



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**Proyecto de fin de carrera titulado:**

**“Influencia del proceso de turbinación de agua cruda en Centrales Hidroeléctricas  
Recuperadora y El Carmen de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y  
Saneamiento, en la calidad de agua.”**

**Realizado por:**

**MÓNICA PAMELA SUZA DARQUEA**

**Director del proyecto:**

**DR. CARLOS ORDOÑEZ**

**Como requisito para la obtención del título de:**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**2013**





## DECLARACION JURAMENTADA

Yo, MÓNICA PAMELA SUZA DARQUEA, con cédula de identidad #172075628-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



MONICA SUZA D.

CI: 1720756285



## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“INFLUENCIA DEL PROCESO DE TURBINACIÓN DE AGUA CRUDA DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS RECUPERADORA Y EL CARMEN DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, EN LA CALIDAD DEL AGUA.”**

Realizado por:

**MONICA PAMELA SUZA DARQUEA**

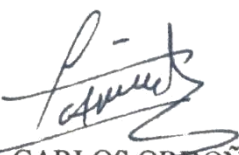
como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERA**

ha sido dirigido por el/la Profesor (a)

**DR. CARLOS ORDOÑEZ**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



DR. CARLOS ORDOÑEZ

DIRECTOR



## **DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**DR. CARLOS ORDOÑEZ**

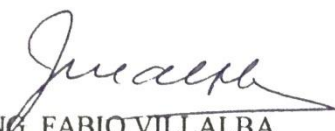
**ING. FABIO VILLALBA**

**ING. KARLA LAVANDA**

Después de revisar el trabajo presentado, por el alumno **MONICA PAMELA SUZA  
DARQUEA**

lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador

  
DR. CARLOS ORDOÑEZ  
DIRECTOR

  
ING. FABIO VILLALBA  
TRIBUNAL

  
ING. KARLA LAVANDA  
TRIBUNAL

Quito, 17 de Septiembre de 2013

## **DEDICATORIA**

A mis papas Mónica y Richard, por darme la vida, por quererme tanto, por creer siempre en mí y en lo que era capaz de hacer. Sin ustedes nada de esto sería posible, son mi pilar, mi fortaleza, todo lo que soy es por ustedes. Gracias por todo.

A mi tía Andrea, esa persona que más que mi tía ha sido mi hermana y una persona fundamental para alcanzar mis metas y sueños. Gracias por creer tanto en mí y por tu apoyo incondicional.

A mi hermano, abuelos, tíos, primos y amigos quienes han sido parte de mi vida y de esta maravillosa etapa que hoy culmina, gracias por su constante apoyo y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director, Carlos Ordoñez por su profesionalismo y su valioso tiempo, de igual manera a Fabio Villalba y Karla Lavanda por sus acertadas recomendaciones y enseñanza.

A quienes me brindaron su apoyo dentro de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), principalmente a Kevin Espinosa por su constante seguimiento, soporte y empeño por lograr de este proyecto un gran trabajo.

A los funcionarios de las centrales hidroeléctricas Recuperadora y El Carmen, por su ayuda durante la ejecución del proyecto.

A todo el personal del Laboratorio Central de Control de Calidad (L3C) por recibirme con los brazos abiertos y brindarme la ayuda necesaria. Mi gran agradecimiento a Edgar Pazmiño y Fabian Bernal por su constante seguimiento.

A toda mi familia, por su constante apoyo y ánimos para lograr esta tan ansiada meta. En especial a Andrea Darquea por todo el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

A mis amigos, Paula, Listh, María José, Andrés, Julio, Anita, Katherine, por su valiosa compañía cuando fue necesario y por ser una parte fundamental de mi vida. Y a todos aquellos con los que compartí estos cinco años de mi vida.

A la Universidad Internacional SEK, en especial a quienes conforman la Facultad de Medio Ambiente, por su valioso empeño en formar grandes personas y profesionales.

## INDICE DE CONTENIDO

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                               | 1  |
| ABSTRACT .....                                             | 2  |
| CAPITULO I                                                 |    |
| INTRODUCCION .....                                         | 3  |
| 1.1. Generalidades .....                                   | 3  |
| 1.2. El Problema de Investigación .....                    | 4  |
| 1.2.1. Planteamiento .....                                 | 4  |
| 1.2.1.1. Diagnóstico .....                                 | 4  |
| 1.2.1.2. Pronóstico .....                                  | 6  |
| 1.2.1.3. Control de pronóstico.....                        | 6  |
| 1.2.2. Formulación del problema .....                      | 6  |
| 1.2.3. Sistematización del problema.....                   | 6  |
| 1.2.4. Objetivo general .....                              | 7  |
| 1.2.5. Objetivos específicos.....                          | 7  |
| 1.2.6. Justificación.....                                  | 8  |
| 1.3. Marco teórico.....                                    | 9  |
| 1.3.1. Estado actual del conocimiento .....                | 9  |
| 1.3.2. Adopción de una perspectiva teórica.....            | 11 |
| 1.3.3. Marco conceptual .....                              | 11 |
| 1.3.3.1. Definiciones .....                                | 11 |
| 1.3.3.2. Normativa legal.....                              | 19 |
| 1.3.4. Hipótesis.....                                      | 22 |
| 1.3.5. Identificación y caracterización de variables ..... | 23 |



## CAPÍTULO II

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| MÉTODO.....                                           | 24 |
| 2.1. Nivel de estudio .....                           | 24 |
| 2.2. Modalidad de investigación.....                  | 25 |
| 2.3. Método.....                                      | 25 |
| 2.4. Población y muestra.....                         | 25 |
| 2.4.1. Metodología de Muestreo.....                   | 26 |
| 2.4.1.1. Determinación de Número de Muestras.....     | 26 |
| 2.4.1.2. Monitoreo de control.....                    | 28 |
| 2.4.1.3. Parámetros a medir.....                      | 30 |
| 2.4.1.4. Toma de muestras .....                       | 33 |
| 2.5. Selección de instrumentos de investigación ..... | 34 |
| 2.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos..... | 34 |
| 2.7. Procesamiento de datos .....                     | 35 |

## CAPÍTULO III

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| RESULTADOS .....                                  | 36 |
| 3.1. Levantamiento de datos .....                 | 36 |
| 3.1.1. Sistema Papallacta.....                    | 36 |
| 3.1.1.1. Captaciones del sistema Papallacta.....  | 38 |
| 3.1.1.2. Central Hidroeléctrica Recuperadora..... | 39 |
| 3.1.1.3. Marco legal aplicable .....              | 41 |
| 3.1.2. Sistema La Mica.....                       | 42 |
| 3.1.2.1. Captaciones del sistema La Mica.....     | 43 |
| 3.1.2.2. Central Hidroeléctrica El Carmen.....    | 44 |
| 3.1.2.3. Marco legal aplicable .....              | 46 |
| 3.2. Presentación y análisis de resultados .....  | 47 |
| 3.2.1. Monitoreos de control .....                | 47 |
| 3.2.2. Monitoreos periódicos.....                 | 53 |
| 3.2.2.1. Central Hidroeléctrica Recuperadora..... | 53 |

|          |                                          |    |
|----------|------------------------------------------|----|
| 3.2.2.2. | Central Hidroeléctrica El Carmen.....    | 57 |
| 3.2.3.   | Análisis de resultados.....              | 59 |
| 3.2.3.1. | Central Hidroeléctrica Recuperadora..... | 59 |
| 3.2.3.2. | Central Hidroeléctrica El Carmen.....    | 62 |

## CAPÍTULO IV

|                            |    |
|----------------------------|----|
| DISCUSIÓN.....             | 64 |
| 4.1. Conclusiones.....     | 64 |
| 4.2. Recomendaciones ..... | 69 |
| REFERENCIAS .....          | 71 |

## ANEXOS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO 1: Protocolo de Laboratorio .....                                                                                                    | 76 |
| ANEXO 2: Acreditación ISO 17025:2006 – Laboratorio Central de Control de Calidad EPMAPS.....                                               | 77 |
| ANEXO 3: Norma técnica 0002-DMA-2008, Tabla 3, Anexo A .....                                                                               | 79 |
| ANEXO 4: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional. .... | 80 |
| ANEXO 5: Registro fotográfico.....                                                                                                         | 83 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Metodología de muestreo utilizada por Minpetel S.A. ....                                   | 10 |
| Tabla 2: Resultados del tamaño de la muestra para poblaciones infinitas .....                       | 27 |
| Tabla 3: Resultados del tamaño de la muestra para poblaciones estimadas .....                       | 28 |
| Tabla 4: Parámetros establecidos por L3C .....                                                      | 31 |
| Tabla 5: Frecuencia de muestreo.....                                                                | 34 |
| Tabla 6: Embalse La Mica (Mejía, 2006).....                                                         | 43 |
| Tabla 7: Resultados monitoreos de control Central Hidroeléctrica Recuperadora .....                 | 47 |
| Tabla 8: Resultados monitoreo de control Central Hidroeléctrica El Carmen.....                      | 50 |
| Tabla 9: Tabla unificada de cambios significativos (Elaboración Propia).....                        | 52 |
| Tabla 10: Cambios Significativos en control de mantenimiento Central Hidroeléctrica El Carmen ..... | 57 |

## INDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Precipitación mensual Paluguillo (EPMAPS, 2013).....                                                                                        | 29 |
| Ilustración 2: Precipitación mensual El Carmen .....                                                                                                       | 30 |
| Ilustración 3: Ubicación geográfica Papallacta .....                                                                                                       | 37 |
| Ilustración 4: Conducción Papallacta - Bellavista (Mejía, 2006).....                                                                                       | 37 |
| Ilustración 5: Sistema de bombeo .....                                                                                                                     | 39 |
| Ilustración 6: Generador Eléctrico Recuperadora .....                                                                                                      | 40 |
| Ilustración 7: Reservorio de Salida Recuperadora .....                                                                                                     | 41 |
| Ilustración 8: Reserva Ecológica Antisana (Fuentes, 2004) .....                                                                                            | 42 |
| Ilustración 9: Perfil del Sistema La Mica - Quito Sur (Huaica, 2013).....                                                                                  | 44 |
| Ilustración 10: Acueducto Sistema Las Mica.....                                                                                                            | 45 |
| Ilustración 11: Turbina y generador eléctrico La Mica .....                                                                                                | 45 |
| Ilustración 12: Reservorio de salida Sistema La Mica .....                                                                                                 | 46 |
| Ilustración 13: Variación OD durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora.....                                        | 53 |
| Ilustración 14: Variación de Conductividad Eléctrica durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora.....                | 54 |
| Ilustración 15: Variación de Turbidez durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora.....                               | 54 |
| Ilustración 16: Variación de concentración de compuestos fenólicos durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora ..... | 55 |
| Ilustración 17: Variación de concentración de hierro total durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora.....          | 56 |
| Ilustración 18: Variación de concentración de coliformes totales durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora .....   | 56 |
| Ilustración 19 Variaciones en concentración de metales y su comparación con la Normativa Ambiental Vigente .....                                           | 58 |
| Ilustración 20: Variaciones en concentración de parámetros físico químicos y su comparación con la Normativa Ambiental Vigente.....                        | 58 |

## RESUMEN

Dentro del sinnúmero de servicios que el agua puede brindar, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) además de proveer de agua potable al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ha aprovechado durante varios años el recurso hídrico para la provisión de energía eléctrica para la ciudad de Quito, mediante sus dos centrales hidroeléctricas: El Carmen y Recuperadora. La energía hidroeléctrica está catalogada como una de las energías limpias en el planeta, sin embargo, es trascendental demostrar objetivamente los impactos positivos o negativos que pueden traer consigo los procesos de este tipo de aprovechamiento. El presente estudio buscó demostrar que el proceso de turbinación no repercute en los parámetros físicos, químicos ni biológicos del agua cruda destinada para generación eléctrica en las centrales hidroeléctricas de la EPMAPS, mediante un análisis comparativo de los parámetros de calidad de agua cruda en la entrada y salida de las dos centrales. El estudio fue realizado en tres fases, en primer lugar, se realizó el levantamiento de datos para obtener la información necesaria de las dos centrales hidroeléctricas analizadas en cuanto a situación geográfica, condiciones hidrometeorológicas y captaciones de los sistemas. En segundo lugar, los monitoreos realizados en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora han sido indispensables para la determinación de los parámetros susceptibles a ser utilizados en los monitoreos periódicos, correspondientes a la tercera fase de estudio.

Los análisis realizados al agua cruda de las dos centrales hidroeléctricas, no manifestaron variaciones que puedan alterar la calidad del agua durante el proceso de turbinación, lo cual confirma la hipótesis planteada, reafirmando que la instalación de microcentrales hidroeléctricas en el sistema de distribución del recurso hídrico para la ciudad de Quito por parte de la EPMAPS, no constituye una fuente contaminante ni representa un obstáculo para la utilización del recurso. Los valores de fenoles y aluminio detectados en el agua, a pesar de sobrepasar la normativa ambiental vigente, no representan contaminación del recurso hídrico ya que están influenciados por diferentes aspectos como condiciones atmosféricas, obtención de agua de páramos e intervención del ser humano en los alrededores de las captaciones de los sistemas estudiados. El principal efecto obtenido del proceso de turbinación, es la inserción de grandes cantidades de oxígeno, lo cual tiene su influencia en parámetros como fenoles y coliformes fecales, sin ser este el causante de algún tipo de contaminación del recurso hídrico. Adicionalmente, el monitoreo realizado al mantenimiento de la maquinaria en la central hidroeléctrica El Carmen, demostró que la limpieza y cambio de equipamiento no tiene influencia en la calidad del agua de la central.

**Palabras clave:** *Agua cruda, turbinación, central hidroeléctrica, calidad de agua*

## ABSTRACT

Among the many services that water can provide, the “Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento” (EPMAPS) besides providing drinking water to the Metropolitan District of Quito (MDQ) , has used for several years water resources for the provision of electric power Quito, through its two power plants : El Carmen and Recuperadora. Hydroelectric generation is ranked as one of clean energy on the planet, however, is crucial to objectively demonstrate the positive or negative impacts that can bring the processes of this type of use. This study aimed to demonstrate that the process of the turbines does not impact in parameter physical, chemical or biological of raw water intended for power generation in hydropower plants of EPMAPS, through a comparative analysis of water quality parameters in the input raw and output of the two plants. The study was conducted in three phases, first, was the collection of data to obtain the necessary information from the two power plants analyzed in terms of geographic location, hydrometeorological conditions and catchments of systems. Second, the monitoring conducted in Recuperadora and El Carmen, have been indispensable for the determination of the parameters likely to be used for periodic monitoring.

The raw water analyzes of the two power plants did not show variations that can alter the water quality during the process of turbines, which confirms the hypothesis, confirming that the installation of micro-hydro in the distribution system of water resources for Quito by the EPMAPS, is not a source of pollution or an obstacle to the use of the resource. The values of phenols and aluminum detected in the water, despite exceed environmental standards, doesn't represent pollution of water because they are influenced by different aspects such as weather conditions, water obtaining moors and human intervention around of deposits of the systems studied. The main effect of the process is the insertion of large amounts of oxygen, which has its influence on parameters such as phenols and fecal coliforms, not this be the cause of any contamination of water resources. Additionally, the monitoring carried out the maintenance of power plant machinery in El Carmen, showed that cleaning and equipment change has no influence on the water quality of the plant.

**Key words:** *Raw water, turbine effect, hydropower plants, water quality*

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

#### **1.1. Generalidades**

El agua es uno de los recursos más abundantes que se encuentran en la naturaleza, cubriendo aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie terrestre (Coral, 2013). Entre los múltiples usos que podemos dar a este recurso podemos encontrar el abastecimiento, regadío, usos industriales e incluso en la actualidad existe la posibilidad de usar este recurso como fuente de energía eléctrica. En este último caso, los estudios realizados por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) han determinado que las particulares condiciones topográficas de la ciudad de Quito permiten desarrollar proyectos de micro generación de energía que pueden permitir que la empresa tenga una autosuficiencia energética.

El desarrollo del proyecto “Micro centrales Eléctricas” de la EPMAPS, se sustenta en tres aspectos fundamentales:

- a) La optimización del recurso hidráulico disponible por la empresa para un doble aprovechamiento: micro generación y consumo humano.
- b) La infraestructura existente en una zona con particulares condiciones topográficas para este tipo de desarrollo.

- c) La consecución de nuevos recursos económicos; ya sea por la sustitución del pago de planillas de consumo a la Empresa Eléctrica Quito (EEQSA) o venta de la energía producida.

La disponibilidad en el mercado especializado de una tecnología adecuada para micro centrales hidráulicas, así como el desarrollo de sistemas de automatización y control, viabilizan la ejecución de este tipo de proyectos y optimizan la gestión de operación y mantenimiento (Villagómez, 2011). La EPMAPS ha destacado entre sus actividades para el 2013, la realización de proyectos multipropósito, los cuales buscan utilizar todo el potencial del agua para su máxima optimización. En la actualidad, los sistemas Papallacta y La Mica-Quito Sur, cuentan con una optimización máxima del recurso al utilizar la fuerza de caída del agua para generación eléctrica, esto como un subproceso dentro de la potabilización del agua.

## **1.2. El Problema de Investigación**

### **1.2.1. Planteamiento**

#### **1.2.1.1. Diagnóstico**

La EPMAPS ha aprovechado durante varios años el recurso hídrico para la provisión de energía eléctrica para la ciudad de Quito, mediante sus dos centrales hidroeléctricas: El Carmen y Recuperadora.

La EPMAPS es parte del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) desde el año 1999 en que éste empezó sus operaciones. La energía generada por sus centrales Recuperadora y El Carmen es utilizada en primera instancia por el sistema de bombeo Papallacta y los excedentes que se



producen (aproximadamente 100.000.000 kwh/año), son comercializados en el marco del MEM, bajo los procedimientos y el marco legal vigente para el sector (EPMAPS, 2011).

El Sistema Papallacta fue construido para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Quito. Sin embargo, de acuerdo a la información tomada del informe técnico de Mejía (2006), la empresa ha actuado dentro del concepto de uso eficiente de la energía, aprovechando el remanente de energía potencial en la conducción del agua, para recuperarla a través de la generación de energía eléctrica en la central hidroeléctrica Recuperadora. Es importante señalar que dicha generación proporcionada por el Sistema Papallacta está supeditada a los requerimientos de agua de la ciudad de Quito y no a los requerimientos de energía eléctrica del Mercado Eléctrico Mayorista.

Por su parte al igual que en el Sistema Papallacta, el Sistema la Mica, aprovecha el remanente de energía potencial en la conducción del agua, para recuperarla a través de la generación de energía eléctrica en la Central El Carmen. El sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Quito, entró en operación en el año 2000, con el objetivo de suministrar agua al sector Sur de la ciudad de Quito (Mejía L. , 2006).

Según la información proporcionada por las auditorías realizadas a los dos sistemas, el aprovechamiento hidroeléctrico realizado tanto en Central Recuperadora como en la Central El Carmen, es un proceso intermedio, el cual no produce efectos ambientales significativos, puesto que ni el ambiente, en general, ni el agua en particular, sufren ningún cambio fisicoquímico desde el ingreso a las instalaciones de la planta, hasta la entrega nuevamente a la tubería del acueducto. Sin embargo aún no existe evidencia objetiva que lo demuestre, la falta de investigación en cuanto al agua aprovechada para generación eléctrica aún no ha permitido detectar repercusiones negativas o positivas en las características físico-químicas y

biológicas normales de la misma, a la cual puede verse enfrentada al ser expuesta a un fenómeno mecánico tan fuerte, como lo es la turbinación para generación eléctrica.

#### **1.2.1.2. Pronóstico**

En caso de que en el agua cruda se genere algún tipo de cambio en sus características físicas, químicas y biológicas por el proceso de turbinación, la calidad del agua se vería comprometida. Sin embargo, estos cambios pueden recuperarse cuando el agua procesada se reincorpora al cauce normal del agua, los cambios que se pueden generar durante o después del proceso de turbinación pueden ser tanto positivos como negativos.

#### **1.2.1.3. Control de pronóstico**

Es necesario conocer los cambios que la turbinación genera en el agua, los cuales nos pueden determinar la calidad del agua, una vez que esta ha sido sometida a una gran fuerza como es el proceso de turbinación.

### **1.2.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son los cambios en las características del agua, tras un proceso de turbinación para generación eléctrica?

### **1.2.3. Sistematización del problema**

- ¿Qué parámetros del agua pueden demostrar un cambio significativo en la calidad de la misma?
- ¿Cómo podría afectar el introducir oxígeno en grandes cantidades a las características físicas, químicas y biológicas del agua?



