

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, ph, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el Fundo Monterrico - San Juan de Cacazú - Villa Rica – Oxapampa – 2017**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero ambiental**

**Autor:**

**Bach. Rodrigo Nichiren HUERTA OBREGON**

**Asesor:**

**Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA**

**Cerro de Pasco – Perú –2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, ph, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el Fundo Monterrico - San Juan de Cacazú - Villa Rica – Oxapampa – 2017**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Lucio ROJAS VITOR**  
**MIEMBRO**

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por iluminarme en momentos difíciles de mi vida, por darme fuerzas para seguir adelante.

A mi amada madre Yanet, por creer en mi capacidad, por sus consejos, comprensión, amor y sacrificio.

A mi padre Pedro, que Dios los tenga en su santísima gloria eterna.

A mi amada esposa Kely por su apoyo incondicional y por brindarme el apoyo necesario para lograr mis metas, gracias mi amor te amo.

A mi hija Mía, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día.

A mi abuelo Rafael, por enseñarme a caminar firme, por brindarme los valores que tengo y compartir sus conocimientos y experiencias.

A mis 4 hermanos Flavia, Yanet, Nadia y Yordan, por estar presente aportando buenas cosas a mi vida.

## RESUMEN

Se ha realizado la evaluación y el diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio húmedo del café en el fundo Monte Rico ubicado en el centro poblado de San Juan de Cacazú del distrito de Villa Rica, provincia Oxapampa; para mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO y DBO<sub>5</sub> de las aguas miel. Para ello se realizó un estudio preliminar acerca de los procesos de tratamiento existentes, viendo por conveniente utilizar un sistema de tratamiento mediante lagunas de oxidación, para ello se realizó la construcción de tres pozas más un biofiltro utilizando *Eichhornia crassipes* (Jacinto acuático).

El trabajo comprendió seis etapas de muestreo en tres meses: 2 muestreos en abril del 2017 (inicios de la cosecha cafetalera), 2 muestreos en mayo del 2017 (máxima producción del café o días pico) y 2 muestreos en junio del 2017 (época de rebusque), para ello se tomaron muestras en cinco puntos del sistema de tratamiento para determinar el comportamiento de la temperatura, pH y conductividad eléctrica, mientras que para la DQO y DBO<sub>5</sub> se muestrearon dos puntos, al ingreso de la primera poza y en el punto de vertido, con el fin de evaluar el comportamiento de los componentes de las aguas mieles en el ingreso y salida del sistema de tratamiento.

Los resultados de los indicadores fisicoquímicos (T°, pH, CE, DQO y DBO<sub>5</sub>) al ingreso del sistema sobrepasan los ECA para agua categoría III, los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos encontrados son: temperatura de 21.58°C, pH 4.29, una conductividad eléctrica de 6604.83 µs/cm, DQO 189.62 mg/l y DBO<sub>5</sub> 131.16 mg/l.

Finalmente se evaluó la eficiencia del sistema de tratamiento seleccionado en términos de DQO y DBO<sub>5</sub>. En los resultados finales de remoción para DQO en el sistema, se obtuvieron remociones de  $69.68 \pm 80.54\%$ , y para DBO<sub>5</sub>, se obtuvieron remociones de  $78.14 \pm 89.49$  que corresponden a eficiencias muy altas.

**Palabras claves:** Beneficio húmedo del café, Sistema de tratamiento, Aguas miel.

## ABSTRACT

The evaluation and design of a treatment system for wastewater from the process of wet milling coffee in the Monte Rico farm located in the town of San Juan de Cacazú in the district of Villa Rica, Oxapampa province; to improve the conditions of temperature parameters, pH, electrical conductivity, COD and BOD5 of honey waters. For this, a preliminary study was made about the existing treatment processes, considering it convenient to use a treatment system by means of oxidation lagoons, for which the construction of three pools plus a biofilter was made using *Eichhornia crassipes* (aquatic hyacinth).

The work involved six stages of sampling in three months: 2 samplings in April 2017 (beginning of the coffee harvest), 2 samplings in May 2017 (maximum production of coffee or peak days) and 2 samplings in June 2017 (harvest time). In order to do this, samples were taken at five points of the treatment system to determine the behavior of temperature, pH and electrical conductivity, while for COD and BOD5, two points were sampled at the entrance of the first well and at the point of discharge, in order to evaluate the behavior of the components of the water in the entrance and exit of the treatment system.

The results of the physicochemical indicators (T °, pH, CE, COD and BOD5) at the entry of the system surpass the RCTs for water category III, the average values of the physicochemical parameters found are: temperature of 21.58 ° C, pH 4.29, a electrical conductivity of 6604.83  $\mu\text{s} / \text{cm}$ , COD 189.62 mg / l and BOD5 131.16 mg / l.

Finally, the efficiency of the selected treatment system was evaluated in terms of COD and BOD5. In the final results of removal for COD in the system,

removals of  $69.68 \pm 80.54\%$  were obtained, and for BOD5, removals of  $78.14 \pm 89.49$  were obtained, corresponding to very high efficiencies.

**Keywords:** Wet benefit of coffee, treatment system, honey waters.

## INTRODUCCIÓN

El café, a diferencia de otros productos agrícolas, debe ser transformado para su comercialización. La fruta recolectada se procesa por vía seca o húmeda para obtener el grano en “oro” o en “pergamino”.

El agua residual evacuada contamina los ríos y extermina la fauna y flora acuática, debido a que, en el proceso de degradación de la materia orgánica se consume todo el oxígeno disuelto, necesario para que estos puedan sobrevivir, además da un aspecto paisajístico negativo, debido a la coloración y turbiedad del agua.

La presente investigación pretende evaluar y diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café y mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.

## INDICE

Pág.

|              |  |
|--------------|--|
| DEDICATORIA  |  |
| RESUMEN      |  |
| ABSTRACT     |  |
| INTRODUCCIÓN |  |
| INDICE       |  |
| ABREVIATURAS |  |

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

|   |   |
|---|---|
| 1.1. Identificación y determinación del problema..... | 1 |
| 1.2. Delimitación de la investigación .....           | 2 |
| 1.3. Formulación del problema .....                   | 2 |
| 1.3.1. Problema Principal.....                        | 2 |
| 1.3.2. Problemas Específicos .....                    | 2 |
| 1.4. Formulación de objetivos.....                    | 3 |
| 1.4.1. Objetivo General .....                         | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos.....                     | 3 |
| 1.5. Justificación de la investigación .....          | 3 |
| 1.6. Importancia y alcances de la investigación ..... | 5 |
| 1.7. Limitaciones de la investigación .....           | 5 |

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes del estudio .....                         | 6  |
| 2.2. Bases teóricas-científicas.....                        | 10 |
| 2.3. Definición de términos básicos.....                    | 29 |
| 2.4. Formulación de Hipótesis .....                         | 31 |
| 2.4.1. Hipótesis General .....                              | 31 |
| 2.4.2. Hipótesis Específicas.....                           | 31 |
| 2.5. Identificación de variables .....                      | 31 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores..... | 32 |

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Tipo de investigación.....   | 33 |
| 3.2. Métodos de la investigación .....  | 33 |
| 3.3. Diseño de investigación .....  | 34 |
| 3.4. Población y muestra.....   | 41 |
| 3.4.1. Población.....   | 41 |
| 3.4.2. Muestra.....   | 41 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....                               | 42 |
| 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....                                | 43 |
| 3.7. Tratamiento estadístico .....  | 43 |
| 3.8. Selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación<br>..... | 44 |
| 3.9. Orientación ética .....  | 44 |

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo .....   | 45 |
| 4.2. Presentación y análisis e interpretación de resultados caracterización de<br>las aguas mieles del procesamiento de café..... | 51 |
| 4.3. Prueba de hipótesis.....   | 62 |
| 4.4. Discusión de Resultados.....   | 63 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO N° 01: Panel fotográfico

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <i>Figura N° 1: Ciclo del café.</i> .....  | 12          |
| <i>Figura N° 2: Partes del fruto de café.</i> .....  | 13          |
| <i>Figura N° 3: Desarrollo del grano de café (semanas).</i> .....  | 14          |
| <i>Figura N° 4: Diagrama del proceso del beneficiado húmedo del café.</i> .....  | 18          |
| <i>Figura N° 5: Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales<br/>seleccionado para el tratamiento de las aguas miel en el fundo<br/>Monte Rico.</i> ..... | 35          |
| <i>Figura N° 6: Puntos de muestreo en el sistema de tratamiento.</i> .....   | 39          |
| <i>Figura N° 7: Esquema del diseño de lagunas de oxidación utilizada para el<br/>tratamiento de las aguas miel en el fundo Monte Rico</i> .....                      | 50          |

## INDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| TABLA N° 1: Composición del fruto del café en % de peso húmedo.....  | 14   |
| TABLA N° 2: Composición química de la pulpa del café .....   | 15   |
| TABLA N° 3: Composición química del mucílago del café.....   | 16   |
| TABLA N° 4: Composición química de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. ....                              | 19   |
| TABLA N° 5: Ventajas y desventajas del tratamiento con lodos activos.....  | 24   |
| TABLA N° 6: Ventajas y desventajas del tratamiento con filtros percoladores.<br>.....                                    | 24   |
| TABLA N° 7: Descripción de los puntos de muestreo en el sistema de tratamiento:.....                                     | 40   |
| TABLA N° 8: Descripción de las muestras.....   | 41   |
| TABLA N° 9: Caudal promedio del agua.....  | 46   |
| TABLA N° 10: Dimensión de las lagunas de oxidación .....   | 48   |
| TABLA N° 11: Parámetros de calidad del agua utilizada en el procesamiento del grano de café en el fundo Monte Rico. .... | 51   |
| TABLA N° 12: Resultados de mediciones in situ del mes de abril .....   | 52   |
| TABLA N° 13: Resultados de mediciones in situ del mes de mayo .....  | 53   |
| TABLA N° 14: Resultados de mediciones in situ del mes de junio .....   | 53   |
| TABLA N° 15: Valores de la temperatura del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento .....              | 54   |
| TABLA N° 16: Valores del pH del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento.....                          | 56   |
| TABLA N° 17: Valores de la conductividad eléctrica del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento.....   | 57   |
| TABLA N° 18: Valores de la DQO del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento .....                      | 59   |
| TABLA N° 19: Valores de la DBO5 del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento .....                     | 60   |

## INDICE DE GRÁFICOS

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| <i>Gráfico N° 1: Comportamiento de la temperatura durante el proceso de tratamiento - abril, mayo y junio.....</i>                                | <i>55</i> |
| <i>Gráfico N° 2: Comportamiento del pH durante el proceso de tratamiento - abril, mayo y junio.....</i>   | <i>56</i> |
| <i>Gráfico N° 3: Comportamiento de la conductividad eléctrica durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Gráfico N° 4: Comportamiento de la DQO durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.....</i>                     | <i>59</i> |
| <i>Gráfico N° 5: Comportamiento de la DBO5 durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.....</i>                    | <i>61</i> |
| <i>Gráfico N° 6: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento en términos de DQO y DBO5.....</i>   | <i>62</i> |

## ABREVIATURAS

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno.

DQO: Demanda química de oxígeno.

L: Litro.

ECA: Estándares de calidad ambiental.

pH: Potencial de hidrógeno.

T°: Temperatura.

°C: Grados Celsius.

ml: Mililitros

Qq : Quintal

cm: centímetros

m<sup>3</sup>: metros cúbicos

m: metros

mg: miligramos

Q: caudal

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La producción de café es la actividad agroindustrial de mayor tradición en Villa Rica, de gran importancia en la conformación social y económica de este distrito y sus alrededores.

En el procesamiento del grano de café se generan dos corrientes de residuos, la parte sólida (pulpa, del despulpado) y la parte líquida con sólidos, que son las aguas mieles; estos residuos líquidos son altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y demanda química de oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes.

El problema actual de los beneficios de café consiste en no tener sistemas de tratamientos de agua residual adecuados por falta de un diseño hidráulico sanitario específico que dé solución a la alta contaminación y brinde una remoción adecuada de ésta.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

En el fundo Monte Rico ubicado en San Juan de Cacazú perteneciente al distrito de Villa Rica, existe un problema ambiental generado por el proceso de beneficio húmedo de café, pues no existe manejo y control de los vertimientos de las aguas miel, ya que se vierten directamente a los cuerpos de agua cercanas al proceso, y sin alguna intervención de tratamiento previo. Este altera el equilibrio natural de los ambientes acuáticos, debido a la carga orgánica, que lleva consigo, y diferentes características al agua natural por lo que consecuentemente llevaría a la extinción de las especies acuáticas que habitan en ella. Por esta razón los daños que el proceso de beneficiado húmedo del café trae consigo podrían ocasionar en el futuro consecuencias graves.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema Principal**

- ¿De qué manera la evaluación y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café mejora las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿Los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico cumplen con los ECA agua Categoría III?
- ¿Cuál es la eficiencia del sistema seleccionado para reducir la DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico?

- ¿Qué efectos produce en el ambiente el vertimiento de aguas miel procedente del beneficio húmedo del café sin un tratamiento adecuado?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

- Evaluar y diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café y mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico para determinar si se encuentran dentro de los ECA agua Categoría III.
- Determinar la eficiencia del sistema de tratamiento seleccionado en términos de DQO y DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.
- Evaluar los efectos en el ambiente ocasionados por el vertimiento de las aguas miel procedente del beneficiado húmedo del café sin la intervención de un sistema de tratamiento en el fundo Monte Rico.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

La industria cafetalera está considerada como una de las más contaminantes con serias alteraciones ambientales negativas. El

beneficiado húmedo requiere agua para realizar las operaciones de transporte, clasificación del grano maduro, remoción del mucílago, despulpado y sobre todo en el lavado, el agua residual evacuada contamina los ríos y extermina la fauna y flora acuática, debido a que, en el proceso de degradación de la materia orgánica se consume todo el oxígeno disuelto, necesario para que estos puedan sobrevivir, además da un aspecto paisajístico negativo, debido a la coloración y turbiedad del agua.

El presente estudio de investigación tiene como finalidad evaluar y diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO y DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico ubicada en el centro poblado de San Juan de Cacazú, para prevenir que la presencia de contaminantes en el agua pueda significar o representar un riesgo en el medio ambiente (impactos negativos), ya que las aguas miel son un problema latente que tenemos constantemente y que debemos de encontrar mecanismos de control para maximizar la calidad de vida de la población. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden llegar a controlar la contaminación hasta en un 90%, nunca se eliminaría absolutamente toda la contaminación, sin embargo, ésta tiene que ser eficiente para que las fuentes receptoras de agua no se vean afectadas, en conjunto con los hábitats que alberga.

## **1.6. Importancia y alcances de la investigación**

El problema actual del fundo Monte Rico y de los demás beneficios de café de la zona, consiste en no tener un sistema de tratamiento para sus aguas residuales que sean adecuados debido a la falta de un diseño hidráulico sanitario específico que dé solución a la alta contaminación y brinde una remoción adecuada de ésta, por lo tanto en el presente estudio de investigación se realizó la evaluación y diseño de un sistema de tratamiento adecuado para tratar las aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café , la cual nos ayudó a mejorar los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico..

