



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA  
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PERFIL DE PROYECTO DE TITULACIÓN BAJO LA MODALIDAD DE  
ESTUDIO TÉCNICO**

**TEMA:**

---

**“Estudio del manejo de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de  
aguas residuales y su relación a los costos operativos en la empresa CEDAL  
S.A. en la ciudad de Latacunga”**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

**Autor:**

Pallo Pichucho Pablo Esteban

**Tutora:**

Ing. Cáceres Miranda Lorena Elizabeth., Mg

**AMBATO · ECUADOR**

**2019**

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Pallo Pichucho Pablo Esteban, declaro ser autor del Proyecto de Tesis titulado “Estudio del manejo de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales y su relación a los costos operativos en la empresa CEDAL S.A. en la ciudad de Latacunga”, como requisito para optar al grado de “Ingeniero Industrial”, autorizo al sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 6 días del mes de Agosto de 2019, firmo conforme:

**Autor:** Pallo Pichucho Pablo Esteban

**Firma:** .....

**Número de Cédula:** 050392783-2

**Dirección:** Latacunga, Av. San Isidro Labrador

**Correo Electrónico:** pablinp\_95@hotmail.com

**Teléfono:** 0987447089

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor de trabajo de investigación, nombrado por el H. Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Indoamérica.

## **CERTIFICO**

Que el informe de Investigación Científica, “Estudio del manejo de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales y su relación a los costos operativos en la empresa CEDAL S.A. en la ciudad de Latacunga” para el “TEMA”, presentado por el estudiante Pablo Esteban Pallo Pichucho, estudiante de la Facultad de Ingeniería Industrial, Reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinado por el H. Consejo Superior designe.

Ambato, 01 de Agosto del 2019

TUTOR

---

Ing. Cáceres Miranda Lorena Elizabeth., Mg.

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

El contenido del presente trabajo de investigación sobre el tema “ESTUDIO DEL MANEJO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU RELACIÓN A LOS COSTOS OPERATIVOS DE LA EMPRESA CEDAL S.A. EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”, así como sus ideas, opiniones, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones; excepto las citas bibliográficas, son exclusiva responsabilidad de su autor.

Ambato, 06 de Agosto del 2019

---

Pallo Pichucho Pablo Esteban

C.I: 050392783-2

### **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “ESTUDIO DEL MANEJO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU RELACIÓN A LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA EMPRESA CEDAL S.A. EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Ambato, 06 de Agosto del 2019

Para constancia firman

---

Ing. Fuentes Pérez Esteban Mauricio., PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

Ing. Moreno Medina Víctor Hugo., Mg.

VOCAL

---

Ing. Lara Calle Andrés Rogelio., Mg.

VOCAL

### **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mi madre y padre, que con su apoyo incondicional siempre han estado conmigo motivándome para lograr culminar mi carrera universitaria, de igual manera a mi abuela, que han sido los motores para lograr las metas planteadas, su ejemplo de lucha y constancia, al realizar las cosas me han enseñado a no rendirme frente a cualquier circunstancia; a mis docentes que me han guiado durante todo este proceso de preparación académica.

A Dios que ha sido mi guía en toda mi vida y me ha ayudado a alcanzar mis objetivos.

**Pablo Esteban Pallo Pichucho**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme culminar un logro más en mi vida.

A la Universidad Tecnológica Indoamérica, por haberme permitido formar parte de este grupo de futuros profesionales con una educación de calidad.

A la empresa CEDAL S.A. por brindarme las facilidades de aportar con el estudio técnico en una de sus plantas; y de igual manera a los docentes y personas que me colaboraron para la realización de este proyecto, les quedo eternamente agradecido.

