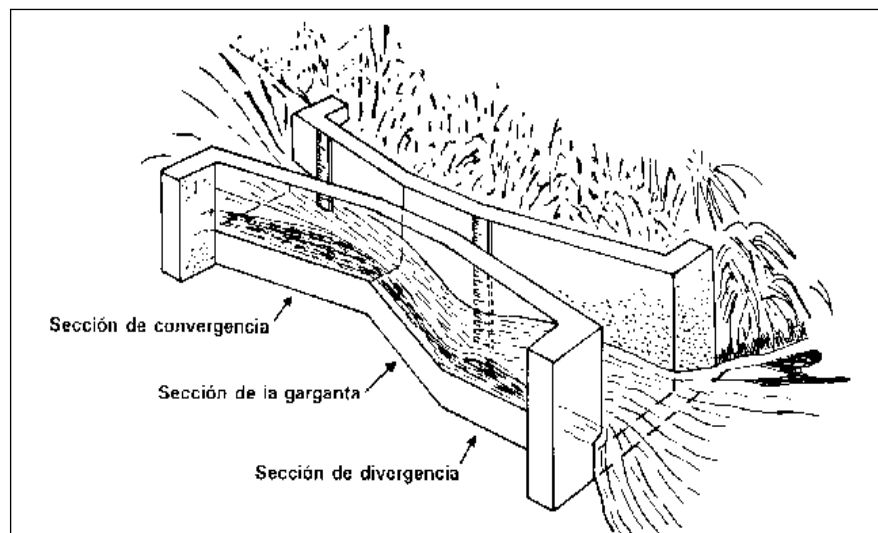
Uno de los métodos para aforar caudal es el volumétrico cuyo procedimiento es sencillo y confiable de medición directa; puede aplicarse cuando se tiene una corriente encausada con caída de agua y sólo se requiere de un recipiente con un volumen conocido y un cronómetro para medir el tiempo de llenado tal como se muestra en la Figura 2 (Cruz, 2014).



**Figura 2.** Método Volumétrico

**Fuente:** Cruz, 2014

El aforo Parshall es otro método para medir el caudal en función del efecto Venturi<sup>1</sup>, se instala en canales abiertos y está compuesto por una sección convergente, una garganta y una sección divergente como se ilustra en la Figura 3. Las ventajas ante los demás métodos está dada por la menor pérdida



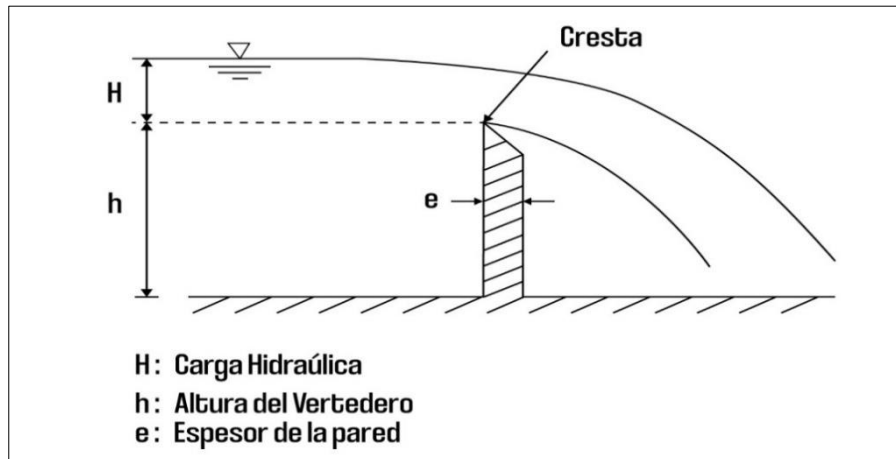
de carga; además de no influir en la velocidad del agua (Villavicencio, 2016).

**Figura 3.** Aforo Parshall

**Fuente:** Villavicencio, 2016

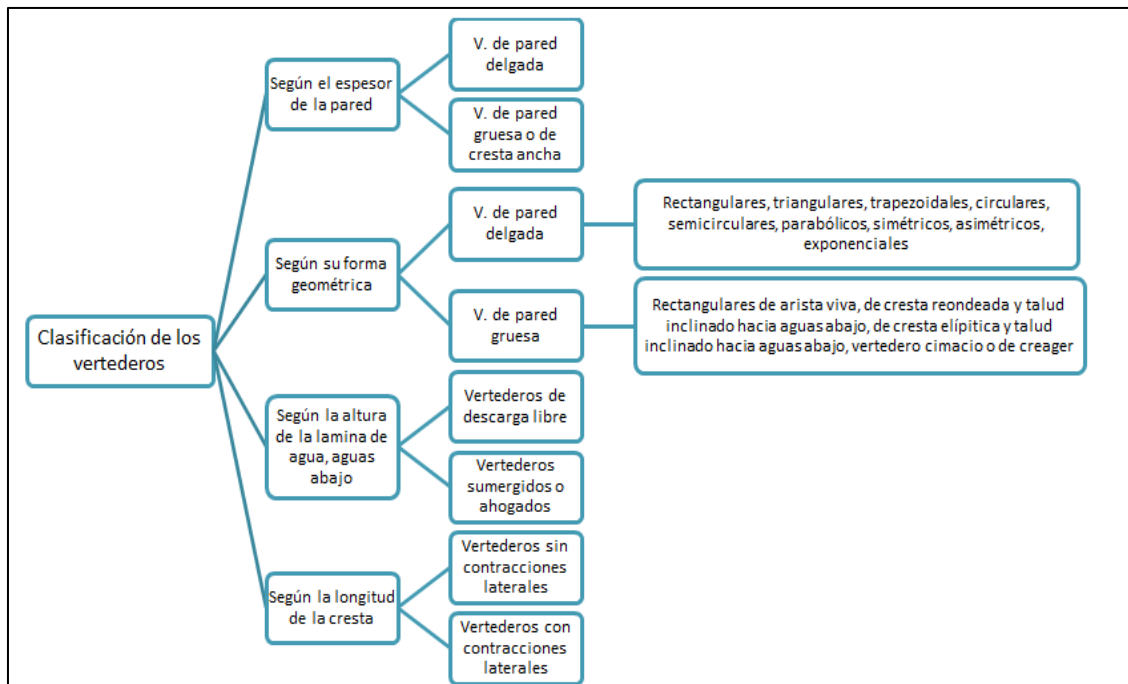
<sup>1</sup> EFECTO VENTURI.- Disminución de la presión que ejerce un líquido al hacerlo fluir por una sección más angosta en un conducto (González, 2011).

Un vertedero es una estructura hidráulica que modifica las condiciones del flujo de la corriente, es una abertura de contorno abierto que permite controlar el nivel de embalses, depósitos, estanques, entre otros. Esta estructura es recomendable para medir caudales en corrientes naturales (Santateresa, 2018). En la Figura 4, se indican las partes de un vertedero:



**Figura 4.** Partes de un vertedero

Los vertederos se pueden clasificar de varias formas como se presenta en la Figura 5 (Jiménez & Morocho, 2018):

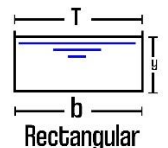
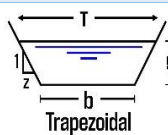
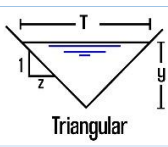
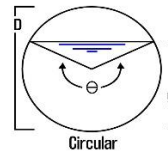
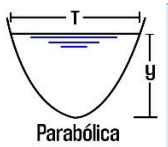


**Figura 5.** Clasificación de vertederos.

**Fuente:** Jiménez & Morocho, 2018

Cada uno de los vertederos mencionados en el siguiente cuadro de resumen, tienen su propia dinámica de funcionamiento; por este motivo cada uno tiene una fórmula de aplicación diferente, la Tabla 1 indica las fórmulas de aplicación para determinación de caudal en los vertederos según su forma geométrica.

**Tabla 1.** Ecuaciones para tipos de vertederos según su forma geométrica

Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$By$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	$Zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Coa, 2019



#### 1.4.5.1 VERTEDERO TIPO CREAGER

El vertedero tipo Creager (Figura 6), es un vertedero de pared gruesa comúnmente diseñado para disipar la energía de la corriente y tener un adecuado control el caudal por encima de su cresta, de tal se incrementa por diferentes factores temporadas del año, evitando daños en las estructuras hidráulicas (López, 2016).



**Figura 6.** Vertedero tipo Creager de la PTAR Lloa

**Fuente:** EPMAPS 2020

#### 1.4.6 MUESTREO

El muestreo es una técnica estadística que permite obtener una porción de agua representativa de un volumen específico para conocer, controlar y detectar un contaminante en el fluido para saber las características: físicas, químicas y bacteriológicas (Jiménez, 2016).

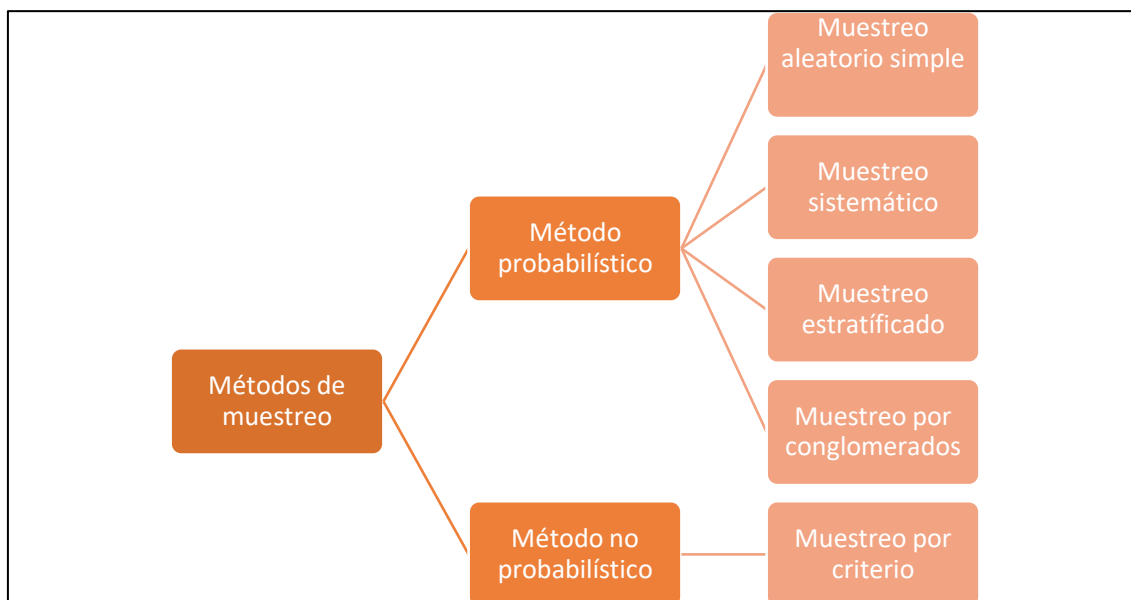
El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la norma técnica ecuatoriana 2176:2013 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p. 2), define al muestreo como la obtención de una porción de material lo suficientemente pequeña como para extraerla, transportarla y estudiarla analíticamente.

Las normas utilizadas en el campo de muestreo, y las necesarias para la aplicación de este proyecto fueron:

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2226:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Agua Potable. Requisitos
- Organización Internacional de Normalización ISO 17025 Calidad en Laboratorios de Ensayo y de Calibración
- Organización Internacional de Normalización ISO 5667-1:2007 Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.

#### 1.4.6.1 MÉTODOS DE MUESTREO

La susceptibilidad del agua residual a los cambios provocados por las reacciones físicas, químicas y biológicas; hace imposible establecer un procedimiento único para tomar muestras. En la Figura 7 se plantea los métodos de muestreo más comunes para la toma de muestras



**Figura 7.** Métodos de muestreo

**Fuente:** Mulki, 2018

#### **1.4.6.2 MÉTODO PROBABILÍSTICO**

Es el método que se basa en el principio de la equiprobabilidad, donde todas las muestras de tamaño  $n$  tiene la misma probabilidad de ser elegidas. Es el único método que asegura representatividad, siendo por lo tanto el método más recomendable. Dentro de este grupo encontramos los siguientes tipos (Mulki, 2018):

- Muestreo aleatorio simple.- Toma de muestras al azar de la población
- Muestreo sistemático.- Toma de muestras con intervalos regulares de espacio o tiempo.
- Muestreo estratificado.- Toma de muestras aleatorias de una población dividida en estratos.
- Muestreo por conglomerados.- Toma de muestras de varios grupos de una población conformada por elementos heterogéneos pero con algo en común.

#### **1.4.6.3 TIPOS DE MUESTRA**

Es necesario coordinar el método, localización y el momento de muestreo con el fin de realizar correctamente la operación. Para ello el tipo de muestra puede ser: simple, compuesta o integrada (Santateresa, 2018).

- Muestra simple o puntual

La muestra simple se basa en la toma de una porción de agua en un punto y momento particular. Son tomadas generalmente para evaluar el cumplimiento de los parámetros planteados en normativas. La INEN 2176 (2013) recomienda tomar muestras puntuales si el flujo del agua a muestrear no es uniforme o si los parámetros de interés no son constantes.

- Muestra compuesta

Es el resultado de la combinación de varias muestras simples tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos preferentemente en un lapso de 24 horas, para luego obtener una mezcla uniforme; generalmente se aplica cuando la muestra puede presentar variaciones de un momento a otro.

Son tomadas generalmente para obtener los parámetros hidráulicos que ayuden al diseño de instalaciones de tratamiento de aguas, evaluación de parámetros, caracterización de efluentes, cálculo de cargas contaminantes, seguimiento y control de la contaminación (Santateresa, 2018).

Adicionalmente, las muestras compuestas representan un ahorro significativo en costo y análisis de laboratorio.

- Muestra integrada

Es la combinación de muestras individuales tomadas simultáneamente de diferentes puntos, es recomendable en ríos o corrientes donde la composición de las características del agua puede variar considerablemente acorde al ancho o la profundidad del cauce (Mulki, 2018).

Tomar muestras integradas es un proceso complicado que generalmente necesita equipos diseñados para tomar muestras a diferentes profundidades sin que se contaminen en la columna de agua (Calderón, 1997).

#### **1.4.6.4 TIPOS DE MUESTREO**

En el muestreo pueden presentarse factores que interfieran en la toma de muestras, como la presencia de espacios confinados, aumento de caudales, lugares no apropiados que atenten contra la integridad de los trabajadores. Para definir el tipo adecuado de muestreo se debe evaluar previamente el recurso económico, humano, disponibilidad, capacidad de los trabajadores, vida útil de los equipos, condiciones de salud y seguridad (Leiva, 1998).

- **MUESTREO MANUAL**

Se práctica cuando existe fácil acceso al lugar de muestreo; una de las ventajas es que permite al operador observar las variaciones físicas que puede presentarse en la calidad del agua (Nava, 2011).

- **MUESTREO AUTOMÁTICO**

Como su nombre lo indica, es un método que utiliza equipos automáticos. Tiene la ventaja de reducir errores humanos inherentes del muestreo manual,

es decir aumenta la precisión en la toma de muestras, reducen costos y permiten aumentar la frecuencia de muestreo (Calderón, 1997).