## **1.7. Limitaciones de la investigación**

- No se realizaron pruebas de laboratorio de otros parámetros por su alto costo, por lo que se trabajó con datos existentes en estudios bibliográficos.
- La falta de información de tratamiento de aguas residuales específicamente de los beneficios de café limitó la investigación técnica y bibliográfica.
- El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

**a) William Antonio Xil Barrios: “Evaluación de la eficacia del tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café, localizado en San Juan la laguna, Sololá”. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 2012.**

##### **Resumen**

Como resultado de la investigación descriptiva se caracterizaron las aguas mieles del procesamiento de café de un beneficio húmedo, describiéndose los parámetros fisicoquímicos a través de las unidades del sistema de tratamiento, la eficacia global del mismo y de las unidades individuales. Dichos resultados se obtuvieron como consecuencia de un muestreo que tomó cuatro semanas, tiempo durante el cual se tomaron muestras simples de cada punto del sistema, para determinar los parámetros de calidad del agua residual, según lo establecen los incisos

1, 3 al 10 del Acuerdo Gubernativo 12-2011, analizadas en el laboratorio de agua de Ancafé.

Además, se realizaron mediciones *in situ* en cada muestreo, en donde se verificó pH, temperatura y materia flotante, así como un análisis fisicoquímico del agua utilizada para el procesamiento de café, lo que corroboró que el aporte contaminante inicial del agua de procesamiento no es significativo para los valores de los parámetros del agua miel.

Finalmente, se calcularon tres valores de eficacia globales, dos de ellos en sistema continuo y otro en sistema estacionario, lo cual reflejó que se obtienen valores mayores de eficacia para una semana de tiempo de retención en las unidades del sistema de tratamiento.

**b) Franger Acuña Acuña: “Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de café en el beneficio de Coopronaranjo R.L.”. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago 2002.**

### **Resumen**

El sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio de la Coopronaranjo R.L, está constituido por un sedimentador, un tamiz, una laguna de homogeneización, un tanque de mezcla y finalmente un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA). Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio del beneficio, algunas muestras fueron enviadas al laboratorio del ICAFE.

Se evaluó la eficiencia del RAFA en términos de DQO, DBO, tiempo de retención hidráulica, carga orgánica e hidráulica, así como en el control de algunos parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura y sólidos sedimentables. Los resultados indicaron que aunque el reactor

tiene altos porcentajes de eficiencia de remoción de materia orgánica, según los parámetros de diseño, presentó bajas cargas orgánicas e hidráulicas, así como tiempos de retención hidráulicos muy prolongados. El efluente del reactor cumplió con todos los parámetros fisicoquímicos normados en el país, excepto en la cantidad de sólidos sedimentables, presentándose lavado de lodos y formación de lodos punta de alfiler por un inadecuado arranque del reactor.

**c) Alex Ernesto Molina Guardado, Rolando Antonio Villatoro Martínez: “Propuesta de tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café.” Universidad de El Salvador. 2006**

#### **Resumen**

El presente trabajo “Propuesta de Tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café”, brinda diferentes alternativas de sistemas de tratamientos para las aguas mieles y el posterior aprovechamiento de las aguas tratadas y de la pulpa del café.

Se detalla el problema actual de los beneficios de café, así como los estudios previos acerca del tema de contaminación por aguas residuales del despulpe y lavado del café, y la contaminación generada por el vertido de la pulpa a los cuerpos de agua; se plantean los objetivos que se persiguen, los alcances y las limitaciones que tendremos en el desarrollo del tema.

**d) Juan Manuel Garay Román: “Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo del café del distrito La Coipa en la región Cajamarca 2014.” Universidad Nacional de Trujillo. 2016**

## Resumen

Una de las formas más comunes, en la ceja de selva peruana, de contaminar el medio ambiente es con el agua residual del beneficio húmedo de café, como lo vienen haciendo los caficultores del distrito La Coipa, provincia de San Ignacio, Región Cajamarca. El análisis del agua residual de despulpado arrojó DBO: 7287 ppm y sólidos totales (ST): 11355 ppm; el agua residual de lavado de café presentó DBO: 5847 ppm y ST: 7977 ppm; ambas son descargadas a quebradas de las fincas cafetaleras, cuyo impacto total fue DBO igual a 13134 ppm, ST equivalente a 19332 ppm y con pH alrededor de 5, como resultado de la exposición de ácidos carboxílicos menores. El tratamiento para depuración de estas aguas en tiempo de campaña de cosecha de café Abril - Setiembre de cada año, fue posible con la construcción de un biosistema o humedal con macrófitas sembradas como el Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*), donde se retenía las aguas de lavado de café durante 50 días. Al cabo de este tiempo, el agua que sale del humedal tenía una DBO de 98 ppm y ST de 148 ppm, con lo cual cumple las normas ambientales que establece los límites máximos permisibles para arrojar aguas utilizadas a los cauces de aguas dulces como quebradas o ríos, las que no deben superar una DBO de 100 ppm y ST de 150 ppm. El biosistema con Jacinto acuático alcanzó una reducción para la DBO de 86,57 % y para ST de 98,14 %.

## **2.2. Bases teóricas-científicas**

### **2.2.1. Generalidades del café (*Coffea sp*)**

La producción de un cultivo está relacionada con la incidencia de diferentes factores donde se deben considerar: El factor clima en el caso de las plantas, este factor va a afectar las etapas fenológicas, así tenemos que el café se produce en condiciones templadas y calientes, por lo que indica que es un cultivo de climas Tropicales y subtropicales, pero la calidad de los productos varían con la temperatura, así tenemos que temperatura mayores de 23°C a 25°C, reducen la calidad, siendo las óptimas entre 18 a 22°C aun cuando hay bibliografías que nos indican entre 20 y 25°C, indicándose que en este rango no es requerida la sombra, sin embargo esta es empleada como parte del manejo de la plantación.

Si la temperatura reduce la calidad del café, el efecto del sobre calentamiento de la tierra, afecta esta producción, por lo que el cultivo puede ir desplazándose hacia la altura a fin de obtener temperaturas más adecuadas.

La precipitación requerida fluctúa entre 1500 a 2500 mm, pero requiere de un abastecimiento constante para un correcto crecimiento del cafeto, por lo que se requieren por lo menos 120 milímetro al mes, la altitud más adecuada fluctúa entre 1000 a 1500 msnm Las zonas Cafetaleras en el Perú: van de 600 a 1 600 m.s.n.m, Zona Baja: 600 a 900 m.s.n.m, Zona Media: 900 a 1 200 m.s.n.m, • Zona Alta: 1 200 a 1 600 m.s.n.m.

Hay cuatro especies o grupos o formas principales, que se cultivan ampliamente y constituyen los cafés del comercio: café arábigo (*C. arábica* L.), café robusto (*C. canephora* Pierre ex Froehner), café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern), y café excelso (*C. excelsa* A. Chev.); además, existe una gran cantidad de otras especies llamadas económicas, que se plantan en escala local y normalmente no entran a los canales comerciales. Con el mejoramiento de plantas se han desarrollado diferentes tipos de plantas (variedades, cultivares, híbridos), que presentan características específicas que colaboran con la mayor producción y calidad. Entre las variedades más comunes se tiene Typica, Bourbon rojo, Caturra rojo, Pache, Catimor, siendo esta última variedad la que presenta como ventaja tolerancia a la roya amarilla y es de alta producción.

Las plantas presentan diferentes eficiencias en la absorción de nutrientes, por lo que presentan órganos adecuados para el ingreso de estos como son las raíces, por donde ingresa la mayor cantidad de nutrientes y también por las hojas por donde absorben los nutrientes, pero en mucha menor cantidad.

Y el lugar por donde absorbe la mayor cantidad de nutrientes el café, o “toma” por sus “raíces absorbentes” o “raicillas” o “boca”, zona que abarca los 10 primeros centímetros del perfil del suelo y cerca de la proyección de la copa. Por lo tanto, la aplicación de abonos debe realizarse en este lugar.

Los cafetos son arbustos que llegan hasta los 12 m de altura, en algunas variedades salvajes hasta los 20 m. En las plantaciones, con fines de recolección, son podados entre los 2 y 4 m de altura. Un cafeto requiere alrededor de 2-3 años para la primera floración y 3 años para la primera cosecha. Se producen 2 floraciones al año pero según la humedad ambiental puede llegar hasta 8 veces, por esta razón se encuentran en la misma planta frutos en diferente estado de madurez. El fruto madura en 28 semanas después de la floración, con forma elíptica y con 1.5 cm de largo está formado por epicarpio o piel, mesocarpio o pulpa, endocarpio o pergamino y dos semillas. Botánicamente es una cereza. En el interior de cada cereza hay dos semillas separadas por un surco y rodeadas de pulpa, estos son los granos de café, protegidos a su vez, por una película plateada y, sobre esta, un tegumento fino amarillo o pergamino. <sup>1</sup>

**Figura N° 1: Ciclo del café.**

|                  |     | Ciclo del Café |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Etapas           | Jul | Ago            | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
| Descanso         | ■   | ■              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Floración        |     |                | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |     |
| Llenado de Grano |     |                |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |
| Cosecha          |     |                |     |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   |

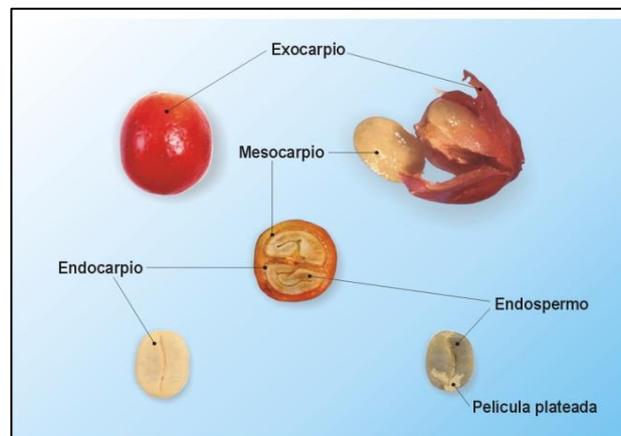
**Fuente:** Dr. Oscar Loli Figueroa – Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café.

<sup>1</sup> CORONEL, F. 2010. Estudio del café especial ecuatoriano. Proyecto Final de Máster. Fundación Universitaria Iberoamericana. Quito, Ecuador. 65 p.

### 2.2.2. El fruto del café

La semilla grano oro o también denominado estructuralmente endospermo contiene en su interior al germen. Estos están cubiertos por una fina película de color blanco plateada denominada cutícula, que es el espermodermo y este cubierto por una cáscara cartilaginosa llamada comúnmente pergamino que es la parte del endocarpio , así formando todos el café pergamino, después, éste sigue envuelta por una sustancia gelatinosa llamada mucílago que viene a ser el mesocarpio , y por último envuelto por la cáscara o pulpa que es el exocarpio constituyéndose así el fruto de café maduro llamado uva con sus diferentes partes estructurales (FIGURA N° 02).<sup>2</sup>

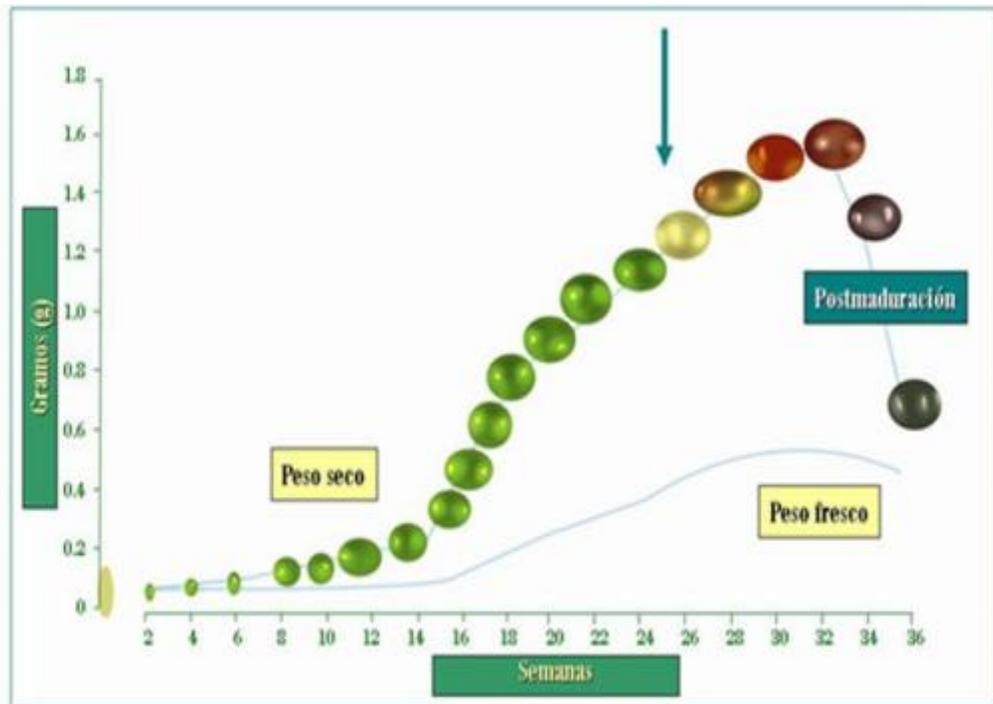
**Figura N° 2: Partes del fruto de café.**



**Fuente:** Archivo fotográfico CENICAFÉ

<sup>2</sup> GUERRERO, J. 2007. Estudio de Diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. Financiado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA. Nicaragua-Promecafé. 95 p.

**Figura N° 3: Desarrollo del grano de café (semanas).**



**Fuente:** Dr. Oscar Loli Figueroa – Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café.

**TABLA N° 1: Composición del fruto del café en % de peso húmedo.**

| Fraccionamiento del fruto del café | % en peso (Húmedo) |
|------------------------------------|--------------------|
| Pulpa (residuos)                   | 42.0               |
| Mucílago y azúcares solubles       | 16.0               |
| Cascarilla (residuos)              | 4.0                |
| Semilla                            | 18.0               |
| Agua                               | 20.0               |
| Total                              | 100.0              |

**Fuente:** GÓMEZ, MORALES y ADALID (2006).

### 2.2.3. Composición química de la pulpa y el mucilago del café

#### a) La pulpa del café

La pulpa es el desecho más importante del beneficiado, pues representa aproximadamente del peso total del fruto fresco del café, alrededor de 40%<sup>3</sup> 42<sup>4</sup>, y de 43.58%<sup>5</sup>. Su poder contaminante es mayor cuando se transporta y separa por vía húmeda debido a su composición química (TABLA N° 02.), pues la humedad en exceso retarda su descomposición y dificulta su manejo, y cuando se fermenta posteriormente causa malos olores y proliferación de moscas.

**TABLA N° 2: Composición química de la pulpa del café**

| Compuesto                   | Base seca (%) |
|-----------------------------|---------------|
| Taninos                     | 1.80-8.56     |
| Sustancias pépticas totales | 6.5           |
| Azúcares reductores         | 12.4          |
| Azúcares no reductores      | 2.0           |
| Cafeína                     | 1.3           |
| Ácido clorogénico           | 2.6           |
| Ácido cafeico total         | 1.6           |
| Celulosa                    | 27.6          |

**Fuente:** ELÍAS, L.G. 1978.

<sup>3</sup> LÓPEZ, A.L., CASTILLO, B. 2011. Aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico. 25 p.

<sup>4</sup> GÓMEZ, D.L., MORALES, N., ADALID, J.2006. Producción de alcohol etílico a partir de mucílago de café.47 p.

<sup>5</sup> MONTILLA, J.2006. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café.107 p.