- ¿Existe una legislación que regule este tipo de procesos?
- ¿Qué características tiene que presentar el agua previamente recogida en el embalse, para que esta no genere ningún daño en el proceso de generación eléctrica?
- ¿Debería implementarse un tratamiento previo a la conducción del agua hacia las turbinas?
- ¿Debería implementarse un tratamiento posterior al proceso de turbinación?

#### **1.2.4. Objetivo general**

Determinar la influencia del proceso de turbinación de dos centrales hidroeléctricas, mediante un análisis comparativo de los parámetros de calidad de agua cruda.

#### **1.2.5. Objetivos específicos**

- Realzar el análisis físico, químico y biológico del agua cruda antes y después del turbinado.
- Comparar los resultados obtenidos en laboratorio frente a los establecidos en la norma legal vigente para la Central Hidroeléctrica Recuperadora.
- Comparar los resultados obtenidos en laboratorio frente a los establecidos en la norma legal vigente para la Central Hidroeléctrica El Carmen.
- Determinar los parámetros que pueden demostrar una variabilidad significativa en la calidad del agua, para luego ser comparados en las centrales hidroeléctricas Recuperadora y El Carmen.

### **1.2.6. Justificación**

Los proyectos de micro centrales hidroeléctricas planteado por la EPMAPS para los próximos años en los alrededores de la ciudad de Quito, han despertado la preocupación en la población acerca de la calidad del agua que puede verse afectada tras este aprovechamiento. Es por eso que la presente investigación se realizara con la finalidad de comprender la variabilidad que se puede presentar en el agua cruda por la intervención de un proceso antrópico, como lo es la turbinación del agua para generación eléctrica.

Es importante conocer la calidad del agua de nuestros cauces naturales y aún más importante resulta el conocer y dar énfasis al estudio de cauces donde el hombre ha tenido algún tipo de intervención, la investigación realizada respecto al cambio de las características del agua puede ser utilizada posteriormente para planes de manejo y conservación de los cauces en donde el hombre ha tenido algún tipo de intervención.

Adicionalmente, reconociendo que la energía hidroeléctrica está catalogada como una de las energías limpias en el planeta, es trascendental demostrar objetivamente los impactos leves o graves que pueden traer consigo los procesos de este tipo de aprovechamiento.

Además el estudio servirá de soporte para la implementación de los proyectos de microcentrales hidroeléctricas a realizarse en los próximos años en la ciudad de Quito por la EPMAPS.

### **1.3. Marco teórico**

#### **1.3.1. Estado actual del conocimiento**

Existen escasos estudios relacionados con el tema expuesto, de las investigaciones realizadas a la construcción e implementación de centrales hidroeléctricas, pocas se refieren a la calidad del agua como su eje principal, destacando entre estos a Giusti (2005), quien en su estudio Conflictos Ambientales en la Gestión del Santuario Histórico de Machupicchu: El Caso de la Instalación y Manejo de la Central Hidroeléctrica Machupicchu, señala que los especialistas que critican a las centrales hidroeléctricas afirman que las aguas embalsadas no tienen las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes y otras propiedades del agua que fluye por el río. Los sedimentos se acumulan en el embalse, por lo que el resto del río hasta la desembocadura acaba empobreciéndose de nutrientes; éste es un impacto ambiental que se presenta en el río Vilcanota como consecuencia de las actividades hidroeléctricas; sin embargo, su magnitud debe ser evaluada.

Los cambios dados en las características del agua pueden estar influenciados por la turbinación del agua cruda, pues como señala Sierra (2011) la turbulencia creada en la captación y en la tubería de presión incrementa la concentración de oxígeno disuelto. Asimismo, el tiempo de detención del agua en el embalse “atrapa” un alto porcentaje de los sólidos que entran al sistema. La combinación de estos hechos hace que casi en todos los casos el agua turbinada tenga una mejor calidad que el agua del embalse.

El impacto que puede generar la instalación de una central hidroeléctrica en la fauna acuática y en las características ambientales de un curso de agua de flujo libre incluyen entre otras: velocidad y temperatura del agua, y configuración del lecho. Si se modifican estas

características, puede o no conservar las características esenciales para soportar la vida de los peces que existan originalmente (Ortíz, 2011).

Por su parte nuevamente en el estudio realizado por Gusti (2005), se hace referencia a las muestras de agua tomadas por una empresa eléctrica de la zona, parámetros que no son suficientes para determinar la calidad del agua del río Vilcanota según la autora. La empresa Minpetel S.A., realiza muestreos mensuales tomando en cuenta los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, aceites y grasas y sólidos suspendidos. Considerando dos ó tres puntos de muestreo: bocatoma, “antes” y “después” de la central. En la Tabla 1 se muestra el formato que ha utilizado Minpetel S.A. para realizar sus muestreos.

**Tabla 1: Metodología de muestreo utilizada por Minpetel S.A.**

**Cuerpo receptor: segundo trimestre 2004**

| Parámetros                   | Abril    |         | Mayo     |         | Junio    |         | Límite Permisible |
|------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|-------------------|
|                              | Antes    | Después | Antes    | Después | Antes    | Después |                   |
| - Temperatura (°C)           | 17,9     | 18,0    | 17,4     | 18,0    | 16,3     | 16,7    | ----              |
| - pH                         | 8,3      | 8,6     | 8,2      | 8,2     | 8,9      | 8,9     | 5 a 9             |
| - Oxígeno disuelto (mg/l)    | 9,0      | 9,0     | 9,0      | 9,0     | 10,0     | 10,0    | ----              |
| - Turbidez (UNT)             | 2,79     | 3,00    | 1,23     | 1,42    | 2,10     | 2,25    | ----              |
| - Aceites y grasas (mg/l)    | 0,48     | 0,47    | 0,40     | 0,42    | 0,29     | 0,40    | 0,5               |
| - Sólidos suspendidos (mg/l) | 64,25    | 66,25   | 38,25    | 40,27   | 41,25    | 40,25   | ----              |
| - Fecha de registro          | 20/04/04 |         | 20/05/04 |         | 18/06/04 |         |                   |

Minpetel S.A. - Programa de Monitoreo de Calidad de Aguas – EGEMSA – II Trimestre 2004

En el mismo estudio, a partir del análisis de los resultados expuestos, es importante señalar que las variaciones en los parámetros del agua del río Vilcanota también pueden tener su origen en otros factores además del accionar de la central hidroeléctrica, como por ejemplo, las actividades de los pobladores que se ubican o ejercen labores cerca del cauce del río.

### **1.3.2. Adopción de una perspectiva teórica**

No se adaptará ninguna teoría propuesta, dado el mínimo número de investigaciones realizadas en relación al tema. Sin embargo, el autor buscará con sus resultados, plantear una teoría propia.

### **1.3.3. Marco conceptual**

#### **1.3.3.1. Definiciones**

El agua es uno de los componentes más abundantes de la naturaleza, el término agua cruda se refiere al agua cuando se encuentra en el ambiente (lluvia, superficial, subterránea, océanos, etc.) que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural, la calidad del agua que se encuentra en forma natural depende de la posición geográfica, origen (mar, subterránea, superficial) y de los hábitos de los pobladores (Sierra, 2011).

Dentro de la riqueza de usos que se le puede dar al recurso agua, existe la utilización de su energía cinética para la generación eléctrica, por lo cual en las últimas décadas el agua se ha convertido en un elemento esencial en el sector energético. De las fuentes de energía renovable, el agua es en la actualidad el recurso más utilizado para la obtención de energía eléctrica (Sanz, 2008). Ecuador es uno de los países que más depende de la hidroelectricidad en su matriz eléctrica, sostiene Castro (2011). Aun cuando en la matriz energética total, la hidroenergía represente sólo un 6% en promedio durante el período 1970-2008, su importancia en la matriz eléctrica es muchísimo más acentuada, al igual que la tendencia en América Latina. La energía hidroeléctrica es hoy en día la energía renovable más utilizada alrededor del mundo, según Castro (2011) la hidroelectricidad es la fuente más importante

de electricidad basada en fuentes de energía renovable en el mundo y aporta 16% de la potencia total eléctrica mundial, cifras que los dos últimos años se han incrementado.

La transformación en electricidad de la energía cinética adquirida por una masa de agua en movimiento se efectúa con turbinas y generadores en unas óptimas condiciones de eficiencia energética (Sanz, 2008). Lo cual no concluye su ciclo, ya que en los últimos años se le ha dado énfasis a la optimización del agua utilizada para el proceso de generación eléctrica. Según Álvarez (2010) esta optimización se logra mediante el desarrollo de proyectos hidroeléctricos con múltiples objetivos, a través de los cuales se busca integrar los posibles usos del agua para maximizar el aprovechamiento de este recurso en términos de la atención a los diferentes tipos de demanda. En general, los usos alternativos del agua destinada para la generación de energía son el abastecimiento de agua para consumo humano y para riego, control de inundaciones y de sedimentos, recreación, pesca y navegación.

La situación geográfica del Ecuador, y los páramos que en su territorio se encuentran han facilitado la obtención del agua para todo el país, el papel que juegan los páramos en cuanto a regulación hídrica han permitido el ilimitado uso del recurso dentro del país y principalmente de la ciudad de Quito, pues tal y como lo menciona Hofstede (1997) los páramos son fundamentales para la regulación de la hidrológica regional y además constituyen la fuente de agua potable para la mayoría de la población de la parte Norte de los Andes ecuatorianos.

Los páramos pueden describirse como las "fábricas" de agua, las "esponjas" para el almacenamiento de agua o la "cuna" del sistema hídrico de los neotrópicos (Hofstede, 1997), el aluminio de la ceniza volcánica y la materia orgánica del suelo se combinan para formar vesículas muy resistentes a la descomposición por la edafofauna (fauna del suelo).



Durante las lluvias, estos complejos se llenan de agua que es retenida por un período relativamente largo y liberada lenta y constantemente. Así, el páramo no debe considerarse un productor de agua (que viene de la lluvia, la neblina y los deshielos) sino un recolector y regulador de su flujo (Cordero, 2008).

La utilidad que se le puede dar al agua obtenida de páramos no concluye en la potabilización, los sistemas multipropósito tienen la finalidad de aprovechar todos los servicios que el recurso puede brindar. En el Ecuador, al igual que en todos los países andinos, prácticamente todos los sistemas fluviales nacen en el páramo y los sistemas de riego, agua potable e hidroelectricidad dependen, en gran medida, de su capacidad de regulación hídrica (Hofstede & Mena, 2000). La generación hidroeléctrica es uno de los servicios con los que se puede contar al tener agua proveniente principalmente de zonas montañosas altas, lo cual según Huaica (2013) es una ventaja al no necesitar de grandes infraestructuras ni bombas que impulsen al agua, sino únicamente aprovechar la fuerza de caída de la misma.

La generación hidroeléctrica es uno de los usos más importantes del agua, el cual la puede afectar significativamente (Sierra, 2011). Una central hidroeléctrica es una instalación cuya misión es convertir la energía potencia y cinética del agua en energía eléctrica disponible (Sanz, 2008). Se denomina energía hidroeléctrica a aquella que se obtiene de aprovechar la energía potencial de una masa de agua situada en el cauce de un río o retenida en un embalse para convertirla primero en energía mecánica, mediante el giro de una turbina y, posteriormente, en energía eléctrica en un generador acoplado a la turbina (Fano, 2006).

Esta definición implica que la central hidroeléctrica estará formada por todos aquellos elementos que intervienen en esta transformación, elementos de diverso tipo como: elementos

de retención y almacenaje de agua, tales como embalses presas o azudes; elementos de conducción del agua, tales como obras de toma, camales, cámaras de carga, tuberías, sifones, etc.; elementos de apertura y cierre de paso de agua: compuertas, válvulas o ataguías; equipamiento hidráulico: turbina, multiplicador, rejas y limpia rejas; equipamiento eléctrico: generador, transformador, línea eléctrica; equipamiento de control y protección: interruptores, seccionadores, auto-válvulas, red de tierras, etc.; equipamiento auxiliar: baterías de corriente continua iluminación, tomas de fuerza, etc.; edificio central (Sanz, 2008).

El proceso de turbinación para generación eléctrica constituye la transformación de energía por medio de turbo máquinas hidráulicas en lo siguiente: la energía contenida en el fluido (Potencial, cinética o de presión) sufre una transformación a lo largo de un sistema de conducción, sin producción alguna de trabajo hasta la entrada de esta máquina. Ya en la máquina y en una primera etapa (estator y distribuidor de la turbina) se obtiene energía cinética y de presión que es transformada en trabajo mecánico de una parte móvil (rotor de la turbina) por disminución del momento cinético de las partículas del fluido (Tamarit, 2000). Las turbinas hidráulicas están accionadas por la fuerza del agua que incide directamente sobre los alabes de la turbina para proporcionarle movimiento rotativo y mover, normalmente alternadores, con los que se genera energía eléctrica, al transformar la energía mecánica y los saltos del agua (Roldán, 2012). Según este mismo autor, las turbinas utilizadas para la generación hidroeléctrica dependen de la presión, altura y caudal del agua a ser utilizados.

En el campo de potencias de máquinas utilizadas desde las pequeñas hasta las grandes centrales (0,3 MW a 300 MW por máquina) las tecnologías más utilizadas son las Pelton, Francis y Kaplan (Muguerza, 2005). Por lo general para aguas cuyo caudal sea pequeño pero su salto de agua grande se utilizan turbinas tipo Pelton, para saltos medianos y caudales

medianos son utilizadas turbinas tipo Francis y finalmente los saltos pequeños y caudales muy grandes se manejan con turbinas Kaplan. El presente estudio se enfocará en las turbinas verticales Pelton, por ser las utilizadas en la generación eléctrica de las centrales hidroeléctricas estudiadas (Roldán, 2012).

La turbina Pelton según Briceño et al (2008) es una turbina de acción que aprovecha el agua proveniente de la tubería de presión, haciéndola ingresar a un inyector o tobera, transformando la presión del agua de la tubería en energía cinética. El agua sale del inyector en forma de chorro a alta velocidad golpeando las cucharas o cangliones de la rueda Pelton, haciéndola girar, de esta forma transmite toda la energía cinética en energía mecánica rotatoria. El agua después de golpear las cucharas, pasa al depósito de descarga, por debajo de la rueda para terminar en el canal de descarga. Por lo que como ratifica Murguenza (2005) es una turbina de “impulso” donde la variación de cantidad de movimiento del agua en las cucharas provoca el impulso de rotación (par motor o torque) de la rueda. En estas turbinas de chorro libre, la conversión de la energía cinética a mecánica, se realiza a presión atmosférica y solo se modifica el vector de velocidad del agua.

Las turbinas Pelton están en su generalidad conformadas por cinco componentes: Inyector, Deflector, Cucharas, Rotor y Carcaza. Es importante mencionar la funcionalidad de cada uno de los componentes de una turbina Pelton con la finalidad de comprender el proceso de conversión de energía, además de las posibles implicaciones medioambientales que pueden conllevar su composición y funcionamiento.

De acuerdo a Murguenza (2005), el inyector es un tubo de pequeño diámetro que recibe el agua de la tubería de presión, este inyector cuenta además con un vástago móvil que, operado externamente, regula el caudal que se inyecta mediante una aguja en su extremo y

una boquilla en el extremo del tubo que lo contiene. El diseño del conjunto aguja–boquilla se ejecuta atendiendo a minimizar las pérdidas, lo que implica acelerar el chorro en el menor recorrido posible. El tramo donde se produce el estrangulamiento entre aguja y boquilla debe estar libre de imperfecciones superficiales para no introducir perturbaciones en el flujo del agua. El deflector es un dispositivo sencillo manejado por el sistema de regulación de la máquina que deriva el chorro en forma parcial o total para reducir o suprimir el impacto sobre las cucharas ya sea con fines de regulación ante variaciones importantes de la carga o de parada de la máquina ante salida intempestiva de la carga. En ambos casos los deflectores actúan en forma rápida, permitiendo que luego el caudal se ajuste por el sistema de boquilla – aguja evitando producir efectos de golpe de ariete en la tubería de presión. La cuchara tiene una geometría doble y simétrica de manera que el chorro incide en el eje de simetría y se separa en dos partes iguales descargando el agua por los laterales, entre el rotor y la carcaza hacia la boca de descarga. El rotor tiene el diámetro mínimo que permita colocar el suficiente número de cucharas para que el chorro de agua enfrente siempre una cuchara para convertir su energía sin pérdidas que disminuyan el rendimiento. La forma y el tamaño de la carcaza debe ser tal que permita la evacuación del agua turbinada sin interferir con el rotor ni con el chorro de agua de los inyectores.

Ahora, es necesario determinar las posibles afectaciones que pueden darse en las turbinas tales como corrosión y desgaste de los materiales que componen las turbinas Pelton. Siendo así, varios experimentos mencionados en el artículo de Perrig (1983) dan perfecta idea de las relaciones entre el esfuerzo periódico, el efecto simultáneo de corrosión y la fatiga del material. El artículo mencionado a pesar de haber sido escrito varios años atrás, incluso antes de conocer ciertas tecnologías y materiales que no permitan este tipo de sucesos, establece las relaciones entre los compuestos férricos, no férricos y la resistencia a la fatiga del material, la

cual según el documento baja muchísimo por el efecto simultaneo del esfuerzo vibratorio y la corrosión simultánea. Además se puede destacar que el esfuerzo periódico activa la corrosión y viceversa, es decir, al darse corrosión (por más pequeña que sea) es causa de una rápida reducción del límite de fatiga.

Una vez que se ha determinado la funcionalidad de las turbinas y todos sus componentes, el presente estudio está enfocado a determinar los cambios tanto positivos como negativos que el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas basadas en estos mecanismos puede ocasionar al recurso hídrico. Los parámetros físicos no son índices absolutos de contaminación ya que sus valores normales pueden variar considerablemente y, por lo tanto en cada caso habría que medir las desviaciones de los límites permitidos (Coral, 2013).

Dentro de los parámetros físico químicos utilizados para la determinación de calidad de un cauce hídrico se puede destacar como principales a oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos disueltos y temperatura. En primer lugar, el Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables (Peña, 2007). La determinación de OD es importante en el presente estudio por cuanto es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas de un medio particular (Romero, 2002), por lo que el nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Según Peña (2007), por lo general, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Es importante su estudio en el presente trabajo ya que Romero (2002) sostiene que el oxígeno libre en solución,

especialmente cuando está acompañado de CO<sub>2</sub> es un agente de corrosión importante del hierro y el acero, material el cual se puede encontrar en las tuberías por las que es transportada el agua para posterior generación eléctrica.

En cuanto a los parámetros físico químicos anteriormente mencionados, la turbidez de acuerdo a Romero (2002) es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de la materia en suspensión. Durante el presente estudio, es importante la determinación de la turbidez del agua, ya que dichos valores sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Romero, 2002).

Se han tomado en cuenta de igual manera al pH del cauce tanto de entrada como de salida de la zona de estudio, el cual se refiere a la concentración de iones hidrógeno, en términos generales expresa la magnitud de acidez o alcalinidad. Según Coral (2013), es de importante consideración para el control de la corrosión y para la desinfección, ya que se debe encontrar en un margen favorable para los organismos específicos que intervienen en el cauce estudiado. En cuanto a la conductividad, según Romero (2002), es una expresión numérica de la habilidad de transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Coral (2013) afirma que el agua pura tiene una escasa conductividad ya que la este parámetro es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas disueltas presentes. Es por esta razón que la conductividad está íntimamente relacionada con la

cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua, ya que son aquellas sustancias minerales que se encuentran disueltas en el agua (Coral, 2013).

Referente a parámetros químicos, el presente proyecto ha tomado en cuenta únicamente a fenoles y a hierro total en cuanto a metales pesados. Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal. Son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas. Los fenoles son sintetizados de nuevo por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales (Gimeno, 2004). Por su parte el hierro existe en suelos y minerales, principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, el hierro es estudiado debido a que pueden crear problemas en suministros de agua debido a la corrosión que puede generar (Romero, 2002).

No existen criterios de calidad aplicables a este uso, ya que cada caso es una situación particular (Sierra, 2011). Lo que quiere decir que cada tramo de río tiene su propia personalidad a efectos de la explotación del sistema eléctrico y debe, por tanto, ser tratado separadamente, analizando su situación en cada momento y la del conjunto (Casado, 2003).

### **1.3.3.2. Normativa legal**

Es importante mencionar la normativa legal vigente en cuanto a la operación de centrales hidroeléctricas dentro del territorio ecuatoriano, ya que el presente documento se basará en la normativa ambiental vigente para las dos centrales hidroeléctricas analizadas: El Carmen y Recuperadora.