**Pablo Esteban Pallo Pichucho**

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

|                                                                                                                                                  |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PORTADA.....                                                                                                                                     | i    |
| AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,<br>REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA<br>DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... | ii   |
| APROBACIÓN DEL TUTOR.....                                                                                                                        | iii  |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....                                                                                                                      | iv   |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....                                                                                                           | v    |
| DEDICATORIA .....                                                                                                                                | vi   |
| AGRADECIMIENTO .....                                                                                                                             | vii  |
| INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....                                                                                                                | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                                                                                                           | xi   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....                                                                                                                         | xii  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                                                                                                                     | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....                                                                                                                            | xiv  |
| ÍNDICE DE ECUACIONES .....                                                                                                                       | xv   |
| RESUMEN EJECUTIVO .....                                                                                                                          | xvi  |
| ABSTRACT.....                                                                                                                                    | xvii |

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Introducción .....       | 1 |
| Antecedentes .....       | 3 |
| Justificación.....       | 7 |
| Árbol de problemas ..... | 8 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Análisis Crítico .....      | 9  |
| Objetivo general.....       | 10 |
| Objetivos específicos ..... | 10 |

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Área de estudio.....                                         | 11 |
| Delimitación del objeto de investigación.....                | 11 |
| Enfoque .....                                                | 11 |
| Justificación de la metodología.....                         | 11 |
| Población y muestra .....                                    | 12 |
| Toma de la muestra de los lodos .....                        | 12 |
| Diseño del trabajo .....                                     | 15 |
| Procedimiento para obtención y análisis de datos .....       | 17 |
| Pregunta de investigación .....                              | 20 |
| Las plantas de tratamiento de aguas residuales P.T.A.R.....  | 20 |
| Lodo residual.....                                           | 21 |
| Características y composición del lodo residual .....        | 21 |
| Filtro Prensa .....                                          | 23 |
| Ciclos de Filtración .....                                   | 23 |
| Anodizado .....                                              | 24 |
| Etapas del proceso de anodizado .....                        | 25 |
| Proceso de tratamiento de las aguas en la planta CEDAL ..... | 26 |

### **CAPÍTULO III**

#### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Situación actual .....                                             | 28 |
| Cálculo la humedad inicial.....                                    | 30 |
| Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos ..... | 32 |
| Construcción de la cámara de efecto invernadero.....               | 34 |
| Proceso de secado .....                                            | 37 |

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Interpretación de resultados .....           | 45 |
| Contraste con otras investigaciones .....    | 59 |
| Solución a la pregunta de investigación..... | 60 |