## b) El mucílago del café

El mucílago de café se genera en la etapa del desmucilaginado y representa del peso del fruto fresco de café alrededor de 14.85%<sup>6</sup>, 16 %<sup>7</sup>. En términos de volumen, por cada kg de café cereza se producen 91 ml de mucílago puro.<sup>8</sup> El mucílago es uno de los residuos que genera alta contaminación debido a su composición química (TABLA N° 03).

**TABLA N° 3: Composición química del mucílago del café**

| Compuesto                   | Base seca (%) |
|-----------------------------|---------------|
| Sustancias pécticas totales | 35.8          |
| Azúcares totales medios     | 45.8          |
| Azúcares reductores         | 30.0          |
| Azúcares no reductores      | 20.0          |
| Celulosa                    | 17.0          |

**Fuente:** CARBONELL y VILANOVA (1974).

### 2.2.4. Beneficiado de café

El beneficiado del café, es el proceso que remueve las envolturas que cubren la semilla del fruto del cafeto, y en el mundo existen dos tipos de beneficiado conocidos por, proceso seco y proceso húmedo.<sup>9</sup>

<sup>6</sup> MONTILLA, J.2006. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Tesis. 107 p.

<sup>7</sup> GÓMEZ, D.L., MORALES, N., ADALID, J.2006. Producción de alcohol etílico a partir de mucílago de café.47 p.

<sup>8</sup> ZAMBRANO, D.A., ISAZA, J.D. 1994. Lavado del café en los tanques de fermentación. CENICAFE. pp. 106-118.

<sup>9</sup> GUERRERO, J. 2007. Estudio de diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. 95p.

### **a) Beneficiado en seco**

El beneficiado seco consiste en someter los frutos recolectados a secado inmediato, deshidratándolos con el objeto de preservar los granos de café (almacenamiento) y trillarlos después, removiendo en una sola operación todas las coberturas deshidratadas (exocarpio, mesocarpio, endocarpio y parte del espermodermo) para dejar la semilla (grano oro sin lavar o endospermo) y someterla después al proceso de torrefacción (tostado) y posterior preparación de bebidas u otro proceso industrial.<sup>10</sup>

### **b) Beneficiado en húmedo**

La función principal del proceso físico del beneficio húmedo es la transformación de café cereza a café pergamino, en el que se eliminan las dos primeras capas del grano de café (pulpa y mucílago) y se obtiene un grano de café pergamino que es la tercera capa que lo cubre.

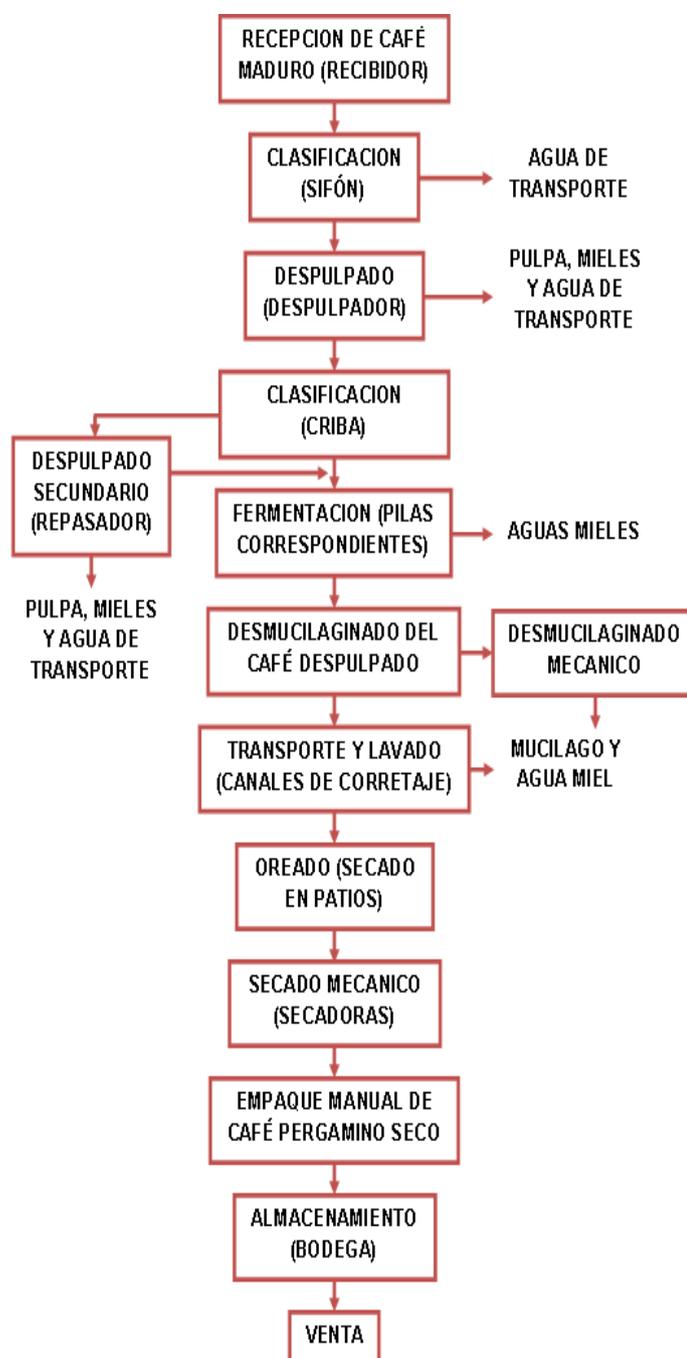
Este proceso es el más importante y complejo del beneficiado de café que tiene varios pasos (Figura 04.) que son realizados garantizando la calidad del grano, entre los cuales se encuentran<sup>11</sup>:

---

<sup>10</sup> GUERRERO, J. 2007. Estudio de diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. 95p

<sup>11</sup> E.C.C.S.R.L. (EMPRESA CONSULTORA CONSULSANTOS S.R.L). 2010. Manual de buenas prácticas de manufactura en el beneficio Bio Café Oro de Tarrazú S.A.52 p.

**Figura N° 4: Diagrama del proceso del beneficiado húmedo del café.**



### 2.2.5. Aguas residuales del Beneficiado Húmedo del Café

El agua utilizada para despulpar y lavar se convierte en agua residual o comúnmente llamado en Latinoamérica agua miel. Estas aguas por ser muy acidas y ricas en materia orgánica pueden ser

particularmente nocivas si se descargan en cuerpos de agua, y si se retienen en lagunas o fosas, se corre el riesgo de contaminar el agua subterránea.<sup>12</sup>

La naturaleza química de las aguas residuales del beneficio húmedo del café, está relacionada con la composición físico-química (TABLA N° 04) de la pulpa y el mucilago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia durante el proceso de beneficiado húmedo.<sup>13</sup>

**TABLA N° 4: Composición química de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.**

| COMPUESTOS |                   | COMPOSICIÓN DEL AGUA MIEL |                                    |                            |                   |       |
|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------|
|            |                   | %<br>Concentración        | Materia<br>Extraída(Kg/<br>QQ oro) | Estimado DQO<br>Kg/ QQ oro |                   |       |
| AGUA       | Despulpe          | Proteínas                 | 12                                 | 0.16                       | 0.25              | 9.1%  |
|            | Taninos           | 2.4                       | 0.14                               | 0.27                       | 9.8%              |       |
|            | Ácido Clorogénico | 2.6                       | 0.28                               | 0.4                        | 14.5%             |       |
|            | Ácido cafeico     | 0.1                       | 0.01                               | 0.02                       | 0.7%              |       |
|            | Cafeína           | 1.6                       | 0.29                               | 0.57                       | 20.7%             |       |
|            | Azúcares          | 8.3                       | 1.13                               | 1.24                       | 45.1%             |       |
|            | TOTAL             | 27                        | 2.01                               | 2.75                       | 100%              |       |
|            | Lavado            | Sustancias Pécicas        | 36                                 | 1.4                        | 1.2               | 29.5% |
|            | Celulosa          | 46                        | 1.9                                | 2.04                       | 50.1%             |       |
|            | Azúcares          | 17                        | 0.7                                | 0.83                       | 20.4%             |       |
| TOTAL      | 99                | 4                         | 4.07                               | 100%                       |                   |       |
| TOTAL      |                   |                           |                                    | 6.82                       | Kg DQO/<br>QQ oro |       |

**Fuente:** Estudio de Ramas Industriales RAMA - CAFÉ / MARENA – FPP, citado por GUERRERO (2007)

<sup>12</sup> MOLINA, L.V. 1999. Gastos defensivos del beneficiado de café en la zona pacífica de Nicaragua.

<sup>13</sup> LÓPEZ, A.L., CASTILLO, B. 2011. Aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico.

El material orgánico disuelto puede retirar o consumir muy rápidamente el oxígeno del agua, en un proceso natural de oxidación, por lo que la pulpa y el mucílago contenidos en un kg de café cereza pueden retirarle todo el oxígeno a 7 400 litros de agua pura.<sup>14</sup>

Las aguas residuales del proceso ocasionan una contaminación unitaria equivalente a 115 g de DQO por kg de café cereza, de los cuales el 73.7% se origina durante las operaciones de despulpado y transporte de pulpa y 26.3% durante las operaciones de lavado y clasificación.

#### **2.2.6. Tratamiento de las aguas residuales del café**

Para el tratamiento de las aguas mieles se ha experimentado muchas alternativas, pero pocas han probado ser efectivas. Independientemente del tratamiento que se siga, es recomendable que primero se realice la separación de los sólidos suspendidos en estas aguas, por el previo tratamiento, y este se efectúa mediante el tamizado o flotación y sedimentación. El previo tratamiento es la preparación para los verdaderos cambios que deben hacerse en la composición de las aguas.<sup>15</sup>

Estas operaciones mecánicas, que solo implican separación física de los contaminantes no resuelven el problema de contaminación, otras investigaciones sugieren como pre tratamiento más eficiente y menos costosos es la construcción de filtros que estén alejados del beneficio húmedo y en suelos infértiles para que estos aprovechen el potencial

---

<sup>14</sup> ZAMBRANO, D.1989.Caracterización de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. (CENICAFE).

<sup>15</sup> MOLINA, L.V. 1999. Gastos defensivos del beneficiado de café en la zona pacífica de Nicaragua.

orgánico que presenta esta agua y de esta manera estos suelos pueden ser utilizados para plantaciones futuras. Pero al tomar esta alternativa se debe de adoptar cal a estas aguas irrigadas ya que este componente favorece a la precipitación de los elementos en suspensión.<sup>16</sup>

Para seleccionar el tipo de pre tratamiento, tratamiento y post tratamiento a seguir, es necesario conocer bien el volumen y carga orgánica de los efluentes dispuestos a tratar, así cuando las concentraciones de contaminantes se elevan, por efecto de una reducción en el volumen de agua empleado en el proceso de beneficiado, las aguas resultantes son más fáciles de tratar. Por ello es que se prefiere antes de elegir el sistema de tratamientos de aguas a implementar, se le hagan a la planta de beneficio húmedo todas las modificaciones requeridas para reducir el consumo de agua.

#### **a) Tratamiento preliminar**

Está destinado a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento posterior evitando que se presenten obstrucción de tuberías, presencia de sólidos flotantes, fluctuación de caudal, etc. En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes de tratamiento. Las unidades de tratamiento preliminar más utilizadas son las rejas, los desmenuzadores, los desengrasadores, los tanques de compensación y los desarenadores. Estos dispositivos están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, eliminar los sólidos

---

<sup>16</sup> LÓPEZ, A.L., CASTILLO, B. 2011. Aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico.

inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites y grasas.

17

### **b) Tratamiento primario**

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos. Permite remover principalmente los contaminantes sedimentables, algunos sólidos suspendidos y flotantes a través de procesos físicos y en algunos casos químicos. Para ello se emplean, entre otros, sedimentadores como tanques sépticos, tanques Imhoff, tanques de sedimentación simple y clarificadores; tanques de flotación y tanques de precipitación química.

### **c) Tratamiento secundario**

Este tratamiento debe hacerse cuando las aguas residuales todavía contienen sólidos orgánicos (en suspensión o disueltos), después del tratamiento primario, para que puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse gradualmente a su estado natural. Pueden remover hasta 85% de la DBO y de los sólidos suspendidos, además de cantidades variables de nitrógeno, fósforo, metales pesados y bacterias patógenas. Pueden ser de naturaleza físico-química o biológica.<sup>18</sup>

### **• Tratamiento físico-químico**

---

<sup>17</sup> KORSACK, L. 2010. Sistema de Aguas Residuales para el Sector Café, Taller de Capacitación. Impartido por el Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (CPML), Con el apoyo del Programa de Apoyo a la Mejora del Clima de Negocios e Inversiones en Nicaragua (PRAMECLIN). 246 p.

<sup>18</sup> RODRÍGUEZ, N. 2009. Estudio de Un biosistema Integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.

Los tratamientos físico-químicos utilizados como tratamientos secundarios permiten tratar el agua con el fin de transformar los compuestos que están en forma de sólidos disueltos y coloidales en compuestos estables, por medio de operaciones físicas y/o procesos químicos, tales como la coagulación, floculación, precipitación química, filtración, separación por membranas, adsorción, intercambio iónico.

#### • **Tratamiento biológico**

Los procesos biológicos empleados en el tratamiento secundario de las aguas residuales se pueden clasificar en 2 grandes grupos: los aerobios y los anaerobios.

#### • **Tratamiento aeróbico**

Son aquellos que utilizan microorganismos que requieren oxígeno para la depuración de las aguas residuales, siendo los más utilizados los lodos activados, los filtros percoladores, los biodiscos y las lagunas de maduración, la depuración biológica aeróbica de las aguas residuales consiste, en principio, en hacer que las bacterias, que se agrupan en películas o flóculos, se desarrollen y multipliquen, para posteriormente separar, por sedimentación, los fangos producidos.<sup>19</sup>

✓ **Lodos activados:** son procesos aerobios en suspensión líquida y con un sistema de separación y recirculación de fangos (Ferrer y Seco, 1999). El aporte de O<sub>2</sub>, en estos sistemas, se hace por medios mecánicos. El tratamiento de lodos activados presenta las siguientes ventajas y desventajas:

---

<sup>19</sup> MUÑOZ, J.M. 1993. Biodiscos. Filtros percoladores. In: Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural.

**TABLA N° 5: Ventajas y desventajas del tratamiento con lodos activos.**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja generación de malos olores.</li> <li>- Es un sistema que permite controlar diferentes calidades del afluente.</li> <li>- Las variables de operación son conocidas y controlables.</li> <li>- Requieren áreas moderadamente pequeñas.</li> <li>- En aireación extendida (zanjas de oxidación) se generan menos lodos y hay nitrificación.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere infraestructura adicional de sedimentación.</li> <li>- Mayores costos operativos por el requerimiento de energía para suministrar oxígeno.</li> <li>- Se genera un alto volumen de lodos que requieren un adecuado manejo y disposición.</li> <li>- Requiere profesional especializado para operación.</li> <li>- Cuando la aireación es extendida (zanjas de oxidación) se requiere mayor área.</li> </ul> |

**Fuente:** Ferrer y Seco, 1999.

✓ **Filtros percoladores:** consisten en tanques, normalmente cilíndricos, rellenos de un material inerte sobre el que se rocía el agua a tratar. Los filtros percoladores tradicionales utilizan como material de relleno coque metalúrgico o piedras silíceas trituradas y los modernos rellenos de material plástico. El tratamiento presenta las siguientes ventajas y desventajas:

**TABLA N° 6: Ventajas y desventajas del tratamiento con filtros percoladores.**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un sistema aeróbico que no requiere de aireación superficial.</li> <li>- Es de fácil operación y mantenimiento.</li> <li>- Es un sistema menos costoso porque no requiere equipos de aireación.</li> <li>- Baja generación de lodos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se obtienen remociones orgánicas más bajas.</li> <li>- Requiere de áreas más grandes.</li> <li>- Potencial generación de olores.</li> <li>- Requiere de infraestructura adicional de sedimentación.</li> </ul> |

**Fuente:** Muñoz, 1999

✓ **Biodiscos:** son contactores biológicos rotativos en los cuales el agua pasa horizontalmente a través de un tanque en el que giran unos ejes con discos de gran diámetro, suficientemente separados, para permitir el crecimiento de biomasa sobre su superficie. El material de los discos es plástico (poliestireno y cloruro de polivinilo) o metálico. Tiene como ventajas el hecho de que requieren menos energía que los lodos activados y como desventaja que es un sistema costoso en la inversión, que requiere de personal especializado, mayor mantenimiento y de grandes áreas en relación con los lodos activados.