#### *1.3.3.2.1. Constitución de la República del Ecuador*

Iniciando por la normativa legal predominante en el Ecuador, la Constitución de la República recalca en su Título II, Derechos, Capítulo Segundo, Derechos del buen vivir, Sección segunda, Ambiente sano, Art. 15., que el Estado promoverá el uso de tecnologías y energías ambientalmente limpias, con el fin de alcanzar una soberanía energética sin comprometer la soberanía alimentaria del país, ni afectará el derecho al agua.

En su Título II Derechos, Capítulo séptimo Derechos de la naturaleza Art. 71, 73, 74, destaca que la naturaleza tiene derecho al respeto integral de su existencia, mantenimiento y regeneración de ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona deberá exigir a la autoridad el cumplimiento de este derecho. Además el Estado deberá tomar medidas para la precaución y restricción a actividades que conlleven alguna perturbación en la naturaleza.

Dentro del Título V, Organización Territorial del Estado Capítulo quinto Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas Art. 314.- Numeral 3., señala que el Estado es el responsable de otorgar servicios públicos de saneamiento y salud a toda la población, entre estos, de energía eléctrica.

El Título VII Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales, Sección sexta Agua, en su artículo 411 señala el Estado regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de un recurso hídrico.



*1.3.3.2.2. El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Decreto Ejecutivo 3516, 31 de marzo del 2003.*

El TULAS se constituye en un cuerpo normativo que agrupa normas reglamentarias más importantes en materia ambiental vigentes en el Ecuador. La norma tiene como objetivos la prevención, control, protección, conservación y recuperación de los recursos naturales para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones; y del ambiente en general.

Tomando en cuenta la situación geográfica de una de las centrales hidroeléctricas analizadas en el presente documento, se pone a consideración el Libro VI: De La Calidad Ambiental, de donde se ha considerado de manera especial pero no solamente los títulos:

Título IV: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la contaminación ambiental, cuyo Capítulo III: Prevención y Control de la contaminación ambiental, tiene como objetivos específicos, el determinar, a nivel nacional, los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; emisiones al aire incluyendo ruido, vibraciones y otras formas de energía; vertidos, aplicación o disposición de líquidos, sólidos o combinación, en el suelo. Además de establecer los criterios de calidad de un recurso y criterios u objetivos de remediación para un recurso afectado.

Del Libro VI, se ha considerado, dentro de los criterios de análisis del presente proyecto de fin de carrera, los anexos:

- Libro VI. Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

- Tabla 1 Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.
- Libro VI. Anexo 1B: Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en centrales hidroeléctricas.

*1.3.3.2.3. Ordenanza 0404 del Distrito Metropolitano de Quito: sancionada el 04 de junio de 2013, expidió la reforma a la Ordenanza 213, sustitutiva del Título V, “Del Medio Ambiente” del Libro Segundo del Código Municipal.*

Al contar con un punto de estudio dentro del DMQ, es necesario seguir las especificaciones de la Ordenanza Municipal 0404, la cual destina a la Norma técnica 0002-DMA-2008, como regidora de las actividades industriales realizadas dentro del DMQ.

De la Norma técnica 0002-DMA-2008, se ha considerado para la realización del presente documento, los anexos:

- Anexo A Límites máximos permisibles de descargas de sectores productivos.
  - Tabla A. 1: Límites máximos permisibles por cuerpo receptor.

#### **1.3.4. Hipótesis**

El proceso de turbinación no repercute en los parámetros físicos, químicos ni biológicos del agua cruda destinada para generación eléctrica en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora de la EPMAPS.

### 1.3.5. Identificación y caracterización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE Calidad del agua de las centrales hidroeléctricas Recuperadora y El Carmen.

VARIABLE INDEPENDIENTE Parámetros asociados a la turbinación del agua cruda.

## CAPÍTULO II

### MÉTODO

#### 2.1. Nivel de estudio

**Exploratorio:** El trabajo de campo contribuyó a la investigación con los muestreos y análisis del agua cruda de entrada y salida de las centrales hidroeléctricas: El Carmen y Recuperadora de la EPMAPS.

El trabajo de campo comprendido entre los meses de Marzo y Agosto del 2013, proporcionaron los datos para la interpretación del cambio positivo o negativo en las características del agua cruda de las dos centrales hidroeléctricas analizadas.

**Explicativo:** La investigación buscó revelar los efectos sobre el recurso hídrico de un proceso de origen antrópico, como es la generación eléctrica a base de turbinas, sobre la calidad del agua.

**Correlacionales:** Se realizó un análisis comparativo de los parámetros físico-químicos y biológicos, entre las aguas de entrada y salida de las centrales hidroeléctricas a cargo de la EPMAPS. Además de encajar dichos parámetros con la legislación vigente.

## 2.2. Modalidad de investigación

**De campo:** Para la investigación se realizaron muestreos del recurso hídrico utilizado para la generación eléctrica en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora de la EPMAPS.

**De laboratorio:** Se realizó la medición de los parámetros del agua tomada antes y después del turbinado, para así determinar la calidad del agua.

## 2.3. Método

**Inductivo-Deductivo:** A partir de estudios realizados con anterioridad y datos proporcionados por la EPMAPS de años pasados, se determinó de manera general la variabilidad que puede presentarse en el agua después del proceso de turbinación para generación eléctrica.

## 2.4. Población y muestra

**Población:** Agua cruda dispuesta en embalses para posterior aprovechamiento para generación eléctrica.

**Muestra:** Agua cruda utilizada para generación eléctrica en las centrales El Carmen y Recuperadora de la EPMAPS.

### 2.4.1. Metodología de Muestreo

La metodología aplicada en el presente proyecto de fin de carrera está basada en la selección de los parámetros susceptibles de cambio para ser utilizados en los monitoreos periódicos y monitoreos de control, además de la determinación de una metodología de muestreo y recolección de datos.

Para la determinación del tamaño de la muestra, tomando en cuenta las condiciones climáticas y atmosféricas, se determinó como tiempo de muestreo tres meses (un trimestre) comprendidos entre el 16 de Mayo y el 16 de Agosto del 2013, con la finalidad de determinar la variación de los parámetros establecidos. Las condiciones hidrometeorológicas adoptadas de las estaciones de control en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora permiten realizar un análisis predictivo en el trimestre estudiado.

A continuación se detalla cada uno de los factores mencionados, con la finalidad de determinar mediante trabajo de campo y de laboratorio, la influencia del proceso de turbinación en el agua cruda de las dos centrales hidroeléctricas estudiadas.

#### 2.4.1.1. Determinación de Número de Muestras

Para la determinación del número de muestras periódicas se tomó en cuenta en primer lugar la *Ecuación 1* con la finalidad de obtener el tamaño de la muestra para una población infinita.

$$n_0 = \frac{z^2 * p * q}{e^2} \quad [ 1 ]$$

Dónde:

$n_0$  : número de muestras que deseamos determinar, tomando en cuenta que la población es infinita.

$z$  : valor correspondiente al nivel de confianza, un nivel de confianza del 95% (también expresado como:  $\alpha = 0.05$ ) corresponde a  $z = 1.96$  sigmas o errores típicos;  $z = 2$  (dos sigmas) corresponde a un 95.5% de confianza (aproximadamente,  $\alpha = 0.045$ ) (Morales, 2012).

$p*q$  : la varianza de la población y,

$e$  : el equivalente al error muestral, que significa error o desviación posible cuando extrapolamos los resultados.

Tomando en cuenta estos valores, la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para una población infinita.

**Tabla 2: Resultados del tamaño de la muestra para poblaciones infinitas**

| Nomenclatura | Valores        |
|--------------|----------------|
| $z$          | 1,96           |
| $pq$         | 0,25           |
| $e$          | 0,08           |
| $n_0$        | <b>1067,11</b> |

Una vez establecido el tamaño de la muestra para una población infinita, se tomó la *Ecuación 2* de Morales (2012) para la determinación del tamaño de muestra para una población estimada.

$$n^* = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad [ 2 ]$$

Donde:

$n^*$  : el valor de muestras que deseamos conocer

$n_0$  : el valor de muestras tomando en cuenta una población infinita

$N$  : total de la población estimada de muestras

Para la determinación de nuestra muestra  $n^*$  se ha tomado en cuenta una población estimada de 50 muestras en un periodo de tres meses, tal y como lo muestra la *tabla 3*.

**Tabla 3: Resultados del tamaño de la muestra para poblaciones estimadas**

| Nomenclatura | Valores      |
|--------------|--------------|
| $n_0$        | 1067,11      |
| $N$          | 66           |
| $n^*$        | <b>46,05</b> |

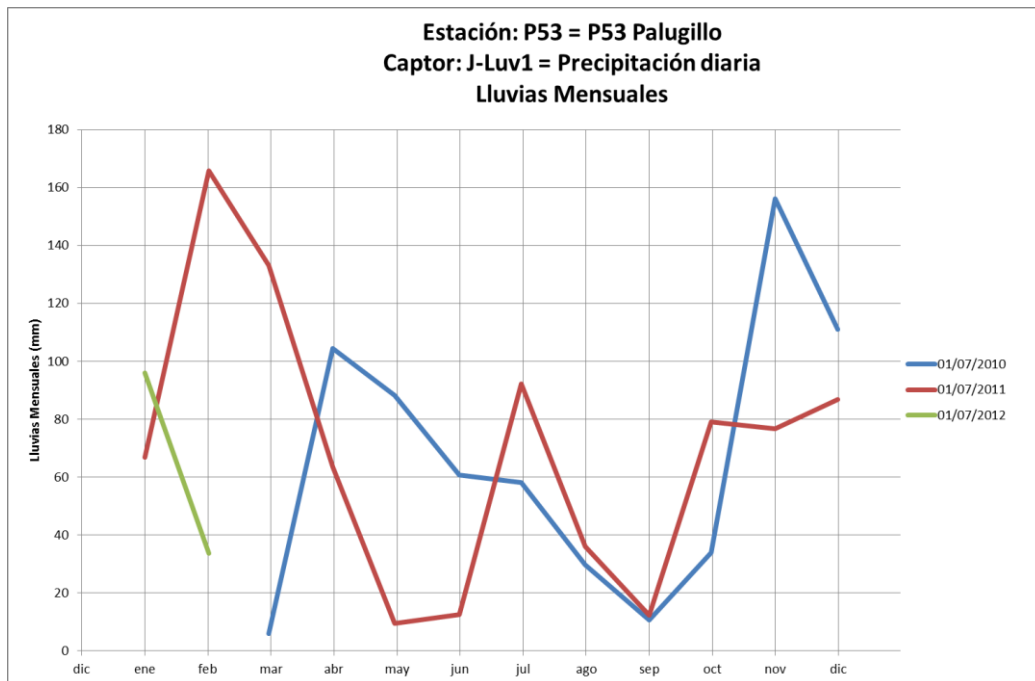
Por lo tanto, el análisis demuestra que el tamaño de muestra que debe ser tomada en cuenta para la viabilidad del proyecto es de 46 muestras durante el periodo de tres meses.

#### **2.4.1.2. Monitoreo de control**

Los monitoreos de control para la realización del presente proyecto de fin de carrera, fueron realizados de acuerdo a las condiciones hidrometeorológicas del área de influencia, como lo muestra la *Ilustración 1* las condiciones hidrometeorológicas proporcionadas por el departamento de meteorología de la EPMAPS, muestran para el sistema Papallacta una variación entre los meses de mayo y agosto, fechas en las cuales según los datos proporcionados corresponden a la época seca y la época lluviosa del año. Se ha tomado en cuenta los datos proporcionados en el año 2011 por la estación hidrometeorológica ubicada en la central hidroeléctrica Recuperadora, ya que durante este periodo se contó con mayor cantidad de datos, a diferencia de los años 2010 y 2012. El mes de mayo muestra la época menos lluviosa del año, mientras que el mes de julio demuestra los valores con mayor precipitación del año.



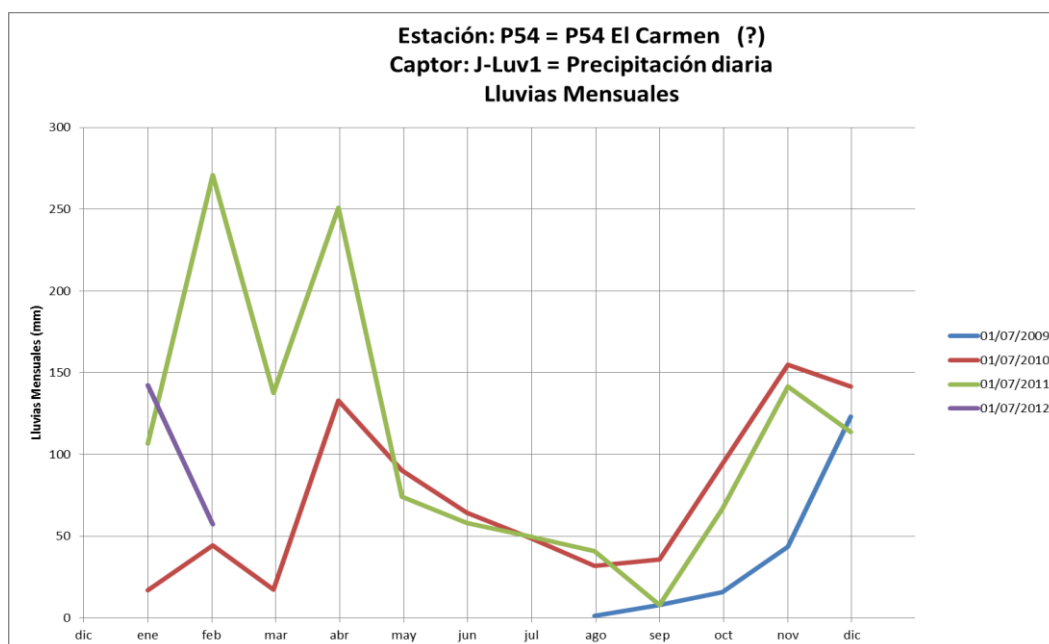
**Ilustración 1: Precipitación mensual Palugillo (EPMAPS, 2013)**



En cuanto al sistema La Mica, tal y como lo demuestra la *Ilustración 2* la precipitación del área de influencia al igual que en el sistema Papallacta muestra variación entre los meses de abril y agosto. El mes de abril presenta el pico más alto de precipitación, mientras que en los meses de julio y agosto se puede denotar picos bajos, lo cual incide en las condiciones atmosféricas como la temperatura y humedad del ambiente. Para este análisis se ha tomado en cuenta el año 2010, ya que ha representado mayor cantidad de datos respecto a los años 2009, 2011 y 2012 en los cuales ha estado operando la estación meteorológica dentro de la Central Hidroeléctrica El Carmen.

Se seleccionó el tiempo de muestreo basándose además en los mantenimientos realizados a la Central Hidroeléctrica el Carmen. El reemplazo de equipos y limpieza es realizada el último jueves de cada mes en la microcentral hidroeléctrica perteneciente al sistema La Mica- Quito Sur.

**Ilustración 2: Precipitación mensual El Carmen (EPMAPS, 2013)**



Es importante mencionar que los datos recogidos en las estaciones hidrometeorológicas en las dos centrales analizadas son escasos, ya que son estaciones relativamente nuevas, lo cual no puede proporcionar una predicción exacta de las condiciones climatológicas de la zona. Este hecho incide en el intervalo de tiempo tomado en cuenta para la realización de los monitoreos, ya que la inconsistencia de los datos proporcionados, incrementan la incertidumbre y la confiabilidad de los datos, los cuales pueden representar variaciones con el transcurso de los años.

### **2.4.1.3. Parámetros a medir**

#### **2.4.1.3.1. Monitoreos de control**

Los parámetros seleccionados para los monitoreos de control realizados, están de acuerdo a lo establecido al marco legal correspondiente para cada central hidroeléctrica.

De acuerdo a los parámetros establecidos por el laboratorio certificado de la EPMAPS, los monitoreos de control cuentan con los datos demostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 4: Parámetros establecidos por L3C**

| Parámetro                      | Ensayo                        | Método de Análisis    |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| FISICO- QUÍMICOS               | Color                         | SM/2120 C             |
|                                | Turbiedad                     | SM 2130 B             |
|                                | ph                            | SM/4500 - H+B         |
|                                | Temperatura                   | SM/2550 B             |
|                                | Solidos Totales Disueltos     | SM/2540 C             |
|                                | Cianuros                      | SM/4500-CN-E          |
|                                | Cloruros                      | SM/4110-Cl-B          |
|                                | Dureza Total                  | SM/2340 C             |
|                                | Fluoruros                     | SM/4110-Cl-B          |
|                                | Nitratos                      | SM/4110-NO3-B         |
|                                | Nitritos                      | Prueba colirimétrica  |
|                                | Sulfatos                      | SM/4110-SO4-E         |
|                                | Demanda Bioquímica de Oxígeno | SM/5210 B             |
|                                | Oxígeno Disuelto              | SM/4500-O G           |
|                                | Fenoles                       | SM/5530 D             |
|                                | Grasas y Aceites              | SM/5520 C             |
| PLAGUICIDAS<br>ORGANOCOLORADOS | a-Hexaclorociclohexano        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | hexaclorociclobenceno         | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | B-Hexaclorociclohexano        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Lindano                       | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | O-Hexaclorociclohexano        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Heptaclor                     | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | cis-heptacloropexido          | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Trans-Heptacloropexido        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | trans-clordano                | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Cis-Clordano                  | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Clordano                      | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | PP-DDE                        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | PP-DDD                        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | PP-DDT                        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | DDT y metabolitos             | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Aldrín                        | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Dieldrín                      | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Aldrín y Dieldrín             | EPA 8081 A MODIFICADO |
|                                | Endrín                        | EPA 8081 A MODIFICADO |

**Tabla 4: Parámetros establecidos por L3C (Continuación)**

| Parámetro                                   | Ensayo             | Método de Análisis     |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| PLAGUICIDAS<br>ORGANOFOSFORADOS             | Acefato            | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Cloropyrifos       | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Diazinón           | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Dimethoate         | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Etil-paratión      | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Malatión           | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Metamidofofos      | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Monocrotofos       | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Profenofos         | EPA 8141 A MODIFICADO  |
|                                             | Triclorfon         | EPA 8141 A MODIFICADO  |
| HIDROCARBUROS<br>AROMATICOS<br>POLICICLICOS | Benzo(a)Pireno     | EPA 550. 17MET 5.4.5.9 |
| HIDROCARBUROS<br>AROMATICOS                 | Benceno            | EPA 601 MODIFICADO     |
|                                             | Tolueno            | EPA 601 MODIFICADO     |
|                                             | Xileno             | EPA 601 MODIFICADO     |
|                                             | Etilbenceno        | EPA 601 MODIFICADO     |
|                                             | Estireno           | EPA 601 MODIFICADO     |
| BENCENOS CLORADOS                           | 1,2 diclorobenceno | EPA 601 MODIFICADO     |
|                                             | 1,4 diclorobenceno | EPA 601 MODIFICADO     |
| METALES                                     | Aluminio           | SM 3111 D              |
|                                             | Arsénico           | SM 3114 C/Met 5.4.5.1  |
|                                             | Bario              | SM 3111 D              |
|                                             | Cadmio             | SM 3111 B              |
|                                             | Cobre              | SM 3111 B/Met 5.4.5.5  |
|                                             | Cromo Total        | SM 3111 B              |
|                                             | Hierro Total       | SM 3111 B/Met 5.4.5.2  |
|                                             | Manganeso Total    | SM 3111 B/Met 5.4.5.3  |
|                                             | Mercurio           | SM 3112 B              |
|                                             | Plata              | SM 3111 B/Met 5.4.5.4  |
|                                             | Plomo              | SM 3113 B              |
|                                             | Selenio            | SM 3114 C              |
|                                             | Sodio              | SM 3111 B              |
|                                             | Zinc               | SM 3111 B/Met 5.4.5.8  |
| MICROBIOLÓGICOS                             | Coliformes Totales | SM/9223 B              |
|                                             | Escherichia Coli   | SM/9223 B              |

Fuente: Comunicado personal Dr. Edgar Pazmiño; L3C EPMAPS

#### 2.4.1.3.2. Monitoreos periódicos

Los parámetros analizados durante los monitoreos periódicos, han sido seleccionados dependiendo de su grado de variabilidad en los monitoreos de control, se ha establecido como cambio significativo la variación de +/- el 10% del valor inicial.