### **CAPÍTULO V**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                      |    |
|----------------------|----|
| Conclusiones .....   | 61 |
| Recomendaciones..... | 63 |
| Bibliografía .....   | 64 |
| Anexos .....         | 68 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Proceso de toma de muestras .....                                                                                              | 14 |
| Tabla 2: Manejo de Lodos.....                                                                                                           | 15 |
| Tabla 3: Costos Operativos .....                                                                                                        | 16 |
| Tabla 4: Procedimiento para obtención y análisis de datos .....                                                                         | 17 |
| Tabla 5: Composición física y química típica de un lodo residual .....                                                                  | 22 |
| Tabla 6: Proceso de tratamiento de aguas residuales .....                                                                               | 27 |
| Tabla 7: Cálculo de la humedad inicial.....                                                                                             | 31 |
| Tabla 8: Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos .....                                                             | 33 |
| Tabla 9: Datos recogidos para determinar la humedad perdida diaria y la humedad perdida total de la muestra para el mes de abril .....  | 42 |
| Tabla 10: Datos recogidos para determinar la humedad pérdida diaria y la humedad pérdida total de la muestra para el mes de mayo .....  | 43 |
| Tabla 11: Datos recogidos para determinar la humedad perdida diaria y la humedad perdida total de la muestra para el mes de junio ..... | 44 |
| Tabla 12: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de abril .....                                                                    | 45 |
| Tabla 13: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de mayo. ....                                                                     | 46 |
| Tabla 14: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de junio .....                                                                    | 48 |
| Tabla 15: Humedad total perdida de la muestra en el mes de abril .....                                                                  | 49 |
| Tabla 16: Humedad total perdida de la muestra en el mes de mayo.....                                                                    | 49 |
| Tabla 17: Humedad total perdida de la muestra en el mes de junio .....                                                                  | 50 |
| Tabla 18: Humedad total pérdida de la muestra y Humedad Relativa (abril).....                                                           | 51 |
| Tabla 19: Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del Invernadero .                                                           | 52 |
| Tabla 20: Humedad total perdida de la muestra y Humedad Relativa (Mayo).....                                                            | 54 |
| Tabla 21: Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del invernadero .                                                           | 55 |
| Tabla 22: Humedad total perdida de la muestra y Humedad Relativa (Junio) .....                                                          | 56 |
| Tabla 23: Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del invernadero .                                                           | 57 |
| Tabla 24: Cálculo del costo de disposición final de los lodos .....                                                                     | 59 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1: Humedad perdida de la muestra en el mes de abril .....        | 46 |
| Gráfico 2: Humedad perdida de la muestra en el mes de mayo .....         | 47 |
| Gráfico 3: Humedad perdida de la muestra en el mes junio .....           | 48 |
| Gráfico 4: Humedad perdida de la muestra vs Humedad Relativa .....       | 52 |
| Gráfico 5: Humedad perdida de la muestra vs Temperatura.....             | 53 |
| Gráfico 6: Humedad total perdida de la muestra vs Humedad Relativa ..... | 54 |
| Gráfico 7: Humedad perdida de la muestra vs Temperatura.....             | 55 |
| Gráfico 8: Humedad perdida de la muestra vs Humedad Relativa .....       | 56 |
| Gráfico 9: Humedad perdida de la muestra vs Temperatura.....             | 57 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Árbol de problemas.....                                            | 8  |
| Ilustración 2: Ubicación de la planta CEDAL S.A. ....                             | 28 |
| Ilustración 3: Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos ..... | 32 |
| Ilustración 4: Construcción de la cámara de efecto invernadero .....              | 34 |
| Ilustración 5: Colocación de los parantes.....                                    | 35 |
| Ilustración 6: Colocación de los travesaños .....                                 | 35 |
| Ilustración 7: Colocación y tensado del plástico de polietileno.....              | 36 |
| Ilustración 8: Colocación de la malla sarán y cortina .....                       | 36 |
| Ilustración 9: Colocación de las correas guías de la cortina .....                | 37 |
| Ilustración 10: Lodos ubicados dentro de la cámara de secado .....                | 37 |
| Ilustración 11: Apertura de la cortina.....                                       | 38 |
| Ilustración 12: Remoción de los lodos .....                                       | 38 |
| Ilustración 13: Temperatura y humedad relativa (termohigrómetro).....             | 39 |
| Ilustración 14: Temperatura y humedad relativa 2 (termohigrómetro).....           | 39 |
| Ilustración 15: División del piso de la cámara de efecto invernadero 2 .....      | 40 |
| Ilustración 16: División del piso de la cámara de efecto invernadero 1 .....      | 40 |
| Ilustración 17: Recipiente para pesar los lodos en la balanza.....                | 41 |
| Ilustración 18: Big Bag para los lodos .....                                      | 58 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexos 1: Cámara de secado de efecto invernadero.....                                    | 68 |
| Anexos 2: Balanza de la empresa CEDAL S.A. ....                                          | 68 |
| Anexos 3: Montacargas.....                                                               | 69 |
| Anexos 4: Tarjetas de balanza.....                                                       | 70 |
| Anexos 5: Técnicos responsables de la planta de tratamiento de aguas residuales<br>..... | 71 |
| Anexos 6: Transporte para la disposición final de los lodos.....                         | 71 |
| Anexos 7: Lodos residuales almacenados hasta su disposición final .....                  | 72 |
| Anexos 8: Ficha Técnica de Balanza Pionner.....                                          | 73 |
| Anexos 9: Ficha Técnica de Montacargas Caterpillar .....                                 | 74 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1: Fórmula para calcular la muestra conociendo el tamaño de la población ..... | 12 |
| Ecuación 2: Fórmula para calcular la humedad inicial de los lodos .....                 | 31 |

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA**  
**INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:** ESTUDIO DEL MANEJO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU RELACIÓN CON LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA EMPRESA “CEDAL S.A.” EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