La INEN 2176 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo en el Anexo A (INEN 2176, 2013, p. 11) indica lineamientos para la instalación de un equipo automático y las características del mismo, se nombran a continuación algunos de ellos:

- a) La construcción debe ser rígida y apta para que se instale el equipo de muestreo (EMA) y sus componentes funcionales.
- b) La instalación del EMA debe evitarse las partes expuestas o sumergidas en el agua.
- c) La estructura donde estará el EMA debe ser resistente al agua y a la corrosión.
- d) La construcción debe ser de diseño simple, de fácil mantenimiento y operación.
- e) La construcción debe estar libre de atascamiento por sólidos.
- f) El EMA debe tener una buena correlación de los datos analíticos con los de las muestras recogidas manualmente.
- g) El EMA debe tener recipientes para muestras fáciles de destapar, limpiar y volver a tapar

#### **1.4.6.5 MUESTREO EN PTARs**

El muestreo de agua residual en plantas depuradoras puede poner en peligro la integridad del personal debido a las características físicas, químicas y biológicas que puede tener un fluido.

Los equipos de protección personal ayudan a proteger la salud e integridad de los operadores al realizar cualquier tipo de actividad derivada del trabajo, para prevenir daños que atenten con los recursos humanos y económicos (Del Prado, 2013).

- **EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL**

Los equipos de protección personal (EPP); son todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas que actúan como barrera física para evitar contacto con los agentes de riesgo. Los EPP son utilizados por los trabajadores para protegerse de posibles lesiones. Cabe recalcar que cada EPP es de uso personal e intransferible (EPMAPS & DSS, 2012).

La Tabla 2 se muestra los EPP utilizados por los trabajadores para la protección de sistemas vitales y del cuerpo en general.

**Tabla 2.** Funciones de los Equipos de Protección

<b>Vía Respiratoria</b>	<b>Máscaras, mascarillas y equipo de respiración autónomo</b>
<b>Cabeza, cara, ojos y oídos</b>	Gorras, cascos, orejeras, gafas
<b>Manos y brazos</b>	Guantes
<b>Pies</b>	Botas, zapatos de seguridad
<b>Todo el cuerpo</b>	Ropa de trabajo

**Fuente:** EPMAPS & DSS, 2012

- **EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA**

Mientras tanto, los equipos de protección colectiva (EPC); corresponden a todo dispositivo, accesorio, equipo en general que protegen simultáneamente a un grupo de personas (EPMAPS & DSS, 2012)

Adicionalmente, los requisitos importantes de seguridad personal y análisis de aguas residuales a través del muestreo son (Arce & Calderón, 2017):

1. Nunca salir solo a muestrear.
2. Determinar la ubicación del centro de salud más cercano.
3. Tener vacunas de inmunización al día.
4. Notificar a otros sobre el itinerario y ubicación.
5. Contar con EPP y EPC
6. Cuando el muestreo se efectúe en un espacio confinado o una descarga que contenga muchas sustancias volátiles utilice el medidor de gases, mascarilla y casco de protección.
7. Tener identificación en un lugar visible y de ser posible un teléfono o radio localizador.
8. Llevar un botiquín de primeros auxilios.
9. Siempre utilizar EPP adecuado a la situación del muestreo.
10. Tener presente reglamentos de seguridad e higiene establecidos por la empresa.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca el ingreso y salida del agua por la PTAR Lloa; el lugar de instalación del EMA ISCO 6712 fue en la garganta del canal Parshall (afluente) y el tanque de desinfección (efluente).

#### 2.1.1 GEOREFERENCIACIÓN DE LA PTAR LLOA

Las coordenadas geográficas de la PTAR Lloa son: Latitud  $0^{\circ}15'11,2''$  y Longitud  $78^{\circ}36'27,2''$  (Figura 8). Está ubicada a 4675 msnm y tiene una temperatura media de  $14^{\circ}\text{C}$ . La pluviosidad media anual se encuentra en 1.500 mm.



**Figura 8.** Planta de Tratamiento de Agua Residual Lloa

**Fuente:** Google Earth

### 2.2 MÉTODOS

La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto fue experimental y se desarrollaron actividades como: observación en condiciones controladas,



comparación de variables para el muestreo (punto y altura de succión) y parámetros hidráulicos (caudal, carga hidráulica), recolección de información.

Para el cumplimiento de la metodología se tomó de guía las siguientes características:

- Manipulación
- Implantación de condiciones experimentales
- Aleatorización
- Control

En primer lugar, se generaron las condiciones de evaluación necesarias para la obtención de datos representativos consistentes a los parámetros hidráulicos y a los puntos de muestreo que se pueden presentar en una planta de tratamiento de aguas residuales; cabe mencionar que, las variables establecidas son de uso internacional, por lo tanto existen métodos de medición estandarizados y aplicados para la obtención de medidas.

En segundo lugar se presentaron diferentes condiciones experimentales donde se alteraron controladamente las variables a medirse para observar y comparar la medición cuantitativa y los métodos de muestreo que se aplican en la PTAR.

También se evaluaron las variables: lugar, tiempo, volumen para conseguir valores promedios. Este paso permitió evaluar las condiciones, establecer diferencias, comprobar resultados y por lo tanto controlar los posibles errores y mejorar la selección de puntos críticos de medición.

### **2.3 MATERIALES**

Los materiales, herramientas y equipos utilizados fueron: libreta de campo, cámara fotográfica, computador, manuales para muestrear aguas servidas, equipo muestreador automático EMA ISCO 6172 y su respectivo manual, reglas

graduadas de 30 cm, cronómetro, balde graduado de 10 l, metro, nivel, materiales de construcción (cemento, arena y agua), hielo, multiparaméto, pisetas, cooler, medio de transporte, agua destilada, buffers de calibración,

pañños de limpieza, destornilladores, alicates, tornillos, tacos, brocas, taladro, matraz de Erlenmeyer, frasco Winkler, probeta de 1 l, vaso precipitado.

En cuanto a los EPP: Los materiales utilizados fueron: traje impermeable, botas, guantes mascarillas, casco de seguridad, alcohol, jabón, agua, botiquín de primeros auxilios.

## 2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LLOA

En la Figura 9 se muestra el acceso principal de la PTAR de Lloa.

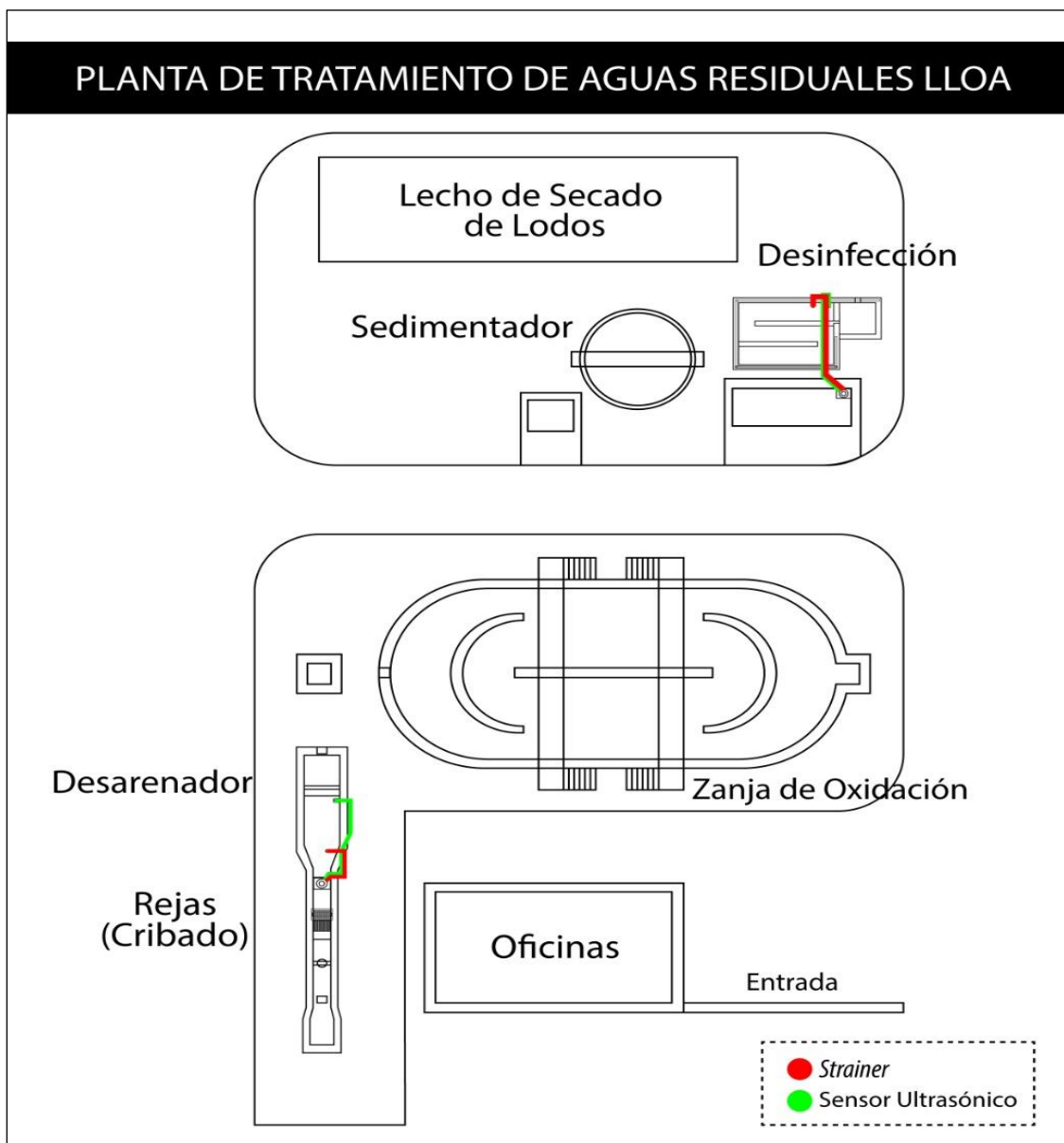


**Figura 9.** Ingreso vehicular y peatonal de la PTAR Lloa

En la actualidad la PTAR Lloa cuenta con las siguientes unidades físicas y procesos de tratamiento (Figura 10) para depurar la descarga de aguas residuales domésticas de aproximadamente 629 habitantes (Memoria Técnica Lloa, 2010):

- i. Reja.- Barras metálicas de sección rectangular de 8 mm x 25 mm x 1.40 m., están dispuestas paralelamente y tienen un espaciado de 25 mm. Se utiliza para separar objetos de tamaño mayor que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua
- ii. Desarenador.- Estructura que sedimenta la arena que acarrea el agua residual. Este es el lugar seleccionado técnicamente para la instalación del EMA ISCO 6172.

- iii. Zanja de oxidación.- Es una estructura donde ocurre el proceso biológico en el que se degrada la materia orgánica a través de la biodegradación celular.
- iv. Sedimentador.- Proceso biológico donde se forman los flóculos y se aglomeran para dar paso a la sedimentación por gravedad.
- v. Desinfección.- Estructura donde se realiza el contacto entre el cloro y el agua tratada.
- vi. Lechos de secado de lodos.- El secado de lodos sobre lechos de arena con dren en el fondo que logra estabilizar el lodo.



**Figura 10.** Esquema de las unidades físicas de la PTAR Lloa

## 2.5 EQUIPO DE MUESTREO AUTOMÁTICO

El EMA ISCO 6712, es un artefacto electromecánico que permite medir el caudal, volumen y tomar muestras de cualquier estructura hidráulica, siempre que se tenga las secciones definidas.

Físicamente es un equipo robusto como se muestra en la Figura 7, tiene una carcasa de doble pared de plástico ABS que eleva su resistencia a la intemperie y a ambientes corrosivos. Está diseñado para trabajar en campo, lugares confinados o difíciles de acceder, permite la reducción de riesgos o accidentes que puede sufrir el operador al momento de muestrear; sin embargo se debe tener cuidado al instalar el EMA en lugares de alto riesgo como quebradas, dentro de colectores o espacios confinados. Los equipos y materiales de seguridad definidos en el marco teórico (EPP y EPC) permiten salvaguardar la salud de los operadores.

El equipo está formado de una parte electrónica y otra mecánica con dispositivos internos y externos.



**Figura 11.** EMA ISCO 6712

El equipo puede aforar, muestrear o realizar las dos funciones conjuntamente, esto depende de la programación que se realice a través del panel de control.

La estructura electrónica está cubierta por una tapa y cierre hermético, está formado por un panel de control con un teclado alfanumérico para ingresar datos como se indica en la Figura 12, display para visualizar, puertos para conectar la batería externa, el dispositivo de extracción de datos, un PC, y otros. Los dispositivos electrónicos y electromecánicos se encuentran distribuidos en dos líneas: línea de aforo y línea de succión:

Dentro de la línea de aforo se encuentran los siguientes componentes

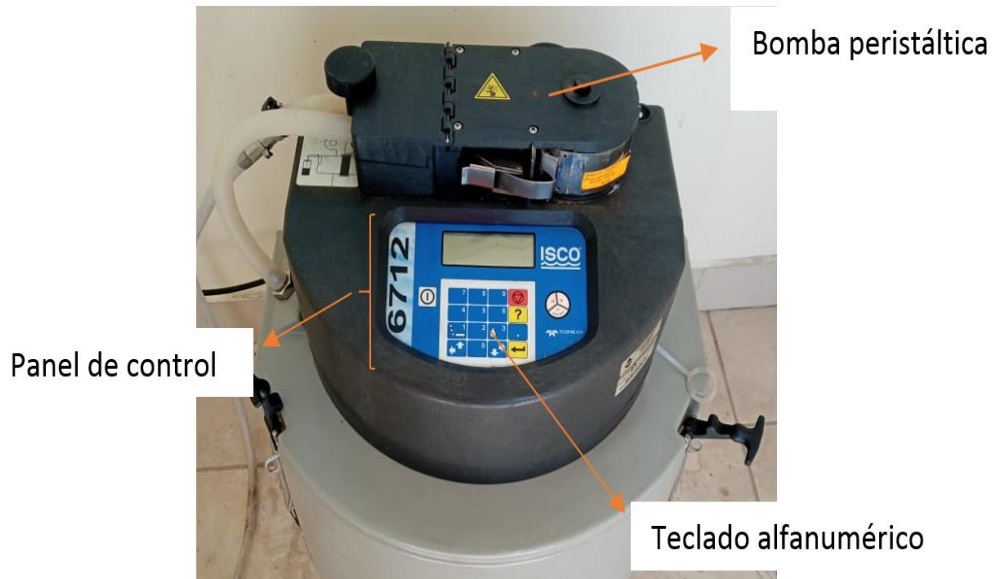
- Sondas de caudal (ultrasónico, área-velocidad, presión, otro)
- Módulos de las sondas
- Acoples

Dentro de la línea de succión se aprecian los siguientes componentes

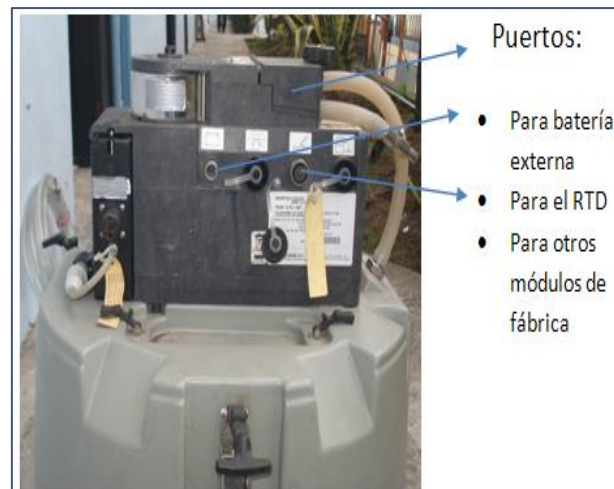
- Brazo distribuidor
- Bomba peristáltica (Figura 12)
- Boquilla de succión o filtro ( *strainer*)
- Manguera de succión
- Set de envases para recolección de muestras puntuales.