✓ **Lagunas de maduración:** se destinan a la depuración del efluente de las lagunas facultativas con el objetivo principal de eliminar los microorganismos patógenos. Son totalmente aerobias y dado que la mayor parte de la materia orgánica es eliminada en las lagunas previas funcionan con cargas orgánicas reducidas. En ellas el tiempo de retención hidráulica se consigue gracias a los altos volúmenes de las mismas. Como ventajas se tienen la facilidad de operación y mantenimiento, los bajos costos de operación ya que no requieren energía y su baja producción de lodos. Como desventajas pueden citarse que requieren de grandes áreas para el tratamiento y que se pueden generar procesos de eutrofización.

#### ✓ **Tratamiento anaeróbico**

Los progresos recientes en los conocimientos de la bioquímica bacteriana han logrado modificar enormemente las técnicas de

depuración y han permitido emplear microorganismos anaeróbicos, los cuales se han utilizado con éxito durante los últimos años en su aplicación a residuos, debido a sus ventajas respecto al tratamiento aeróbico tanto en economía y facilidad de aplicación como por la obtención de un producto de gran valor energético como el metano. Estos sistemas son cada vez más utilizados para tratar los efluentes biodegradables en más del 90%, pero muy concentrados, procedentes de la agroindustria.<sup>20</sup>

Los tratamientos anaerobios más utilizados en el tratamiento de las aguas residuales del café han sido las lagunas, los reactores de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) y los filtros.

### **2.2.7. Impactos ambientales ocasionados por la contaminación ambiental en el proceso del beneficio húmedo de café.**

La contaminación ocasionada por la industria cafetalera en el proceso de beneficio húmedo del café, constituye un serio problema en los países productores de café. En proceso del fruto se consume grandes cantidades de agua y casi el 80 % del fruto se considera de poco o nulo valor económico y por consiguiente es designado como desecho, el cual se vierte generalmente en los ríos, generando malos olores, contaminando dichos ríos, más los propios problemas sociales que esta situación trae aparejado, sobre todo, limitaciones con sus usos con fines

---

<sup>20</sup> RODRÍGUEZ, N. 2009. Estudio de Un biosistema Integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.

recreativo y de sustento familiar por la contaminación de los ríos en épocas de proceso.<sup>21</sup>

Los principales impactos ambientales son<sup>22</sup>:

- Creación de aguas ácidas (pH < 7)
- Malos olores
- Aguas coloreadas, de aspecto estético desagradable.
- Imposibilidad del uso del agua para consumo humano, la ganadería e irrigación.
- Destrucción de ecosistemas acuáticos.
- Afectación de los suelos irrigados por esta agua.
- Elevación del % de metano en el agua.
- Modificaciones paisajísticas.
- Aumento de la concentración de Ca, K, Mg y P en el agua.
- Aumento de la carga orgánica y del consumo de O<sub>2</sub> en el agua.
- Sólidos en suspensión.
- Aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por encima de 2 500 y 3 000 mg/L respectivamente.

Además de lo anterior, el verter los desechos a los cuerpos de agua perjudica directamente la flora y fauna acuática, alterando el

---

<sup>21</sup> PEREZ, N., CASTILLO, R., CARBALLO, L., VELIZ, J. 2006. Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social.

<sup>22</sup> SOTOLONGO, J., ALMARALES, A., BLANCO, C., PARÚAS, R., CHI, L., GARCÍA, S. 2000. Impacto ambiental de los residuales de café Sobre las principales cuencas de interés económico y social de la provincia Guantánamo, soluciones energéticas y medioambientales

equilibrio biológico como también proliferando la fauna nociva con alto potencial de ser vector de enfermedades.

#### **2.2.8. Legislación ambiental**

En la actualidad en el Perú no existe un control legal específicamente que regule los permisos de construcción y operación de las plantas de beneficios húmedos de café, sobre todo el control adecuado de sus aguas residuales que estos vierten a los cuerpos de agua, pero tenemos la LEY N° 29338 LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (2009), que en el Artículo 34, nos dice que el uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, promoviendo que se mantengan o mejoren las características físico-químicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y las seguridad nacional, así también en el Artículo 79, explica que La Autoridad Nacional autoriza el vertido de agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP), y que queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. También nos dice que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado.

Así también, la LEY N° 29338 LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (2009), en el Artículo 120, dice que constituye una infracción en materia de agua, toda acción u omisión tipificada en: Contaminar el agua

transgrediendo los parámetros de calidad ambiental vigentes; Realizar vertimientos sin autorización; Arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de aguas naturales o artificiales; y Contaminar el agua subterránea por infiltración de elementos o sustancias en los suelos.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Aforo:** Mediciones dirigidas a la determinación del caudal de una corriente residual.
- **2** **mpolución** de un efluente expresada por el consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos que descomponen la materia orgánica presente en el propio efluente.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en el agua.
- **Despulpe:** Operación que tiene como propósito, la remoción de las partículas blandas del grano de café maduro, que son la pulpa y cierta parte del mucílago.
- **Eficiencia del Tratamiento:** muestra el porcentaje de materia orgánica que se removió en el proceso. Debe situarse en un intervalo del 75-85%. Al ser menor, puede deberse a que la carga orgánica sea muy alta, o que la concentración del afluente está muy baja y la carga orgánica esté bien. **Sistema de tratamiento (SDT) :** Procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
- **Fermentación:** cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas, generalmente, la

fermentación produce la descomposición de sustancias orgánicas complejas en otras simples, gracias a una acción catalizada.

- **Material flotante:** Material visible sobre la superficie del agua residual.
- **Mucílago:** Es una capa de aproximadamente 0,5 a 1.5 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café; químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos.
- **Muestreo de aguas residuales:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.
- **Nutriente** Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.
- **Pergamino del café:** Llamado también cascarilla, es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa, y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca.
- **pH:** Término que indica la acidez o basicidad del agua, es definido como el logaritmo común relativo de la concentración de iones hidrógeno.
- **Sistema de tratamiento:** Procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

- La evaluación y el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café permiten mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- Los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico se encuentran dentro de los ECA agua Categoría III, después de la aplicación del tratamiento.
- El sistema de tratamiento seleccionado demuestra un 75% de eficiencia para mejorar las condiciones de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.
- El vertido de las aguas miel procedentes del beneficio húmedo del café en el fundo Monte Rico sin intervención de un sistema de tratamiento provoca un efecto negativo en el ambiente.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

X: Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **2.5.2. Variable Dependiente**

Y: Mejora de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel.

## **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

Para la definición operacional Se estableció un período de muestreo que permitió la evaluación de la eficacia 6 veces. Para esto se realizaron 6 muestreos en proceso continuo cada 15 días durante 3 meses. Se tuvieron 5 puntos de muestreo, para los cuales se determinaron distintos parámetros químicos y físicos de calidad del agua, dependiendo de su función en el sistema de tratamiento a fin de medir su eficacia. Tanto para el agua que entra como sale del sistema de tratamiento se determinaron los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub> y DQO.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se realizó bajo el fundamento de la investigación experimental – correlacional, porque analiza e interpreta la naturaleza actual, la composición y los fenómenos de cómo reacciona el agua miel al tratamiento empleado, así mismo, pretende visualizar cómo se relacionan o vinculan las variables entre sí, o si por el contrario no existe relación entre ellos.

#### 3.2. Métodos de la investigación

La metodología utilizada, comprende los métodos empíricos como:

- **La observación:** Viene hacer la observación del campo de estudio (actividad humana y ambiente) para explorar, describir, identificar y comprender el contexto del estudio. Este método es una "lectura lógica de las formas" y supone el ejercicio y "metodología de la mirada", debido a que se observó los cambios y las reacciones de las

variables al entrar y salir del sistema de tratamiento implementado para mejorar las aguas miel.

- **El experimento:** pues se realizó operaciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos.
- **La medición:** pues se hicieron mediciones de las concentraciones de los parámetros analizados.

### **3.3. Diseño de investigación**

La presente es una investigación de diseño transversal porque la investigación se ha llevado a cabo en un período de tiempo determinado debido a que es un proceso que incluye el muestreo y análisis de las muestras, en 6 repeticiones de muestreo cada 15 días cada uno, por el periodo de 3 meses.

#### **a. Fase preliminar**

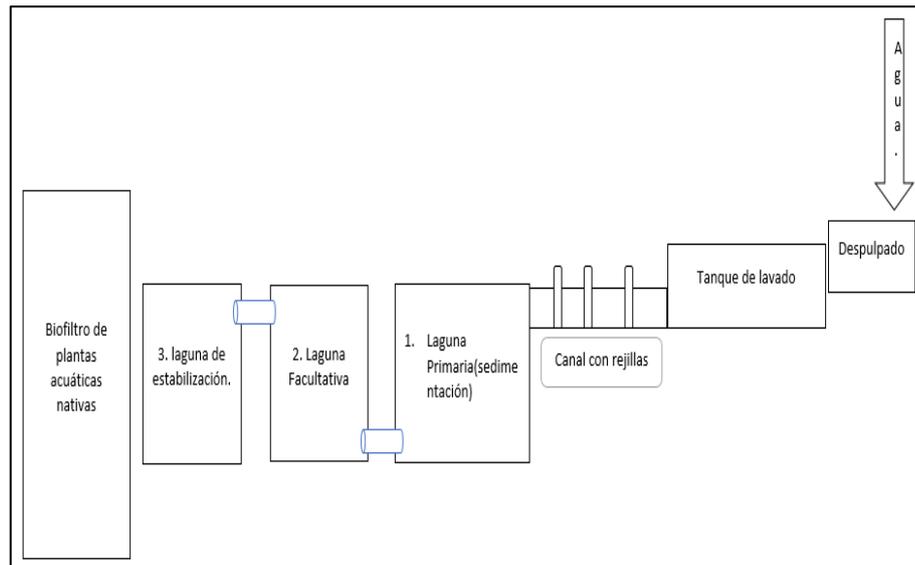
En esta etapa se recopiló y analizó toda la información existente de la zona de estudio involucrada, información climatológica, cartografía, características del terreno, etc., a fin de disponer de un panorama total del ambiente físico donde se desarrolló la investigación.

#### **b. Fase de campo**

En esta fase se analizó variadas operaciones para el tratamiento de aguas residuales (aguas miel), teniendo en cuenta un aspecto importante: "Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opere adecuadamente produzca en forma continua el caudal y calidad del efluente." El diseño

seleccionado consistió en lagunas de oxidación<sup>23</sup>, la cual cuenta con tres pozas que se detallan a continuación:

**Figura N° 5: Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales seleccionado para el tratamiento de las aguas miel en el fundo Monte Rico.**



**Fuente:** Elaboración propia.

- **Diseño de las lagunas de oxidación**

- ✓ **Determinación de la cantidad de café cerezo procesado en el fundo Monte Rico durante la campaña de cosecha del Café**

Para la determinación de café cerezo que se procesa durante la campaña de café se buscó saber cuánto es la producción de café pergamino obtenido en quintales durante la campaña de café, por lo que para obtener un quintal (Qq) de café pergamino seco se

<sup>23</sup> Las lagunas de oxidación son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada.

necesita 260 kilogramos de café cerezo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$1Qq \text{ CPS} = 260 \text{ kgCC}$$

$$CCT = 260 \text{ Kg} * (n * QqCPS)$$

Dónde:

CCT : Total de café cerezo procesado

QqCPS : Quintal de café pergamino seco obtenido.

n : Número de quintales de café pergamino seco obtenido.

- **Cálculo del volumen de agua utilizado en el proceso de beneficiado húmedo de café**

Para calcular el volumen de agua utilizado en el proceso de beneficiado húmedo de café se realizó la medición del caudal del chorro de salida del tubo del reservorio de agua, por el método volumétrico, conjuntamente con el tiempo que demora el proceso de despulpado y lavado de café, como se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$V = Q * (TD + TL)$$

**Dónde:**

V : Volumen de agua utilizado durante el proceso de beneficiado húmedo del café.

Q : Caudal del agua utilizada durante el proceso del beneficiado húmedo.

TD: Tiempo corrido del proceso del beneficiado durante la operación del despulpado.

TL: Tiempo corrido del proceso del beneficiado durante la operación del lavado.

$$Q = V/\Delta t$$

**Dónde:**

Q : Caudal del agua utilizada durante el proceso del beneficiado húmedo.

V: Volumen de agua

$\Delta t$ : Variación de tiempos (t1, t2, t3, t4) tomados en la medición del volumen estándar.

- **Selección de la muestra**

Se estableció un período de muestreo que permitió la evaluación de la eficacia 6 veces. Para esto se realizaron 6 muestreos en proceso continuo cada 15 días durante 3 meses. Se tuvieron 5 puntos de muestreo, para los cuales se determinaron distintos parámetros químicos y físicos de calidad del agua, dependiendo de su función en el sistema de tratamiento a fin de medir su eficacia. Tanto para el agua que entra como sale del sistema de tratamiento se determinaron los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub> y DQO.

- **Determinación de la calidad del agua del lavado de café**

Se tomó la muestra directa del agua que se utiliza en el procesamiento de café, para determinar la concentración inicial de componentes químicos en dicha agua, a fin de conocer el aporte real de componentes químicos en el manejo y procesamiento del café. Esto es establecer un parámetro inicial de referencia de la calidad del agua del proceso.

La evaluación del sistema de tratamiento para mejorar la calidad del agua miel se hizo a partir de los parámetros de temperatura, ph, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub>. Unos se midieron en campo para tener una imagen más real del sistema, ya que son muy sensibles a alteraciones, pero otros fue necesario llevar muestras de agua al laboratorio siguiendo los protocolos de almacenamiento y conservación de las muestras de agua para evitar la alteración de sus propiedades.