**AUTOR:** Pallo Pichucho Pablo Esteban

**TUTORA:** Ing. Cáceres Miranda Lorena Elizabeth; Mg.

**RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la relación existente entre el manejo de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales con los costos operativos de la empresa “CEDAL S.A.”, con el propósito de reducir el volumen de los lodos, puesto que la humedad contenida genera un alto volumen al momento de realizar la disposición final de los mismos. Para intentar reducir la humedad contenida se diseñó y construyó con pingos de eucalipto y plástico transparente una cámara de secado con efecto invernadero. En primera instancia se determinó el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, y la cantidad de lodos generada por la misma, la cual fue de aproximadamente 7 toneladas diarias, para el estudio se utilizó la cámara de secado, realizando tres ensayos en meses diferentes con una muestra de 60 kilogramos de dos toneladas de lodo que ingresa a la cámara de secado, se calcula la humedad inicial y la humedad final con el valor de las masas antes y después del secado. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia de la cámara, logrando la reducción de humedad de 81,60% a un 4,16%, lo que quiere decir que se perdió un porcentaje de humedad de 77,44%, en el transcurso de 12 días. Del mismo modo al reducir la humedad de los lodos se redujo el costo de su manejo en un 54%, favoreciendo con esto a la empresa a reducir los costos operativos, y demostrando la viabilidad técnica de utilizar este tipo de cámaras de secado para la empresa “CEDAL S.A.”

**DESCRIPTORES:** cámara de secado, costos operativos, humedad, lodos residuales.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA**  
**INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**THEME:** STUDY OF THE MANAGEMENT OF THE SLUDGE FROM THE SEWAGE WATER TREATMENT PROCESS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE OPERATIONAL COSTS IN “CEDAL S.A.” COMPANY IN LATACUNGA CITY.

**AUTHOR:** Pallo Pichucho Pablo Esteban

**TUTOR:** Mg. Cáceres Miranda Lorena Elizabeth

**ABSTRACT**

This research was intended to determine the relationship between the management of sludge from the sewage water treatment process with the operating costs of “CEDAL S.A.” Company, with the purpose of reducing the volume of sludge, since the humidity contained generates a high volume at the time of making the final disposal of them. To try to reduce the humidity contained, a greenhouse drying chamber is designed and constructed with eucalyptus poles and transparent plastic. In the first instance the operation of the sewage water treatment plant was determined, and the amount of sludge generated by it, which was approximately 7 tons per day. For this study, the drying chamber was performed making three tests in different months with a sample of 60 kilograms of two tons of sludge that enters the drying chamber, and it calculates the initial and final humidity with the value of the masses before and after drying. The gotten results demonstrated the effectiveness of the chamber, achieving a humidity reduction of 81.60% to 4.16%, which means that a humidity percentage of 77.44% was lost in 12 days. Similarly, reducing sludge reduces the cost of handling by 54%, favoring the company to reduce operating costs, and demonstrating the technical feasibility of using this type of drying chamber in “CEDAL S. A.” Company.

**KEYWORDS:** drying chamber, humidity, operating costs, sewage water sludge.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **Introducción**

Dado que es importante disponer de agua de calidad y en cantidades suficientes, es una cuestión prioritaria a nivel mundial tratar estas aguas implementando, instalando y adecuando las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en las industrias, las cuales cumplirán la función de retirar los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y medio ambiente, al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o para su reúso en otras actividades de la vida cotidiana, con excepción del consumo humano (Cano, 2013)

Sin embargo dentro de la operación de las PTAR industriales, se generan residuos o subproductos (lodos) en grandes volúmenes (aproximadamente 10 ton/semana para una instalación industrial pequeña), formados en bio-reactores o en procesos fisicoquímicos.

Los lodos y sus posibles usos se han investigado en el mundo por más de 30 años, y hace más de una década tienen en los países desarrollados un marco normativo que regula su aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, cobertura de rellenos sanitarios, aprovechamiento forestal), así como su disposición final (Blandon, 2010).

En 2011 se generaron 6.7 mil millones de aguas residuales, y se espera que en 20 años el volumen de agua tratada sea de 9.2 mil millones de m<sup>3</sup>. Esto implica que la generación de lodos residuales se incremente de 640.000 toneladas para 2011 a 880.000 toneladas para el 2030 (Comisión Nacional del Agua, 2011)

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son el producto de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos. (Catwright, 2009). Estos lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas servidas en las PTAR. Contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua. Están formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Morales, 2005).

En el Ecuador, los lodos residuales producidos por plantas de tratamiento de industrias se disponen en rellenos sanitarios, siendo la opción menos favorable ya que, además de contribuir a disminuir la vida útil del relleno sanitario, puede existir una proliferación de microorganismos patógenos, poniendo en riesgo la salud pública (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2013).