Existen además componentes complementarios, se aprecian en la Figura 14 - 17:

- RTD (*Rapid Transfer Device*)
- Software (*Flowlink*)
- Batería externa
- Cables de Interfaz



**Figura 12.** Vista superior del panel de control del EMA ISCO 6712



**Figura 13.** Vista posterior del panel de control del EMA ISCO 6712

**Fuente:** Mayorga et al., 2014



**Figura 14.** "Bodega" Parte interna del EMA ISOC 6712

**Fuente:** ISCO, 2013



**Figura 15.** "Bodega" Carrusel 24 botellas



**Figura 16.** Sensor ultrasónico

**Fuente:** ISCO,2013



**Figura 17.** Manguera de succión y strainer

**Fuente:** Mayorga et al., 2014

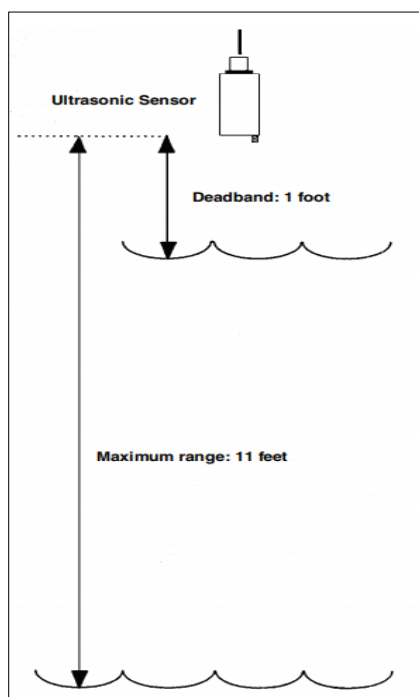


## 2.6 PROCEDIMIENTO

### 2.6.1 INSTALACIÓN DEL SENSOR ULTRASÓNICO PARA MEDICIÓN DE CAUDAL

El EMA ISCO necesita del sensor ultrasónico para su funcionamiento. Para la instalación se consideró que este accesorio emite ondas ultrasónicas, que son enviadas mediante impulsos continuos al flujo laminar o caudal de paso, estas ondas detectan el nivel del espejo de agua y rebotan hacia el sensor. Este sensor a la vez se conectó al módulo que transforma las ondas ultrasónicas en números generando cálculos de caudal instantáneo.

El manual del sensor ultrasónico indica que la distancia de instalación con respecto a la lámina de agua será a una distancia mínima de 1 pie, hasta máximo 11 pies como se indica en la Figura 18:



**NOTA:**

*“No instale el sensor sobre flujo turbulento, como aberturas de tubería redondas en pozos de registro donde el flujo puede exceder la mitad de la tubería llena. La turbulencia ocurre en la transición entre cada abertura de tubería redonda y el canal en U. En estas condiciones, debe colocar el sensor sobre el flujo menos turbulento” (ISCO, 2013).*

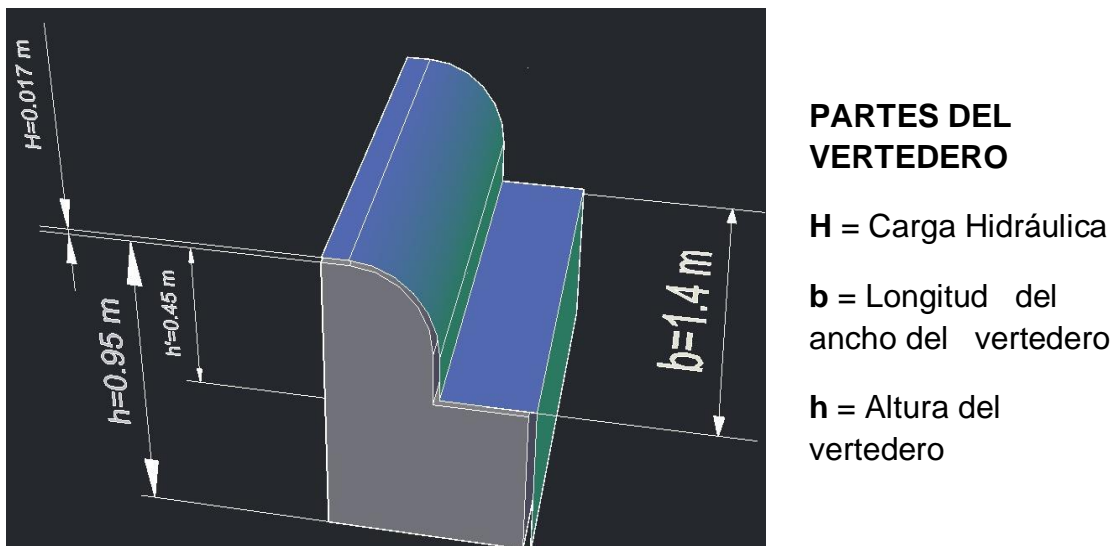
**Figura 18.** Distancia de instalación de un sensor ultrasónico

**Fuente:** ISCO, 2013

## 2.6.2 CALIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO PARA LA INSTALACIÓN DEL EMA ISCO 6712

Una vez asignado técnicamente los puntos para muestrear en la entrada y salida de la PTAR de acuerdo con los objetivos de muestreo de la planta, se describe a continuación el primer procedimiento, previo a la instalación programación del EMA.

- 1.- Es importante contar con seguridad física (guardianía), entrada vehicular y peatonal a los puntos asignados para el muestreo.
- 2.- Se determinaron las dimensiones del vertedero y su carga hidráulica (Figura 19).



**Figura 19.** Partes de un vertedero

- 3.- Adicionalmente, se analizaron las características del flujo en el canal antes del vertedero y en el vertedero (flujo laminar, equidad de flujo laminar en todo el ancho del vertedero, calado de la carga hidráulica, velocidad de flujo y presencia de sólidos suspendidos).

4.- Se adecuó el sitio de muestreo y la estructura hidráulica como se indica en la Figura 20 y 21, a través de un trabajo civil para arreglar el desgaste que existía en la cresta del vertedero.

**Figura 20.** Desgaste del vertedero



**Figura 21.** Adecuación del vertedero



5.- Finalmente se ancló una regla graduada en el vertedero para comprobar la carga hidráulica que medía el sensor ultrasónico.

a) Para la instalación del sensor ultrasónico en la PTAR Lloa fue necesario instalar un soporte que sujete y mantenga firme el sensor; los materiales, herramientas y accesorios utilizados fueron:

- Taladro
- Brocas
- Tornillos
- Metro
- Nivel
- Balde
- Escoba
- Manguera

b) Para la instalación del sensor fue necesario que el AR no ingrese a la planta para evitar contacto directo con el agua, para esto se realizó un bypass donde

se desvió el caudal de ingreso al cuerpo receptor. Fue necesario limpiar el área donde se colocó el sensor con ayuda de la escoba y abundante agua limpia como se observa en la Figura 22.



**Figura 22.** Limpieza del canal

c) Se señaló el lugar de instalación tomando en cuenta las indicaciones del manual y la nivelación que debe tener (Figura 23).



**Figura 23.** Medición del canal para la instalación

d) Con ayuda del taladro se procedió a hacer los orificios donde se instaló el sensor (Figura 24).



**Figura 24.** Realización de orificios para acoplar el sensor

e) Se instaló el sensor y luego se verificó su medición a través del equipo (Figura 25).



**Figura 25.** Verificación de la instalación del sensor

6.- Seguidamente se ancló una regla graduada como se observa en la Figura 26, en cada uno de los vertederos para medir la cota o calado de la carga hidráulica.



**Figura 26.** Anclaje de regla para medición del calado

7.- Se procedió a la instalación del EMA con sus componentes para proceder con la programación.

### 2.6.3 PRE PROGRAMACIÓN PARA MEDICION DE CAUDAL

El EMA ISCO 6712, luego de haber sido instalado necesita de una programación para medición de caudal de mínimo 72 horas. Con los datos obtenidos durante este lapso, se obtiene el caudal promedio.

Luego de la extracción de los datos almacenados por el EMA ISCO 6712 durante 72 horas, se procedió hacer el cálculo de caudal a través de la fórmula [1] de la media aritmética.

$$Media(X) = \bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} \quad [1]$$

$\bar{x}$  = Promedio o media aritmética

$X_1, X_2, \dots$  = Conjunto de datos

$N$  = Número total de datos

### 2.6.3.1 MEDICIÓN DE CAUDAL POR METODO VOLUMETRICO

Para medir el caudal que ingresa a la planta, se utilizó el método de aforo volumétrico con un balde de 20 l graduado, cronómetro, probeta de 1000 ml, jarra de 2.5 l y sogá.

Primero se evaluó la tubería donde se realizó el llenado, se adaptó la sogá al balde porque la distancia entre el operador y la tubería supera el 1m y puede poner en peligro la integridad del trabajador.

Para la ejecución de este método fue necesario tener precisión al colectar la muestra en el balde y el tiempo inicial del cronómetro, el cual debe activarse al inicio de la colecta en el balde y debe finalizarse al retirar este último del chorro.

Para conocer el volumen del balde se midió el flujo en la probeta de 1000 ml como se indica en la Figura 27 y 28.



**Figura 27.** Medición del caudal por método volumétrico



**Figura 28.** Probeta de 1000 ml

El cálculo del caudal se obtuvo con la fórmula [2]:

$$Q = \frac{V}{t} \quad [2]$$

Q: Caudal

V: Volumen medido en la probeta (litros)

t: Tiempo que demora el balde en llenarse (segundos)

Se realizaron 3 tablas de valores del caudal medido por el equipo ISCO 6712 y el obtenido por el aforo volumétrico aplicando la ecuación de caudal, por 3 días en un horario de 8H00 a 15H00 (jornada laboral).

Para el efluente se consideró el principio de continuidad que indica que el caudal que ingresa se mantendrá constante, teniendo en cuenta siempre que el agua es un líquido incomprensible y por lo tanto se deforma continuamente en el tiempo.

#### **2.6.4 MUESTREO EN LA PTAR LLOA**

La PTAR Lloa fue creada para disminuir la contaminación del Río “El Cinto” y debe cumplir las normas técnicas de descarga a cuerpos receptores como lo establece el acuerdo ministerial 028 (Ministerio del Ambiente, 2015). Estos sistemas deben ser monitoreados y evaluados por medio de mecanismos de



control de calidad que permitan caracterizar el agua residual. Para caracterizar el AR es necesario tener una lista de parámetros que serán analizados.

Ecuador se rige a los límites máximos permisibles establecidos en el acuerdo ministerial 028 en la tabla 10 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, véase el Anexo 1 (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 99). Tomando en cuenta los términos planteados en el AM 028, se elaboró la Tabla 3 de los parámetros de medición de: control de operación y cumplimiento que la PTAR Lloa tiene.

**Tabla 3.** Parámetros de análisis en la PTAR Lloa

Parámetros para análisis en laboratorio	Parámetros "in situ"
Aceites y grasas	Cloro residual
Alcalinidad	Conductividad
Aluminio	Oxígeno disuelto
Arsénico	pH
Bario	Sólidos disueltos
Cadmio	Turbiedad
Cobalto	Temperatura
Cobre	
Coliformes fecales	
Color	
Cromo	
DBO <sub>5</sub>	
DQO	
<i>Escherichia coli</i>	
Fósforo total	
TPH	
Hierro total	
NTK	
Nitrógeno amoniacal	
Manganeso	
Mercurio	
Níquel	
Nitrato	
Plata	
Selenio	
Sodio	
Sólidos suspendidos	
Sólidos totales	
Zinc	

Fuente: EPMAPS, 2020

La Tabla 4 indica la frecuencia de muestreo que la PTAR Lloa tiene para

análisis de parámetros, este rango de tiempo es establecido por la EPMAPS (mensual para cumplimiento de norma; semestral para detectar nuevos contaminantes).

**Tabla 4.** Frecuencia de muestreo de parámetros en la PTAR Lloa

PARÁMETRO	FRECUENCIA	
	Mensual	Semestral
Aceites y grasas	x	
Alcalinidad	x	
Aluminio		x
Arsénico		x
Bario		x
Cadmio		x
Cloro residual	x	
Cobalto		x
Cobre		x
Coliformes fecales	x	
Color		x
Cromo		x
DBO <sub>5</sub>	x	
DQO	x	
<i>Escherichia coli</i>	x	
Fósforo total	x	
TPH		x
Hierro total		x
NTK	x	
Nitrógeno amoniacal	x	
Manganeso		x
Mercurio		x
Níquel		x
Nitrato	x	
Oxígeno disuelto	x	
Plata		x
Plomo		x

(Continua)

(Continuación de la **Tabla 4.**)

PARÁMETRO	FRECUENCIA	
	Mensual	Semestral
pH	x	
Selenio		x
Sodio		x
Sólidos disueltos	x	
Sólidos suspendidos	x	
Sólidos totales	x	
Turbiedad	x	
Zinc		x

**Fuente:** EPMAPS, 2020

Realizar el muestreo en cualquier cuerpo hidráulico implica recursos económicos y humanos. Adicionalmente, hay riesgos de pérdidas de equipos, y los perjuicios a la integridad del personal aumenta conforme los cambios ambientales y daños que puede haber en la construcción. En la PTAR Lloa se realiza el muestreo para el análisis de caracterización mensual o semestralmente como se apreció en la Tabla 4.

El L3C (Laboratorio de Calidad encargado de los análisis de parámetros) establece que 5 litros es un volumen óptimo para realizar los análisis; sin embargo, los análisis son realizados más de una vez para que exista la exactitud y precisión, por lo que el volumen asciende a 6 litros (Figura 29) (EPMAPS, 2019).

El tipo de muestras que se recolecta son muestras compuestas (en función del caudal); mismas que la norma técnica ecuatoriana INEN 2176 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) define como muestras controladas con un mecanismo cronometrado durante un intervalo de tiempo específico.

El muestreo en la PTAR se realizó por medio del EMA ISCO 6712, por lo que fue necesario programar este artefacto para que recolecte agua durante un periodo y rango establecido. Se realizó la medición de parámetros *in situ* en una muestra puntual con ayuda del multiparámetro de marca HACH.