**En el campo se midió:**

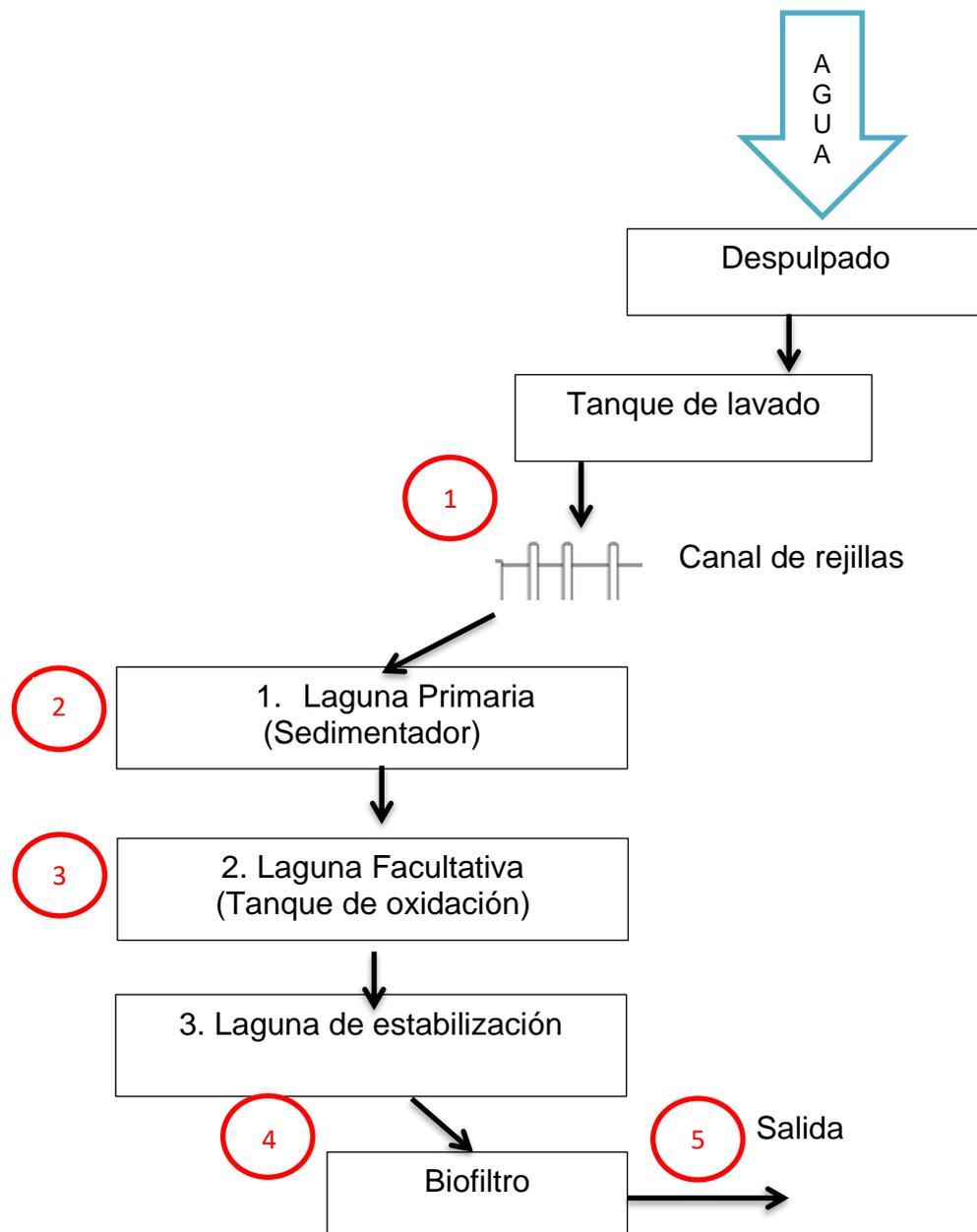
Conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH (unidad de pH) y temperatura ( $T^\circ$ ,  $^\circ\text{C}$ ).

- **Análisis de agua:** Los parámetros que se analizaron se correlacionaron con la normativa vigente (D.S. N° 015 – 2015 – MINAM, modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación).

- **Elección de los puntos de muestreo**

La elección de los puntos de muestreo, así como los parámetros a determinar en éstos, están en función del trabajo que se realiza en dicho punto.

**Figura N° 6: Puntos de muestreo en el sistema de tratamiento**



**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 7: Descripción de los puntos de muestreo en el sistema de tratamiento:**

| Punto | Descripción              | Parámetros a medir                            | Objetivo   |
|-------|--------------------------|---|--|
| 1     | Agua del lavado de café  | T, pH, conductividad, DQO, DBO <sub>5</sub> . | Determinar la concentración inicial de componentes químicos.   |
| 2     | Laguna primaria          | T, pH, conductividad.                         | Calcular la eficiencia en reducción a los parámetros ya mencionados.   |
| 3     | Tanque de oxidación      | T, pH, conductividad.                         | Evaluar las condiciones en la que se desarrollan los microorganismos.  |
| 4     | Laguna de estabilización | T, pH, conductividad.                         | Determinar la eficacia conjunta de laguna de sedimentación y de oxidación.   |
| 5     | Salida del filtro        | T, pH, conductividad, DQO, DBO <sub>5</sub> . | Determinar la eficacia conjunta de los tanques de oxidación-sedimentación y el filtro de agua clarificada; determinar la eficacia global del sistema de tratamiento. |

**Fuente:** Elaboración propia

- **Eficiencia del sistema de tratamiento**

La eficiencia en reducción de componentes químicos se calculó de acuerdo a la ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Dato\ de\ entrada - Dato\ de\ salida}{Dato\ de\ entrada}$$

En donde:

**Eficiencia:** medida del cumplimiento de los valores máximos de concentración de los parámetros de calidad del agua (ECA agua para categoría III).

**Dato de entrada:** valor del parámetro a estudiar a la entrada del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales.

**Dato de salida:** valor del parámetro a estudiar a la salida del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las agua de desfogue.

### c. Fase final

En esta etapa se procedió a evaluar los resultados obtenidos de la investigación para determinar si el sistema seleccionado mejora las condiciones físicas de las aguas miel en el fundo Monte Rico y cumple o no con lo establecido en el D.S. N° 015 – 2015-MINAM.

## 3.4. Población y muestra

### 3.4.1. Población

El universo de estudio es el sistema de tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo de café seleccionado.

### 3.4.2. Muestra

Conformada por 5 muestras, tomadas en 5 puntos del sistema de tratamiento.

**TABLA N° 8: Descripción de las muestras**

| <b>Muestra</b> | <b>Descripción</b>                  | <b>Parámetros a medir</b>                     |
|----------------|-------------------------------------|---|
| 1              | Agua del lavado de café             | T, pH, conductividad, DQO, DBO <sub>5</sub> . |
| 2              | Agua de la laguna primaria          | T, pH, conductividad.                         |
| 3              | Agua del tanque de oxidación        | T, pH, conductividad.                         |
| 4              | Agua de la laguna de estabilización | T, pH, conductividad.                         |
| 5              | Agua de la salida del filtro        | T, pH, conductividad, DQO, DBO <sub>5</sub> . |

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**a. Técnicas:** Para la recolección de los datos se utilizó las siguientes técnicas:

- **Fichaje:** donde se anotaron los datos del muestreo en los 5 puntos del sistema de tratamiento de agua residual utilizado para mejorar los parámetros de T°, pH, conductividad, DQO y DBO<sub>5</sub>.
- **Entrevista:** conversación que tiene como finalidad la obtención de información.
- **Revisión documental:** Recopilación de contenidos: estudios ambientales anteriores en la zona de estudio.
- **Muestreo simple:** Las muestras se tomaron de acuerdo a los siguientes pasos:
  - En el centro del flujo, donde la velocidad es mayor y la posibilidad de asentamiento de sólidos es menor.
  - Donde se presentaba la menor turbulencia.
  - Sin presencia de espuma.
  - Evitando agua de la superficie o del fondo de la corriente.
  - Unificando caudales para asegurar la uniformidad del efluente.

**b. Instrumentos:** Para la recolección de los datos se utilizó los siguientes instrumentos de investigación:

- Guía de Observación
- Cuaderno de notas
- Registros documentarios existentes en la zona.

**Instrumentos de registro:**

- Multiparámetro para evaluar los parámetros de campo.
- Cámara digital para los registros fotográficos.
- GPS.
- Papel, lápiz.
- Computadora.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Con toda la información obtenida de los resultados se creó una base de datos, en los programas de Microsoft Office para manejar la información completa de la investigación. Para el análisis de datos se realizaron:

- Creación de una base de datos en Microsoft Excel.
- Ordenamiento y codificación de datos.
- Tabulación.
- Calcular la eficacia global del sistema de tratamiento.
- Presentar los resultados gráficamente con ayuda de un software especial, sea éste Microsoft Excel o equivalente.
- Análisis e interpretación: Utilizando la descomposición de los datos más frecuentes y relevantes se procede a interpretar los resultados.
- Discusión de Hallazgos.

### **3.7. Tratamiento estadístico**

Se utilizó los programas de Microsoft Excel, Microsoft Word. En donde se realizó:

- Tablas de frecuencia simple para interpretación de los resultados obtenidos.
- Se procedió a convertir los datos analizados en números,

porcentajes y gráficos construyéndose cuadros estadísticos.

### **3.8. Selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Para la confiabilidad de los instrumentos de investigación toda la información obtenida de los resultados se creó una base de datos, en los programas de Microsoft Office para manejar la información completa de la investigación. Para eso se calculó el volumen de agua utilizado en el proceso de beneficiado húmedo de café se realizó la medición del caudal del chorro de salida del tubo del reservorio de agua, por el método volumétrico, conjuntamente con el tiempo que demora el proceso de despulpado y lavado de café. Y se diseñaron lagunas de oxidación y así se vio la eficacia y confiabilidad del proceso.

### **3.9. Orientación ética**

La tesis que describo intitulada evaluación y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café y mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico san Juan de Cacazu – Villa Rica – Oxapampa 2017. En todas las etapas de la investigación, desde la planificación y la realización hasta la evaluación del proyecto de investigación fue aplicada.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **Construcción de las lagunas de oxidación**

##### **4.1.1. Cálculo del volumen de agua utilizado en el proceso de beneficiado húmedo de café en el fundo Monte Rico**

Para calcular el volumen de agua utilizado en el proceso de beneficiado húmedo de café se realizó la medición del caudal del chorro de salida del tubo del reservorio de agua, por el método volumétrico, conjuntamente con el tiempo que demora el proceso de despulpado y lavado de café.

##### **- Caudal del agua promedio generado**

Para determinar el caudal se procedió a calcular el tiempo de llenado del agua en un recipiente con las siguientes características.

Datos del Recipiente

Diámetro (d) = 0.25m

Altura (h) = 0.16m

Volumen =  $\pi * d^2 * h/4$

Volumen =  $3.14 * (0.25m)^2 * (0.16m)/4$

Volumen = 0.00785 m<sup>3</sup>

Para hallar el caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q= caudal

V= volumen

t= tiempo

**TABLA N° 9: Caudal promedio del agua**

| <b>TIEMPO (seg)</b>    | <b>CAUDAL (L/seg)</b> |
|------------------------|-----------------------|
| 9.7                    | 0.81                  |
| 9.9                    | 0.79                  |
| 9.8                    | 0.80                  |
| 9.6                    | 0.82                  |
| 9.9                    | 0.79                  |
| 9.8                    | 0.80                  |
| 9.7                    | 0.81                  |
| 9.6                    | 0.82                  |
| 9.8                    | 0.80                  |
| 9.7                    | 0.81                  |
| 9.8                    | 0.80                  |
| 9.9                    | 0.79                  |
| <b>Caudal Promedio</b> | <b>0.67</b>           |

Fuente: Elaboración propia

- **Volumen de agua utilizado durante el proceso de beneficiado húmedo del café.**

$$V = Q * (TD + TL)$$

Dónde:

V: Volumen de agua utilizado durante el proceso de beneficiado húmedo del café.

Q: Caudal del agua utilizada durante el proceso del beneficiado húmedo.

TD: Tiempo corrido del proceso del beneficiado durante la operación del despulpado.

TL: Tiempo corrido del proceso del beneficiado durante la operación del lavado.

Reemplazando en la fórmula:

$$V = 0.67 \frac{L}{seg} * (1h + 1h)$$

$$V = 0.67 \frac{L}{seg} * 2h * \frac{3600seg}{1h}$$

$$V = 4824L * \frac{1m^3}{1000l}$$

$$V = 4.824 m^3$$

Entonces 4.824 m<sup>3</sup> por 7días de retención que dura el proceso es 33.768 m<sup>3</sup>; por lo tanto la capacidad de almacenamiento de las 3 lagunas de oxidación es de 34 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2. Dimensión de las lagunas de oxidación

La capacidad de almacenamiento de las 3 lagunas es de 34 m<sup>3</sup> por lo tanto presenta las siguientes dimensiones:

**TABLA N° 10: Dimensión de las lagunas de oxidación**

| N°                   | Poza de oxidación        | Largo (m) | Ancho (m) | Profundidad (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------------------|
| 1                    | Laguna primaria          | 3         | 2         | 2               | 12                        |
| 2                    | Laguna facultativa       | 3         | 2.2       | 1.5             | 10                        |
| 3                    | Laguna de estabilización | 4         | 3         | 1               | 12                        |
| <b>Volumen total</b> |                          |           |           |                 | <b>34</b>                 |

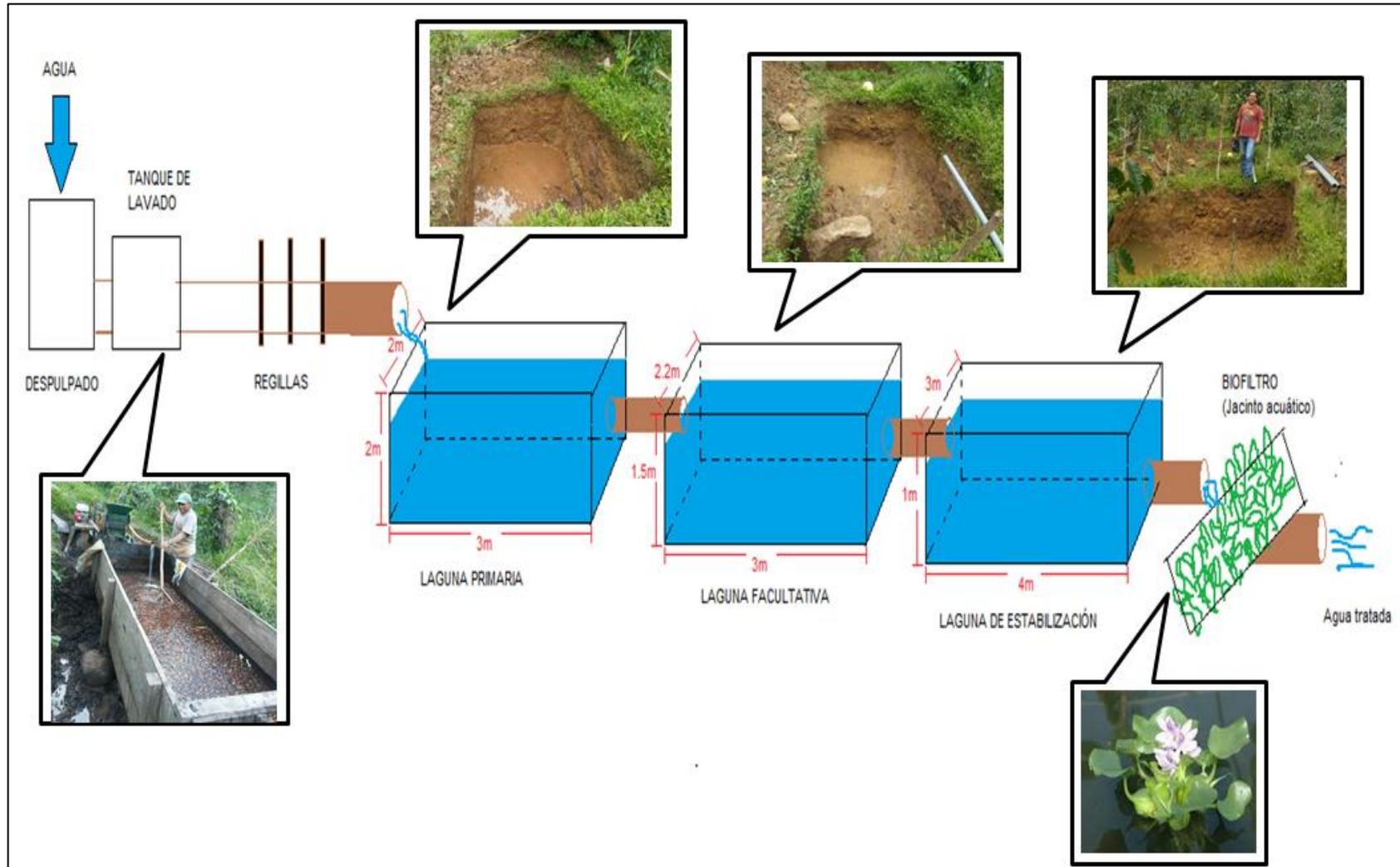
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.3. Diseño de las lagunas de oxidación

El diseño del sistema de tratamiento empleado es el de lagunas o pozas de oxidación, están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, con forma rectangular, impermeabilizadas con arcilla y plástico, el diseño realizado consta de 3 pozas o lagunas, las cuales son de aireación natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interface aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas que actúan en forma simbiótica con las bacterias, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos.