#### 2.4.1.4. Toma de muestras

El muestreo realizado para el proyecto de fin de carrera *Influencia del proceso de turbinación del agua cruda en las Centrales Hidroeléctricas Recuperadora y El Carmen de la EPMAPS, en los parámetros de calidad de agua*, sigue el protocolo establecido por el L3C de la EPMAPS, el cual se encuentra en el Anexo 1 del presente documento.

Para la obtención de datos físico-químicos in situ de temperatura, OD, conductividad eléctrica y pH se utilizó el equipo *Multiparámetro HQ40d*, marca: *Hatch*, serie No. 1108000587456, perteneciente a la Universidad Internacional SEK, el cual cuenta con calibración verificada de acuerdo a los procedimientos de calibración de la fábrica Hach, el día 17 de junio de 2013. El equipo cumplió con la verificación de resultados conforme los estándares del Laboratorio L3C de la EPMAPS, el día 20 de Junio de 2013.

La toma de muestras realizada tomo en cuenta los datos proporcionados por los operadores de las centrales hidroeléctricas, los cuales explicaron que las condiciones de precipitación, caudal y temperatura cambian con el transcurso del día. Por lo que la toma de muestra siguió la frecuencia de muestreo determinada en la *tabla 5*.

**Tabla 5: Frecuencia de muestreo**

| Cantidad de muestras | Hora  | Parámetros IN SITU | Parámetros LABORATORIO |
|----------------------|-------|--------------------|------------------------|
| 1                    | 10:00 | pH, OD,            | TDS, Turbidez,         |
| 1                    | 11:00 | Conductividad,     | Fenoles, Hierro        |
| 1                    | 12:00 | Temperatura.       | Total                  |

Para la determinación de fenoles y hierro total en las muestras tomadas periódicamente en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora se siguió la metodología establecida por el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2012)*.

## 2.5. Selección de instrumentos de investigación

**Observación:** Se observó el área de influencia del proceso de turbinación.

**Entrevistas:** Han sido utilizadas para determinar si con el transcurso del tiempo, los operarios permanentes de las centrales hidroeléctricas han observado alguna irregularidad en el agua, tras el proceso de turbinación.

**Experimentación:** Se realizó el análisis en laboratorio del recurso hídrico, con el fin de determinar las características químicas y biológicas, mantenidas o modificadas en el proceso de turbinación.

## 2.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos

La experimentación ha sido realizada en un laboratorio certificado, que cumple con las normas ISO 17025 e ISO 9000, ver Anexo 2.

Se evaluó la confiabilidad de las entrevistas, conociendo el tiempo de trabajo en las centrales hidroeléctricas del operario.

Análisis estadístico con significancia y confiabilidad estadística.

## **2.7. Procesamiento de datos**

Los análisis de laboratorio han sido realizados en el laboratorio L3C de la EPMAPS.

Las entrevistas han sido procesadas en MSOFFICE versión 2010 : Microsoft Word

La comparación de los resultados se ha realizado mediante MSOFFICE versión 2010 :

Microsoft Excel.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS**

El estudio fue realizado en tres fases, en primer lugar, se realizó el levantamiento de datos para obtener la información necesaria de las dos centrales hidroeléctricas analizadas en cuanto a situación geográfica, condiciones hidrometeorológicas y captaciones de los sistemas. En segundo lugar, los monitoreos realizados en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora han sido indispensables para la determinación de los parámetros susceptibles a ser utilizados en los monitoreos periódicos, correspondientes a la tercera fase de estudio.

#### **3.1. Levantamiento de datos**

##### **3.1.1. Sistema Papallacta**

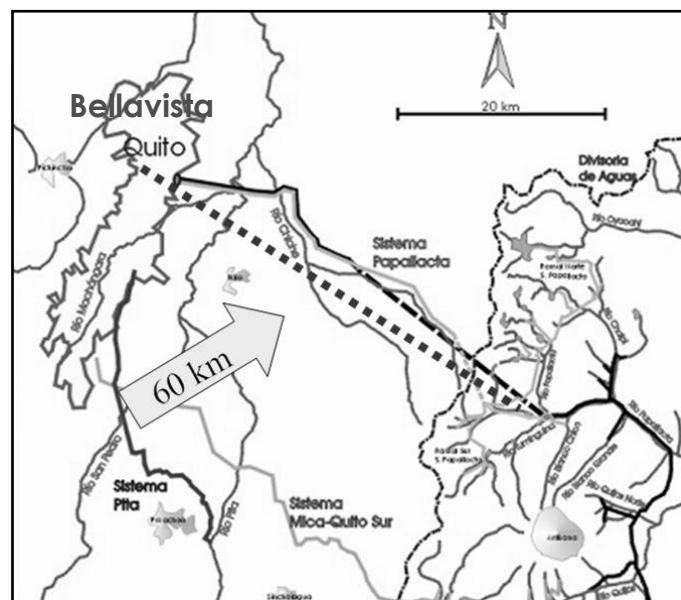
El Sistema Integrado de Agua Potable Papallacta, Generación y Subtransmisión Eléctrica “Papallacta – Santa Rosa”, se encuentra ubicado al nor-orienté de Quito e involucra las provincias de Napo y Pichincha (Ilustración 3). El sistema inicia en la parte alta del Parque Nacional Cayambe-Coca, donde se encuentra la mayor captación de agua por gravedad, y el sistema de bombeo Papallacta situado en la población del mismo nombre, como lo muestra la Ilustración 4, la conducción del agua se realiza por tubería que llega a la planta de tratamiento de agua potable Bellavista, también aporta a las plantas Paluguillo y Calluma ubicada en el DMQ, en el sector de Paluguillo se ha instalado una central hidroeléctrica, con las líneas de transmisión Papallacta – Santa Rosa (Armijos, 2012).



**Ilustración 3: Ubicación geográfica Papallacta**



**Ilustración 4: Conducción Papallacta - Bellavista (Mejía, 2006)**



El sistema integrado Papallacta cuenta con dos fases: su primera fase fue concluida en el año 1990 con la finalidad de suministrar agua a la ciudad de Quito desde la parroquia Papallacta, del cantón Quijos en la provincia de Napo, este sistema incluye un sistema de bombeo para superar las cumbres de la cordillera Central y una central de generación de energía eléctrica en su vertiente occidental para recuperar la energía potencial remanente; por su lado, la

segunda fase, concluida en 1998, consiste en nuevas captaciones de agua en la misma zona para abastecer por gravedad, lo que se ha denominado Optimización Papallacta (Jiménez, 2013). A las dos fases que son complementarias se le denomina Sistema Integrado Papallacta, sus caudales se suman y se manejan de acuerdo a las disponibilidades de uno u otro, dando prioridad lógicamente al abastecimiento por gravedad (Mejía L. , 2006). De acuerdo a la información recopilada en la visita al lugar, el agua proveniente de las captaciones asciende mediante un sistema de bombeo a una altura de 3725 m.s.n.m. donde se ubica el ingreso al Túnel Quito, el cual atraviesa la Cordillera Real para finalmente ser enviada por gravedad hacia la Central Hidroeléctrica Recuperadora para posteriormente ser enviada a la ciudad de Quito.

#### **3.1.1.1. Captaciones del sistema Papallacta**

Las captaciones de los recursos hídricos del Sistema Papallacta se encuentran ubicadas en la provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Papallacta, en la Cordillera Real. Abarca los páramos altos de Guamaní, Papallacta, Chalpi y Oyacachi, dentro de los límites de la Reserva Ecológica Cayambe - Coca. La cuenca de aprovechamiento de los recursos hídricos es la correspondiente al río Coca, que pertenece a la vertiente oriental y algunos afluentes del río Coca, como son los ríos Oyacachi, Papallacta y Chalpi (Mejía L. , 2006).

Las dos fases correspondientes al Sistema Integrado Papallacta cuentan con diez captaciones, la primera fase cuenta con las captaciones: Papallacta, Tuminguina, Blanco Chico, Sucus y San Juan; mientras que el sistema de Optimización Papallacta (segunda fase) consiste en la captación y regulación integral de los caudales de las fuentes del río Cunuyacu (Embalse Salve Faccha), quebrada y laguna Guambicocha, río Mogotes (Laguna Mogotes), río Chalpi, río Quillugsha y quebrada-laguna Guaytaloma.

Las captaciones confluyen en un sistema de bombeo para superar las cumbres de la cordillera Central y llegar finalmente al Túnel Quito, desde donde se aprovecha la gravedad para aumentar la velocidad de flujo y aprovechar este factor finalmente en la Central Hidroeléctrica Recuperadora.

**Ilustración 5: Sistema de bombeo**



### **3.1.1.2. Central Hidroeléctrica Recuperadora**

La Central Hidroeléctrica Recuperadora se halla a 3110 msnm, aguas abajo de la salida del Túnel Quito en la provincia de Pichincha, Sector Paluguillo (Becerra, 2012). El túnel Quito tiene una longitud de 6.1 kilómetros con un diámetro de 3.35 metros. A partir de la salida del Túnel Quito, de acuerdo a Mejía (2006) el agua fluye a través de una tubería de 48 pulgadas enterrada, con una longitud de 6 kilómetros y un desnivel de 607 metros hasta la Central Recuperadora, que tiene una potencia de 14.7 Megavatios.

Según este mismo estudio, la instalación de la Central Hidroeléctrica Recuperadora cumple con dos funciones importantes:

El uso eficiente de la energía disponible, al aprovechar el desnivel 607 metros entre la Central y la salida del túnel Quito, que constituye la energía potencia remanente que no es

necesaria para llegar con el agua a la estación Bellavista. Con esta central hidroeléctrica, se recupera en parte la energía gastada en el bombeo, de ahí la razón de su nombre.

También sirve de reductora de presión en la línea de conducción. Después del proceso de generación eléctrica la presión del agua está reducida y es igual a la presión atmosférica cuando se restituye el agua a la pileta de descarga, que es la salida de la línea de conducción desde la central para llegar a la Estación de Bellavista. En el caso de no generar energía eléctrica, se hace necesario reducir la presión del agua causada por el desnivel, para lo cual se utiliza un circuito alternativo, a través de la válvula reductora de presión tipo polyjet.

La central cuenta con una turbina tipo Pelton y un generador eléctrico de 6.6. KV. El agua después de su paso por la turbina, es recolectada en la pileta de descarga o reservorio de salida donde es captada para ingresar en el último tramo de la conducción hacia las piletas de la Planta de Tratamiento Bellavista, en Quito.

**Ilustración 6: Generador Eléctrico Recuperadora**



Ilustración 7: Reservorio de Salida Recuperadora



### 3.1.1.3.Marco legal aplicable

Para llevar a cabo el presente estudio, es indispensable conocer las normas jurídicas que rigen en el sector en cuanto al recurso agua, para así facilitar la selección de parámetros a medir.

La central hidroeléctrica Recuperadora, ubicada en la provincia de Pichincha, se encuentra dentro de los límites establecidos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), razón por la cual sigue las disposiciones establecidas en la Ordenanza Municipal 0404, la cual destina a la Norma técnica 0002-DMA-2008, como regidora de las actividades industriales realizadas dentro del DMQ. Dentro de la cual, como lo indica la *Tabla 3* el Anexo A establece los límites máximos permisibles para cuerpo receptor, tabla expuesta en el Anexo 3 del presente documento.

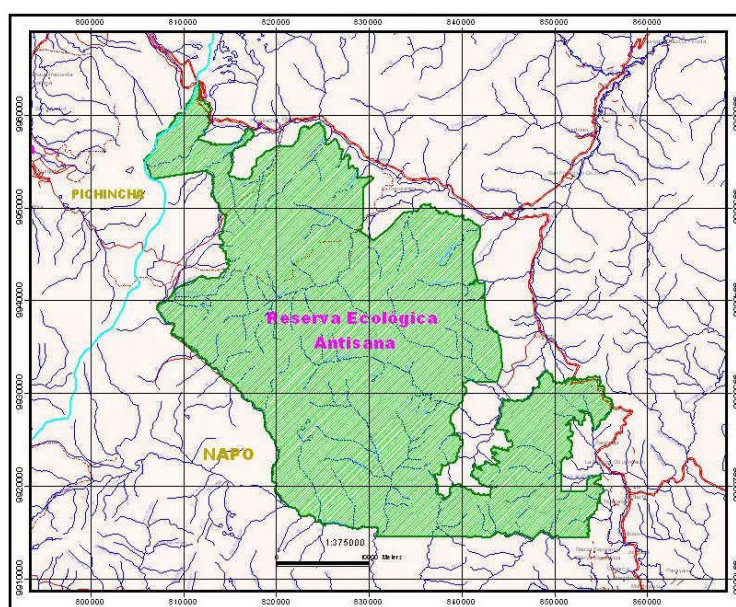


### 3.1.2. Sistema La Mica

El Sistema La Mica desarrollado en los cantones Quito y Rumiñahui, entró en operación en el año 2000, con el objetivo de suministrar agua al sector Sur de la ciudad de Quito (Mejía L. , 2006). La central de generación eléctrica El Carmen se instaló con el fin de aprovechar la disponibilidad de energía potencial remanente, entre la posición de las captaciones y la Planta de tratamiento del Troje en Quito más las pérdidas de conducción (Huaica, 2013).

El proyecto la Mica está ubicado en su totalidad en la Cordillera Real, y sus captaciones pertenecen a la subcuenca Antisana de la cuenca alta del Napo, perteneciente a la vertiente amazónica; se halla al interior de la Reserva Ecológica Antisana (REA).

**Ilustración 8: Reserva Ecológica Antisana (Fuentes, 2004)**



De acuerdo a COSTECAM CIA. LTDA (2006), el sistema hidrográfico La Mica se ubica aproximadamente a 45 km al sureste de la ciudad de Quito, en la provincia de Napo cantón Archidona; la extensión de la cuenca es de 138,44 km<sup>2</sup> de los cuales 47.35 km<sup>2</sup> están dentro de la Reserva Ecológica Antisana (REA), el sistema está dominado por el Volcán Antisana (5758 m.s.n.m.) y la Laguna Micacocha.

### 3.1.2.1. Captaciones del sistema La Mica

El Sistema La Mica incluye la Presa del mismo nombre y las captaciones secundarias de las aguas de los ríos Jatunhuayco, Antisana y Diguche; el embalse es el principal componente del sistema ya que cuenta con el mayor volumen de agua requerido para satisfacer la demanda de la ciudad de Quito (*Tabla 6*), se encuentra ubicada al lado suroccidental del nevado Antisana, las condiciones geomorfológicas de la zona han permitido la construcción de un dique que permite incrementar el volumen natural de la laguna (Huaica, 2013).

La cuenca aportante del sistema de la laguna La Mica involucra un área de 26,8 km<sup>2</sup>, recorre desde la divisoria noreste hasta la divisoria suroeste transversalmente una distancia de 10,45 km. La cuenca tiene un sentido de flujo este - oeste con una distancia del cuerpo principal de 18,16 km., lo que le significa una pendiente longitudinal del 3% (Mejía L. , 2006).

**Tabla 6: Embalse La Mica (Mejía, 2006)**

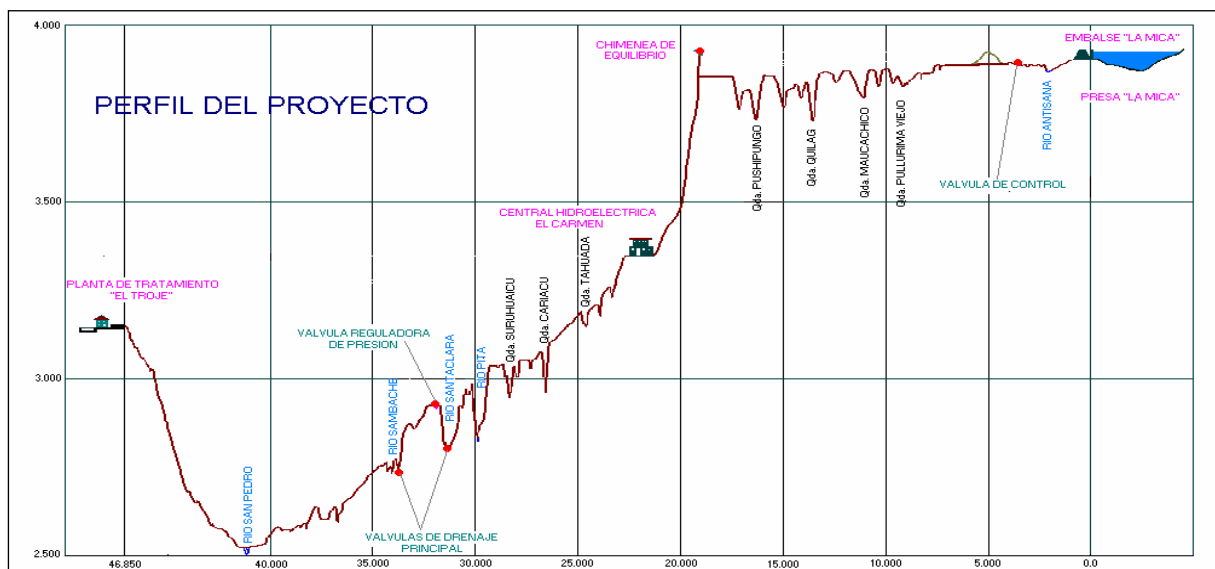
| DATOS TECNICOS                 |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| Volumen Total                  | 52'000000 m <sup>3</sup> |
| Volumen Útil                   | 23'500000 m <sup>3</sup> |
| Longitud de la presa           | 780 m                    |
| Altura máxima de la presa      | 15,2 m                   |
| Ancho de la corona de la presa | 6 m                      |

Las captaciones secundarias según Huaica (2013), aportan bajos volúmenes al sistema debido a que las instalaciones no captan todo el caudal de los ríos, con la finalidad de causar la menor cantidad de impactos negativos aguas abajo.

### 3.1.2.2. Central Hidroeléctrica El Carmen

En el Proyecto La Mica se instaló la central hidroeléctrica El Carmen a fin de aprovechar un desnivel de 611 m desde la presa, para obtener una potencia máxima de 9,4 megavatios con un caudal nominal de 1,70 m<sup>3</sup>/s. La tubería de conducción del agua tiene una capacidad máxima de 2,00 m<sup>3</sup>/s (Mejía L. , 2006).

**Ilustración 9: Perfil del Sistema La Mica - Quito Sur (Huaica, 2013)**



Según la entrevista realizada al Ing. Franklin Huaica, el acueducto del sistema tiene una longitud total de 54 km. incluido los ramales secundarios; el acueducto está construido por tubería de acero enterrada en una zanja y su diámetro predominante es de 36 pulgadas. Instalada en la línea de conducción se encuentra la Central Hidroeléctrica El Carmen.



**Ilustración 10: Acueducto Sistema Las Mica**

La central hidroeléctrica El Carmen cuenta con una turbina Pelton con una potencia máxima de 9,4 KW y un generador eléctrico. El agua después de su paso por la turbina, es recolectada en un reservorio de salida donde es captada para ingresar a la Planta de Tratamiento El Troje.

**Ilustración 11: Turbina y generador eléctrico La Mica**

**Ilustración 12: Reservorio de salida Sistema La Mica**



### **3.1.2.3.Marco legal aplicable**

Para llevar a cabo el presente estudio, es indispensable conocer las normas jurídicas que rigen en el sector en cuanto al recurso agua, para así facilitar la selección de parámetros a medir. La Central Hidroeléctrica El Carmen al estar ubicada en la subcuenca alta de la provincia de Napo, sigue las disposiciones establecidas en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). El Anexo 4, representa a la *Tabla 4* del Anexo 1 el Libro VI De la Calidad Ambiental, la cual presenta los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

El sistema La Mica cuenta con una serie de captaciones las cuales direccionan el agua hacia la Central Hidroeléctrica El Carmen, previa a la potabilización del agua para la ciudad de Quito, cada una de las captaciones del sistema cuenta con un tratamiento convencional de sedimentadores y filtros con la finalidad de eliminar las partículas de gran tamaño que pueden afectar el funcionamiento de las turbinas.

## 3.2. Presentación y análisis de resultados

### 3.2.1. Monitoreos de control

Los monitoreos llevados a cabo entre los meses de mayo y agosto del 2013, fueron la base para la realización de los análisis periódicos en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora.

En primer lugar, la central hidroeléctrica Recuperadora perteneciente al sistema Papallacta, reflejó los datos representados en la Tabla 7. El monitoreo realizado la tercera semana de mayo, se realizó bajo condiciones de temperatura ambiente de 18,1°C y altas precipitaciones. Mientras que el monitoreo realizado en el mes de Julio contó con temperatura ambiente de 19,2°C y precipitación baja.