**Figura 29.** Volumen recolectado por el EMA ISCO 6712 en 24h

#### **2.6.4.1 SELECCIÓN DE PUNTOS DE SUCCIÓN PARA OBTENER UNA MUESTRA REPRESENTATIVA.**

Para controlar el proceso de depuración y evaluar el sistema de tratamiento fue necesario estudiar la calidad del agua que ingresa y que sale (afluente y efluente) de la planta de Lloa (Ministerio del Ambiente, 2015).

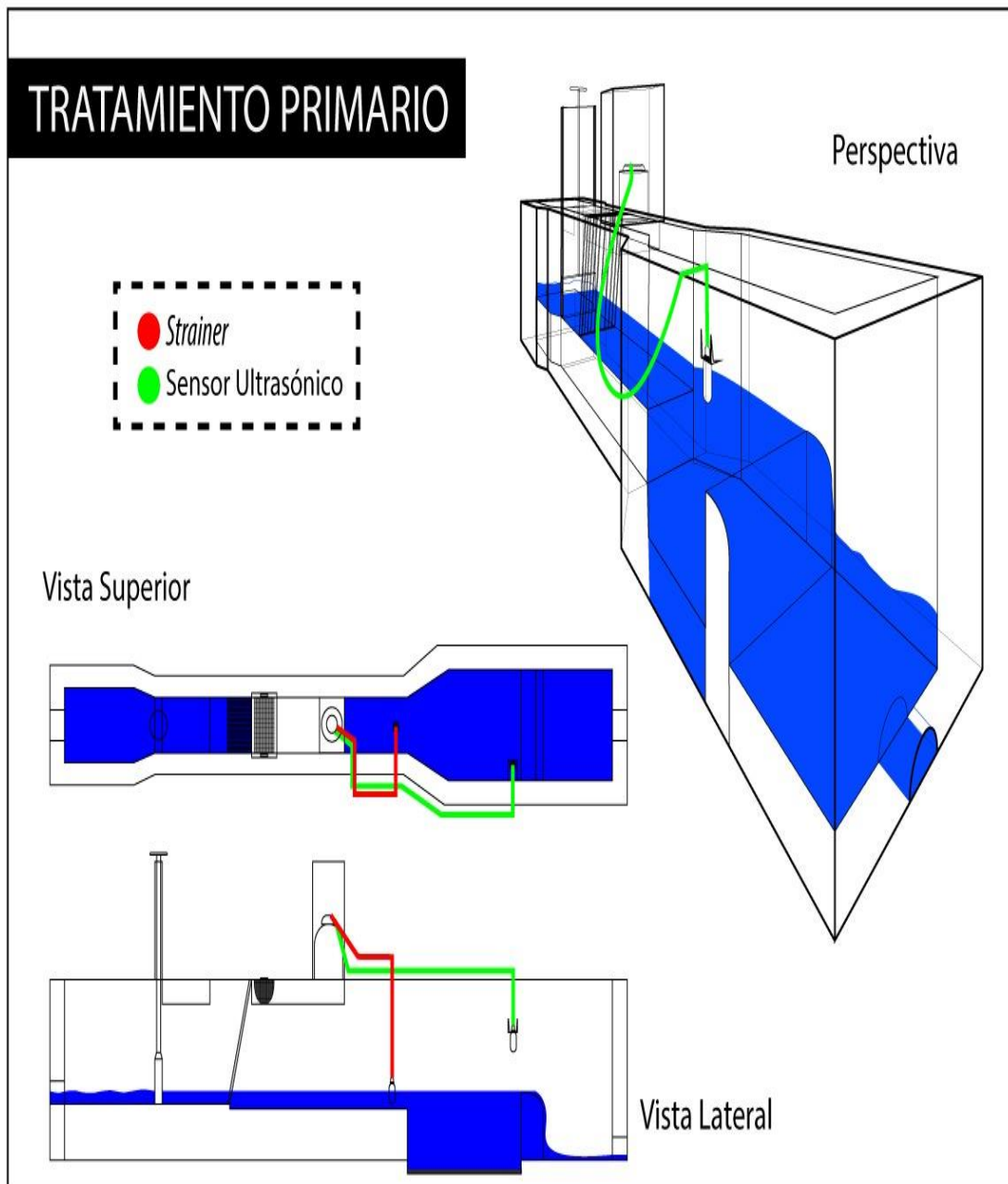
La PTAR cuenta con estructuras hidráulicas como canal Parshall, sedimentadores, vertederos y otros que se han establecido en el tren de tratamiento mencionado en el marco teórico y que se observan en la Figura 4.

La “toma de muestras” varía acorde la estructura hidráulica que se pueda presentar; es el caso de las alcantarillas, canales estrechos y profundos. El muestreo debe realizarse en un punto de succión situado a un tercio del calado, medido desde el nivel de referencia (Calderón, 1997).

El término “punto de succión” que se utiliza a continuación hace referencia al sitio en el cual el equipo de muestreo automático obtuvo la muestra de agua para análisis.

- **AFLUENTE**

Se definieron tres puntos en los cuales se realizaron pruebas para luego en función de los resultados establecer el punto óptimo de muestreo, cuyo afluente ingresa al tratamiento primario. En la Figura 30 se indica la estructura hidráulica desde que el agua ingresa a la planta hasta el vertedero tipo Creager.

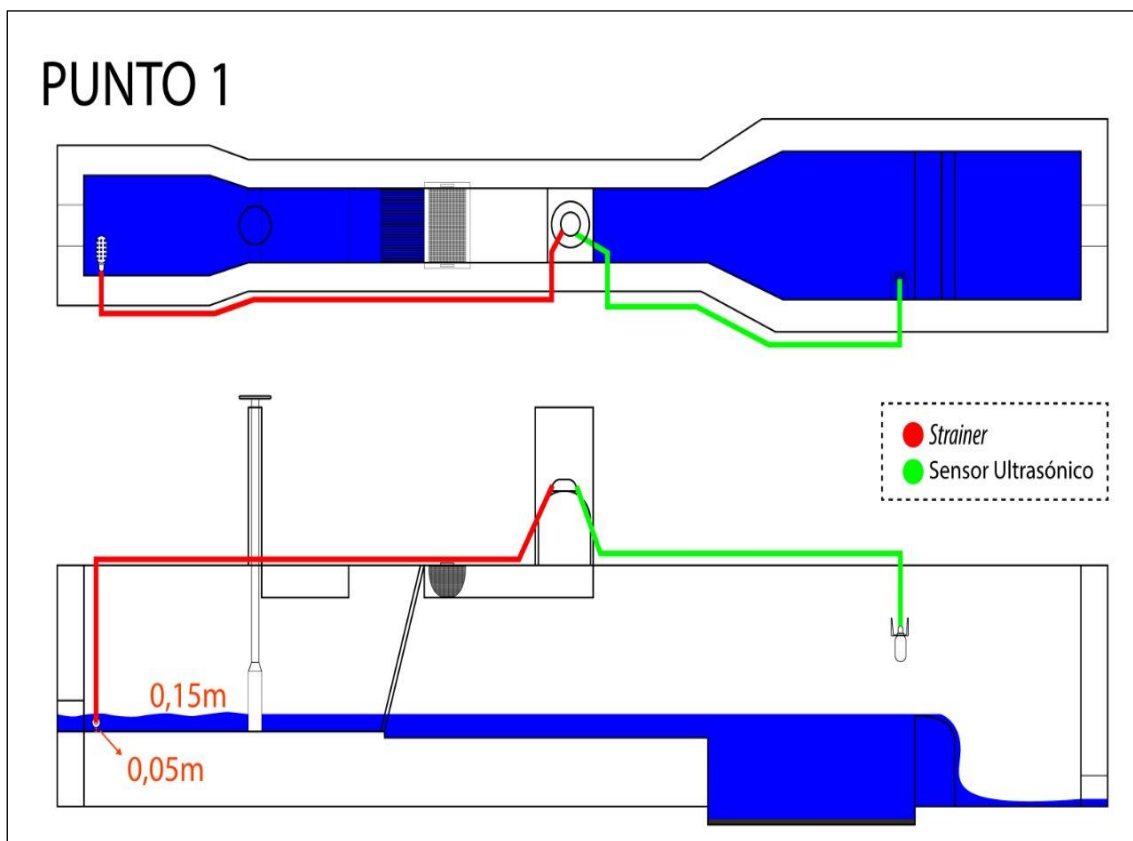


**Figura 30.** Selección del punto de succión en el afluente

### PUNTO 1 (AGUAS ARRIBA ANTES DE LA COMPUERTA)

Primero se verificó la adecuación del equipo en la instalación y se adaptó el sistema para la succión de muestras

Para la primera prueba, el punto a analizarse fue antes de la compuerta de entrada al sistema de tratamiento de agua residual, el lugar donde se probó se ilustra en la Figura 31:

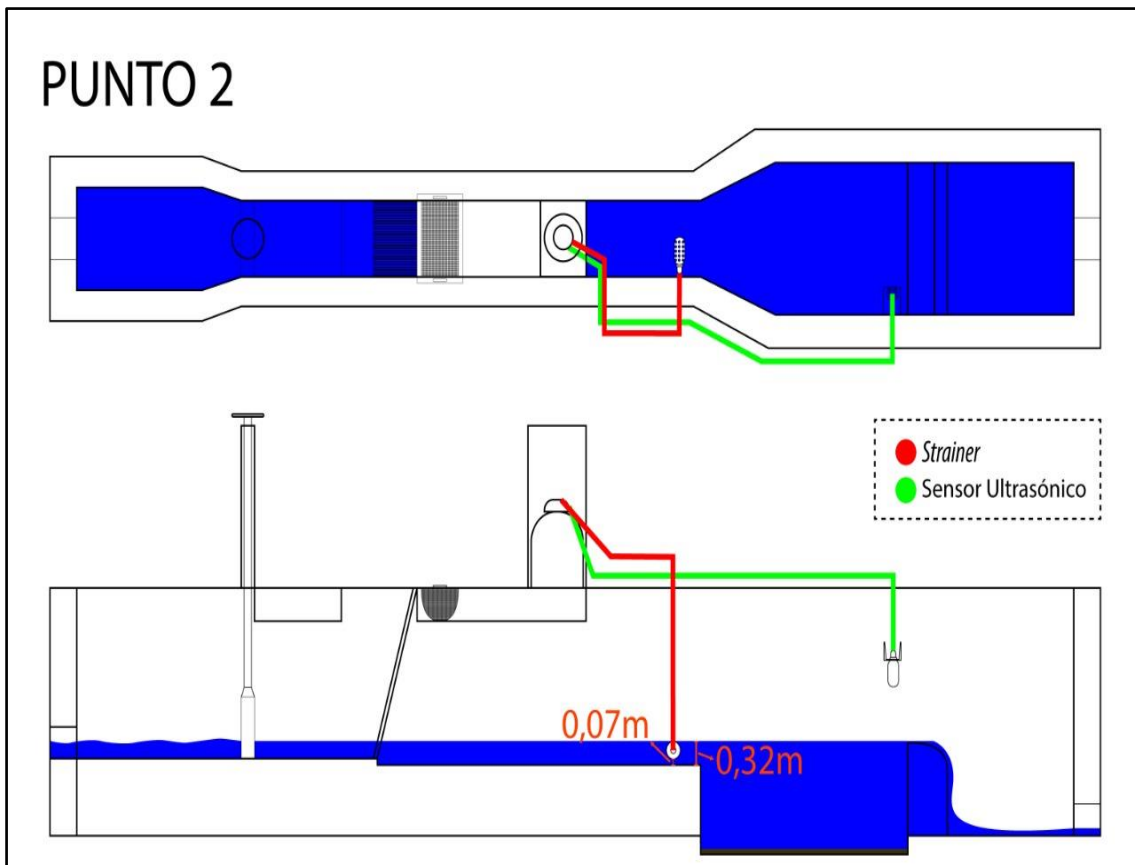


**Figura 31.** Punto de prueba de succión N° 1

La altura del agua que ingresaba era de +/- 15cm; tomando en cuenta el apartado que indica que el punto de succión debe estar a un tercio de la solera, la altura de colocación del *strainer* fue de 5 cm como se indica en el gráfico y se procedió a la medición de parámetros *in situ*.

## PUNTO 2 (AGUAS ABAJO DE LA REJILLA, SALIDA DEL CANAL PARSHALL)

Para la segunda prueba, el punto a analizarse fue después de la rejilla, antes de la estrangulación del canal Parshall, el lugar donde se probó el segundo punto de succión se ilustra en la Figura 32:

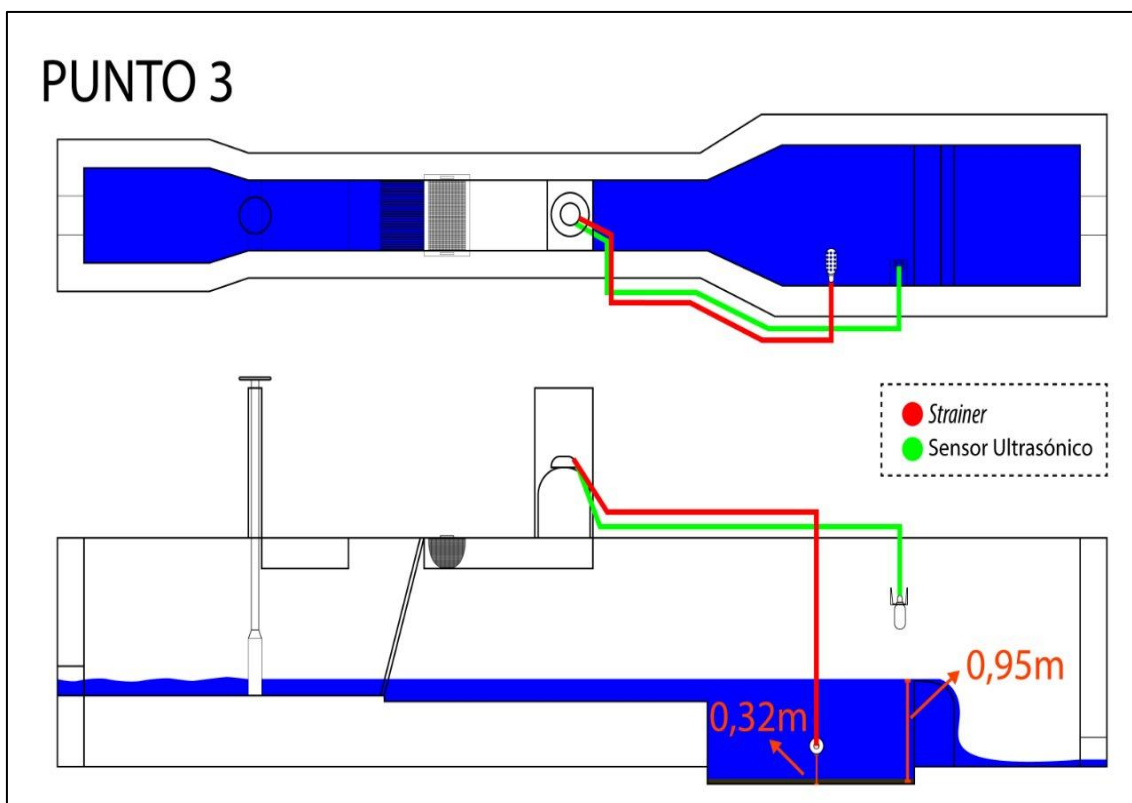


**Figura 32.** Punto de prueba de succión N° 2

La altura del agua que pasaba en este punto es de +/- 20cm; tomando en cuenta el apartado que indica que el punto de succión debe estar a un tercio de la solera, la altura de colocación del *strainer* fue de 7 cm como se indica en la Figura 32. Se procedió a la medición de parámetros *in situ*.