Las tendencias actuales para la gestión de lodos residuales, son el aprovechamiento o reutilización. Una forma de disponer adecuadamente el lodo y darle un valor agregado, es mediante un tratamiento adecuado que comprende: el espesamiento (concentración), acondicionamiento, estabilización, deshidratación y disposición final (Vicencio, 2011).

En 1974 se constituyó Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, empresa de capital ecuatoriano, dedicada a la fabricación y comercializar extrusiones de aluminio para el mercado nacional e internacional. Inicia sus actividades productivas en el año 1976, enfocados al mercado interno con extrusiones de aluminio para uso arquitectónico. Posteriormente con la incorporación de nuevas técnicas en la extrusión del metal, introduce y comercializa perfilería de aluminio estructural, lo cual permite ampliar el uso del aluminio, en segmentos del mercado de la construcción, convirtiéndose en el producto sustituto al hierro en aplicaciones como: cubiertas para estadios, viseras, puentes peatonales, silletería, estructuras espaciales, entre otros (Cedal S.A., 2016)

La empresa CEDAL S.A., cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, que genera aproximadamente 7 toneladas diarias de lodos residuales, los mismos que tienen un porcentaje de humedad alto, esto a su vez genera un impacto económico para la empresa, ya que, el costo de disposición final de los lodos depende de su peso.

Por lo tanto, es necesario realizar un estudio que ayude a conocer un método viable económicamente para la reducción de la humedad contenida en los lodos residuales generados por la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **Antecedentes**

Según Monge, (2016) en su investigación titulada “Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero”, menciona que, la finalidad fue evaluar la viabilidad técnica del proceso de secado de lodos residuales originados en la ciudad de Guayaquil, utilizando efecto invernadero, con el propósito de elaborar materia prima que pueda ser utilizada en la elaboración de diversos materiales de construcción, minimizando de esta manera el impacto ambiental que pudieran producir la disposición final de estos lodos. Para este fin, se planteó una estructura metodológica de tipo experimental a partir del secado de dos tipos de materiales. El primero de

naturaleza arcillosa y el segundo originado de lodos residuales de plantas de tratamientos de aguas servidas en la ciudadela La Joya. Con esta orientación, se pudo construir una cámara artesanal de secado, utilizando caña guadua y plástico transparente. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia de la cámara logrando el secado de los lodos residuales y de las arcillas en 24 y 48 horas respectivamente. Según el ensayo Atterberg el lodo residual demostró límite líquido del 148 %, límite plástico del 83 % e índice de plasticidad del 65 %. La reducción del porcentaje de humedad fue del 6.85 %, lo que demuestra la factibilidad técnica del uso de cámaras de secado artesanales. Del mismo modo, la concentración de materia orgánica registrada por la muestra lodo residual, fue considerada como *Medianamente Pobre* según el método de ignición. Finalmente, se pudo consolidar una tecnología artesanal para la obtención de materia prima, en la fabricación de diversos materiales de construcción, beneficiando al medioambiente de una manera sostenible, debido a la posibilidad de evitar la exposición ambiental de miles de toneladas de lodo residual.

Según Díaz, (2014) en su artículo titulado “Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones”, se plantea la problemática relacionada con la contaminación de los lodos sin tratar, debido a los volúmenes de estos residuos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos afectan al medio ambiente, por su contenido de materia orgánica, microorganismos y metales pesados. El objetivo de este trabajo fue realizar una valoración sobre las normas existentes para el manejo de los mismos o su aplicación en los suelos y los procesos tecnológicos de tratamiento que se aplican para disminuir su impacto ambiental. Las normas vigentes para el manejo y reúso adecuado de los lodos, establecen un estricto control sobre los metales pesados y la contaminación microbiológica. Los procesos tecnológicos de tratamientos empleados pueden ser físicos (como la centrifugación, filtración y secado), químicos (que comprenden la estabilización con cal, el acondicionamiento y la desinfección química), o biológicos (como la digestión anaerobia y aerobia). Entre estos los más empleados para la estabilización de los lodos son los biológicos, seguidos de la deshidratación de los lodos mediante su secado. De igual forma, se reconoce que existen otras tecnologías disponibles como la ozonización, la cual permite obtener eficiencias de reducción de los parámetros

indicadores de contaminación físico-químico y microbiológico entre un 31 y 99.99%, así como un 90% de su volumen.