Se colocó rejillas antes de las pozas, para evitar que pasen los residuos sólidos de mayor tamaño, la primera laguna presenta las siguientes dimensiones 3m de largo x 2m ancho x 2m de profundidad, la segunda laguna 3m de largo x 2.2m ancho x 1.5m de profundidad y la tercera 4m de largo x 3m ancho x 1m de profundidad, las tres conectadas mediante tubería, la capacidad del sistema está diseñado para 34 m<sup>3</sup> de agua. Al final del sistema se colocó un biofiltro en donde se utilizó *Eichhornia crassipes*, que es una planta de la familia Pontederiaceae que flota sobre la superficie de arroyos y lagos de agua dulce; se considera libre ya que sus raíces no están fijas a ningún sustrato. Posee una raíz de tipo plumosa, fibrosa y con muchas ramificaciones. El tallo es delgado, de él parten los peciolos que son esponjosos e inflados y se encuentran rodeándolo. Las hojas son lobuladas de un color verde característico por ser muy brillante. Posee flores de color malva a casi violeta. Se propaga rápidamente por medios vegetativos. Cada planta produce estolones en cuyos extremos se forman nuevas plántulas. Su hábito de desarrollo y multiplicación le permite cubrir rápidamente grandes extensiones de agua.

**Figura N° 7: Esquema del diseño de lagunas de oxidación utilizada para el tratamiento de las aguas miel en el fundo Monte Rico**



Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Presentación y análisis e interpretación de resultados

### caracterización de las aguas mieles del procesamiento de café

Para caracterizar el agua del proceso de lavado de café se utilizaron 4 indicadores, los cuales son el caudal promedio generado, la calidad del agua de lavado antes y después del procesamiento de café, así como el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO) en cada etapa del procesamiento.

#### 4.2.1. Calidad del agua de lavado de café

Se muestran los valores de calidad del agua utilizada en el procesamiento del grano de café, así como los valores límites establecidos en los estándares de calidad ambiental para agua categoría III mencionados en el D.S. N° 015-2015-MINAM.

**TABLA N° 11: Parámetros de calidad del agua utilizada en el procesamiento del grano de café en el fundo Monte Rico.**

| Parámetro               | Unidad de medida | Concentración | ECA AGUA CAT.III                       |                    |
|-------------------------|------------------|---------------|--|--------------------|
|                         |                  |               | Riego de cultivos de tallo alto y bajo | Bebida de animales |
| Temperatura             | °C               | 18.5          | Δ3                                     | Δ3                 |
| pH                      | Unidad de pH     | 7.4           | 6.5 - 8.5                              | 6.5 - 8.4          |
| Conductividad eléctrica | μs/cm            | 4031          | 2500                                   | 5000               |
| DQO                     | mg/L             | 42.2          | 40                                     | 40                 |
| DBO <sub>5</sub>        | mg/L             | 17.3          | 15                                     | 15                 |

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla N° 11 se puede observar que los valores de es DQO y DBO<sub>5</sub> están fuera del rango establecido en los ECA para agua

categoría III; mientras que la conductividad eléctrica resulta 4031  $\mu\text{s/cm}$  el cual sobrepasa el valor establecido para riego de vegetales que es de 2500  $\mu\text{s/cm}$ , más no, para bebida de animales (5000  $\mu\text{s/cm}$ ).

#### 4.2.2. Resultados de mediciones in situ en los puntos del sistema de tratamiento

A continuación se muestran en las tablas 12, 13 y 14 los valores de los parámetros medidos en campo (pH, temperatura y conductividad eléctrica), para las fechas del periodo de muestreo.

**TABLA N° 12: Resultados de mediciones in situ del mes de abril**

| Fecha de muestreo 03 de abril del 2017 |                                    |         |      |  |
|--|------------------------------------|---------|------|--|
| N°                                     | Descripción                        | T° (°C) | pH   | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s/cm}$ ) |
| Punto1                                 | Agua del lavado de café            | 22.4    | 4.16 | 6500   |
| Punto2                                 | Laguna primaria                    | 22.9    | 3.96 | 6523   |
| Punto3                                 | Tanque de oxidación                | 22.6    | 3.8  | 6489   |
| Punto4                                 | Salida de laguna de estabilización | 21.5    | 4.6  | 6400   |
| Punto5                                 | Salida del filtro                  | ND      | ND   | ND   |
| Fecha de muestreo 17 de abril del 2017 |                                    |         |      |  |
| N°                                     | Descripción                        | T° (°C) | pH   | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{s/cm}$ ) |
| Punto1                                 | Agua del lavado de café            | 23.1    | 4.25 | 6485   |
| Punto2                                 | Laguna primaria                    | 23.3    | 4.19 | 6492   |
| Punto3                                 | Tanque de oxidación                | 22.1    | 3.95 | 6400   |
| Punto4                                 | Salida de laguna de estabilización | 21.4    | 5    | 6250   |
| Punto5                                 | Salida del filtro                  | 20.6    | 5.85 | 5070   |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 13: Resultados de mediciones in situ del mes de mayo**

| <b>Fecha de muestreo 01 de mayo del 2017</b> |                          |                |           |   |
|--|--------------------------|----------------|-----------|---|
| <b>N°</b>                                    | <b>Descripción</b>       | <b>T° (°C)</b> | <b>pH</b> | <b>Conductividad eléctrica (µs /cm)</b> |
| Punto1                                       | Agua del lavado de café  | 21.2           | 4.28      | 7110                                    |
| Punto2                                       | Laguna primaria          | 21.8           | 4.15      | 7111                                    |
| Punto3                                       | Tanque de oxidación      | 21.1           | 4.85      | 6875                                    |
| Punto4                                       | Laguna de estabilización | 20.7           | 5.9       | 5080                                    |
| Punto5                                       | Salida del filtro        | 20.3           | 6.5       | 5000                                    |
| <b>Fecha de muestreo 15 de mayo del 2017</b> |                          |                |           |   |
| <b>N°</b>                                    | <b>Descripción</b>       | <b>T° (°C)</b> | <b>pH</b> | <b>Conductividad eléctrica (µs /cm)</b> |
| Punto1                                       | Agua del lavado de café  | 20.5           | 4.22      | 7086                                    |
| Punto2                                       | Laguna primaria          | 20.7           | 3.97      | 7110                                    |
| Punto3                                       | Tanque de oxidación      | 21             | 4.1       | 6762                                    |
| Punto4                                       | Laguna de estabilización | 20.9           | 5.8       | 5029                                    |
| Punto5                                       | Salida del filtro        | 20.1           | 6.6       | 4954                                    |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 14: Resultados de mediciones in situ del mes de junio**

| <b>Fecha de muestreo 05 de junio del 2017</b> |                          |                |           |  |
|---|--------------------------|----------------|-----------|--|
| <b>N°</b>                                     | <b>Descripción</b>       | <b>T° (°C)</b> | <b>pH</b> | <b>Conductividad eléctrica (µs/cm)</b> |
| Punto1  | Agua del lavado de café  | 21.5           | 4.5       | 6223                                   |
| Punto2  | Laguna primaria          | 21.9           | 4.2       | 6232                                   |
| Punto3  | Tanque de oxidación      | 21.2           | 4.8       | 6008                                   |
| Punto4  | Laguna de estabilización | 20.7           | 5.9       | 5000                                   |
| Punto5  | Salida del filtro        | 20.6           | 6.5       | 4876                                   |

| Fecha de muestreo 19 de junio del 2017 |                          |         |      |                                 |
|--|--------------------------|---------|------|---------------------------------|
| N°                                     | Descripción              | T° (°C) | pH   | Conductividad eléctrica (uS/cm) |
| Punto1                                 | Agua del lavado de café  | 20.8    | 4.32 | 6225                            |
| Punto2                                 | Laguna primaria          | 21.6    | 3.8  | 6229                            |
| Punto3                                 | Tanque de oxidación      | 21.3    | 3.5  | 6000                            |
| Punto4                                 | Laguna de estabilización | 20.8    | 5.8  | 5000                            |
| Punto5                                 | Salida del filtro        | 20.1    | 6.7  | 4826                            |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

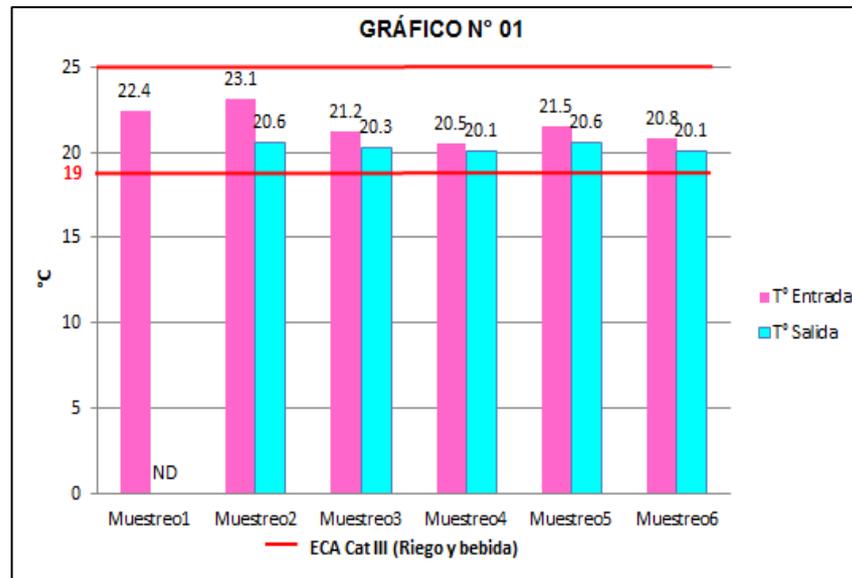
***TABLA N° 15: Valores de la temperatura del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento***

| MES      | FECHA      | T° Entrada (°C) | T° Salida (°C) |
|----------|------------|-----------------|----------------|
| ABRIL    | 03/04/2017 | 22.4            | ND             |
|          | 17/04/2017 | 23.1            | 20.6           |
| MAYO     | 01/05/2015 | 21.2            | 20.3           |
|          | 15/05/2017 | 20.5            | 20.1           |
| JUNIO    | 05/06/2017 | 21.5            | 20.6           |
|          | 19/06/2017 | 20.8            | 20.1           |
| Promedio |            | 21.58           | 20.34          |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico N° 1: Comportamiento de la temperatura durante el proceso de tratamiento - abril, mayo y junio.**



**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

Como se puede observar en el gráfico N° 01 la temperatura es variable. Al entrar al sistema la temperatura es de 20.5 °C hasta 23.1°C y en la salida se obtuvo valores entre 20.6°C y 20.1°C disminuyendo proporcionalmente. Según el ECA agua la variación de la temperatura es de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. El promedio de la temperatura de esta zona es de 22°C, es por esa razón que en esta investigación se tomó como parámetro entre 19°C a 25°C. Como se observa en el gráfico, los valores de la temperatura no sobrepasan el valor establecido en los ECA. Pero hay que tener en cuenta que en esta zona del país por ser una zona tropical la temperatura del ambiente juega un papel importante.

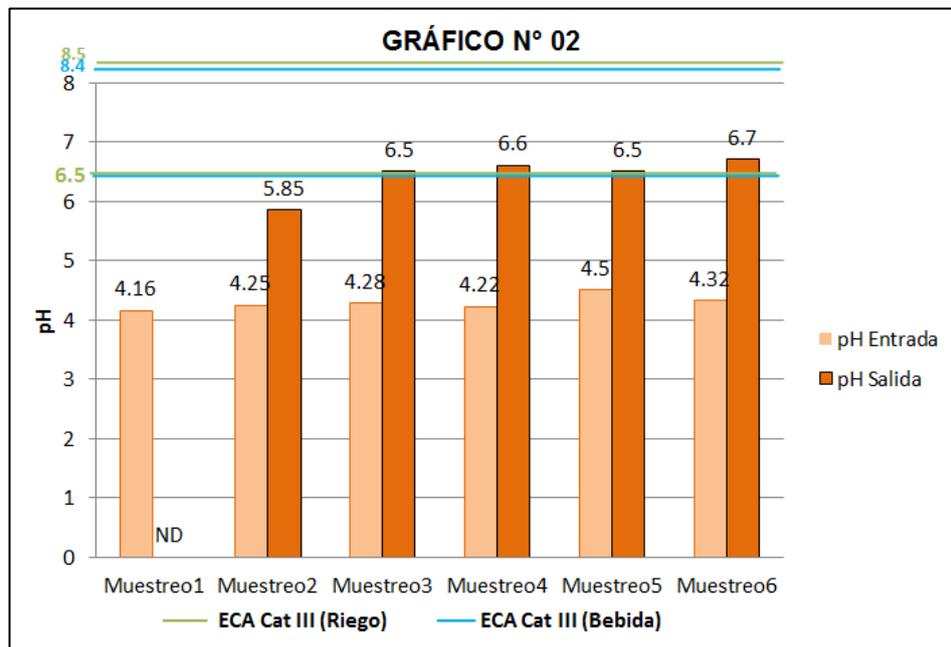
**TABLA N° 16: Valores del pH del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento**

| MES      | FECHA      | pH entrada | pH salida |
|----------|------------|------------|-----------|
| ABRIL    | 03/04/2017 | 4.16       | ND        |
|          | 17/04/2017 | 4.25       | 5.85      |
| MAYO     | 01/05/2017 | 4.28       | 6.5       |
|          | 15/05/2017 | 4.22       | 6.6       |
| JUNIO    | 05/06/2017 | 4.5        | 6.5       |
|          | 19/06/2017 | 4.32       | 6.7       |
| Promedio |            | 4.29       | 6.43      |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico N° 2: Comportamiento del pH durante el proceso de tratamiento - abril, mayo y junio.**



**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

## Interpretación

En el gráfico N° 02 se observa los 6 muestreos realizados durante los meses de abril (muestreo 1 y 2), mayo (muestreo 3 y 4) y junio (muestreo 5 y 6) en donde se observa que el pH del agua de entrada se encontró siempre ácido, con valores entre 4.16 hasta 4.5, debajo del valor establecido en los ECA para agua categoría III (6.5 -8.5 para riego y 6.5 – 8.4 para bebida de animales) después del tratamiento se puede observar valores de pH de 5.85 hasta 6.7, es evidente que hay mejora, principalmente a medida que pasa el tiempo de funcionamiento del sistema, pues a partir del mes de mayo el pH está entre 6.5 -6.6 y en junio de 6.5 – 6.7.