### PUNTO 3 (AGUAS ABAJO DESPUÉS DE LA REJILLA, SECCIÓN DE DIVERGENCIA DEL CANAL PARSHALL / SEDIMENTADOR)

Para la tercera prueba, el punto a analizarse fue en el sedimentador/ divergencia, antes del vertedero, el lugar donde se probó el tercer punto de succión se ilustra en la Figura 33:



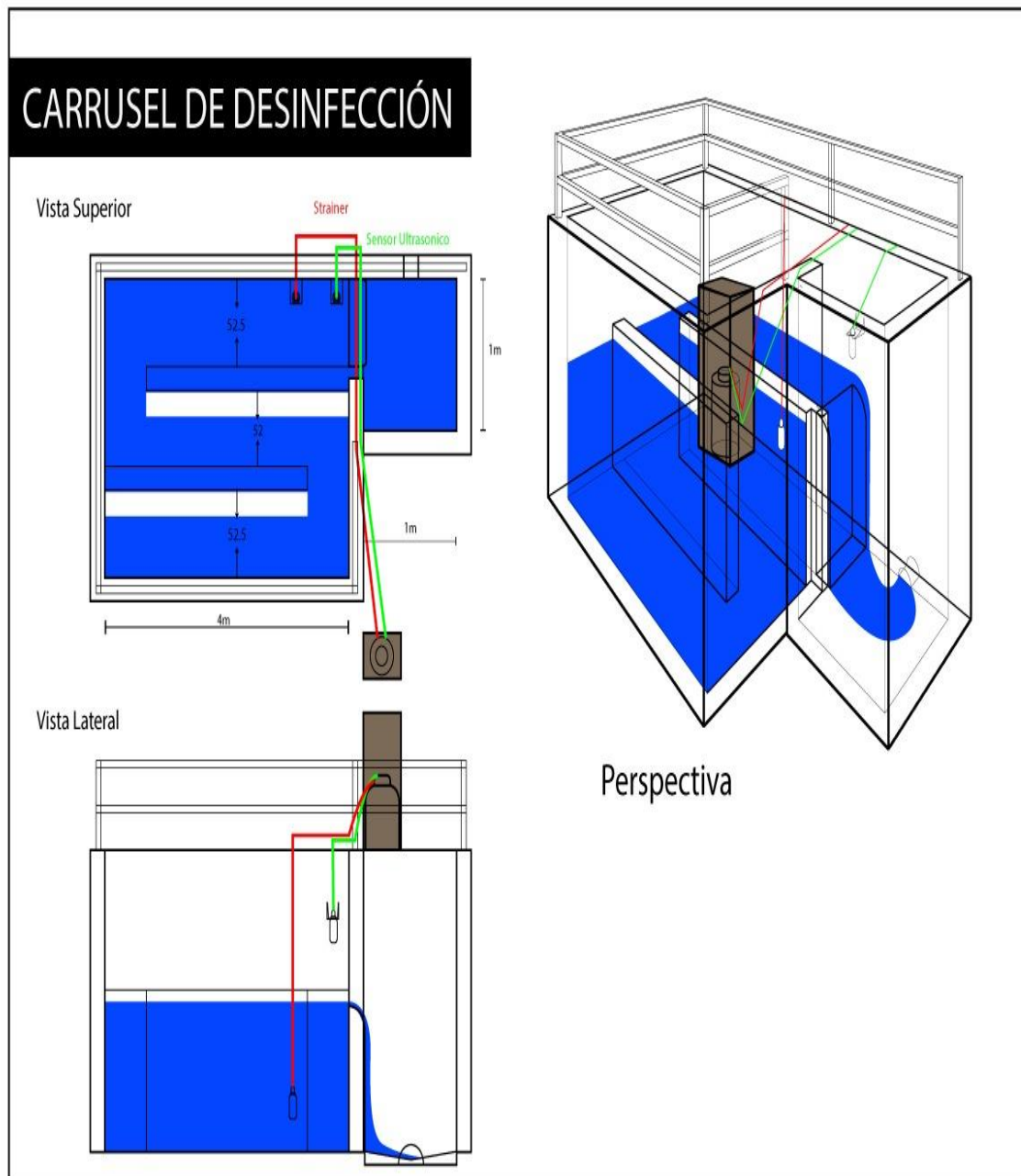
**Figura 33.** Punto de prueba de succión N° 3

La altura del agua que se acumulaba en el sedimentador era de +/- 95 cm; tomando en cuenta el apartado que indica que el punto de succión debe estar a un tercio de la solera, la altura de colocación del *strainer* fue de 32 cm como se indica en la Figura 33. Se procedió a la medición de parámetros *in situ*.



- **EFLUENTE**

El agua tratada antes de ser descargada al cuerpo receptor pasa por un proceso de desinfección en el que se añade cloro, fue por eso que este carrusel de desinfección ilustrado en la Figura 34 fue el punto de succión de muestra representativa.



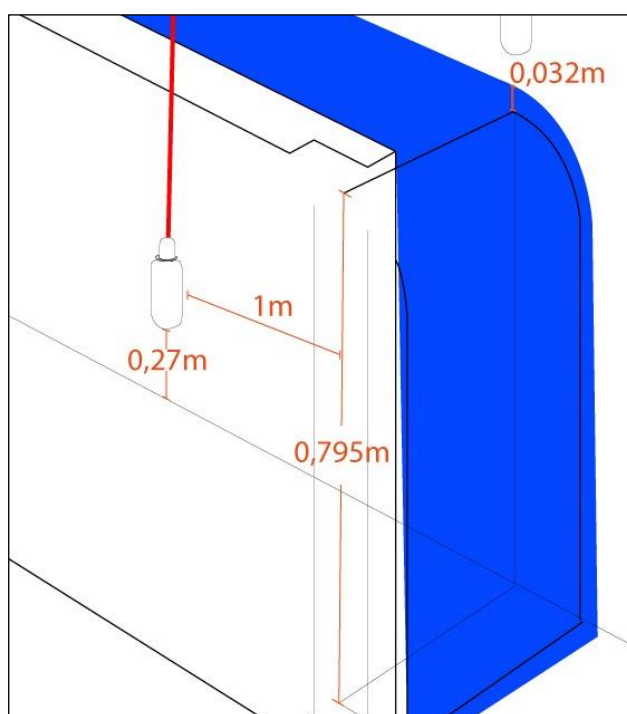
**Figura 34.** Carrusel de desinfección (efluente)

La toma de muestras para el efluente, se realizó en el carrusel de desinfección para monitorear los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 10 antes de descargar el agua tratada en un cuerpo de agua dulce (ACUERDO MINISTERIAL 028, 2015, p. 98).

El flujo en esta sección tenía una velocidad de 0.6 m/s, esto indicaba que existe movimiento, circulación y fluidez del agua tratada. En la Figura 35 se pueden observar las dimensiones del canal de desinfección y del vertedero de salida. El canal es de 0.6 m de ancho y el calado es de +/- 3.2.

El carrusel de desinfección tiene un tiempo de contacto entre el cloro y el agua tratada, este fue un punto que se consideró para establecer el lugar de succión.

A 1m de distancia del vertedero fue el punto óptimo para el punto de succión porque ya se ha completado el ciclo de contacto, mientras que el tercio a partir del nivel de referencia de este canal es +/- 0.27 m altura, siendo esta la altura de referencia para el muestreo.



**Figura 35.** Dimensiones del canal de desinfección y el vertedero de salida de la PTAR Lloa

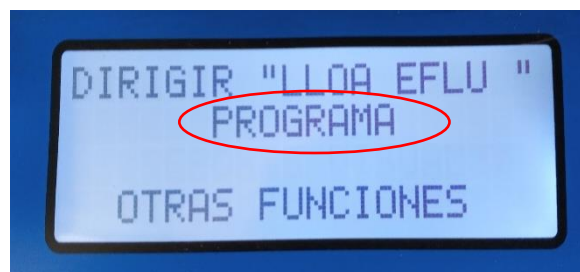
## 2.6.5 PROGRAMACIÓN DEL EMA ISCO 6712 PARA MUESTREAR

Se describe a continuación cada uno de los pasos de la programación con su respectiva imagen de la pantalla de control del equipo, designadas para la ocasión como figuras.

Dos de los parámetros medidos en el momento de la programación fueron:

- Dimensiones del ancho del canal.
- Altura de la lámina de agua

1.- Se inició la programación seleccionando "PROGRAMA" de la pantalla de control que se ilustra en la Figura 36



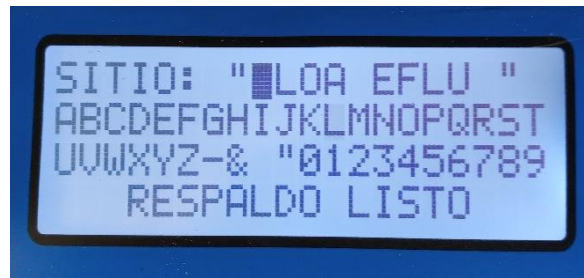
**Figura 36.** Programación- Paso 1

2.- Se procedió a nombrar el programa. La referencia fue según la dirección donde se instaló el equipo "LLOA EFLU" para el efluente y "LLOA VERTE" para el afluente.

De igual forma para describir el sitio se dio el mismo nombre como se ilustra en la Figura 37 y Figura 38.

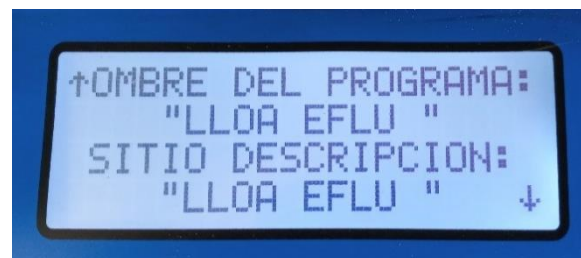


**Figura 37** Programación - Paso 2



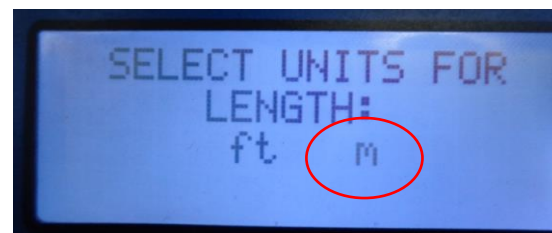
**Figura 38.** Programación - Paso 2

La introducción del nombre quedó establecido como se indica en la Figura 39



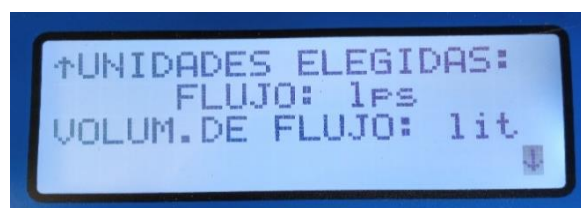
**Figura 39.** Programación - Paso 2

3.- El programa permite seleccionar la unidad de medida de longitud, se seleccionó (m) como se ilustra en la Figura 40.



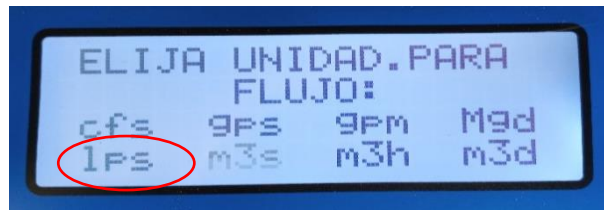
**Figura 40.** Programación - Paso 3

4.- Se seleccionaron las unidades de caudal y volumen como se ilustra en la Figura 41.



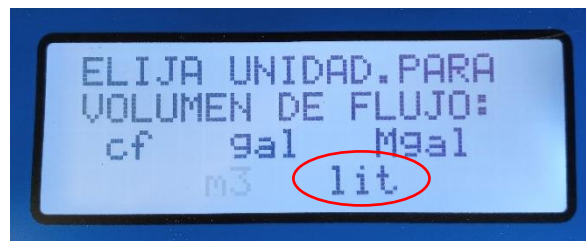
**Figura 41.** Programación- Paso 4

5.- Se procedió a la selección de la unidad de medida de caudal, se seleccionó “lps” (litros por segundo) como se ilustra en la Figura 42.



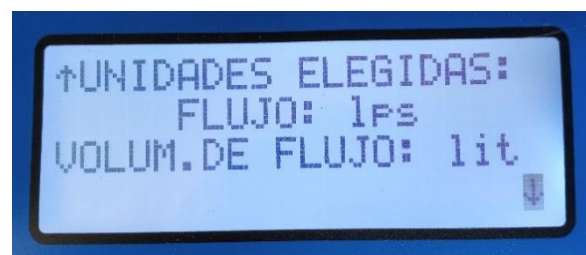
**Figura 42.** Programación- Paso 5

6.- Se procedió a la selección de la unidad de medida del volumen entre 5 opciones, se seleccionó “lit” (litros), como se ilustra en la Figura 43.



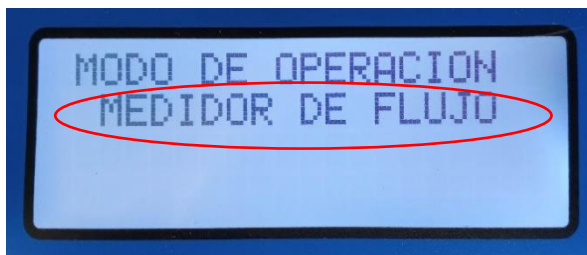
**Figura 43.** Programación- Paso 6

7.- A continuación se desplegó una pantalla con las unidades de caudal y volumen seleccionadas para la verificación como se ilustra en la Figura 44.



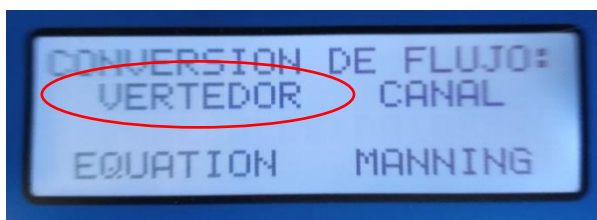
**Figura 44.** Programación- Paso 7

8.- Seguidamente se desplegó una pantalla con el modo de operación del equipo, se seleccionó “MEDIDOR DE FLUJO” como se ilustra en la Figura 45.