Según Barreto, (2014), en su investigación titulada “Aprovechamiento de Lodos Deshidratados Generados en Plantas de Tratamiento de Agua Potable y Residual como Agregado para Materiales de Construcción”, se analizaron los lodos procedentes de las Lagunas de Estabilización ubicadas en Ucubamba, y parte integrante del sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cuenca, y los lodos procedentes de las operaciones de potabilización de la Planta de Tratamiento de Sústag. Estos análisis, tienen por objeto determinar la utilidad de los lodos como agregados para materiales de construcción, generando una disposición ecológica de los mismos, y contribuyendo a minimizar la actividad extractivista de materias primas empleadas en la industria de la construcción.

Los estudios demostraron que los lodos procedentes de la potabilizadora no tienen esta aplicabilidad debido al elevado contenido de sulfatos, los que ejercen un notable efecto corrosivo sobre los materiales: morteros y hormigones.

En cambio los lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales mostraron ser efectivos para la fabricación de los siguientes materiales: morteros, en los cuales la ceniza de lodo ejerce igual efecto que la cal; para hormigones, cuando el lodo sustituye al 10% del agregado fino; y para ladrillos la mayor eficiencia se obtiene cuando la dosis adicionada reemplaza al 5% de su volumen.

Según Molina, (2016), en su investigación titulada “Caracterización Físicoquímica de los Lodos Provenientes de una Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial de una Empresa de Café del Departamento de Caldas” menciona que, el problema del manejo de los lodos surge cuando se desperdicia su potencial de aprovechamiento y se dispone solo como un residuo, aumentando la cantidad de residuos a disponer en los rellenos sanitarios. Es por esto que en las últimas décadas, ha crecido el interés investigativo por la búsqueda de tecnologías limpias y sostenibles para un aprovechamiento, optimización y utilización eficiente de los

lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales, reduciendo los costos de operación de los procesos. La aplicación de procesos de valorización de lodos puede generar nuevas líneas de negocio para el sector industrial, mejorar su viabilidad económica, reducir su impacto ambiental y por ende aportar al fortalecimiento de su competitividad.

La finalidad del presente trabajo es realizar un estudio teórico-experimental para la caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial (PTARI) de una empresa de alimentos de la ciudad de Manizales. Dicha caracterización nace de la necesidad de establecer la calidad y composición de los lodos generados en la PTARI, para posteriormente seleccionar y analizar una alternativa biotecnológica de valorización y aprovechamiento de este residuo, con el fin de que haya una reintegración al ciclo productivo de manera limpia, disminuyendo el impacto sobre el medio ambiente.

Según Oropeza, (2006), en su artículo titulado “Lodos Residuales: Estabilización y Manejo” menciona que, hoy en día la necesidad de minimizar residuos, así como su disposición adecuada y segura, son aspectos de suma importancia mundialmente, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento. En México, el manejo de lodos residuales municipales e industriales es un aspecto descuidado y son pocas las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que cuentan con un sistema de tratamiento de lodos, además, no existen cifras exactas referentes a la cantidad de lodos generados a nivel municipal y mucho menos por giro industrial. El problema no termina aquí, ya que los lodos residuales deben disponerse de forma ambientalmente segura. El presente artículo da un panorama general de las diferentes líneas en el tratamiento y tendencias existentes en el manejo de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.

## Justificación

El presente estudio técnico tiene un **impacto** positivo de tipo económico, ya que incide en los costos operativos de la empresa CEDAL S.A., esto cumpliendo con la necesidad de la empresa de reducir la cantidad de humedad que contienen los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales, el factor humedad incide en el volumen de los lodos, y este a su vez en el costo de manejo, transporte y disposición final de los lodos.

Su **importancia** radica en que, al analizar alternativas para reducir la humedad que contienen los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales se intenta reducir su volumen ya que este influye en los costos operativos de la empresa.