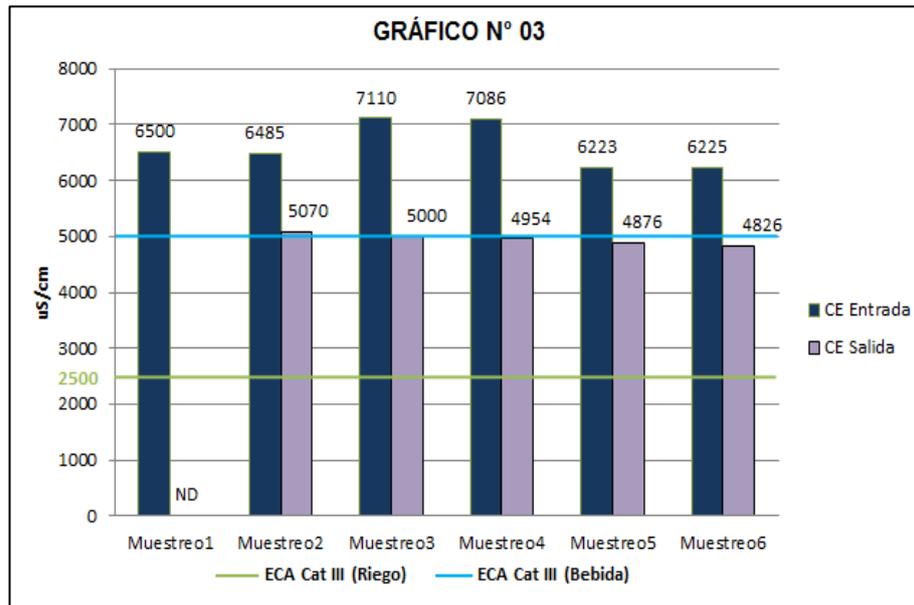
**TABLA N° 17: Valores de la conductividad eléctrica del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento**

| MES      | FECHA      | CE Entrada | CE Salida |
|----------|------------|------------|-----------|
| ABRIL    | 03/04/2017 | 6500       | ND        |
|          | 17/04/2017 | 6485       | 5070      |
| MAYO     | 01/05/2015 | 7110       | 5000      |
|          | 15/05/2017 | 7086       | 4954      |
| JUNIO    | 05/06/2017 | 6223       | 4876      |
|          | 19/06/2017 | 6225       | 4826      |
| Promedio |            | 6604.83    | 4945.2    |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico N° 3: Comportamiento de la conductividad eléctrica durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.**



**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

En el gráfico N° 03 se observa los 6 muestreos realizados durante los meses de abril (muestreo 1 y 2), mayo (muestreo 3 y 4) y junio (muestreo 5 y 6) en donde se observa que la conductividad eléctrica del agua al ingreso del sistema registra valores que van desde 6223  $\mu\text{s}/\text{cm}$  hasta 7110  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , registrando valores más altos en el mes de mayo; los valores obtenidos sobrepasan lo establecido en los ECA para agua categoría III (2500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  riego y 5000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  para bebida de animales). Después del tratamiento se puede observar valores que van de 5070  $\mu\text{s}/\text{cm}$  hasta 4826  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , que se encuentran dentro del rango para bebida de animales, más no, para, riego de vegetales.

#### 4.2.3. Eficiencia del sistema en términos de DQO y DBO5

La tabla N° 17 muestra la eficiencia en reducción de DQO, y los valores obtenidos de DQO al ingreso y salida del sistema de tratamiento en los tres meses de muestreo.

**TABLA N° 18: Valores de la DQO del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento**

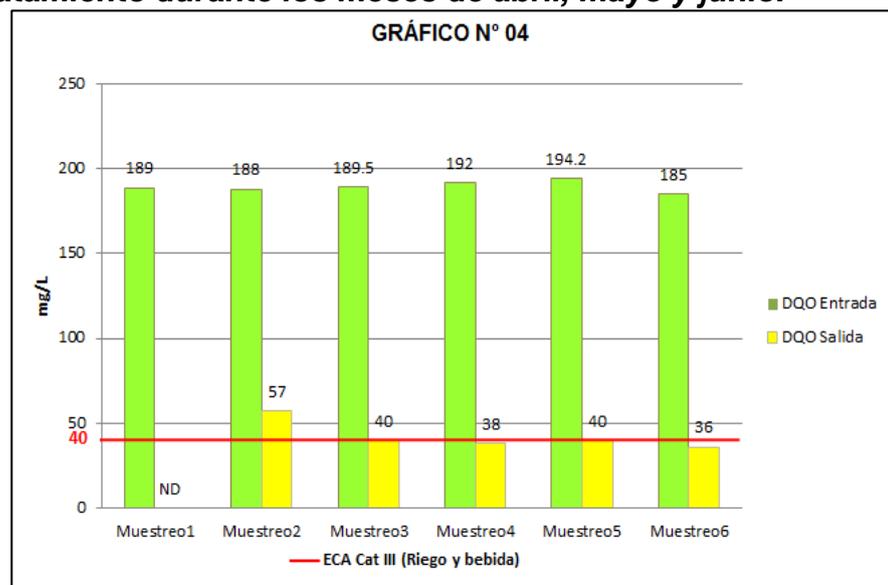
| MES   | FECHA      | DQO<br>Entrada | DQO<br>Salida | EFICIENCIA<br>(%) |
|-------|------------|----------------|---------------|-------------------|
| ABRIL | 03/04/2017 | 189            | ND            | ND                |
|       | 17/04/2017 | 188            | 57            | 69.68             |
| MAYO  | 01/05/2017 | 189.5          | 40            | 78.89             |
|       | 15/05/2017 | 192            | 38            | 80.21             |
| JUNIO | 05/06/2017 | 194.2          | 40            | 79.40             |
|       | 19/06/2017 | 185            | 36            | 80.54             |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

Los porcentajes de eficiencia más bajos se dieron las primeras semanas de arranque del sistema de tratamiento, la eficiencia del sistema fue mayor durante el mes de junio, llegando a un 80.54%.

**Gráfico N° 4: Comportamiento de la DQO durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.**



**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

En el gráfico N° 04 se observa los 6 muestreos realizados durante los meses de abril (muestreo 1 y 2), mayo (muestreo 3 y 4) y junio (muestreo 5 y 6) en donde se observa que la DQO del agua de entrada resultó con valores entre 185 mg/L hasta 194.2 mg/L, éstos valores sobrepasan lo establecido en los ECA para agua categoría III (40 mg/L para riego y bebida de animales). Después del tratamiento se puede observar una disminución notable, pues los valores obtenidos van desde 57 mg/L hasta 36 mg/L.

**TABLA N° 19: Valores de la DBO<sub>5</sub> del agua de entrada y salida durante el proceso de tratamiento**

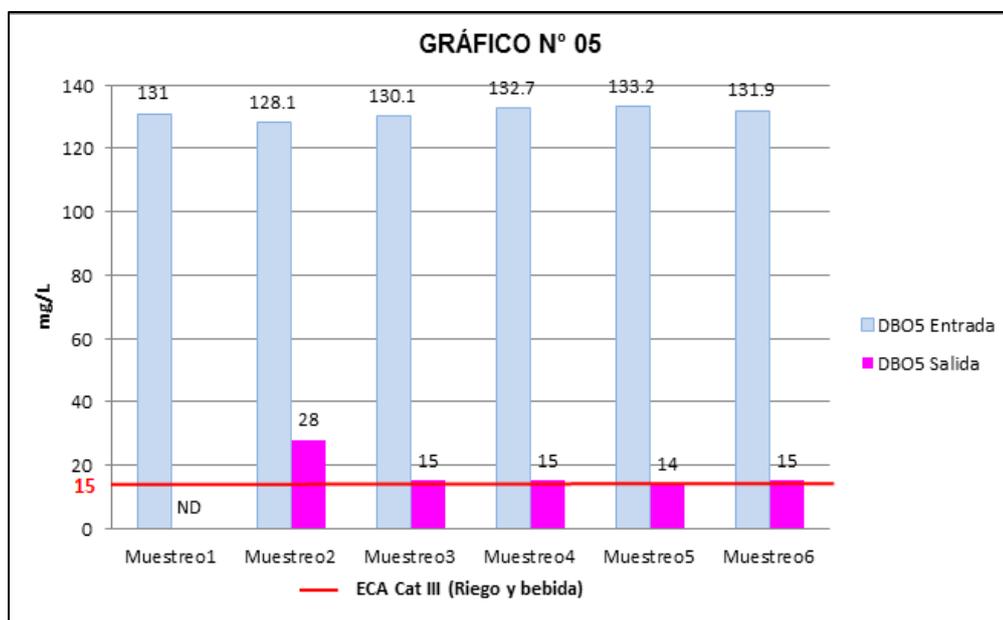
| MES   | FECHA      | DBO <sub>5</sub><br>Entrada | DBO <sub>5</sub><br>Salida | EFICIENCIA<br>(%) |
|-------|------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|
| ABRIL | 03/04/2017 | 131                         | ND                         | ND                |
|       | 17/04/2017 | 128.1                       | 28                         | 78.14             |
| MAYO  | 01/05/2017 | 130.1                       | 15                         | 88.47             |
|       | 15/05/2017 | 132.7                       | 15                         | 88.70             |
| JUNIO | 05/06/2017 | 133.2                       | 14                         | 89.49             |
|       | 19/06/2017 | 131.9                       | 15                         | 88.63             |

**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

Los porcentajes de eficiencia más bajos se dieron las primeras semanas de arranque del sistema de tratamiento, la eficiencia del sistema fue mayor al 89.49% durante el mes de junio, los valores de DBO<sub>5</sub> de entrada variaron desde 128.1 mg/L hasta 133.2 mg/L.

**Gráfico N° 5: Comportamiento de la DBO5 durante el proceso de tratamiento durante los meses de abril, mayo y junio.**



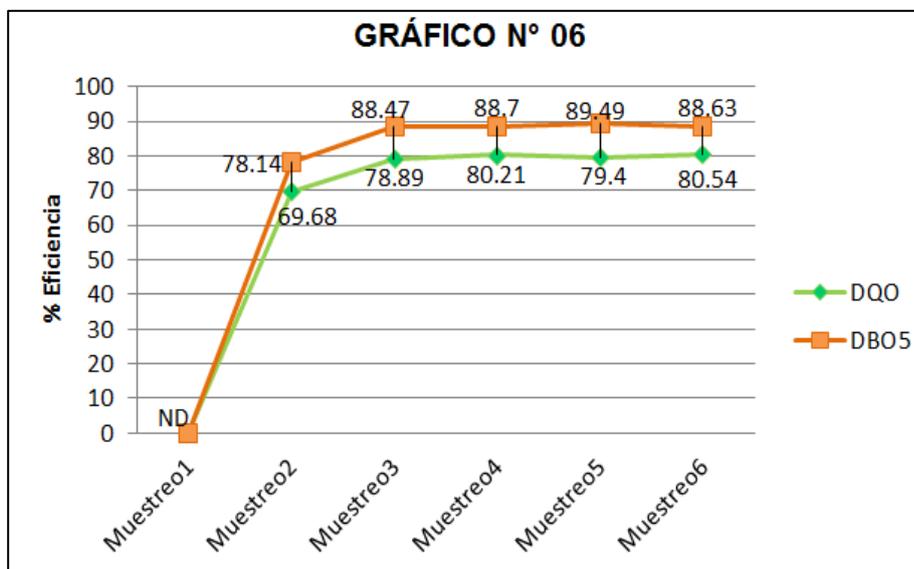
**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

En el gráfico N° 05 se observa los 6 muestreos realizados durante los meses de abril (muestreo 1 y 2), mayo (muestreo 3 y 4) y junio (muestreo 5 y 6) en donde se observa que la DBO<sub>5</sub> del agua de entrada al sistema de tratamiento resultó con valores entre 128.1 mg/L hasta 133.2 mg/L, éstos valores sobrepasan lo establecido en los ECA para agua categoría III (15 mg/L para riego y bebida de animales). Después del tratamiento se puede observar una disminución notable, pues los valores obtenidos van desde 28 mg/L hasta 14 mg/L.

**Gráfico N° 6: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento en términos de DQO y DBO5**



**ND:** No determinado

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

Si se observan los resultados finales el % de eficiencia del sistema de tratamiento va aumentando según el tiempo, en donde la remoción de la DQO en el sistema tuvo remociones de  $69.68 \pm 80.54\%$ , y para la DBO<sub>5</sub> se obtuvieron remociones de  $78.14 \pm 89.49\%$ , que corresponden a eficiencias muy altas.

### 4.3. Prueba de hipótesis

**H0. Hipótesis nula:** La evaluación y el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café permiten mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico. Si mejora las propiedades físico y químicas del agua este sistema de tratamiento propuesto.

- Los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico se encuentran dentro de los ECA agua Categoría III, después de la aplicación del tratamiento.
- El sistema de tratamiento seleccionado demuestra un 75% de eficiencia para mejorar las condiciones de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.
- El vertido de las aguas miel procedentes del beneficio húmedo del café en el fundo Monte Rico sin intervención de un sistema de tratamiento provoca un efecto negativo en el ambiente.

**H1. Hipótesis alternativa:** La evaluación y el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café no permiten mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico. No mejora las propiedades físicas y químicas del agua este sistema de tratamiento propuesto.

#### **4.4. Discusión de Resultados**

- ✓ La temperatura es variable. Al entrar al sistema la temperatura es de 20.5 °C hasta 23.1°C. Y a la salida se obtuvo valores entre 20.6°C y 20.1°C. Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las pozas de oxidación son muy influenciadas por la temperatura. En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la

temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias.

- ✓ El pH es una medida que indica la acidez o basicidad del agua. Su rango varía de 0 a 14, siendo el valor 7 el rango neutral. De esta manera, un valor de pH menor que 7 indica acidez, mientras que un valor mayor a 7, indica rango básico. Esta medida puede afectarse por componentes químicos en el agua, razón por la que es considerado como un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente. El pH del agua al ingreso del sistema se encontró siempre ácido, con valores entre 4.16 hasta 4.5. Luego del tratamiento el pH ha ido cambiando con la temporada de muestreo obteniendo en el mes de abril un pH de 5.85 que ha ido subiendo en los meses siguientes con valores que van desde 6.5 hasta 6.7.
- ✓ La conductividad eléctrica es la capacidad que el agua tiene de conducir la corriente eléctrica. Este parámetro está relacionado con la presencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica del agua. El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja; mientras que el agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de estos electrolitos. El tratamiento redujo la conductividad del agua ya que al ingreso del sistema registra valores que van desde 6223  $\mu\text{s/cm}$  hasta 7110  $\mu\text{s/cm}$ , registrando valores más altos en el mes de mayo; después del

tratamiento se puede observar valores que van de 5070  $\mu\text{s}/\text{cm}$  hasta 4826  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

- ✓ La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. La DQO es una medida del contenido de materia orgánica del agua, en términos de la cantidad total de oxígeno requerido para oxidarla a  $\text{CO}_2$  y agua. En los muestreos realizados la DQO presentó valores entre 185 mg/L hasta 194.2 mg/L. Después del tratamiento se puede observar una disminución notable, pues los valores obtenidos van desde 57 mg/L hasta 36 mg/L.
- ✓ La demanda bioquímica de oxígeno es la medida que representa la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica. Por lo tanto, cuando en un cuerpo de agua existe mayor cantidad de materia orgánica, mayor es la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos para degradar, representa, por tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica degradable. La  $\text{DBO}_5$  del agua de entrada al sistema de tratamiento resultó con valores entre 128.1 mg/L hasta 133.2 mg/L. Después del tratamiento se puede observar una disminución notable, pues los valores obtenidos van desde 28 mg/L hasta 14 mg/L.
- ✓ Si se observan los resultados finales de remoción para DQO en el sistema, se obtuvieron remociones de  $69.68\% \pm 80.54\%$ , que corresponden a eficiencias muy altas.