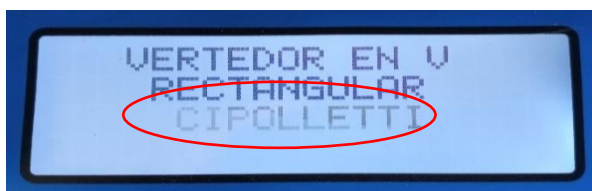
**Figura 45.** Programación- Paso 8

9.- En este paso la pantalla presentó opciones de selección de tipo de estructura de aforo, se seleccionó “VERTEDOR” como se ilustra en la Figura 46.



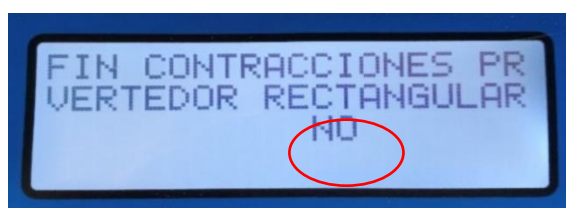
**Figura 46.** Programación- Paso 9

10.- Una vez seleccionado “vertedor”, se eligió el tipo rectangular como se ilustra en la Figura 47.



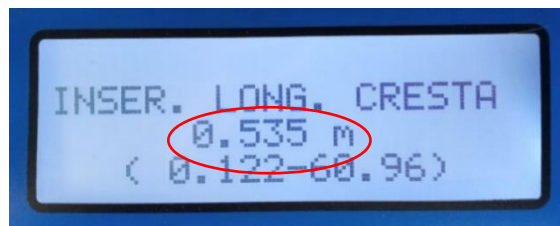
**Figura 47.** Programación- Paso 10

11.- Una vez seleccionado el tipo de vertedero, se debe indicar si éste vertedero presenta o no contracciones, se seleccionó “NO” para indicar que no tiene contracciones, como se ilustra en la Figura 48.



**Figura 48.** Programación- Paso 11

12.- En la siguiente pantalla se ingresó la longitud del ancho de la cresta, como se ilustra en la Figura 49.



**Figura 49.** Programación- Paso 12

13.- Completado los datos del vertedero, se ingresó el valor de la carga hidráulica como se ilustra en la Figura 50.



**Figura 50.** Programación- Paso 13

14.- A continuación, se seleccionó el intervalo de almacenaje de datos de caudal, se seleccionó cada "5" minutos como se ilustra en la Figura 51.



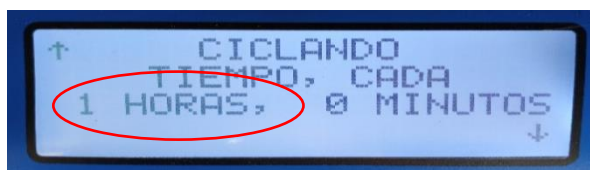
**Figura 51.** Programación- Paso 14

15.- En la pantalla que se desplegó luego, se ingresó la longitud de la manguera de succión del agua (se introdujo el valor en metros) y el número de botellones que tenía el equipo con su volumen; en el caso del equipo del efluente es de 24 botellas de 1 l y la longitud de la manguera es de 7,3 m como se ilustra en la Figura 52.



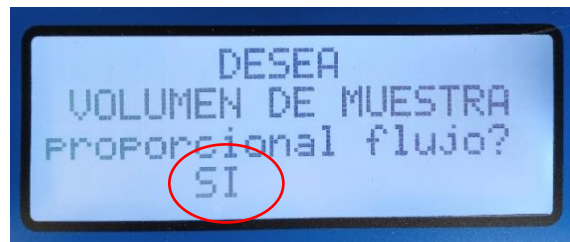
**Figura 52.** Programación- Paso 15

16.- Se eligió el intervalo de succión de alícuota, se ingresó un intervalo de tiempo de “1 HORAS” como se ilustra en la Figura 53.



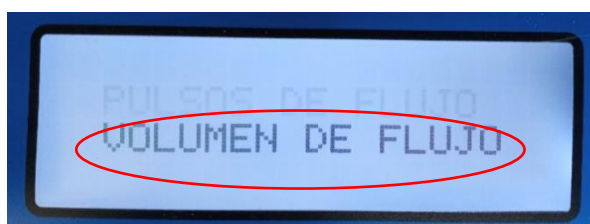
**Figura 53.** Programación- Paso 16

17.- Se seleccionó “SI” en la siguiente pantalla para indicar que el volumen de succión será en función del caudal de paso como se ilustra en la Figura 54.



**Figura 54.** Programación- Paso 17

18.- En este paso el programa solicitó configurar entre “Pulsos de flujo” o “Volumen de flujo”. Se seleccionó “VOLUMEN DE FLUJO”, para que el equipo succione la alícuota en función del caudal de paso como se ilustra en la Figura 55.



**Figura 55.** Programación- Paso 18



19.- Continuando con la programación fue importante realizar el siguiente cálculo antes de ingresar el dato.

Caudal de la PTAR de Lloa = 4,5 l/s

Se calculó el volumen en 1 hora, aplicando la formula [3]

$$V = (\text{Caudal de diseño} * 3600 \text{ s}) \quad [3]$$

$$V = (4,5 \text{ l/s} * 3600 \text{ s})$$

$$V = 16.200 \text{ l}$$

$$V = 16,2 \text{ m}^3$$

La muestra mínima requerida en el laboratorio, fue de 5 litros. Esto depende de la persona encargada de la programación y toma de muestras, aumentar un poco más si así lo desea.

Se dividió el volumen de paso de cada hora para el número de veces que el equipo va a tomar 10ml en este intervalo de tiempo.

$$5 \text{ 000 ml} / 240 = 20,83$$

$$16,2 \text{ m}^3 / 20,83 = 0,777 \text{ m}^3 = 777 \text{ litros}$$

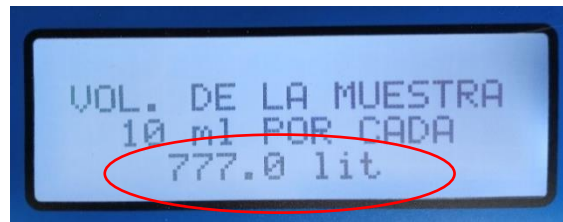
Este valor 20,83 es la cantidad de veces que el muestreador va a multiplicar por 10 ml para la succión de la muestra en 1 hora

$$20,83 \times 10 \text{ ml} = 208,3 \text{ ml por hora}$$

Este será la cantidad de agua residual que el equipo succionará en 1 hora, en el caso de que sea el flujo constante se obtendría en un día el siguiente valor

$$208,3 \text{ ml por hora} \times 24\text{h} = 4.999,2 \text{ ml} \quad \longrightarrow \quad 5 \text{ litros}$$

Este valor puede variar dependiendo si hay una descarga industrial, lluvia, entre otros (Figura 56). El valor ingresado fue 0,777 m<sup>3</sup>.



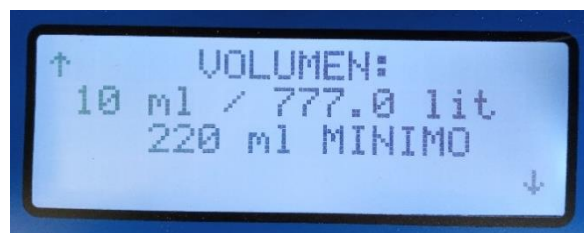
**Figura 56.** Programación- Paso 19

20.- Seguidamente el programa solicitó un dato de volumen mínimo en el caso que el sensor no de lectura, se ingresó 220 ml como se ilustra en la Figura 57.



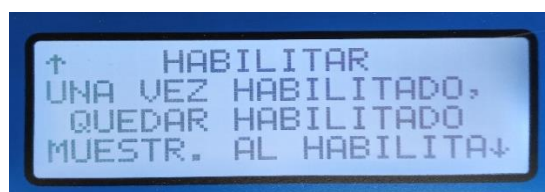
**Figura 57.** Programación- Paso 20

21.- La programación quedó establecido que por cada 777 litros tomará 10 ml y calculará cuanto volumen total succionará la bomba peristáltica por hora como se ilustra en la Figura 58.



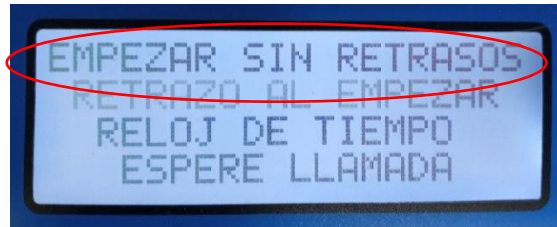
**Figura 58.** Programación- Paso 21

22.- En el siguiente paso de la programación se desplegaron las preguntas que se observan en la figura 59 a las cuales se confirmó con "SI" a cada una de ellas.



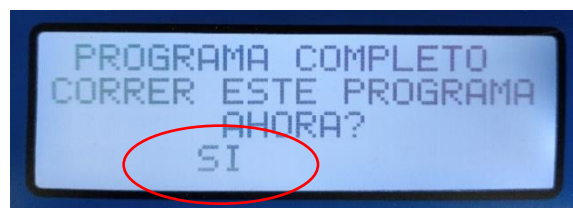
**Figura 59.** Programación- Paso 22

23.- Un paso antes de finalizar la programación se desplegó una pantalla, con distintas opciones para arrancar el programa, se seleccionó “EMPEZAR SIN RETRASOS”, como se ilustra en la Figura 60.



**Figura 60.** Programación- Paso 23

24.- Finalmente la pantalla indicó que la programación se ha terminado, se seleccionó “SI” para que la programación, medición de caudal y toma de muestras comience a contar y calcular como se ilustra en la Figura 61.



**Figura 61.** Programación- Paso 24

25.- Se verificó la programación como se ilustra en la Figura 62



**Figura 62.** Programación- Paso 25

## **2.7 GENERALIDADES DE MUESTREO AUTOMÁTICO**

Los procedimientos de llenado, preservación, almacenamiento y transporte de muestras enfocados al uso del EMA ISCO 6712 se describen en el “Protocolo de muestreo automático para la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional y la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento”, mismo que será entregado como anexo a este proyecto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR LLOA

La medición de caudal durante 72 horas, previo a la programación del EMA ISCO 6712 para medir el caudal y muestrear arrojó los datos presentados en la Tabla 5, estos valores permitieron evaluar el rendimiento de la planta.

**Tabla 5.** Obtención del caudal diario de la PTAR Lloa

HORA	09/05/2020	10/05/2020	11/05/2020
0:00	3,444	3,788	3,571
1:00	2,868	3,744	3,444
2:00	3,657	3,359	3,193
3:00	3,401	3,359	3,11
4:00	3,571	3,444	3,029
5:00	3,744	3,444	3,317
6:00	3,701	3,401	3,657
7:00	4,601	4,789	4,508
8:00	4,884	4,884	4,053
9:00	5,367	3,07	4,413
10:00	5,515	4,648	5,027
11:00	6,018	4,742	6,12
12:00	5,565	5,465	5,123
13:00	4,789	4,462	4,979
14:00	4,836	4,37	5,172
15:00	4,555	3,657	4,555
16:00	4,695	4,462	4,37
17:00	4,098	4,416	4,053
18:00	4,555	4,053	4,143
19:00	4,279	4,143	4,648
20:00	4,742	4,836	4,324
21:00	4,053	4,143	4,695
22:00	4,143	4,601	4,188
23:00	3,92	3,832	4,053
<b>Suma de Caudales</b>	105,001	99,112	101,745
<b>Caudal (Media)</b>	4,375	4,129	4,239

El caudal de diseño de la PTAR Lloa es de 4,5 l/s, y el caudal promedio obtenido de la media aritmética de valores de la Tabla 5 del caudal obtenido durante 3 días fue de 4,25 l/s tal como se muestra a continuación:

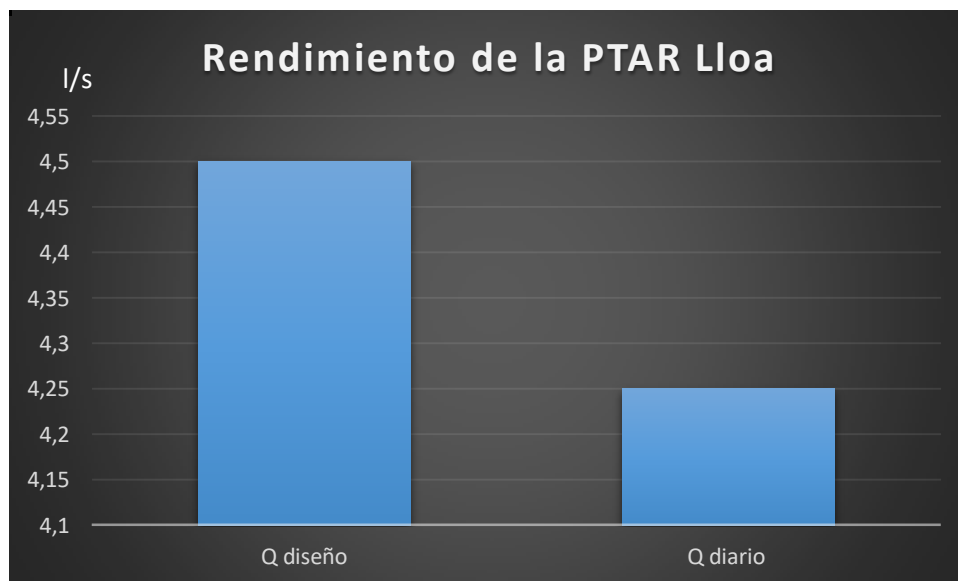
$$\bar{x} = \frac{Caudal_1 + Caudal_2 + Caudal_3}{3} \quad [1]$$

$$\text{Caudal diario} = \frac{4,37504167 + 4,12966667 + 4,239375}{3}$$

$$\text{Caudal medio diario} = 4,25$$

El caudal de diseño con el que se crea una PTAR debe cumplir con la tasa de generación de aguas residuales y debe estar en condiciones que permitan la depuración durante las variaciones de caudal que se den durante el día.

En el diagrama de barras representado en la Figura 63, se observa que la planta está tratando el volumen de AR para el cual fue diseñado, y tiene 25 ml para llegar a su capacidad máxima.