En cuanto al monitoreo de control tomado en el mes de mayo, el OD ha mostrado valores no confiables al no ser un tomado in situ.

**Tabla 7: Resultados monitoreos de control Central Hidroeléctrica Recuperadora**

| CENTRAL: RECUPERADORA |                               |            | 17/05/2013 |        | 20/07/2013 |        |
|-----------------------|-------------------------------|------------|------------|--------|------------|--------|
| PARÁMETROS            |                               | UNIDA<br>D | ENTRADA    | SALIDA | ENTRADA    | SALIDA |
| FISICO-<br>QUÍMICOS   | pH                            |            | 7,57       | 7,58   | 7,59       | 7,68   |
|                       | CONDUCTIVIDAD                 | uS/cm      | 87,9       | 83,6   | 99,6       | 100,2  |
|                       | TURBIEDAD                     | NTU        | 4,55       | 4,23   | 2,88       | 3,01   |
|                       | COLOR                         | Pt/Co      | 30         | 30     | 10         | 15     |
|                       | TEMPERATURA                   | °C.        | 15,6       | 14,9   | 12,3       | 10,9   |
|                       | SOLIDOS TOTALES<br>DISUELTOS  | mg/l       | 44         | 42     | 50         | 50     |
|                       | DEMANDA QUÍMICA DE<br>OXÍGENO | mg/l       | 0,05       | 0,07   | 0,09       | 0,11   |
|                       | SULFATOS                      | mg/l       | 4,147      | 4,21   | 4,440      | 4,516  |
|                       | FLORUROS                      | mg/l       | 0,154      | 0,156  | 0,150      | 0,163  |
|                       | CLORUROS                      | mg/l       | 3,045      | 2,99   | 3.836      | 3.533  |
|                       | CIANUROS                      | mg/l       | <0,001     | <0,001 | <0,001     | <0,001 |
|                       | OXIGENO DISUELTO              | mg/l       | 6,95       | 7,16   | 6,89       | 8,24   |
|                       | FENOLES                       | mg/l       | 0,056      | 0,054  | 0,086      | 0,114  |
|                       | ACEITES Y GRASAS              | mg/l       | 0,074      | 0,076  | 0.172      | 0.334  |

**Tabla 7: Resultados monitoreos de control Central Hidroeléctrica Recuperadora (Continuación)**

| PARÁMETROS                          |                                       | UNIDAD | ENTRADA  | SALIDA   | ENTRADA  | SALIDA   |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| PLAGUICIDAS<br>ORGANOCOLORADOS      | A-<br>HEXACLOROCICLOHEXANO            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | HEXACLOROCICLOBENCENO                 | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | B-<br>HEXACLOROCICLOHEXANO            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | LINDANO                               | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | O-<br>HEXACLOROCICLOHEXANO            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | HEPTACLOR                             | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | CIS-HEPTACLOROPEXIDO                  | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | TRANS-HEPTACLOROPEXIDO                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | TRANS-CLORDANO                        | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | CIS-CLORDANO                          | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | CLORDANO                              | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | PP-DDE                                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | PP-DDD                                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | PP-DDT                                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | DDT Y METABOLITOS                     | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | ALDRÍN                                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | DIELDRÍN                              | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | ALDRÍN Y DIELDRÍN                     | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | ENDRÍN                                | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
| PLAGUICIDAS<br>ORGANOFOSFORAD<br>OS | ACEFATO                               | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | CLOROPYRIFOS                          | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | DIAZINÓN                              | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | DIMETHOATE                            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | ETIL-PARATIÓN                         | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | MALATIÓN                              | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | METAMIDOFOS                           | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | MONOCROTOFOS                          | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | PROFENOFOS                            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                     | TRICLORFON                            | ug/l   | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
| HAPs - VOCs                         | Hidrocarburos aromáticos policíclicos |        |          |          |          |          |
|                                     | BENZO(A)PIRENO                        | ug/l   | <0,030   | <0,030   | <0,030   | <0,030   |
|                                     | Hidrocarburos aromáticos              |        |          |          |          |          |
|                                     | BENCENO                               | ug/l   | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                     | TOLUENO                               | ug/l   | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                     | XILENO                                | ug/l   | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                     | ETILBENCENO                           | ug/l   | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                     | ESTIRENO                              | ug/l   | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |

**Tabla 7: Resultados monitoreos de control Central Hidroeléctrica Recuperadora (Continuación)**

| PARÁMETROS      |                    | UNIDAD    | ENTRADA | SALIDA | ENTRADA | SALIDA |
|-----------------|--------------------|-----------|---------|--------|---------|--------|
| METALES         | ALUMINIO           | mg/l      | 0,12    | 0,12   | 0,23    | 0,18   |
|                 | ARSÉNICO           | mg/l      | 0,005   | 0,005  | 0,013   | 0,007  |
|                 | BARIO              | mg/l      | <0,02   | <0,02  | <0,02   | <0,02  |
|                 | CADMIO             | mg/l      | <0,002  | <0,002 | <0,002  | <0,002 |
|                 | COBRE              | mg/l      | <0,010  | <0,010 | <0,010  | <0,010 |
|                 | CROMO TOTAL        | mg/l      | <0,006  | <0,006 | <0,006  | <0,006 |
|                 | HIERRO TOTAL       | mg/l      | 0,558   | 0,561  | 0,612   | 0,59   |
|                 | MANGANESO TOTAL    | mg/l      | 0,3     | 0,3    | 0,042   | 0,032  |
|                 | MERCURIO           | mg/l      | <0,001  | <0,001 | <0,001  | <0,001 |
|                 | PLATA              | mg/l      | <0,010  | <0,010 | <0,010  | <0,010 |
|                 | PLOMO              | mg/l      | <0,005  | <0,005 | <0,005  | <0,005 |
|                 | SELENIO            | mg/l      | <0,001  | <0,001 | <0,001  | <0,001 |
|                 | SODIO              | mg/l      | 2,758   | 2,78   | 2,802   | 2,809  |
|                 | ZINC               | mg/l      | <0,026  | <0,026 | 0,028   | <0,026 |
| MICROBIOLÓGICOS | COLIFORMES TOTALES | NMP/100ml | 547,5   | 727,0  | 561,3   | 635,9  |
|                 | ESCHERICHIA COLI   | NMP/100ml | 2,0     | 2,0    | 2,0     | <1,1   |

Por su parte, los monitoreos de control realizados en la Central Hidroeléctrica El Carmen, representados en la Tabla 8, muestran cambios significativos para el mes de mayo principalmente en hierro total y coliformes fecales.

Es importante mencionar en este acápite, las condiciones en las que fue realizado el monitoreo, ya que los cambios detectados durante los análisis pueden estar influenciados por dichas condiciones, en este caso el monitoreo ha sido realizado posterior al mantenimiento de las turbinas de generación eléctrica, durante una época de leve precipitación y temperatura ambiente de 15,6°C. La realización del monitoreo durante el mantenimiento de las turbinas, muestran que no existen compuestos contaminantes que se incorporen al recurso hídrico durante este proceso.

De igual manera, el monitoreo realizado durante el mantenimiento de la maquinaria la última semana del mes de Julio, con temperatura ambiente de 14,9 °C y alta precipitación, confirma los cambios detectados durante el primer monitoreo de control. En este caso detectamos variación de igual manera en el parámetro fenoles, hierro total y coliformes fecales.

Cabe destacar que el monitoreo planificado para el mes de Junio no fue posible debido a la interrupción de las captaciones del río Jatunhuayco y Diguche, pertenecientes al sistema.

**Tabla 8: Resultados monitoreo de control Central Hidroeléctrica El Carmen**

| <b>MONITOREOS DE CONTROL</b>         |                               |       |                   |               |                   |               |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| <b>CENTRAL: EL CARMEN</b>            |                               |       | <b>16/05/2013</b> |               | <b>25/07/2013</b> |               |
| <b>PARÁMETROS</b>                    | <b>UNIDAD</b>                 |       | <b>ENTRADA</b>    | <b>SALIDA</b> | <b>ENTRADA</b>    | <b>SALIDA</b> |
| <b>FISICO-QUÍMICOS</b>               | pH                            |       | 7,73              | 7,82          | 7,77              | 7,79          |
|                                      | CONDUCTIVIDAD                 | uS/cm | 102,12            | 102,45        | 198,8             | 196,3         |
|                                      | TURBIEDAD                     | NTU   | 8,08              | 1,8           | 7,99              | 9,84          |
|                                      | COLOR                         | Pt/Co | 25                | 15            | 20                | 15            |
|                                      | TEMPERATURA                   | °C.   | 17,9              | 19,7          | 13,2              | 10,2          |
|                                      | SOLIDOS TOTALES<br>DISUELTOS  | mg/l  | 110               | 122           | 105               | 106           |
|                                      | DEMANDA QUÍMICA DE<br>OXÍGENO | mg/l  | 0,5               | 1,65          | 2,8               | 3,95          |
|                                      | SULFATOS                      | mg/l  | 14,689            | 10,876        | 12,008            | 10,989        |
|                                      | FLORUROS                      | mg/l  | 0,551             | 0,22          | 0,452             | 0,45          |
|                                      | CLORUROS                      | mg/l  | 6,442             | 7,879         | 9,316             | 9,461         |
|                                      | CIANUROS                      | mg/l  | <0,001            | <0,001        | <0,001            | <0,001        |
|                                      | OXIGENO DISUELTO              | mg/l  | 7,38              | 7,38          | 5,59              | 7,72          |
|                                      | FENOLES                       | mg/l  | 0,054             | 0,056         | 0,068             | 0,083         |
|                                      | ACEITES Y GRASAS              | mg/l  | 0,118             | 0,100         | 0,060             | 0,045         |
| <b>PLAGUICIDAS<br/>ORGANOCORADOS</b> | A-HEXACLOROCICLOHEXANO        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | HEXACLOROCICLOBENCENO         | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | B-HEXACLOROCICLOHEXANO        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | LINDANO                       | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | O-HEXACLOROCICLOHEXANO        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | HEPTACLOR                     | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | CIS-HEPTACLOROPEXIDO          | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | TRANS-HEPTACLOROPEXIDO        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | TRANS-CLORDANO                | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | CIS-CLORDANO                  | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | CLORDANO                      | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | PP-DDE                        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | PP-DDD                        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | PP-DDT                        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | DDT Y METABOLITOS             | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | ALDRÍN                        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | DIELDRÍN                      | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | ALDRÍN Y DIELDRÍN             | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |
|                                      | ENDRÍN                        | ug/l  | <0,00200          | <0,00200      | <0,00200          | <0,00200      |

**Tabla 8: Resultados monitoreo de control Central Hidroeléctrica El Carmen (Continuación)**

| PARÁMETROS                              |                                       | UNIDAD    | ENTRADA  | SALIDA   | ENTRADA  | SALIDA   |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>PLAGUICIDAS<br/>ORGANOFOSFORADOS</b> | ACEFATO                               | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | CLOROPYRIFOS                          | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | DIAZINÓN                              | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | DIMETHOATE                            | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | ETIL-PARATIÓN                         | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | MALATIÓN                              | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | METAMIDOFOS                           | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | MONOCROTOFOS                          | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | PROFENOFOS                            | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
|                                         | TRICLORFON                            | ug/l      | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 | <0,00200 |
| <b>HAPs - VOCs</b>                      | Hidrocarburos aromáticos policíclicos |           |          |          |          |          |
|                                         | BENZO(A)PIRENO                        | ug/l      | <0,030   | <0,030   | <0,030   | <0,030   |
|                                         | Hidrocarburos aromáticos              |           |          |          |          |          |
|                                         | BENCENO                               | ug/l      | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                         | TOLUENO                               | ug/l      | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                         | XILENO                                | ug/l      | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                         | ETILBENCENO                           | ug/l      | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
|                                         | ESTIRENO                              | ug/l      | <0,100   | <0,100   | <0,100   | <0,100   |
| <b>METALES</b>                          | ALUMINIO                              | mg/l      | 0,3      | 0,07     | 0,49     | 0,46     |
|                                         | ARSÉNICO                              | mg/l      | <0,001   | <0,001   | <0,001   | <0,001   |
|                                         | BARIO                                 | mg/l      | <0,02    | <0,02    | <0,02    | <0,02    |
|                                         | CADMIO                                | mg/l      | <0,002   | <0,002   | <0,002   | <0,002   |
|                                         | COBRE                                 | mg/l      | <0,010   | <0,010   | <0,010   | <0,010   |
|                                         | CROMO TOTAL                           | mg/l      | 0,051    | 0,051    | 0,051    | 0,051    |
|                                         | HIERRO TOTAL                          | mg/l      | 0,432    | 0,203    | 0,393    | 0,236    |
|                                         | MANGANESO TOTAL                       | mg/l      | 0,051    | 0,051    | 0,051    | 0,051    |
|                                         | MERCURIO                              | mg/l      | <0,001   | <0,001   | <0,001   | <0,001   |
|                                         | PLATA                                 | mg/l      | <0,01    | <0,01    | <0,01    | <0,01    |
|                                         | PLOMO                                 | mg/l      | <0,005   | <0,005   | <0,005   | <0,005   |
|                                         | SELENIO                               | mg/l      | <0,001   | <0,001   | <0,001   | <0,001   |
|                                         | SODIO                                 | mg/l      | 16,908   | 15,793   | 14,678   | 13,991   |
|                                         | ZINC                                  | mg/l      | <0,026   | <0,026   | <0,026   | <0,026   |
| <b>MICROBIOLÓGICOS</b>                  | COLIFORMES TOTALES                    | NMP/100ml | 1299,7   | 1553,1   | 1002,4   | 1358,1   |
|                                         | ESCHERICHIA COLI                      | NMP/100ml | 2        | 2        | 2        | 2        |



Los monitoreos de control efectuados en las dos centrales hidroeléctricas de la EPMAPS, permitieron la elaboración de la Tabla 9, la cual indica los parámetros que han sufrido cambios significativos durante el proceso de turbinación; esta tabla fue utilizada para la realización de los monitoreos periódicos.

**Tabla 9: Tabla unificada de cambios significativos (Elaboración Propia)**

|            |              |                   | FISICO-QUÍMICOS |           |       |             |                           |                  |         | METALES      | MICRO BIOLÓGICOS   |
|------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|-------|-------------|---------------------------|------------------|---------|--------------|--------------------|
| FECHA      | CENTRAL      | PUNTO DE MUESTREO | CONDUCTIVIDAD   | TURBIEDAD | COLOR | TEMPERATURA | SOLIDOS TOTALES DISUELTOS | OXIGENO DISUELTO | FENOLES | Hierro Total | COLIFORMES TOTALES |
| UNIDADES   |              |                   | uS/cm           | NTU       | Pt/Co | °C.         | mg/l                      | mg/l             | mg/l    | mg/l         | NMP/100ml          |
| 16/05/2013 | EL CARMEN    | ENTRADA           | 2,12            | 8,08      | 25    | 17,9        | 110                       | 7,38             | 0,054   | 0,432        | 1299,7             |
|            |              | SALIDA            | 2,45            | 1,8       | 15    | 19,7        | 122                       | 7,38             | 0,056   | 0,203        | 1553,1             |
| 17/05/2013 | RECUPERADORA | ENTRADA           | 87,9            | 4,55      | 30    | 15,6        | 44                        | 6,95             | 0,056   | 0,558        | 547,5              |
|            |              | SALIDA            | 83,6            | 4,23      | 30    | 14,9        | 42                        | 7,16             | 0,054   | 0,561        | 727,0              |

Los monitoreos de control no han demostrado cambios significativos en la mayoría de los parámetros analizados, es por esta razón que además de tomar en cuenta los cambios representados por la turbinación del agua cruda, se han tomado en cuenta parámetros físico-químicos, y parámetros que pueden representar afectaciones a la maquinaria como el hierro total.

Es importante tomar en cuenta durante los monitoreos periódicos, a los parámetros físico-químicos que si bien no demostraron cambios significativos, han mostrado cambios mínimos y pueden ser los responsables de diferentes variaciones detectadas.



En cuanto al parámetro fenoles, es importante investigar la causa de su variación ya que de acuerdo al Libro VI, Anexo 1, Tabla 4 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), sobrepasa los valores establecidos. Durante el proceso de captación de agua pueden incorporarse compuestos fenólicos varios al recurso hídrico, ya sea por actividad humana o por procesos naturales de plantas ubicadas dentro del sistema, por lo que es importante realizar el monitoreo periódico con la finalidad de conocer si los valores registrados de fenoles tienen relación con el proceso de turbinación.

### 3.2.2. Monitoreos periódicos

#### 3.2.2.1. Central Hidroeléctrica Recuperadora

Referente a la Central Hidroeléctrica Recuperadora, las ilustraciones siguientes, determinan los cambios en cuanto a parámetros físico-químicos durante los meses de Junio, Julio y Agosto, siendo los más importantes el OD, la conductividad eléctrica y la turbidez del agua. Estos datos van acompañados de valores de temperatura, solidos disueltos y pH.

**Ilustración 13: Variación OD durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora**

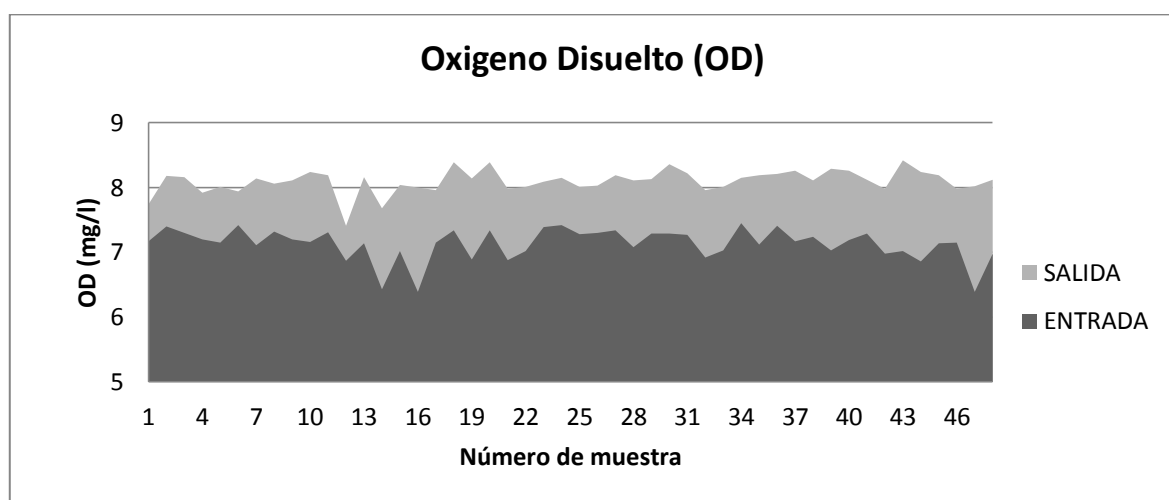


Ilustración 14: Variación de Conductividad Eléctrica durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora

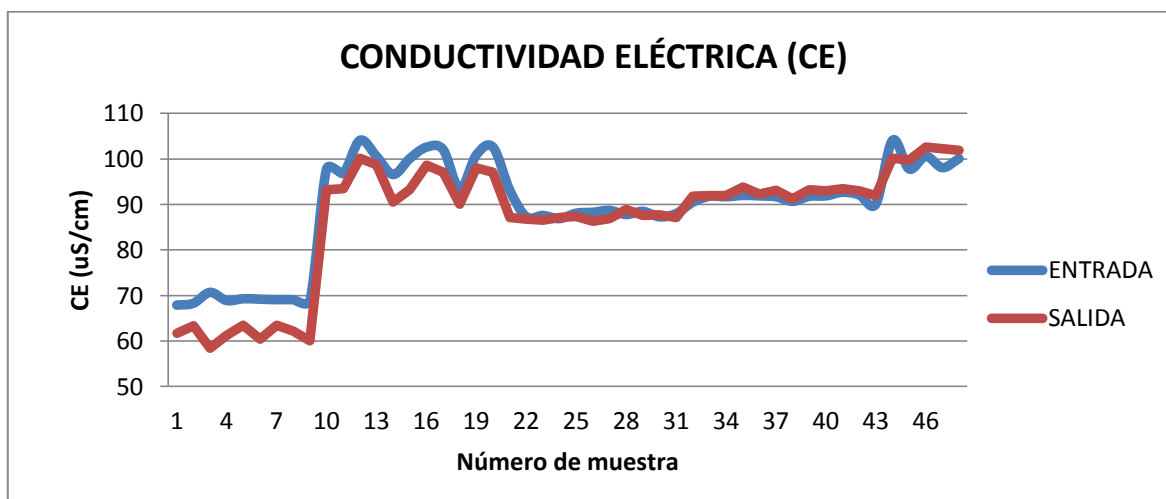
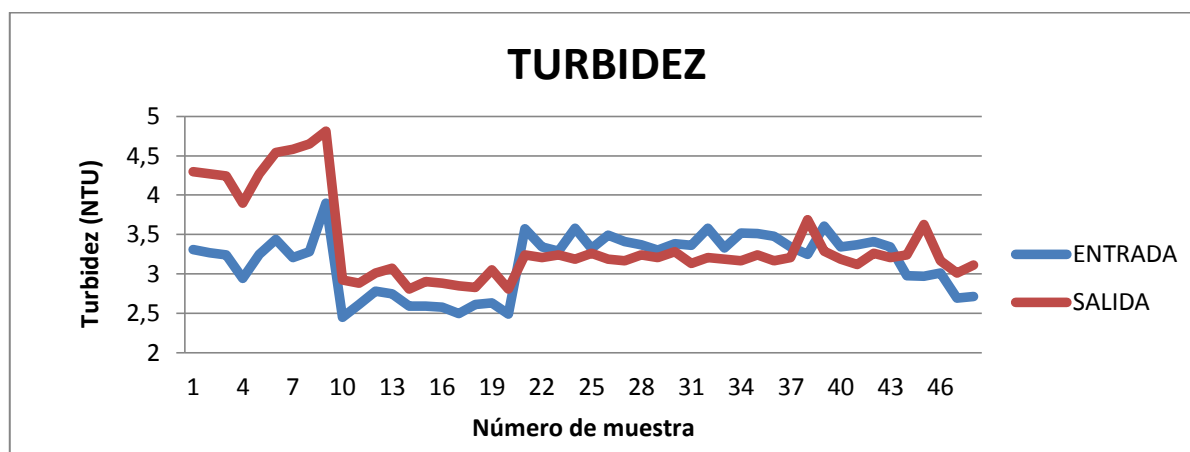


Ilustración 15: Variación de Turbidez durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora

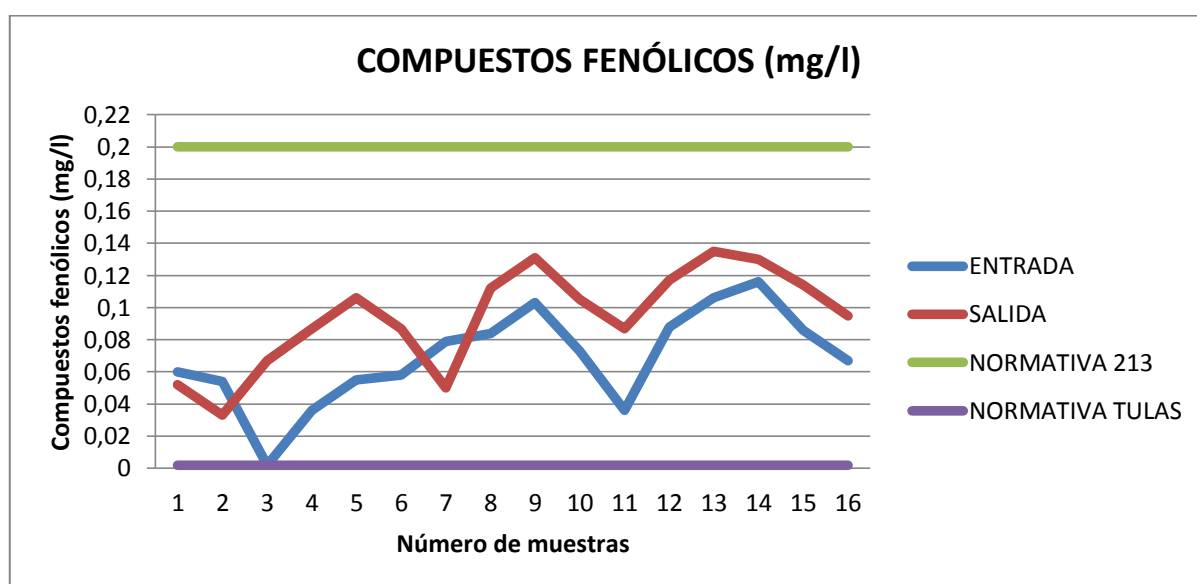


Además, de acuerdo a los monitoreos realizados la temperatura tiende a disminuir una vez que atraviesa la turbina, la temperatura varía entre los 10 y 13 grados centígrados a su entrada y alrededor de los 8 y 10 grados centígrados luego de la turbinación. Estas variaciones ocurren principalmente por haber sido tomadas en diferentes horas del día. El área donde se encuentra ubicada la central hidroeléctrica Recuperadora, demuestra cambios constantes en su clima durante el día.

Es necesario mencionar que la conductividad eléctrica está estrechamente vinculada con las sales disueltas totales del agua, valores que reiteran la consistencia de la CE durante todo el proceso, estos valores varían entre 46 y 51 mg/l en todas las muestras recolectadas.

En cuanto a parámetros químicos tomados en cuenta para los monitoreos periódicos, los compuestos fenólicos manifiestan una tendencia al aumento al momento de turbinar el agua, como se grafica en la Ilustración 16.

**Ilustración 16: Variación de concentración de compuestos fenólicos durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora**

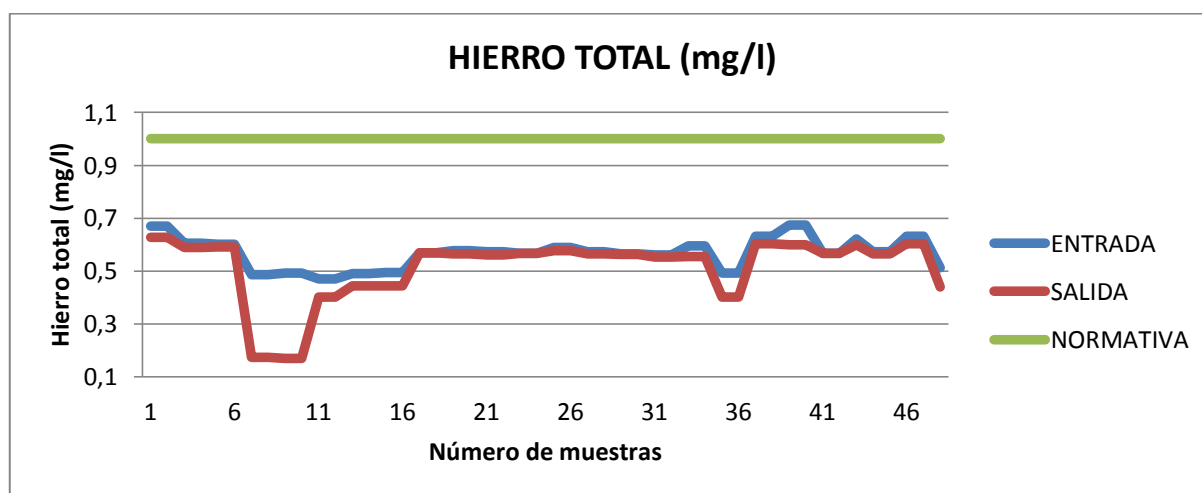


Los compuestos fenólicos fueron analizados tomando en cuenta varios factores como la normativa ambiental vigente y su variación significativa en los valores de entrada y salida.

A pesar de no encontrar mayor variación de hierro total en la entrada y salida de la central hidroeléctrica Recuperadora en el primer monitoreo de control, la bibliografía ha demostrado que parámetros como el hierro puede representar daños en la maquinaria utilizada en el proceso de turbinación, razón por la cual el hierro total ha sido uno de los principales objetivos de análisis, junto a los parámetros físico-químicos.

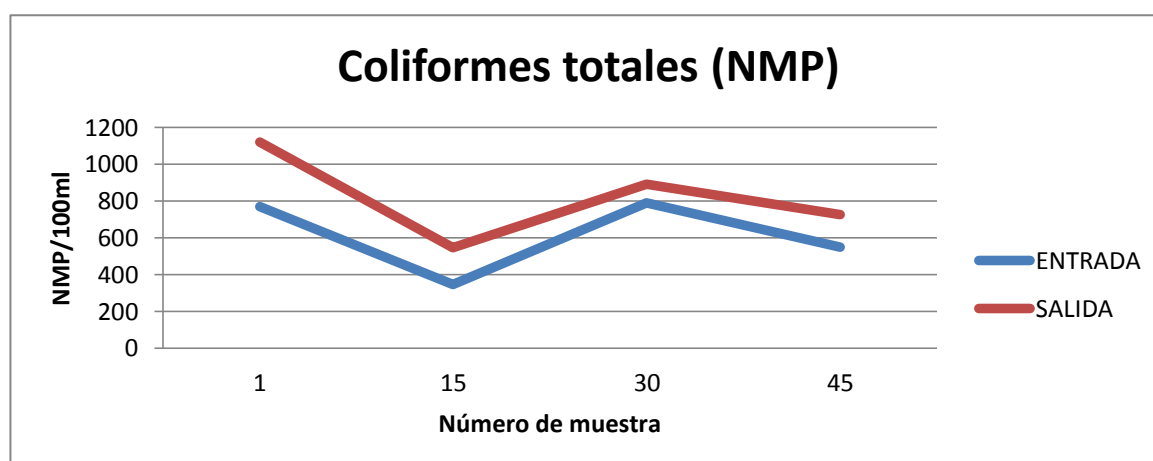
Las variaciones de concentración de hierro expuestas en la en la Ilustración 17, representan al hierro total detectado en el sistema.

**Ilustración 17: Variación de concentración de hierro total durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora**



Finalmente, los coliformes totales demostrados en la Ilustración 18, son los que mayor cambio mostraron durante los monitoreos de control, por lo cual se realizó su análisis durante los monitoreos periódicos. El número de muestras tomado en cuanto a coliformes totales fue escaso debido a la necesidad de reactivos y materiales abundantes para su análisis.

**Ilustración 18: Variación de concentración de coliformes totales durante los meses de Junio, Julio y Agosto en Central Hidroeléctrica Recuperadora**



### 3.2.2.2. Central Hidroeléctrica El Carmen

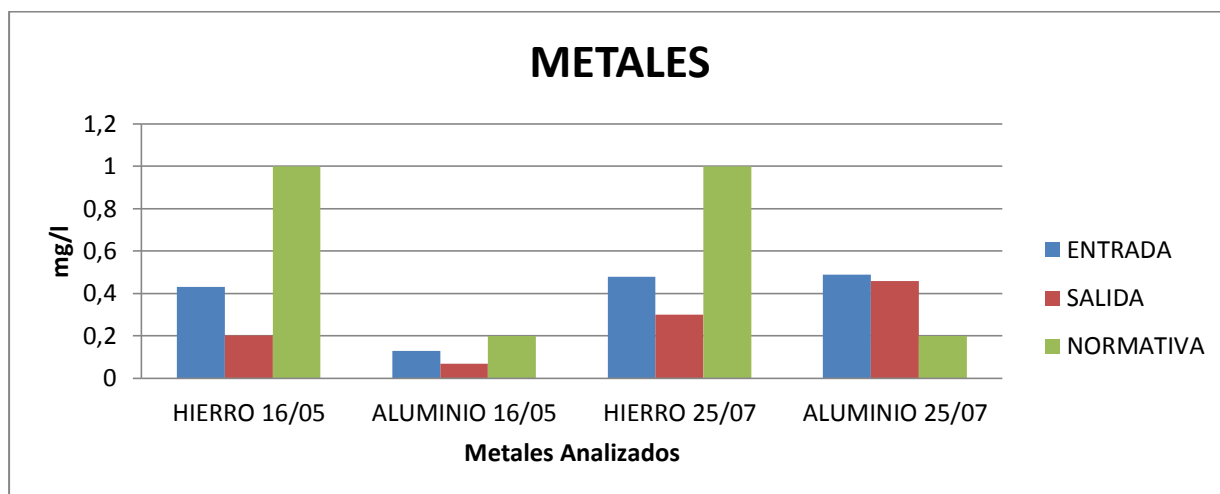
En cuanto a la Central Hidroeléctrica El Carmen, la interrupción en el funcionamiento de las dos captaciones del sistema: Jatunhuayco y Diguche, no permitieron la realización de los monitoreos periódicos planificados. Sin embargo, se realizó el control de los mantenimientos que se llevan a cabo en la central una vez al mes. Los cambios revelados en la central El Carmen demuestran valores distintos a la Central Hidroeléctrica Recuperadora, como lo demuestra la *Tabla 10*.

**Tabla 10: Cambios Significativos en control de mantenimiento Central Hidroeléctrica El Carmen**

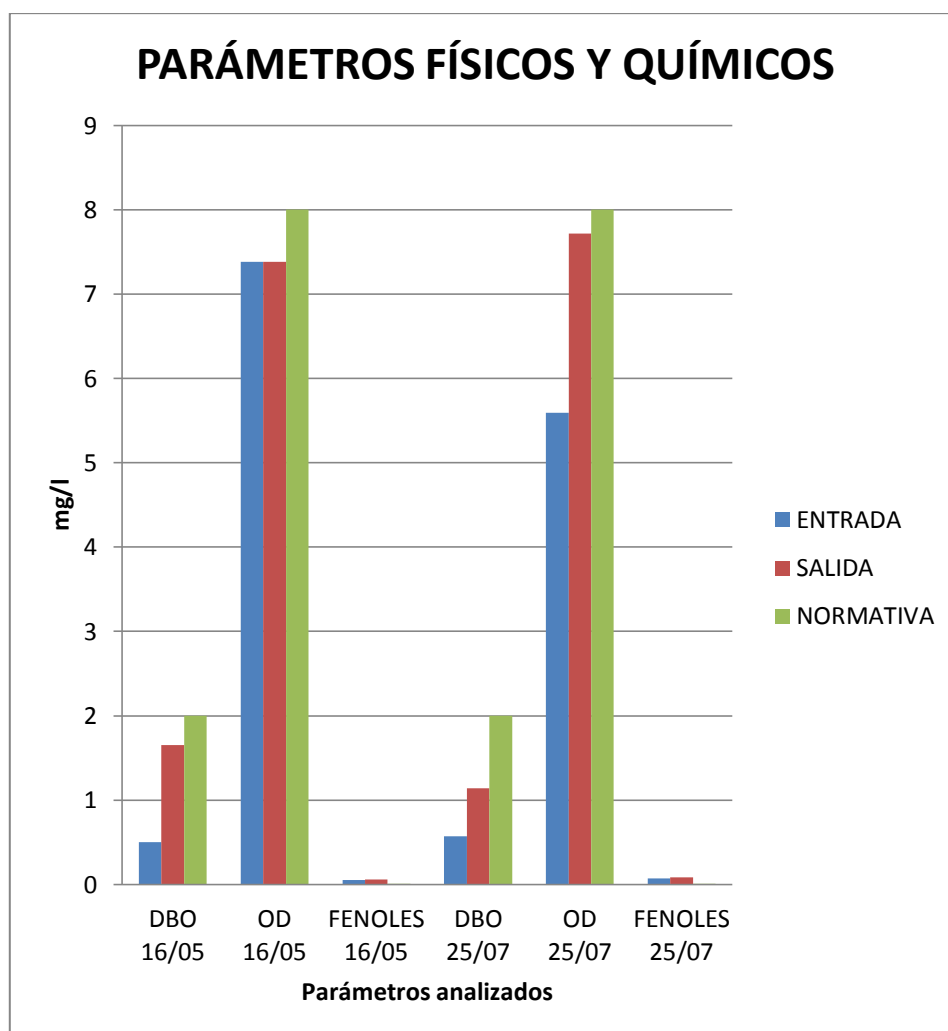
| PARÁMETRO       | FECHA<br>PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES  | 16/05/2013 |        | 25/07/2013 |        |
|-----------------|----------------------------|-----------|------------|--------|------------|--------|
|                 |                            |           | ENTRADA    | SALIDA | ENTRADA    | SALIDA |
| FISICO-QUÍMICOS | pH                         |           | 7,73       | 7,82   | 7,77       | 7,79   |
|                 | CONDUCTIVIDAD              | uS/cm     | 102,12     | 102,45 | 198,8      | 196,3  |
|                 | TURBIEDAD                  | NTU       | 8,08       | 1,8    | 7,99       | 9,84   |
|                 | COLOR                      | Pt/Co     | 25         | 15     | 20         | 15     |
|                 | TEMPERATURA                | °C.       | 17,9       | 19,7   | 13,2       | 10,2   |
|                 | SOLIDOS TOTALES DISUELTOS  | mg/l      | 110        | 122    | 105        | 106    |
|                 | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 0,5        | 1,65   | 0,57       | 1,14   |
|                 | SULFATOS                   | mg/l      | 14,689     | 10,876 | 12,008     | 10,989 |
|                 | CLORUROS                   | mg/l      | 6,442      | 7,879  | 7,01       | 8,012  |
|                 | OXIGENO DISUELTO           | mg/l      | 7,38       | 7,38   | 5,59       | 7,72   |
| METALES         | FENOLES                    | mg/l      | 0,054      | 0,056  | 0,068      | 0,083  |
|                 | HIERRO TOTAL               | mg/l      | 0,432      | 0,203  | 0,48       | 0,301  |
|                 | ALUMINIO                   | mg/l      | 0,13       | 0,07   | 0,49       | 0,46   |
| MICROBIOLÓGICOS | SODIO                      | mg/l      | 16,908     | 15,793 | 14,05      | 13,901 |
|                 | COLIFORMES TOTALES         | NMP/100ml | 1299,7     | 1553,1 | 1002,4     | 1358,1 |

Las ilustraciones 19 y 20 exponen valores comparables con la normativa ambiental vigente para la central hidroeléctrica El Carmen, valores de sulfatos, cloruros y sodio no son tomados en cuenta ya que cuentan con valores alejados a los máximos permisibles exigidos por la ley.

**Ilustración 19 Variaciones en concentración de metales y su comparación con la Normativa Ambiental Vigente**



**Ilustración 20: Variaciones en concentración de parámetros físico químicos y su comparación con la Normativa Ambiental Vigente**



### 3.2.3. Análisis de resultados

#### 3.2.3.1. Central Hidroeléctrica Recuperadora

Referente a la Central Hidroeléctrica Recuperadora, como se puede observar en las ilustraciones, el oxígeno disuelto es el parámetro físico-químico que representa mayor variación durante el proceso de turbinación, cabe recalcar que el oxígeno que es incorporado al recurso hídrico durante el proceso, se estabiliza durante el tiempo de permanencia en la piscina de recolección. Sin embargo, el dato obtenido de OD durante los monitoreos realizados a la Central Hidroeléctrica Recuperadora, es un factor determinante para los cambios presentados en cuanto a parámetros como el hierro y coliformes fecales.

Como se aprecia en la ilustración 14 y 15 tanto la conductividad eléctrica como la turbidez no muestran cambios durante su paso por las turbinas, en cuanto a la conductividad eléctrica se puede destacar que no existe un aumento o disminución en la capacidad de conducción eléctrica del agua, apreciando que en el mes de junio existen valores menores de conductividad, esto debido a las condiciones climáticas durante este mes de fuertes precipitaciones, lo cual incorporó en grandes cantidades agua de lluvia al sistema, teniendo como resultado la reducción de los valores de conductividad eléctrica del agua.

Las variaciones tanto de oxígeno disuelto, temperatura y turbidez no representan una afectación positiva o negativa al recurso hídrico, ya que los rangos en los que se encuentra su variación son mínimos, y demuestran comportamiento constante, esto significa únicamente su incidencia en otros factores como microorganismos, hierro total y compuestos fenólicos.

En cuanto a los compuestos fenólicos, estos muestran tendencia al incremento una vez atravesadas las turbinas, siendo los valores de los meses de Julio y Agosto los más altos

detectados durante el intervalo de tiempo de estudio. La aireación y agitación de compuestos fenólicos es una de las técnicas utilizadas para la reducción de estos en aguas residuales, según Flores (2011). Sin embargo, es un proceso que necesita compuestos químicos para facilitar la eliminación de fenoles de las aguas residuales. La aireación o agitación de aguas contaminadas con fenoles es un paso que se realiza únicamente para desprender fenoles de las partículas sólidas, es decir, romper las emulsiones creadas en el agua a fin de tener compuestos fenólicos libres que puedan ser eliminados en los siguientes procesos. Es por esta razón que los fenoles se han incrementado tras su paso por el proceso de turbinación para generación eléctrica.