- ✓ Si se observan los resultados finales de remoción para DBO<sub>5</sub> en el sistema, se obtuvieron remociones de 78.14% ± 89.49 que corresponden a eficiencias muy altas.
- ✓ La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad.
- ✓ La zona profunda tiende a estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta forma se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.
- ✓ El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto, bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual.

## CONCLUSIONES

- ✓ Se logró evaluar y diseñar un sistema de tratamiento adecuado y eficaz para tratar las aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café que mejoró las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.
- ✓ Según los ECA para agua categoría III la variación de la temperatura es de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. El promedio de la temperatura de esta zona es de 22°C, es por esa razón que en esta investigación se tomó como parámetro entre 19°C a 25°C. Las temperaturas más altas tanto de entrada como de salida se presentaron las primeras semanas de arranque del sistema de tratamiento, como temperaturas máximas de entrada y salida se obtuvieron 23.1°C y 20.6 °C respectivamente, las cuales no sobrepasan lo establecido por los ECA.
- ✓ El pH del agua al ingreso del sistema se encontró siempre ácido, con valores entre 4.16 hasta 4.5. El pH ha ido cambiando con la temporada de muestreo, así mismo, es importante tener en cuenta que según los ECA para agua categoría III el rango del pH para las aguas destinadas a riego de vegetales es de 6.5 – 8.5 y para bebida de animales es de 6.5 -8.4, por lo que, según los datos obtenidos, después del tratamiento, se logró mejorar las condiciones del pH durante los meses de mayo con valores de 6.5 – 6.6 y en junio con valores de 6.5 – 6.7 .

- ✓ Los valores de conductividad eléctrica al ingreso del sistema presentaron valores que van desde 6223  $\mu\text{s/cm}$  hasta 7110  $\mu\text{s/cm}$ , registrando valores más altos en el mes de mayo cuando la cosecha de café está en su máximo. Comparando el punto de referencia con el punto de desagüe del sistema de tratamiento hay un efecto claro de mejora pues se obtuvieron valores que van de 5070  $\mu\text{s/cm}$  hasta 4826  $\mu\text{s/cm}$ . Los ECA agua categoría III establecen que las aguas para riego de vegetales deben tener una conductividad de 2500  $\mu\text{s/cm}$  y para bebida de animales 5000  $\mu\text{s/cm}$ , por lo que el agua es apta para bebida de animales , más no, para, riego de vegetales.
- ✓ El sistema de tratamiento empleado disminuye la DQO, pues, comparando el punto de referencia con el punto de desagüe del sistema de tratamiento hay un efecto claro de mejora, pues, al ingreso del sistema la DQO presentó valores que van desde 185 mg/L hasta 194.2 mg/L. y después del tratamiento se obtuvieron valores que van desde 57 mg/L hasta 36 mg/L, los cuales si se encuentran dentro de lo establecido en los ECA agua categoría III, que establecen que las aguas para riego de vegetales y bebida de animales deben tener una DQO de 40mg/L.
- ✓ En general los valores de  $\text{DBO}_5$  encontrados en las aguas analizadas son muy altos y ello indica que hay presencia de materia orgánica biodegradable en ellas y ello se corresponde con los niveles de Oxígeno Disuelto en las aguas, según el muestreo realizado en la época de cosecha del café, las aguas mieles presentaban valores de  $\text{DBO}_5$  entre los 128.1 mg/L hasta 133.2 mg/L, éstos valores sobrepasan lo establecido en los ECA para agua categoría III (15 mg/L para riego y bebida de animales). Después del tratamiento se puede observar una disminución notable, pues los valores obtenidos van desde 28 mg/L hasta 14 mg/L.

- ✓ El sistema de tratamiento seleccionado para tratar las aguas miel en el fundo Monte Rico resultó eficiente en términos de DQO y DBO<sub>5</sub> , pues los resultados finales de remoción para DQO son de  $69.68 \pm 80.54\%$ , y DBO<sub>5</sub>  $78.14 \pm 89.49\%$  que corresponden a eficiencias muy altas, en general, la eficiencia de la depuración del agua miel en las lagunas de oxidación depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema.
  
- ✓ Los efectos de verter las aguas miel sin la intervención de un sistema de tratamiento en el fundo Monte Rico, perjudica directamente la flora y fauna acuática, alterando el equilibrio biológico como también proliferando la fauna nociva con alto potencial de ser vector de enfermedades, de igual forma causa imposibilidad del uso del agua para consumo humano, la ganadería e irrigación.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas más adversas, ya que las reacciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en las pozas de oxidación son muy influenciadas por la temperatura, estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas.
- ✓ Antes de poner en servicio una laguna se debe realizar una inspección cuidadosa de la misma a fin de verificar la existencia de las condiciones siguientes: Ausencia de plantas y vegetación en el fondo y en los taludes interiores de la laguna y el funcionamiento y estado apropiado de las unidades de entrada, rejilla, unidades de paso y salida.
- ✓ La profundidad de las lagunas es normalmente 1.5 m, aunque se pueden usar profundidades entre 1 y 2 m. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos.
- ✓ Asegurarse que el nivel del agua de la laguna no baje de la mitad para garantizar acidificación del agua.
- ✓ Se debe realizar un estudio microscópico del lodo lavado para establecer si esta predominando la proliferación de bacterias filamentosas, así como para determinar su estabilidad.
- ✓ Resultaría conveniente realizar un estudio de suelo para determinar si los lixiviados se están filtrando en el suelo de la finca donde se ubica la poza.

- ✓ En lo posible las lagunas se deben de arrancar en el verano, pues a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia de tratamiento y menor tiempo de aclimatación.
- ✓ El llenado de las lagunas debe hacerse lo más rápidamente posible, para prevenir el crecimiento de vegetación emergente.
- ✓ Para prevenir la generación de malos olores y el crecimiento de vegetación, las lagunas deben llenarse, por lo menos, hasta un nivel de operación de 0.6m.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA ACUÑA, Franger (2002). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de café en el beneficio de Coopronaranja R.L. Informe del proyecto de graduación para optar por el grado de bachiller en ingeniería en biotecnología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica.
- AGUIRRE SAHARREA, F. (2003). Introducción al Estudio del Café. (En línea). Disponible en: <http://www.laneta.apc.org/tosepan/producto/cafeintro.htm>. [Revisado el 28 de marzo del 2017].
- CARBONELL, A., VILANOVA, M. 1974. Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica. En: Cleves, R. Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectina a partir del mucílago del café. Departamento de Estudios Técnicos y Diversificación. Proyecto 1. Sub proyecto 5. Oficina del Café, San José, Costa Rica.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café [CENICAFE]. (2011). Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. (En línea). Disponible en: [http://www.cenicafe.org/es/.../PROPUESTA\\_P\\_A\\_CENICAFE\\_ABRIL13.pdf](http://www.cenicafe.org/es/.../PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf). [Revisado el 1 de abril del 2017].
- CORONEL, F. 2010. Estudio del café especial ecuatoriano. Proyecto Final de Máster. Fundación Universitaria Iberoamericana. Quito, Ecuador.
- E.C.C.S.R.L. (EMPRESA CONSULTORA CONSULSANTOS S.R.L). 2010. Manual de buenas prácticas de manufactura en el beneficio Bio Café Oro de Tarrazú S.A. Realizado para el Ministerio de Agricultura y Ganadería

en el Marco del Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible. Costa Rica. 52 p.

FIGUEROA, Oscar Loli. 2012. Guía técnica: Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café. Oficina académica de extensión y proyección social. Universidad Nacional Agraria La Molina. Tocache, San Martín. 26 pp.

GARAY ROMÁN, Juan Manuel (2016). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo del café del distrito La Coipa en la región Cajamarca 2014. Tesis para optar grado académico de doctor en ingeniería química ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.

GÓMEZ, D.L., MORALES, N., ADALID, J. 2006. Producción de alcohol etílico a partir de mucílago de café. Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Earth. 47 p.

GUERRERO, J. 2007. Estudio de diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. Financiado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA. Nicaragua-Promecafé. 95 p.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto (et. Al.). Metodología de la investigación científica. (Segunda edición). Mc GRAW-HILL: México. 487 pp.

KORSAK, L. 2010. Sistema de Aguas Residuales para el Sector Café, Taller de Capacitación. Impartido por el Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (CPML), Con el apoyo del Programa de Apoyo a la Mejora del Clima de Negocios e Inversiones en Nicaragua (PRAMECLIN). 246 p.

LÓPEZ, A.L., CASTILLO, B. 2011. Aprovechamiento de las aguas mieles para la producción de etanol y abono orgánico. Protocolo de investigación.

- Universidad Nacional de Ingeniería, Sede Regional Norte, Recinto Universitario Augusto C. Sandino. Ingeniería Agroindustrial. Guatemala.
- MOLINA GUARDADO, Alex Ernesto y VILLATORO MARTÍNEZ, Rolando Antonio (2006) Propuesta de tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café. Trabajo de graduación previo a la opción al grado de ingeniero civil. Universidad de El Salvador. San Salvador.
- MUÑOZ, J.M. 1993. Biodiscos. Filtros percoladores. In: Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, España. pp. 187-213.
- PEREZ, N., CASTILLO, R., CARBALLO, L., VELIZ, J. 2006. Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social. Universidad de Pinar del Río, Departamento de Química. Pinar del Río, Cuba.
- RAPPACCIOLI, S. M. (2005). La Reingeniería del Beneficiado Húmedo del Café. RAMACAFÉ. (En línea). Disponible en: <http://www.aromaysabor.com>. [Revisado el 02 de abril del 2017].
- RODRÍGUEZ, N. 2009. Estudio de Un biosistema Integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia – Colombia. 552 p.
- SOTOLONGO, J., ALMARALES, A., BLANCO, C., PARÚAS, R., CHI, L., GARCÍA, S. 2000. Impacto ambiental de los residuales de café Sobre las principales cuencas de interés económico y social de la provincia Guantánamo, soluciones energéticas y medioambientales. Delegación

Territorial CITMA- Guantánamo, Cuba. Centro de Investigaciones de Energía Solar.

VÁZQUEZ, R. 1997. Descontaminación de las aguas residuales en el beneficiado del café en Costa Rica. ICAFE. San José, Costa Rica, 26p.

XIL BARRIOS, William Antonio. (2012) Evaluación de la eficacia del tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café, localizado en San Juan la laguna, Sololá. Tesis para optar grado de ingeniero químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala

YAKSIC, R. & RAMÍREZ, R. (2005). Tratamiento de residuos de la planta de beneficiado de ALEACAF. (En línea). Disponible en: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNADK140.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADK140.pdf). [Revisado el 02 de abril del 2017].

ZAMBRANO, D.1989.Caracterización de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE). Informe anual de actividades de la disciplina de química Industrial.

- ZAMBRANO, D.A., ISAZA, J.D. 1999. Tratamiento de aguas residuales del lavado de café. CENICAFÉ. Chinchiná, Caldas, Colombia.

# **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**“EVALUACION Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ PARA MEJORAR LOS PARAMETROS DE TEMPERATURA, pH, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, DQO, DBO<sub>5</sub> DE LAS AGUAS MIEL EN EL FUNDO MONTE RICO - SAN JUAN DE CACAZÚ - VILLA RICA – OXAPAMPA – 2017”**

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPOTESIS   | VARIABLES   | INDICADOR                             | INSTRUMENTO                     |
|---|---|---|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>GENERAL</b>  |   |   |   |                                       |                                 |
| ¿De qué manera la evaluación y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café mejora las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico? | Evaluar y diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café y mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico. | La evaluación y el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café permiten mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico. | <b>Independiente:</b><br>Evaluación y diseño del sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café.<br><b>Dependiente :</b><br>Mejora de los Parámetros: Temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel. | Parámetros físicos de las aguas miel. | Diseño de lagunas de oxidación. |
| <b>ESPECÍFICO</b>   |   |   |   |                                       |                                 |
| ¿De qué manera el sistema de tratamiento seleccionado mejora las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico?   | Determinar la eficacia del sistema de tratamiento seleccionado para mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico   | El sistema de tratamiento seleccionado demuestra eficacia para mejorar las condiciones de los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico.   | <b>Independiente:</b><br>Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café<br><b>Dependiente :</b><br>Mejora de las condiciones físicas de las aguas miel.  | Parámetros físicos de las aguas miel. | Diseño de lagunas de oxidación. |
| ¿Los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico cumplen con los ECA agua Categoría III?   | Evaluar los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico para determinar si se encuentran dentro de los ECA agua Categoría III.   | Después de la aplicación del tratamiento, los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO <sub>5</sub> de las aguas miel en el fundo Monte Rico se encuentran dentro de los ECA agua Categoría III.  |   | Parámetros físicos de las aguas miel. | Diseño de lagunas de oxidación. |
| ¿Qué efectos produce en el ambiente el vertimiento de aguas miel procedente del beneficio húmedo del café sin un tratamiento adecuado?  | Evaluar los efectos en el ambiente ocasionados por el vertimiento de las aguas miel procedente del beneficiado húmedo del café sin la intervención de un sistema de tratamiento en el fundo Monte Rico..  | El vertido de las aguas miel procedentes del beneficio húmedo del café en el fundo Monte Rico sin intervención de un sistema de tratamiento provoca un efecto negativo en el ambiente.  |   | Parámetros físicos de las aguas miel. | Diseño de lagunas de oxidación. |

# INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

## ANEXO N° 01: Panel fotográfico

FOTO N° 01: Planta de café



FOTO N° 02 y 03: Cultivos de café del fundo Monte Rico



**FOTO N° 04:** Despulpadora de café



**FOTO N° 05:** Tanque de lavado de Café



**FOTO N° 06:** Terreno para la construcción de las lagunas de oxidación



**FOTO N° 07:** Construcción de las lagunas de oxidación



FOTO N° 08: Lagunas de oxidación



**FOTO N° 09 y 10:** Impermeabilización de las lagunas de oxidación



**FOTO N° 11:** Instalación del biofiltro con Jacinto acuático.



**FOTO N° 12:** Fuente de agua para el proceso de beneficiado húmedo



**FOTO N° 13:** Toma de muestra para determinación de la DBO y DQO



**FOTO N° 14:** Medición in situ de parámetros de campo de la fuente de agua utilizada para el proceso de beneficiado húmedo del café en el fundo Monte Rico.



**FOTO N° 15 y 16:** A la izquierda tanque de lavado con aguas miel, a la derecha medición in situ de parámetros de campo en el tanque de lavado.



**FOTO N° 17:** Medición in situ de parámetros de campo en con muestras de los 5 puntos seleccionados.