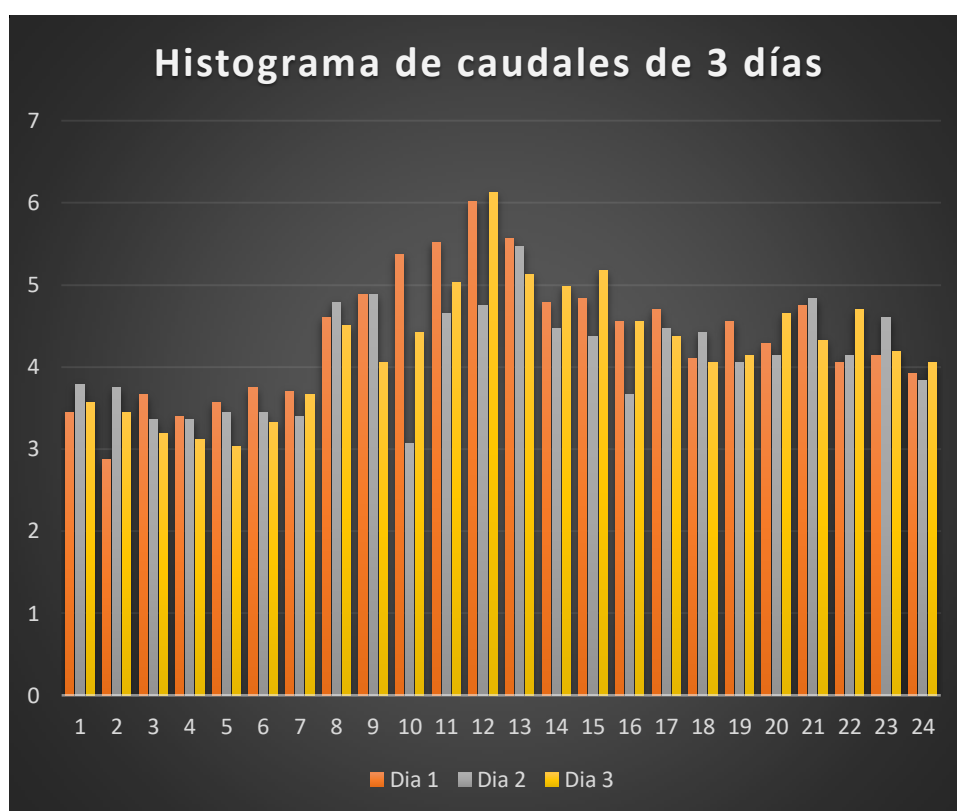


**Figura 63.** Comparación del Q diseño Vs Q diario de 3 días.

### 3.2 VARIACIÓN DE CAUDAL

El histograma presentado en la Figura 64 representa las variaciones de caudal obtenido en las 72 horas de medición hecha por el EMA ISCO 6712 previa a la programación, los 3 picos representativos de aumento de caudal son a las 8H00, 12H00 y 21H00.

Adicionalmente, se observa que el incremento de caudal empieza entre las 5H00 y 6H00, esto puede deberse a que la población se dedica a actividades tradicionales como la agricultura, ganadería, microempresas lácteas y el desarrollo de estos dinamismos inicia muy temprano.



**Figura 64.** Representación de caudales horario que ingresa a la PTAR Lloa

Los datos medidos fueron de sábado, domingo, lunes; están representados en la Figura 64 con los colores anaranjado, gris y amarillo respectivamente, fueron obtenidos durante días no lluviosos dentro de la crisis sanitaria que sufre el país, es por esto que no existe mayor variación entre el fin de semana a un “día laboral” porque la población flotante ha disminuido; en tiempos “normales”

la variación sería notoria en los fines de semana por la población turística que visita Lloa.

Se debe tomar en cuenta que cuando existen lluvias se realiza un *bypass* del AR hacia el río, porque de ingresar los volúmenes provenientes de lluvia sobrepasa la cantidad máxima de diseño de la PTAR, además afecta la cantidad de nutrientes que necesita la biomasa del reactor porque el AR esta diluida.

Siempre va a existir una variación de caudal; para conocer este valor es importante tener recursos humanos o materiales que midan constantemente esta diferencia. El EMA ISCO 6712 puede medir el caudal de paso durante todo el día siendo de gran utilidad cuando no existe personal que realice este trabajo.

### 3.3 MEDICIÓN DE CAUDAL

Para la verificación de la medición del EMA ISCO 6712 se realizaron las tablas (Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8) con los valores medidos en el aforo volumétrico vs la medición del equipo.

**Tabla 6.** Q ISCO Vs Q Volumétrico - Día 1

<b>DÍA 1</b>				
<b>10/06/2020</b>				
<b>HORA</b>	<b>Q (ISCO) (l/s)</b>	<b>TIEMPO(s)</b>	<b>V (l)</b>	<b>Q (volumétrico l/s)</b>
<b>8:00</b>	5,244	2,22	10	4,50
<b>9:00</b>	5,688	1,68	10	5,95
<b>10:00</b>	4,543	1,73	10	5,78
<b>11:00</b>	4,512	1,75	10,1	5,77
<b>12:00</b>	4,684	1,89	8,1	4,29
<b>13:00</b>	5,087	2,01	10,5	5,22
<b>14:00</b>	6,202	1,45	9,6	6,62
<b>15:00</b>	6,179	1,5	9,6	6,4



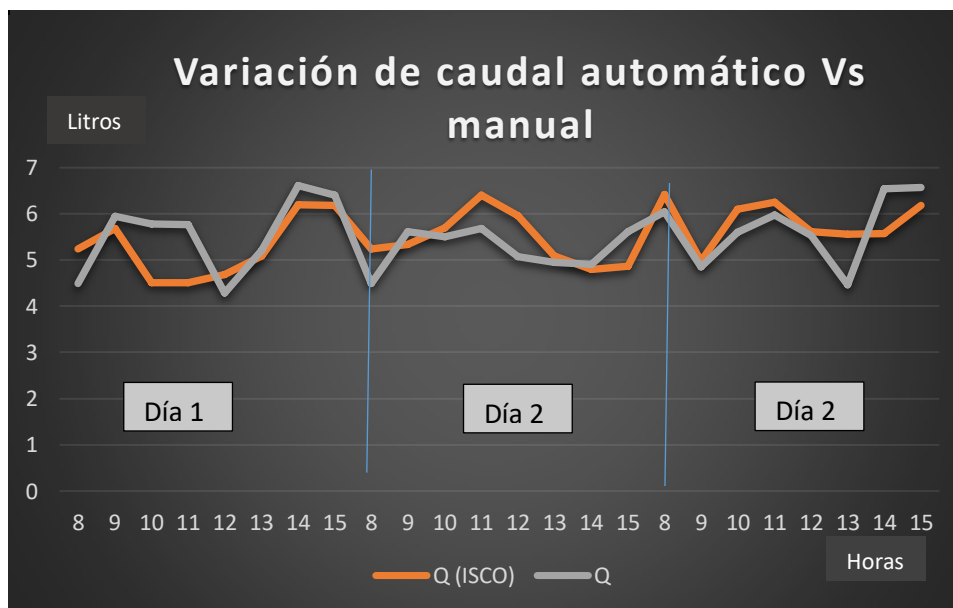
**Tabla 7.** Q ISCO Vs Q volumétrico- Día 2

<b>DÍA 2</b>				
<b>11/06/2020</b>				
<b>HORA</b>	<b>Q (ISCO) (l/s)</b>	<b>TIEMPO(s)</b>	<b>V (l)</b>	<b>Q (volumétrico) (l/s)</b>
<b>8:00</b>	5,244	2,22	10	4,50
<b>9:00</b>	5,337	1,39	7,82	5,61
<b>10:00</b>	5,701	1,38	7,6	5,50
<b>11:00</b>	6,403	1,32	7,5	5,68
<b>12:00</b>	5,960	1,21	6,14	5,07
<b>13:00</b>	5,087	1,17	5,80	4,95
<b>14:00</b>	4,800	1,14	5,60	4,91
<b>15:00</b>	4,875	1,05	5,90	5,62

**Tabla 8.** Q ISCO Vs Q volumétrico- Día 3

<b>DÍA 3</b>				
<b>12/06/2020</b>				
<b>HORA</b>	<b>Q(ISCO)(l/s)</b>	<b>TIEMPO(s)</b>	<b>V (l)</b>	<b>Q (volumétrico) (l/s)</b>
<b>8:00</b>	6,417	1,29	7,80	6,05
<b>9:00</b>	4,976	1,48	7,20	4,86
<b>10:00</b>	6,099	1,32	7,40	5,60
<b>11:00</b>	6,250	1,26	7,52	5,97
<b>12:00</b>	5,620	1,39	7,69	5,53
<b>13:00</b>	5,563	1,64	7,49	4,47
<b>14:00</b>	5,579	1,19	7,80	6,55
<b>15:00</b>	6,179	1,05	6,90	6,57

En el polígono de frecuencia presentado en la Figura 65 se observa de color anaranjado el caudal medido por el EMA ISCO 6712; mientras que, de color gris se representan los caudales obtenidos luego del aforo volumétrico a la misma hora durante los 3 días consecutivos a la programación.



**Figura 65.** Polígono de frecuencia de la variación de caudal obtenida del método volumétrico y la medición del EMA ISCO 6712

La diferencia de caudales entre la medición del EMA ISCO 6712 y el aforo volumétrico en porcentajes se presentan en las TABLAS 9,10 y 11.

**Tabla 9.** Diferencia de caudal obtenido del método volumétrico y automático Día 1.

DÍA 1				
HORA	Q (ISCO) (l/s)	Q (volumétrico l/s)	Qmax-Qmín	$\frac{(Q_{max} - Q_{mín})}{Q_{max}} * 100$
8:00	5,244	4,5	0,7	14,2
9:00	5,688	5,95	0,3	4,4
10:00	4,543	5,78	1,2	21,4
11:00	4,512	5,77	1,3	21,8
12:00	4,684	4,29	0,4	8,4
13:00	5,087	5,22	0,1	2,5
14:00	6,202	6,62	0,4	6,3
15:00	6,179	6,4	0,2	3,5
<b>% de error</b>				<b>10,3</b>

**Tabla 10.** Diferencia de caudal obtenido del método volumétrico y automático  
Día 2

<b>DÍA 2</b>				
<b>HORA</b>	<b>Q (ISCO) (l/s)</b>	<b>Q (volumétrico l/s)</b>	<b>Qmax-Qmín</b>	$\frac{(Q_{max} - Q_{mín})}{Q_{max}} * 100$
<b>8:00</b>	5,244	4,5	0,744	14,2
<b>9:00</b>	5,337	5,61	0,273	4,9
<b>10:00</b>	5,701	5,5	0,201	3,5
<b>11:00</b>	6,403	5,68	0,723	11,3
<b>12:00</b>	5,96	5,07	0,89	14,9
<b>13:00</b>	5,087	4,95	0,137	2,7
<b>14:00</b>	4,8	4,91	0,11	2,2
<b>15:00</b>	4,875	5,62	0,745	13,3
			<b>% de error</b>	<b>8,4</b>

**Tabla 11.** Diferencia de caudal obtenido del método volumétrico y automático  
Día 3

<b>DÍA 3</b>				
<b>HORA</b>	<b>Q (ISCO) (l/s)</b>	<b>Q (volumétrico l/s)</b>	<b>Qmax-Qmín</b>	$\frac{(Q_{max} - Q_{mín})}{Q_{max}} * 100$
<b>8:00</b>	6,417	6,05	0,367	5,7
<b>9:00</b>	4,976	4,86	0,116	2,3
<b>10:00</b>	6,099	5,6	0,499	8,2
<b>11:00</b>	6,25	5,97	0,28	4,5
<b>12:00</b>	5,62	5,53	0,09	1,6
<b>13:00</b>	5,563	4,47	1,093	19,6
<b>14:00</b>	5,579	6,55	0,971	14,8
<b>15:00</b>	6,179	6,57	0,391	6,0
			<b>% de error</b>	<b>7,8</b>

**Tabla 12.** Porcentaje de error de medición de caudal

<b>Promedio de % de error</b>	$\frac{\% \text{ de error Día 1} + \% \text{ de error Día 2} + \% \text{ de error Día 3}}{3}$	$\frac{10,3 + 8,4 + 7,8}{3}$	<b>11,23%</b>
-----------------------------------	---	------------------------------	---------------

Luego de 3 días de medición de caudal de forma manual y de forma volumétrica se observa en la Tabla 12 que existe una variación de hasta 11,23% entre las mediciones, los factores que pueden haber influido en este resultado son:

- El tiempo de inicio del cronómetro no es igual al tiempo de inicio de llenado del balde
- No se pausó el cronómetro cuando el balde se llenó
- Hubo derrame de volumen al traspasar el agua del balde a la probeta para la medición.

La medición por método volumétrico solo se pudo hacer por 8 horas debido a la jornada de trabajo de los operadores, sin embargo, el equipo continuó tomando datos cada 5 minutos por las 16 horas restantes del día.

### 3.3 SELECCIÓN DE PUNTOS DE SUCCIÓN PARA OBTENER UNA MUESTRA REPRESENTATIVA

**PUNTO 1 (Figura 66)** Las características que se presentaron en el primer punto fueron:

- Flujo turbulento
- Alta velocidad de llegada de agua residual
- Gran cantidad de sólidos gruesos
- Se observa una lámina delgada de grasa



**Figura 66.** Punto de prueba de succión N° 1

Al colocar el *strainer* para la succión de alícuotas en el punto de prueba número uno se obtuvo los resultados de la Tabla 13, además los inconvenientes que se tuvieron fueron:

- Succión de sólidos suspendidos
- Taponamiento del succionador por sólidos gruesos.
- Golpes fuertes al filtro por rocas
- Flujo turbulento
- El equipo de succión puede sufrir averías por la velocidad que llega el agua residual.
- Gran presencia de arena en el succionador

**PUNTO 2:** Las características que se presentaron en el segundo punto fueron:

- Trayectoria suave, denotando un espejo de agua
- Velocidad moderada del agua residual
- AR sin presencia de sólidos gruesos
- Apareta tener menos grasa que antes de la rejilla

Al colocar el succionador para la succión de alícuotas en el segundo punto de prueba, se obtuvieron las siguientes particularidades:

- Gran cantidad de arena en la solera
- Dispositivo de succión libre de taponamiento
- Poca presencia de grasa
- Al proceder con la medición de parámetros “*in situ*” se obtuvieron los datos que se indican en la Tabla 14.

**PUNTO 3:** Las características que se presentaron en el tercer punto fueron:

- Trayectoria suave, denotando un espejo de agua
- Velocidad baja
- AR sin presencia de sólidos gruesos
- Apareta tener menos grasa que antes de la rejilla

Al colocar el succionador para la succión de alícuotas en el tercer punto de prueba, se obtuvieron las siguientes particularidades:

- Gran cantidad de arena en la solera

- Dispositivo de succión libre de taponamiento
- Poca presencia de grasa
- Los sólidos disueltos ya están sedimentados por el tiempo de reposo del AR.
- Sedimentación de nutrientes
- Al proceder con la medición de parámetros “*in situ*” se obtuvieron los datos que se indican en la Tabla 15

Partiendo de las tres pruebas realizadas y las particularidades obtenidas, se identifica que el punto representativo óptimo de succión es el punto 2; porque, en este lugar no puede haber averías por rocas u obstrucciones por sólidos gruesos ya que son cernidos por las rejillas.

Adicionalmente, las rejillas impiden el paso de rocas por lo que el succionador no recibirá impactos directos que rompan o provoquen fisuras en su estructura. La velocidad en este punto es moderada por lo tanto el flujo es laminar, lo que hace que no exista liberación de gases disueltos que afecten la representatividad de la muestra.

Adicionalmente, el fluido está en constante movimiento por lo que no habrá sólidos sedimentados y existirá la materia orgánica necesaria para la evaluación de la calidad del agua, y lo más importante, en este punto existe representatividad en la muestra.

Los datos obtenidos en la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 pueden variar significativamente, pero lo que se considera para la selección de un punto representativo no son los valores; sino, la velocidad del flujo, tipo de flujo, y homogeneidad en la muestra a analizarse.