Durante el mes de Julio se tomó una muestra aleatoria en una de las estaciones que recolectan el agua del sistema de optimización Papallacta para previa disposición en la central hidroeléctrica Recuperadora, obteniendo el valor de 0,103 mg/l de fenoles. Este valor determinó que las concentraciones de compuestos fenólicos detectados previo a la entrada a las turbinas ubicadas en el sector de Paluguillo son incorporados durante todo el proceso de recolección, es decir, durante el trayecto del agua hacia las captaciones. En el sistema Papallacta, a diferencia del sistema la Mica, se produce intervención humana durante el trayecto del agua hacia la central, en sus alrededores se han podido detectar plantaciones pequeñas y actividad ganadera, lo cual es una posible fuente para la existencia de fenoles en el agua.

Como lo demuestra la Ilustración 16, los valores detectados en los monitoreos periódicos señalan incumplimiento con la normativa ambiental vigente, ya que el TULAS en su Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 1, Tabla 4, establece como límite máximo permisible 0.002 mg/l en cuanto a compuestos fenólicos para cauces naturales. Recordando que el sistema



Papallacta que alimenta de agua a la central hidroeléctrica Recuperadora se encuentra en gran parte fuera de los límites del DMQ, al encontrarse gran parte en la provincia de Napo. Sin embargo, la Norma técnica 0002-DMA-2008, la cual regula a la central hidroeléctrica Recuperadora específicamente, por estar ubicada dentro de los límites del Distrito Metropolitano de Quito, señala como máximo permisible 0.2 mg/l.

El hierro total detectado en los análisis, disminuye levemente su concentración durante el proceso de turbinación, en este caso la principal razón de este fenómeno es la fuerte oxigenación que sufre el hierro al pasar las turbinas, los sistemas de aireación y agitación son técnicas utilizadas principalmente en sistemas de agua potable para la reducción de hierro y manganeso (McFarland & Dozier, 2004). De acuerdo a Arcos et al (2010) la oxidación del hierro se genera de igual manera por las bacterias reductoras presentes en el medio, en este caso la presencia de oxígeno ha contribuido no únicamente a la agitación y aireación del hierro, sino que los altos niveles de oxígeno disuelto han servido de generadores de bacterias oxidadoras de este elemento. Los niveles más bajos de hierro durante los análisis, se presentan previo a los mantenimientos de la maquinaria en el mes de junio y en el mes de agosto, lo cual muestra que cantidades de hierro son retenidos por la capa que recubre las turbinas, evitando que el compuesto se incorpore al agua, la acumulación de estos compuestos en el recubrimiento de las turbinas previo a su mantenimiento permite que el hierro se oxigene con mayor facilidad perdiendo su concentración en grandes cantidades. Además como lo muestra la Ilustración, los niveles de hierro manifiestan cumplimiento con la normativa ambiental vigente, ya que todos los valores recogidos durante el tiempo de muestreo están por debajo de 1,0 mg/l.

Finalmente, la Ilustración 18 muestra que el comportamiento de los coliformes totales, es directamente proporcional con el aumento y disminución del OD, observado en la Ilustración 13. Mientras mayor cantidad de oxígeno es adicionado al agua cruda, mayor es la cantidad de coliformes totales observados. Esto demuestra que son organismos aerobios, para los cuales el incremento de oxígeno, representa mayor actividad de crecimiento. Esto no representa contaminación, ya que son componentes naturales del agua cruda.

### **3.2.3.2. Central Hidroeléctrica El Carmen**

Con respecto a la central hidroeléctrica El Carmen, los cambios significativos durante los mantenimientos realizados, surgen principalmente de la composición natural del agua. De acuerdo a los datos proporcionados, el 76% del caudal recibido en la central hidroeléctrica proviene de la captación de La Mica, mientras que tan solo el 24% proviene del río Antisana, esto debido a la interrupción de dos captaciones que abastecían al sistema. Se pueden destacar las variaciones en compuestos inorgánicos como DBO, cloruros y sulfatos, los cuales son proporcionados principalmente por las características naturales del embalse La Mica, los cuales al traspasar la turbina de generación eléctrica indican pérdida en su concentración.

Factores como el represamiento de la Laguna La Mica, son la explicación para los cambios detectados en los monitoreos realizados, ya que como indica Endara (2000) con el represamiento cambian las condiciones físicas y morfológicas de las lagunas, como por ejemplo: aumentan los tiempos de retención, las profundidades medias varían, se conforman nuevos litorales con las áreas de inundación, etc. Al modificarse estas condiciones, cambian también las condiciones químicas y biológicas del lago, las que a su vez repercuten sobre la calidad del agua.

De igual manera, en la central hidroeléctrica El Carmen, durante el mes de Junio se tomó una muestra aleatoria de las dos captaciones que alimentan a la central hidroeléctrica, obteniendo valores de 0,086 y 0.078 mg/l de fenoles en el embalse La Mica y río Antisana respectivamente. Este valor determinó que las concentraciones de compuestos fenólicos detectados previo a la entrada a las turbinas son incorporadas incluso antes del ingreso del agua cruda a las turbinas, la abundante vegetación existente en este sistema es una fuente de fenoles, ya que estas sustancias forman parte de algunas estructuras celulares de las plantas y árboles. Los valores son menores a los mostrados en la central hidroeléctrica Recuperadora, debido principalmente a la falta de intervención humana en la zona de estudio.

En cuanto a la existencia de metales, el hierro total mostrado en los análisis, tiene el mismo comportamiento que en la central hidroeléctrica Recuperadora, ya que al agitar y airear el agua durante el proceso de turbinación, incrementa la presencia de bacterias oxidadoras del hierro existente. Mientras que la existencia de Sodio en el agua se da principalmente por la salinidad del agua proveniente de la laguna La Mica.

Mientras tanto el aluminio manifestado en los análisis, reflejan pérdida de concentración tras el paso por las turbinas en el primer monitoreo realizado, estos valores no significan que la actividad de las turbinas provoquen dicha pérdida ya que el aluminio se destaca por ser un elemento insoluble en agua a menos que el agua sea ácida o muy alcalina (ATSDR, 2008). Las concentraciones manifestadas en los monitoreos realizados a la central hidroeléctrica El Carmen, sobrepasan los valores establecidos por la normativa ambiental, sin embargo, la falta de análisis en el sistema no permiten detectar la razón de estos valores en el agua cruda.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

#### 4.1. Conclusiones

- El propósito del presente proyecto, ha sido el de determinar los cambios que se pueden presentar en el agua cruda tras el proceso de turbinación para generación eléctrica, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas que se presentan en las dos zonas de estudio. Es así como se puede concluir que los cambios presentes en el agua tanto positivos como negativos, no se han presentado únicamente por el proceso antrópico de turbinación, sino por las condiciones hidrometeorológicas y geográficas a las cuales, tanto el sistema Papallacta como el sistema La Mica, están sometidos.
- Los análisis de las características físicas, químicas y biológicas del agua demuestran que debido al proceso físico al que se ve sometida el agua cruda no son alteradas de manera significativa, por lo cual el proceso de turbinación no representa un detrimento o mejora en la calidad del agua. Al generarse el movimiento en el agua durante el funcionamiento de las turbinas, proceso físico que no genera ningún cambio químico en la composición del agua.

- La adición de oxígeno durante el proceso de turbinación es una fuente que influye en la propagación de microorganismos como las coliformes totales, en la reducción de concentración de hierro total en el agua, y en la dispersión de compuestos fenólicos. Sin embargo, esto no demuestra alteración del agua cruda, ya que los valores medidos de OD no sobrepasan el 80% del oxígeno de saturación.
- Los compuestos fenólicos detectados en los monitoreos realizados, a pesar de hallarse en valores que sobrepasan la norma ecuatoriana representando cierto grado de contaminación, son compuestos incorporados naturalmente durante la captación y, si consideramos que el páramo está compuesto por vegetación abundante, que en sus procesos naturales proporcionan compuestos fenólicos al sistema, pues de acuerdo a lo expuesto por Camacho (2008), los fenoles son un grupo de sustancias químicas orgánicas de importancia biológica, se encuentran formando parte de algunas estructuras celulares de las plantas y árboles, mientras que otros se forman como productos del metabolismo celular o son producidos por algunos vegetales como compuestos bactericidas.
- Además como se ha expuesto previamente, el sistema Papallacta, recibe intervención del ser humano durante la trayectoria del agua a través de cultivos y crianza de ganado, lo cual aumenta el aporte de concentración de fenol al sistema. Las captaciones ubicadas en ríos se encuentran cercanas a asentamientos y poblado, razón por la cual se generan desechos que contribuyen a incrementar los niveles de fenoles detectados. Por su parte el sistema La Mica, presentó concentraciones mucho menores al Sistema Papallacta, esto porque se encuentra en un ambiente completamente natural y fuera del área de intervención del ser humano, tanto el embalse La Mica como el río

Antisana son conducidos hasta la central hidroeléctrica El Carmen sin atravesar lugares de asentamientos rurales, cultivos o zonas intervenidas.

- El proceso de turbinación no genera ningún efecto en la concentración de fenoles detectados, es más este proceso ayuda a la eliminación posterior de contaminantes que se realizan en las plantas de tratamiento previo a la potabilización del agua. El proceso de agitación que sufre el agua tras atravesar las turbinas ayuda a disipar a los fenoles y separarlos de partículas más grandes para su posterior eliminación.
- En base a la normativa legal que rige a las dos centrales hidroeléctricas incluidas en el presente documento, se puede concluir que las repercusiones tanto positivas como negativas ocasionadas por el proceso de turbinación para generación eléctrica, en ninguno de los casos incumple las normas referidas. A excepción de las concentraciones de aluminio en el agua cruda de la central hidroeléctrica El Carmen.
- En cuanto al hierro, no representa contaminación al recurso hídrico, pues el hierro total proviene del ecosistema natural de los dos sistemas. Sin embargo, es necesario controlar la variación de su concentración durante el proceso de turbinación para evitar problemas de corrosión y mantenimiento de las turbinas. En el presente proyecto no ha sido posible la separación de los componentes del hierro, es decir, como determinante del tiempo de vida de las turbinas ya que el hierro oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ) por lo general es el culpable de corrosión en tuberías y en elementos metálicos.
- El Aluminio manifestado en la central hidroeléctrica El Carmen, no indica contaminación en el agua ya que las concentraciones de aguas naturales como lagunas y ríos se encuentran entre 1 y 10 mg/l. Sin embargo, los valores sobrepasan la normativa ambiental vigente, ya que esta toma en cuenta concentraciones de aluminio



en aguas de consumo humano, las cuales según no debe sobrepasar los 0.2 mg/l. El aluminio es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y se encuentra extensamente distribuido (ATSDR, 2008), razón por la cual las concentraciones detectadas no indican precisamente contaminación del agua cruda del sistema La Mica-Quito Sur.

- Se ha demostrado además con la presente investigación que no es necesario utilizar sistemas de tratamiento para el agua cruda turbinada; como se mencionó anteriormente los sistemas cuentan en cada una de sus captaciones con sedimentadores y filtros que no permiten que partículas relativamente grandes ingresen al sistema de distribución, por lo cual además de este tratamiento previo que se le da al agua no es necesario otro que descontamine el agua, pues no se han encontrado agentes contaminantes antes y durante el proceso de turbinación.
- Es imposible la comparación entre las dos centrales hidroeléctricas en cuanto a cambios significativos, ya que es evidente la gran diferencia entre las dos centrales de generación eléctrica, por una parte el sistema Papallacta se encuentra influenciado por asentamientos urbanos en sus alrededores, además de contar con una cantidad mayor de captaciones y líneas de distribución. Mientras que la Central Hidroeléctrica El Carmen ubicada en el sistema La Mica cuenta con tan solo dos captaciones las cuales se encuentran en ambientes completamente naturales, fuera de la intervención del ser humano. A pesar de esto, los resultados demuestran que la mayor variación de las características del recurso hídrico son dadas en un ecosistema más natural como lo es La Mica, lo cual nos demuestra que existen procesos naturales que pueden crear



variaciones en las características del agua, sin que esto signifique un detrimento en la calidad de la misma.

- Finalmente, el estudio realizado, confirma la hipótesis planteada, es decir, los ensayos realizados han determinado que el proceso de turbinación no repercute en los parámetros físicos, químicos ni biológicos del agua cruda destinada para generación eléctrica en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora de la EPMAPS, por tanto no constituye una fuente contaminante para el recurso hídrico. Por tanto, el presente estudio ha servido para verificar que la instalación de microcentrales eléctricas en el sistema de distribución del recurso hídrico para la ciudad de Quito por parte de la EPMAPS, no afecta la calidad del agua ni representa un obstáculo para la utilización del recurso.
- Además, es importante destacar el fomento de la utilización de tecnologías limpias para la generación eléctrica. La energía hidroeléctrica es una tecnología limpia que puede satisfacer la demanda energética del país sin contaminar los recursos naturales utilizados, en este caso el agua. Sin embargo, a pesar de ser catalogada como energía limpia y renovable, es importante destacar los grandes impactos ambientales que estas pueden traer consigo.
- A más de la cantidad reducida de impactos ambientales que se pueden generar con estas centrales hidroeléctricas, otra de las ventajas representadas en este estudio es la disponibilidad de agua durante todo el año. Las condiciones hidrometeorológicas de las dos estaciones analizadas demuestran que a pesar de las épocas secas que se dan en los dos sistemas, el agua captada siempre es suficiente para cubrir la demanda de agua potable, por lo tanto para generación eléctrica.



## 4.2. Recomendaciones

- Es importante tomar en cuenta las condiciones ambientales en las que se realizan los análisis de agua, para cualquier tipo de investigación. Las condiciones atmosféricas tendrán sin lugar a duda influencia en los resultados presentados.
- Se debe realizar un control más continuo del proceso de mantenimiento que se llevan a cabo una vez al mes en las dos centrales hidroeléctricas, a pesar que el estudio demostró que no se agrega ningún elemento contaminante al agua durante este proceso, el mantenimiento de la maquinaria representa una posibilidad de contaminación, debido a desengrasantes, aceite y demás compuestos que se utilizan durante este proceso, los cuales por accidente pueden ser derramados en el agua. Es importante mantener medidas de prevención de este tipo de accidentes que pueden presentarse.
- Es necesario incluir en los análisis periódicos realizados por el área de Gestión de Calidad de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito, al parámetro fenoles y al aluminio, ya que son valores que sobrepasan la normativa ambiental vigente.
- Durante el estudio dos captaciones del sistema La Mica se cerraron debido a problemas en el tamaño de partículas suspendidas en el agua que atravesaron los tratamientos convencionales ubicados en las captaciones del río Jatunhuayco y Diguche por lo cual se recomienda realizar revisiones constantes al sistema de tratamiento convencional en los dos sistemas, sobre todo los sedimentadores ubicados



en la captación del agua para evitar problemas en las turbinas como el desgaste de las paletas.

- Realizar investigaciones más profundas de la relación existente entre la adición de oxígeno durante el proceso de turbinación y la propagación de microorganismos como las coliformes totales, los estudios que se realicen pueden estar enfocados al crecimiento de organismos aerobios en agua cruda turbinada.
- En cuanto al hierro total, es recomendable para próximos estudios, determinar los componentes del hierro total por separado, es decir,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  (ac) para cuantificar el hierro oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y su aporte a posibles problemas de corrosión de turbinas y otros elementos metálicos del sistema.
- Para realizar estudios que incorporen información hidrometeorológica de la zona, es indispensable disponer de un número significativo de datos, los cuales puedan mostrar adecuadamente el comportamiento del clima de la zona de estudio. En este caso la falta de datos recolectados en las dos estaciones hidrometeorológicas no permitió identificar la realidad climática de la zona donde están ubicadas las dos centrales hidroeléctricas analizadas. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta más de una estación meteorológica ubicada dentro del área de influencia del estudio.

## REFERENCIAS

- Álvarez, L. M. (2010). Metodología para la identificación de desarrollos hidroeléctricos multipropósito. En N. López, & S. Arias, *Jornadas de Investigación 2010* (págs. 97-117). Medellín: Integral S.A.
- Apha, W. (2012). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (22 ed.). American Public Health Association.
- Arcos, Y., Betancur, J., Pañuela, G., & Aguirre, N. (2010). *Relación entre las formas solubles de hierro y manganeso y la presencia de bacterias oxidadoras de ambos elementos en el embalse Riogrande II- Don Matías (Antioquia, Colombia)*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Armijos, S. (2012). *Estudio de Impacto Ambiental Expost del Sistema Integrado de Agua Potable Papallacta, generación y subtransmisión Papallacta-Santa Rosa*. Quito: EPMAPS.
- ATSDR. (2008). *Resumen de Salud Pública: Aluminio*. Springfield: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EEUU. Recuperado de: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs22.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.pdf)
- Becerra, J. (2012). *Auditoría Ambiental de cumplimiento a los planes de acción de las Centrales Hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora y línea de transmisión eléctrica de los sistemas La Mica y Papallacta y la actualización de los planes de acción 2012*. Quito: EPMAPS.
- Briceño, E., Escobar, R., & Ramírez, S. (2008). *Manual de Capacitación en Operación y Mantenimiento de Pequeñas Centrales Hidráulicas*. Lima: Soluciones Prácticas.
- Camacho, C. (2008). *Compuestos Fenolicos y medio ambiente*. Matanzas: CETENZ.

- Casado, A. O. (Marzo-Abril de 2003). Analisis de la gestión hidroeléctrica en el Sistema Español. *Anales de mecánica y electricidad*, 20-27.
- Castro, M. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Quito: CEDA.
- Constitución de la República del Ecuador (2008), Registro Oficial 449, Montecristi.
- Coral, K. (2013). *Contro de la Contaminación de Aguas Residuales*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Cordero, D. (2008). Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 54-66.
- Endara, K. (2000). Monitoreo en laguna de Páramo. *El páramo como fuente de recursos hídricos, III*, 40-44.
- EPMAPS. (2011). *Hidroelectricidad: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento*. Recuperado el 14 de 11 de 2012, de Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.: [http://www.emaapq.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116&Itemid=301](http://www.emaapq.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=301)
- Fano, J. M. (2006). La generación de energía hidroeléctrica. *Canales de mecánica y electricidad*, 35-40.
- Flores, L. (5 de Enero de 2011). *Diseño de un proceso de tratamiento de fenoles en las aguas residuales de la refinería de Shushifindi*. C.I.S. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. Recuperado el 11 de Agosto de 2013, de Universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/201>
- Fuertes, M. (30 de Agosto de 2004). Reserva Ecológica Antisana. *Sistema Nacional de Areas Protegidas*. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Ambiente Ecuador.
- Gimeno, E. (6 de Junio de 2004). Compuestos Fenólicos. *Ámbito Farmacéutico: Nutrición*, 23(6), 80-84.
- Hofstede, R. (1997). *La Importancia Hídrica del Páramo y Aspectos de su Manejo*. CDCPP.

- Hofstede, R., & Mena, P. (2000). *Beneficios escondidos del páramo: servicios ecológicos e impacto humano*. InfoAndina.
- Huaica, F. (5 de Marzo de 2013). Central Hidroeléctrica El Carmen. (M. Suza, Entrevistador)
- Jiménez, I. M. (2 de Marzo de 2013). Central Hidroeléctrica Recuperadora. (M. Suza, Entrevistador)
- McFarland, M., & Dozier, M. (2004). *Problemas del agua potable: El hierro y el Manganese*. Texas: Instituto de Recursos de Agua: A&M Texas.
- Mejía, L. (2006). *Auditoria Ambiental Externa de la central hidroeléctrica El Carmen del Sistema La Mica*. Quito: EPMAPS.
- Mejía, L. (2006). *Auditoria Ambiental Externa de la central hidroeléctrica Recuperadora del Sistema Papallacta*. Quito: EPMAPS.
- Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2000). *El páramo como fuente de recursos hídricos* (Vol. III). Quito: Abya Yala.
- Morales, P. (2012). *Estadística aplicada a las Ciencias Sociales: Tamaño necesario de la muestra, ¿Cuántos sujetos necesitamos?* Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Muguerza, D. (2005). *Micro Centrales Hidroeléctricas: Maestría y Especialización en Energías Renovables*. Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Ordenanza Metropolitana 0404 (2013): Sustitutiva del Título V, "Del Medio Ambiente", Libro Segundo, del Código Municipal, Quito.
- Ortíz, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Peña, E. (2007). *Calidad de Agua: Oxígeno Disuelto*. Guayaquil: ESPOL.
- Perrig, A. (1983). Memoria sobre la corrosión y fatiga mecánica en las turbinas Pelton. *Revista de Obras Públicas*, 425-430, Recuperado de: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1933/1933\\_tomoI\\_2630\\_04.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1933/1933_tomoI_2630_04.pdf)
- Resolución N°002:DMA:2008 (2008), Dirección Metropolitana Ambiental, Quito

- Roldán, J. (2012). *Energías renovables: lo que hay que saber*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Romero, J. A. (2002). *Calidad de Agua*. Bogotá: Editorial Nomos S.A.
- Sanz, J. F. (2008). *Energía Hidroeléctrica* (Vol. 139). Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Tamarit, V. (2000). *Tecnología Energética*. Valencia: Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental (2006), Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2.
- Villagómez, A. (2011). *Aprovechamiento del Recurso Hídrico en Agua Potable y Energía Eléctrica en la EPMAPS*. Quito: EPMAPS.
- Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos* (reimpresión ed.). Reverte.