**Tabla 13.** Valores de medición *in situ* obtenidos en el punto 1

PARÁMETROS " in situ"	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3
<b>Temperatura (T)</b>	15.4	15.6	15.5
<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	5.39	6.07	4.01
<b>pH</b>	8.5	8.01	8.14
<b>Conductividad (CE)</b>	297	380	313
<b>SDT</b>	142.3	182.9	201.6
<b>Turbiedad</b>	187	212	403

**Tabla 14.** Valores de medición *in situ* obtenidos en el punto 2

PARÁMETROS " IN SITU"	VALOR DÍA 1	VALOR DÍA 2	VALOR DÍA 3
<b>Temperatura (T)</b>	15.5	14.8	15.5
<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	5.4	6.01	5.56
<b>pH</b>	8.5	7.71	7.81
<b>Conductividad (CE)</b>	312	375	292
<b>SDT</b>	149.2	180.2	193.7
<b>Turbiedad</b>	183	237	176

**Tabla 15.** Valores de medición *in situ* obtenidos en el punto 3

PARÁMETROS " IN SITU"	VALOR DÍA 1	VALOR DÍA 2	VALOR DÍA 3
<b>Temperatura (T)</b>	15.5	14.7	15.1
<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	4.57	5.41	4.48
<b>pH</b>	8.6	7.68	8.13
<b>Conductividad (CE)</b>	349	379	313
<b>SDT</b>	167.7	182.2	193.7
<b>Turbiedad</b>	212	267	266

### 3.4 COLECTA DE MUESTRA COMPUESTA

La programación permitió que el equipo recoja las muestras puntuales durante 24 horas, el EMA ISCO 6712 puede almacenar muestras en 1 botellón de 10 l o en botellas 24 botellas de 1 l.

Para la recolección de muestras en el afluente se utilizó el botellón de 10 l y para conservar la temperatura óptima se agregó hielo como se observa en la Figura 67.



**Figura 67.** Colocación de hielo en la "bodega" del equipo

La extracción del botellón se realizó luego de 24h, se observó que el EMA ISCO 6712 recolectó el volumen para el cual fue programado el equipo ( Figura 68).



**Figura 68.** Extracción del botellón de 10 l con la muestra compuesta



Se procedió a la homogenización de la muestra, depositando el volumen en otro balde como se observa en la Figura 69, para posteriormente llenar los envases para análisis de laboratorio.



**Figura 69.** Homogenización de la muestra compuesta almacenada en el botellón

Para el efluente se utilizó las botellas de 1 litro, las mismas se colocan acorde a la Figura 70, y fueron recolectadas 24 horas después de la programación



**Figura 70.** Extracción la muestra compuesta almacenada en los tarros de 1 l

Al extraer las botellas de muestras se pudo notar la diferencia de volumen entre una botella y otra como se observa en la Figura 71, esto debido a que la

programación se realizó para que el equipo succione las muestras en función del caudal de paso; es decir, hubo un cambio de caudal entre una toma y otra.



**Figura 71.** Diferencia de volumen entre una muestra y otra

Se procedió a la homogenización de la muestra, depositando el volumen de las 24 botellas en un balde como se observa en la Figura 72, para posteriormente llenar los envases para análisis de laboratorio.



**Figura 72.** Homogenización de las muestras compuestas recolectadas en los tarros de 1l

### 3.5 AHORRO ECONÓMICO DEL EMA ISCO COMO MEDIDOR DE CAUDAL

Se realizó un análisis comparativo de costos relacionados con el valor inicial del equipo y el valor anual de salarios suplementarios (horas extras) que se debería cancelar a un operador para que existan datos las 24 horas (Tabla 16), en la fórmula [7] se evidencia que existe una diferencia de 15 000 USD aproximadamente.

**Tabla 16.** Pago por operador

Régimen de Trabajo		Operador Régimen LOEP (RMU 708)	
Valor unitario hora / hombre en \$		\$2,95	
Valor del EMA ISCO 6712		\$40 000	
Porcentaje de hora		0,25 % (Hora Suplementaria)	
HORAS	16 “horas extras en días laborables”	\$ 3.69 c/h	\$59 c/d
	24 “horas en días no hábiles”	\$3,69 c/h	\$88,5 c/d

(c/h): Cada hora

(C/d): Cada día

La jornada laboral de un operador está dado por 8 horas laborables; de acuerdo a la LOEP el valor unitario de la hora laboral es de 2,95 USD, sin embargo, cuando son horas suplementarias se agrega el 0.25 % al valor unitario, dando un valor de 3,69 USD la hora y 59 USD las 16 horas extras.

$$X(0,25\%) = \$59 * 270 \text{ días laborables anuales} = \$15\ 930 \quad [4]$$

$$X(100\%) = \$88,5 * 96 \text{ días no hábiles anuales} = \$8\ 496 \quad [5]$$

$$X(\text{salario anual}) = \$15\ 930 + \$8\ 496 = \$24\ 426 \quad [6]$$

$$\text{Costo recompensable} = \$40\ 000 - \$24\ 426 = \$15\ 574 \quad [7]$$

Considerando que el equipo tiene una vida útil de 10 años, se ahorraría 228 686 USD en diez años en pago de horas extras al operador para que mida caudal y muestree manualmente, suponiendo que el valor del hora/hombre no incrementa.

### **3.6 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MUESTREO AUTOMÁTICO**

Se pudo elaborar el “Protocolo de muestreo automático para la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional y la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento” (Anexo 2) partiendo de las INEN 2169, 2226, 2276.

Este producto final cuenta de dos partes; la primera abarca los principios básicos de muestreo, selección de puntos representativos, frecuencia de muestreo, volumen de muestras a tomar, generalidades de colecta, preservación, almacenamiento, transporte de muestras.

La segunda parte indica generalidades del equipo de muestreo automático ISCO 6712 utilizado para muestrear y medir caudal en las plantas aerobias a cargo de la EPMAPS, además, muestra paso a paso la instalación y programación de este EMA.

Adicionalmente, presenta instructivos de fácil aplicabilidad para calibrar el equipo multiparamétrico HACH, usar el EMA ISCO 6712, ajustar el volumen de succión y seguridad personal e industrial para muestrear en PTAR´s.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Se pudo implementar un protocolo piloto de muestreo automático para la PTAR Lloa, sin contratiempos y con el apoyo directo de la EPMAPS, aspecto que permitió cumplir con éxito todas las labores de este trabajo.

El trabajo de campo realizado permitió establecer los parámetros hidráulicos, requeridos por el equipo muestreador automático EMA ISCO 6712 y se pudo instalar exitosamente en el sitio identificado como idóneo, por lo que se pudo obtener valores de caudal contrastables a los tomados de forma manual.

De igual manera, se pudo identificar los puntos de succión representativos para muestreo del afluente y efluente, obteniendo muestras representativas que puedan ser analizadas en laboratorio, asegurando datos confiables de calidad del agua que puedan servir a los operadores de la PTAR, quienes están a cargo del buen funcionamiento de la misma.

El equipo utilizado es eficaz tanto para proteger la integridad de los operadores como para el muestreo y medición de caudal, ya que permite la optimización del tiempo en la medición de caudal y la recolección de muestras por un período mayor que el tiempo de la jornada laboral del operador lo que implica pagos extras; un claro ejemplo es que el equipo queda operando las 16 horas restantes de las 24 horas del día sin necesidad de intervención manual.

El EMA ISCO 6712 es más eficaz en la recolección de datos. Este artefacto mide y recolecta datos en periodos de tiempo de 1, 5, 10, 30, 60 minutos según sea su programación, es decir que, mientras el operador afora el primer volumen, el equipo ya tendrá el segundo valor de caudal de paso, lo que representa un ahorro de tiempo y recurso humano.

El EMA ISCO 6712 necesita de un operador que monitoree y verifique constantemente su funcionamiento, porque presenta inestabilidad cada vez que el volumen de paso tiene cambios bruscos como desviación de caudal (*bypass*) o aumento de caudal significativo (lluvias o infiltraciones).

El aforo volumétrico tiene un grado de incertidumbre mayor que la medición automática dado por el error humano que el trabajador puede tener lo que puede alterar el volumen que realmente está entrando a la planta de tratamiento.

Es importante analizar el lugar, tipo de flujo y velocidad del flujo donde se realizará la instalación del succionador de muestras, ya que factores como la turbulencia, presencia de rocas, velocidad alta influyen directamente en la obtención de la muestra representativa y además pueden dañar el *strainer* causando costos extras de reparación o mantenimiento.

Tener un protocolo de muestreo automático donde se establecen los parámetros de muestreo como: lineamientos de selección de puntos representativos, frecuencia de muestreo, volumen de muestras a tomar, generalidades de colecta, preservación, almacenamiento y transporte de muestras, hace que el operador no omita ningún paso técnico tanto al instalar, programar y muestrear con el EMA ISCO 6712.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda diseñar un aliviadero en el sistema de alcantarillado aguas arriba de la PTAR para impedir el ingreso de agua lluvia a la planta y con esto evitar la interrupción del proceso biológico de la planta. O como alternativa implementar en la población del área de diseño un sistema de alcantarillado separado, mas no combinado, porque existen minas de arena y ripio que cuando llueve arrastra sedimentos, además, se evitaría la infiltración de agua.

Sería importante implementar una válvula de purga en el tanque de desinfección para facilitar el mantenimiento o limpieza de esta área, para que no afecten la calidad del agua del efluente.

En el caso de muestreo se debe verificar la conexión de las mangueras tanto de succión como de la bomba peristáltica para que no existan derrames de agua al recolectar la muestra en la bodega de botellas del EMA. De igual manera se recomienda, limpiar el succionador para evitar taponamientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrey Arrieta. (2014, Febrero 28). *Reseña histórica del tratamiento de aguas residuales | Estación de bombeo | Aguas residuales*. Scribd.

<https://es.scribd.com/document/209833438/Resena-historica-del-tratamiento-de-aguas-residuales>

Arce, A. L., & Calderón, C. G. (2017). *Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua* (César G. Calderón Mólgora). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Calderón. (1997, junio). *TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS*.

IABS.COM.

[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Toma\\_De\\_Muestras.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm)

Consultora Morales. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Parroquia Rural de Lloa 2015-2019*. <http://www.gadlloa.gob.ec/PDOT-LLOA-2015-20019.pdf>

Cruz, J. (2014, septiembre 3). *METODOS DE AFORO DE CAUDAL*. prezi.com.

<https://prezi.com/thtukynlhk65/metodos-de-aforo-de-caudal/>

Del Prado, J. (2013, noviembre 22). Concepto de Norma de Seguridad. *Blog de*

*PRL - IMF BS*. <https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/concepto-de-norma-de-seguridad/>

EPMAPS. (2019). Nuestra historia. *Bienvenido a EPMAPS*.

<https://www.aguaquito.gob.ec/nuestra-historia/>

EPMAPS, E. P. M. de A. P. y S., & DSS, D. de S. y S. (2012). *Manual de Seguridad y Salud Ocupacional* (02 ed.).

- George Tchobanoglous, & Franklin Burton. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización: Vol. I* (Tercera).
- González, M. (2011, marzo 7). *Efecto Venturi | La guía de Física*.  
<https://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/efecto-venturi>
- Grupo De Agua Y. Saneamiento. (2015, marzo 18). PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. *PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL*.  
<http://aguasresidualesptar.blogspot.com/2015/03/grupo-de-aprendices-sena-la-tecnologia.html>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE-INEN-2176-AGUA.- CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-TÉCNICAS-DE-MUESTREO.pdf*.  
<http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf>
- IPROMA. (2016). *Mediciones "in situ" | Iproma*. Laboratorio y asesoría.  
<http://www.iproma.com/es/mediciones-in-situ>
- Jiménez, J. C., & Morocho, J. C. (2018). *Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica: Vertederos de pared delgada, de la asignatura Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay*. 115.
- Jimenez, M. I. (2016, febrero 2). *Tema 3 muestreo aguas*. [Educación].  
<https://es.slideshare.net/mariaisabelJimenezCc/tema-3-muestreo-aguas>
- Leiva, M., Yáñez, Jaramillo, Jácome,. (1998). *Manual para Muestreo de Aguas y Sedimentos (Recopilación Bibliográfica)*. Facultad de Arquitectura y Diseño PUCE.



- Ministerio del Ambiente. (2015). *ACUERDO MINISTERIAL 028*.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155123.pdf>
- Morillo, A. (2017, marzo 22). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. We Are Water. [https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia\\_281141](https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141)
- Mulki, M. (2018). *MUESTREO*.
- Narayan, A. (2014). *Determinación de parámetros IN SITU para cuerpos de agua ubicados en el Bloque Junin de la Faja Petrolífera del Orinoco*.
- Nava, G. (Ed.). (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo para análisis de laboratorio: Artículo 27 del decreto 1575 de 2007*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *ENFERMEDAD POR EL CORONAVIRUS ( COVID-19)*. [paho.org/es/tag/enfermedad-por-coronavirus-covid-19](https://paho.org/es/tag/enfermedad-por-coronavirus-covid-19)
- Sánchez, J. (2013, abril). *Medida de caudales*. Hidrología Usal.  
<http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>
- Santateresa. (2018, abril 10). *Toma de muestra y medida de caudales*.  
[http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/evento/2018\\_inspeccion/es\\_def/adjuntos/3.%20Ernesto%20Santateresa.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/evento/2018_inspeccion/es_def/adjuntos/3.%20Ernesto%20Santateresa.pdf)
- TULSMA. (2017). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: El recurso no*

*explotado—UNESCO Biblioteca Digital* (p. 202). ONU-Agua.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Villavicencio, C. P. (2016, febrero 29). Tipos de Aforos. *Blogspot*. <http://jorge-tumbaco.blogspot.com/>

Zambrano, R., & Echevería, E. (2018). *MEDICION DE CAUDAL EN MEDICION DE CAUDAL EN AGUAS RESIDUALES AGUAS RESIDUALES CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS SEG LOS EQUIPOS SEGÚ ÚN NCH 3205 N NCH 3205*.

[https://www.academia.edu/34853250/MEDICION\\_DE\\_CAUDAL\\_EN\\_MEDICION\\_DE\\_CAUDAL\\_EN\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_CONTROL\\_DE\\_FUNCIONAMIENTO\\_DE\\_CONTROL\\_DE\\_FUNCIONAMIENTO\\_DE\\_LOS\\_EQUIPOS\\_SEG\\_LOS\\_EQUIPOS\\_SEG%C3%9A\\_%C3%9AN\\_NCH\\_3205\\_N\\_NCH\\_3205](https://www.academia.edu/34853250/MEDICION_DE_CAUDAL_EN_MEDICION_DE_CAUDAL_EN_AGUAS_RESIDUALES_AGUAS_RESIDUALES_CONTROL_DE_FUNCIONAMIENTO_DE_CONTROL_DE_FUNCIONAMIENTO_DE_LOS_EQUIPOS_SEG_LOS_EQUIPOS_SEG%C3%9A_%C3%9AN_NCH_3205_N_NCH_3205)