## ANEXOS



## ANEXO 1

### Protocolo de Laboratorio

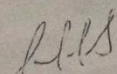
| L3C       |  | TABLA DE PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS DE MUESTREO |  |  | Número de Revisión           | Nº de      |
|-----------|--|--------------------------------------------------|--|--|------------------------------|------------|
| ISO 17025 |  | Tab. 5.7.1                                       |  |  | Fecha de Emisión del Formato | 2009-08-28 |
|           |  |                                                  |  |  | Número de Página             | 1 de 1     |

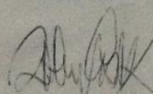
Fecha de emisión: 4 de abril del 2013

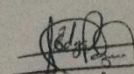
| Requerimientos |                                                                           |                               |                 |                                                                                                                                            |                      |                                                             |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------|
| Parámetros     | Envase                                                                    | Tamaño mínimo de Muestra (ml) | Tipo de Muestra | Preservación                                                                                                                               | TC de almacenamiento | Tiempo máx. de almacenaje                                   |
| A              | P, V                                                                      | 500                           | S, C            | Refrigeración                                                                                                                              | Refrigeración        | 48h                                                         |
| AN             | V                                                                         | 100                           | S, C            | Refrigeración                                                                                                                              | Refrigeración        | 48h                                                         |
| TB             | P, V                                                                      | 100                           | S, C            | Analizar el mismo día, mantener el la oscuridad, refrigeración.                                                                            | Refrigeración        | 24h                                                         |
| T              | V                                                                         | 100                           | S, C            | Analizar inmediatamente o refrigerar y adicionar HCl, H2SO4 a pH<2                                                                         | Refrigeración        | 1-28días                                                    |
| F, Q           | P, V                                                                      | 3800                          | S, C            | Refrigeración                                                                                                                              | Refrigeración        | 2h-28días                                                   |
| BC             | P, V                                                                      | 250                           | S, C            | Refrigeración                                                                                                                              | Refrigeración        | 24h                                                         |
| N              | P, V                                                                      | 100                           | S, C            | H2SO4, pH<2. Para disueltos filtrar in situ                                                                                                | Refrigeración        | 7-28días                                                    |
| F              | V                                                                         | 100                           | S, C            | H2SO4, pH<2. Para disueltos filtrar in situ                                                                                                | Refrigeración        | 28días                                                      |
| O              | V Tapa esmerilada                                                         | 300                           | S               | Refrigeración, Reactivos de fijación                                                                                                       | Refrigeración        | 6-24h                                                       |
| CF             | P, V                                                                      | 2000                          | S, C            | Ambiente, Oscuridad                                                                                                                        | Ambiente             | 30días                                                      |
| M              | P, V                                                                      | 100                           | S, C            | Ambiente, HNO3, pH<2. Para disueltos filtrar in situ                                                                                       | Ambiente             | 6meses                                                      |
| Hg             | P, V                                                                      | 250                           | S, C            | Refrigeración                                                                                                                              | Refrigeración        | 28días                                                      |
| TPH            | V ámbar, Tapa teflón                                                      | 1000                          | S, C            | Refrigeración; adicionar H2SO4, pH<2.                                                                                                      | Refrigeración        | 28días                                                      |
| PL             | V ámbar con tapa teflón previamente homogenizado con disolvente orgánico. | 1000                          | S, C            | Refrigeración; adicionar 1000mg de ácido ascórbico/L si presenta cloro residual.                                                           | 4°C                  | 7días hasta la extracción; 40 días después de la extracción |
| VOC's          | V con tapa de teflón                                                      | 2 x 40                        | S               | Adicionar 25mg de ácido ascórbico/40 ml de muestra si presenta cloro residual. Llenar el recipiente sin dejar espacios libres. Refrigerar. | 4°C                  | 14 días                                                     |
| HAP's          | V ámbar con tapa teflón                                                   | 1000                          | S, C            | Adicionar 1000mg de ácido ascórbico/L si presenta cloro residual, adicionar HCl 6N hasta pH<2. Refrigerar                                  | 4°C                  | 7días hasta la extracción; 40 días después de la extracción |
| Fen            | P, V ámbar, Tapa teflón                                                   | 1000                          | S, C            | Refrigeración; adicionar H2SO4 hasta pH<2                                                                                                  | 4°C                  | Inmediatamente                                              |
| B              | P, V                                                                      | 100                           | S               | Refrigeración. Na2S2O3 0.008% para agua clorada                                                                                            | Refrigeración        | 6h                                                          |

#### Abreviaturas:

A: Color, Conductividad, TB: Turbiedad, THM: Trihalometanos T:TOC, M: Metales PL: Plaguicidas, Hg: Mercurio F: Fósforo.  
 CF: Clorofila B: Microbiológico O: Oxígeno Disuelto, DBO5 TPH: Hidrocarburos Totales de Petróleo AN: Aniones (Fluoruros, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos)  
 HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares Fen: Fenoles S: Simple C: Compuesta P: Plástico V: Vidrio  
 F.Q.: Turbidez, Color, Dureza Total, Dureza Calcica, Dureza Magnésica, Alcalinidad, Cloruros, Silice, Sulfato, DQO, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Residuales 550, Sólidos Suspendidos, bc.: Bicarbonatos N: Nitrógeno de Nitratos  
**Nota: Para parámetros no incluidos en esta tabla referirse el Standard Method of Analysis**

  
 ELABORADO POR:

  
 REVISADO POR:

  
 APROBADO POR:

COPIA NO CONTROLADA  
 S.G.C.-L3C



## ANEXO 2

### Acreditación ISO 17025:2006 – Laboratorio Central de Control de Calidad EPMAPS

ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
ECUATORIANO - OAE



#### ALCANCE DE ACREDITACIÓN

**Laboratorio Central de Control de Calidad - L3C de la Empresa Pública Metropolitana de Alcantarillado y Saneamiento, Distrito Metropolitano de Quito**  
Parque Metropolitano, Planta de Tratamiento, Bellavista, Quito  
E-mail: [epazmino@emaapg.com.ec](mailto:epazmino@emaapg.com.ec)

*Sector  
Ensayos*

**Certificado de Acreditación N°:** OAE LE 2C 06-003

**Actualización N°:** 05

**Vigencia a partir de:** 2010-12-07

**Responsable Técnico:** Dr. Kléver Parreño

**Acreditación inicial:** 2006-05-05

Está acreditado por el **Organismo de Acreditación Ecuatoriano** en conformidad con los criterios establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 y los Criterios Generales de Acreditación: OAE CR GA-01 en su edición vigente, para las siguientes actividades:

**CATEGORÍA: 0.** Ensayos en el laboratorio permanente.

**CAMPO DE ENSAYO:** Análisis Físico-químicos en agua

| PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR       | ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS                                                                                                                             | MÉTODO DE ENSAYO                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aguas naturales<br>Aguas de consumo | Metales, Espectrofotometría de Absorción Atómica con generación de hidruros,<br><br>Arsénico inorgánico (As),<br>2 – 3000 µg/L                       | Met. 5.4.5.1<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3114 C                                                                                          |
|                                     | Metales, Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama,<br><br>Hierro (Fe),<br>0,05 mg/L – 100 mg/L<br><br>Manganeso (Mn)<br>0,05 mg/L – 100 mg/L | Met. 5.4.5.2<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111 B<br><br>Met. 5.4.5.3<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111 B |
|                                     | Metales, Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama,<br><br>Plata (Ag),<br>0,012 - 100 mg/L                                                    | Met. 5.4.5.4<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111B                                                                                           |

La versión aprobada y más reciente de este documento puede ser revisada en el web site del OAE ([www.oae.gob.ec](http://www.oae.gob.ec))

F PA 01 01 R01

Página 1 de 2

## Acreditación ISO 17025:2006 – Laboratorio Central de Control de Calidad EPMAPS

Alcance de Acreditación  
Laboratorio EMAAP-Q – L3C

| PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR   | ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS                                              | MÉTODO DE ENSAYO                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Aguas naturales<br>Agua potable | Metales, Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama,            |                                                                                  |
|                                 | Cobre (Cu),<br>0,014 - 100 mg/L                                       | Met. 5.4.5.5<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111B |
|                                 | Cobalto (Co),<br>0,023 - 100 mg/L                                     | Met 5.4.5.6<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111B  |
|                                 | Litio (Li),<br>0,017 - 100 mg/L                                       | Met 5.4.5.7<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111B  |
|                                 | Cinc (Zn),<br>0,026 - 100 mg/L                                        | Met 5.4.5.8<br>Método de referencia:<br>Standard Methods, Ed. 21, 2005<br>3111B  |
|                                 | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos( HAP's),<br>Cromatografía HPLC, | Met 5.4.5.9<br>Método de referencia EPA 550.1,<br>1990                           |
|                                 | Benzo (a) pireno<br>0,03 – 100 ug/L                                   |                                                                                  |
|                                 | Benzo (b) pireno<br>0,03 – 100 ug/ L                                  |                                                                                  |
|                                 | Benzo (k) Fluoranteno<br>0,03 – 100 ug/L                              |                                                                                  |
|                                 | Indeno (1,2,3-cd) Pireno<br>0,04 – 100 mg/L                           |                                                                                  |

La versión aprobada y más reciente de este documento puede ser  
revisada en el web site del OAE ([www.oae.gob.ec](http://www.oae.gob.ec))

F PA 01 01 R01

Página 2 de 2

## ANEXO 3

### Norma técnica 0002-DMA-2008, Tabla 3, Anexo A

#### ANEXO A

**TABLA A. 1: Límites máximos permisibles por cuerpo receptor**

| PARÁMETROS               | EXPRESADO COMO       | UNIDAD | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE |                       |
|--------------------------|----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|
|                          |                      |        | Alcantarillado           | Cauce de agua         |
| Aceites y grasas         | A y G                | mg/l   | 100                      | 50                    |
| Aluminio                 | Al                   | mg/l   | 5,0                      | 5,0                   |
| Arsénico total           | As                   | Mg/l   | 0,1                      | 0,1                   |
| Cadmio                   | Cd                   | Mg/l   | 0,02                     | 0,02                  |
| Caudal máximo            | -                    | l/s    | 1,5 veces el caudal (1)  | 4,5 dato referencial. |
| Cianuro                  | CN <sup>-</sup>      | Mg/l   | 1,0                      | 0,1                   |
| Cobre                    | Cu                   | Mg/l   | 1,0                      | 1,0                   |
| Cromo Hexavalente        | Cr <sup>+6</sup>     | Mg/l   | 0,5                      | 0,5                   |
| Compuestos fenólicos     | Expresado como fenol | Mg/l   | 0,2                      | 0,2                   |
| Fósforo Total            | P                    | Mg/l   | 15                       | 10                    |
| Hidrocarburos Totales    | TPH                  | Mg/l   | 20                       | 20                    |
| Materia flotante         | Visible              | -      | Ausencia                 | Ausencia              |
| Manganeso                | Mn                   | Mg/l   | 10,0                     | 2,0                   |
| Mercurio (total)         | Hg                   | Mg/l   | 0,01                     | 0,005                 |
| Níquel                   | Ni                   | Mg/l   | 2,0                      | 2,0                   |
| Organoclorados totales   | Concentración        | Mg/l   | 0,05                     | 0,05                  |
| Organofosforados totales | Concentración        | Mg/l   | 0,1                      | 0,1                   |
| Plomo                    | Pb                   | Mg/l   | 0,5                      | 0,2                   |
| Potencial de hidrógeno   | PH                   |        | 5-9                      | 5-9                   |
| Sólidos Sedimentables    | -                    | Ml/l   | 10                       | 1,0                   |
| Sulfuros                 | S                    | Mg/l   | 1,0                      | 0,5                   |
| Sulfatos                 | SO <sub>4</sub>      | Mg/l   | 400                      | 1000                  |
| Temperatura              | -                    | °C     | < 40                     | < 35                  |
| Tensoactivos             | MBAS (2)             | Mg/l   | 0,5                      | 0,5                   |
| Zinc                     | Zn                   | Mg/l   | 2,0                      | 2,0                   |

Fuente: Dirección Metropolitana Ambiental, Resolución No 003, Capítulo III. 14 Octubre 2005

Notas:

(1) Caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.

(2) Substancias activas al azul de metileno.

## ANEXO 4

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

| Parámetros                             | Expresado Como                | Unidad            | Límite Máximo Permissible                                        |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------|
| Aceites y Grasas                       | Sustancias solubles en hexano | mg/l              | 0,3                                                              |
| Aluminio                               | Al                            | mg/l              | 0,2                                                              |
| Amoniaco                               | N-Amoniacal                   | mg/l              | 1                                                                |
| Amonio                                 | NH <sub>4</sub>               | mg/l              | 0,05                                                             |
| Arsénico (total)                       | As                            | mg/l              | 0,05                                                             |
| Bario                                  | Ba                            | mg/l              | 1                                                                |
| Cadmio                                 | Cd                            | mg/l              | 0,01                                                             |
| Cianuro (total)                        | CN <sup>-</sup>               | mg/l              | 0,1                                                              |
| Cloruro                                | Cl                            | mg/l              | 250                                                              |
| Cobre                                  | Cu                            | mg/l              | 1                                                                |
| Coliformes Totales                     | nmp/100 ml                    |                   | 3 000                                                            |
| Coliformes Fecales                     | nmp/100 ml                    |                   | 600                                                              |
| Color                                  | color real                    | unidades de color | 100                                                              |
| Compuestos fenólicos                   | Fenol                         | mg/l              | 0,002                                                            |
| Cromo hexavalente                      | Cr <sup>+6</sup>              | mg/l              | 0,05                                                             |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>              | mg/l              | 2                                                                |
| Dureza                                 | CaCO <sub>3</sub>             | mg/l              | 500                                                              |
| Bifenilo policlorados/PCBs             | Concentración de PCBs totales | mg/l              | 0,0005                                                           |
| Fluoruro (total)                       | F                             | mg/l              | 1,5                                                              |
| Hierro (total)                         | Fe                            | mg/l              | 1                                                                |
| Manganeso (total)                      | Mn                            | mg/l              | 0,1                                                              |
| Materia flotante                       |                               |                   | Ausencia                                                         |
| Mercurio (total)                       | Hg                            | mg/l              | 0,001                                                            |
| Nitrato                                | N-Nitrato                     | mg/l              | 10                                                               |
| Nitrito                                | N-Nitrito                     | mg/l              | 1                                                                |
| Olor y sabor                           |                               |                   | Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional |
| Oxígeno disuelto                       | O.D.                          | mg/l              | No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l     |

**Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional (Continuación).**

| Parámetros                      | Expresado Como                         | Unidad | Límite Máximo Permissible        |
|---------------------------------|----------------------------------------|--------|----------------------------------|
| Plata (total)                   | Ag                                     | mg/l   | 0,05                             |
| Plomo (total)                   | Pb                                     | mg/l   | 0,05                             |
| Potencial de hidrógeno          | pH                                     |        | 6-9                              |
| Selenio (total)                 | Se                                     | mg/l   | 0,01                             |
| Sodio                           | Na                                     | mg/l   | 200                              |
| Sólidos disueltos totales       |                                        | mg/l   | 1 000                            |
| Sulfatos                        | SO <sub>4</sub> =                      | mg/l   | 400                              |
| Temperatura                     |                                        | °C     | Condición Natural + o – 3 grados |
| Tensoactivos                    | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l   | 0,5                              |
| Turbiedad                       |                                        | UTN    | 100                              |
| Zinc                            | Zn                                     | mg/l   | 5                                |
| *Productos para la desinfección |                                        | mg/l   | 0,1                              |
| <b>Hidrocarburos Aromáticos</b> |                                        |        |                                  |
| Benceno                         | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>          | mg/l   | 10                               |
| Benzo(a) pireno                 |                                        | mg/l   | 0,01                             |
| Etilbenceno                     |                                        | mg/l   | 700                              |
| Estireno                        |                                        | mg/l   | 100                              |
| Tolueno                         |                                        | mg/l   | 1 000                            |
| Xilenos (totales)               |                                        | mg/l   | 10 000                           |
| <b>Pesticidas y herbicidas</b>  |                                        |        |                                  |
| Carbamatos totales              | carbamatos totales                     | mg/l   | 0,1                              |
| Organoclorados totales          | organoclorados totales                 | mg/l   | 0,01                             |
| Organofosforados totales        | organofosforados totales               | mg/l   | 0,1                              |
| Dibromocloropropano (DBCP)      | DBCP                                   | mg/l   | 0,2                              |
| Dibromoetileno (DBE)            | DBE                                    | mg/l   | 0,05                             |
| Dicloropropano (1,2)            | dicloropropano                         | mg/l   | 5                                |
| Diquat                          |                                        | mg/l   | 70                               |
| Glifosato                       |                                        | mg/l   | 200                              |
| Toxafeno                        |                                        | mg/l   | 5                                |

**Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional (Continuación).**

| Parámetros                    | Expresado Como | Unidad | Límite Máximo Permisible |
|-------------------------------|----------------|--------|--------------------------|
| <b>Compuestos Halogenados</b> |                |        |                          |
| Tetracloruro de carbono       |                | mg/l   | 3                        |
| Dicloroetano (1,2-)           |                | mg/l   | 10                       |
| Dicloroetileno (1,1-)         |                | mg/l   | 0,3                      |
| Dicloroetileno (1,2-cis)      |                | mg/l   | 70                       |
| Dicloroetileno (1,2-trans)    |                | mg/l   | 100                      |
| Diclorometano                 |                | mg/l   | 50                       |
| Tetracloroetileno             |                | mg/l   | 10                       |
| Tricloroetano (1,1,1-)        |                | mg/l   | 200                      |
| Tricloroetileno               |                | mg/l   | 30                       |
| Clorobenceno                  |                | mg/l   | 100                      |
| Diclorobenceno (1,2-)         |                | mg/l   | 200                      |
| Diclorobenceno (1,4-)         |                | mg/l   | 5                        |
| Hexaclorobenceno              |                | mg/l   | 0,01                     |
| Bromoximil                    |                | mg/l   | 5                        |
| Diclorometano                 |                | mg/l   | 50                       |
| Tribrometano                  |                | mg/l   | 2                        |



## ANEXO 5

### Registro fotográfico

#### *Agua Cruda – Bypass*



#### *Recolección de agua cruda*

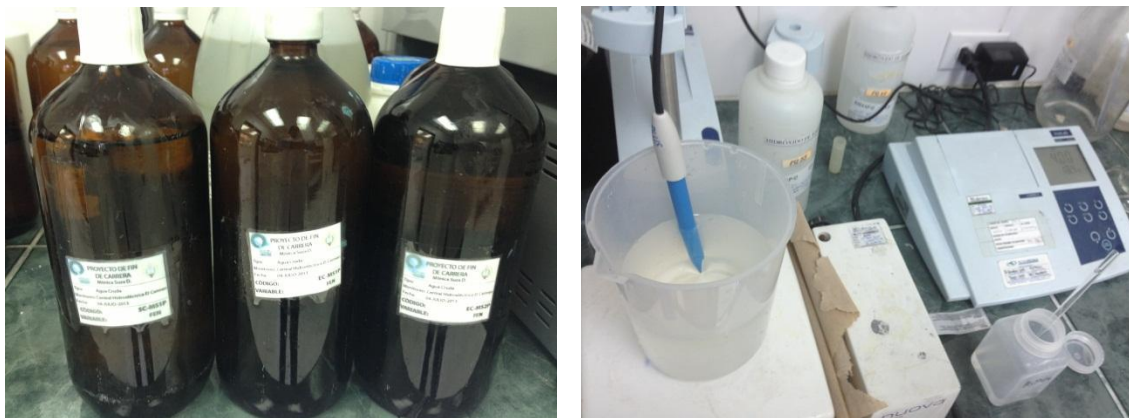


#### *Recolección de muestras- Protocolo L3C*





### *Análisis de Laboratorio*





### *Análisis de Fenoles*