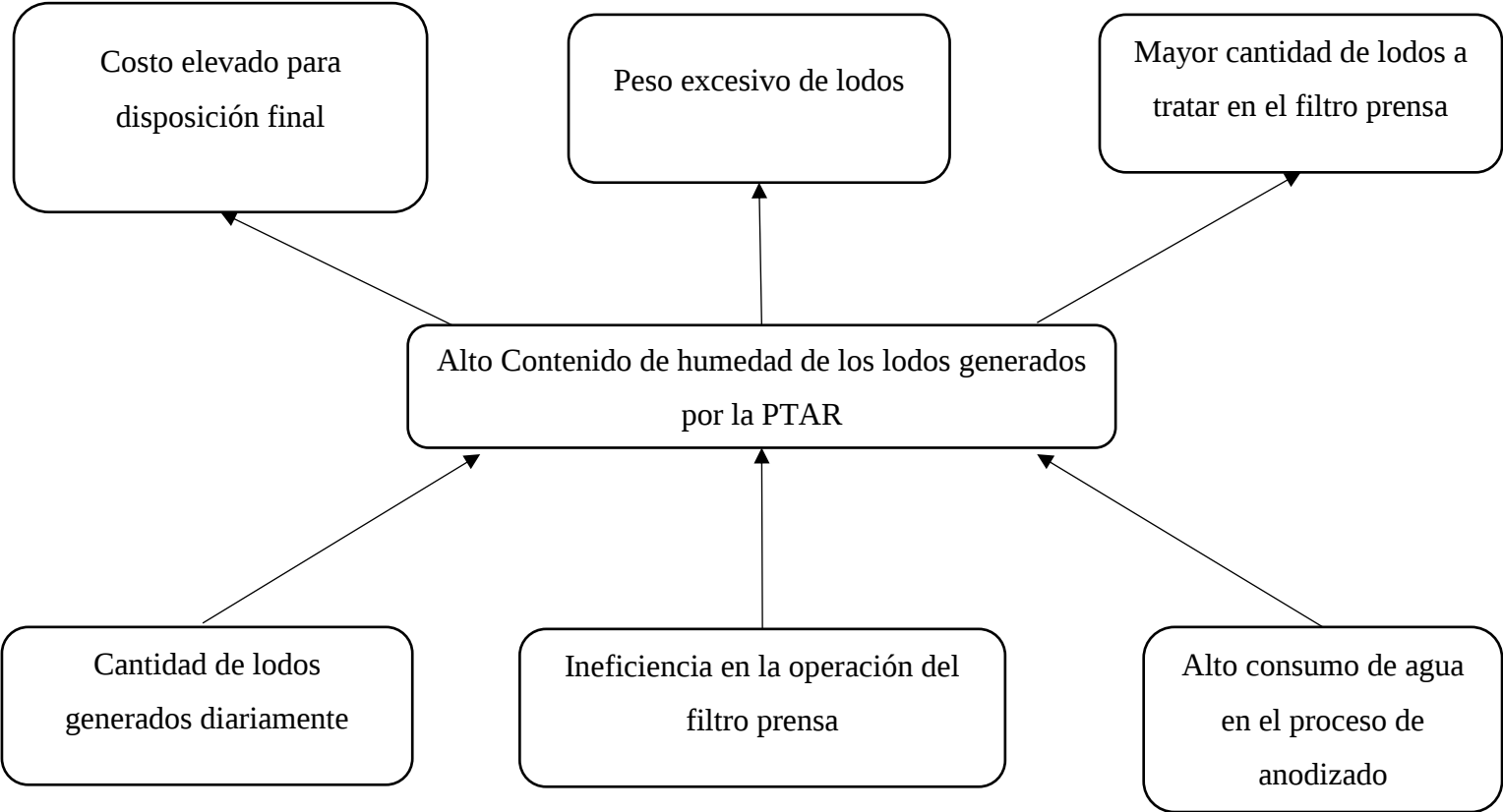
Tiene una **utilidad** teórica porque contribuye con datos relacionados al estudio de investigación, los mismos que pueden ser utilizados para contrastar con otras investigaciones afines a esta.

La investigación a realizarse exige un trabajo de campo en el cual existe la **factibilidad** de realizarlo porque se dispone del conocimiento suficiente por parte del investigador, de igual manera los recursos necesarios tanto económicos, tecnológicos y bibliografía especializada, contando además con las facilidades que brinda la empresa para tener acceso a la información como son registros de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, registros de los costos de disposición final de los lodos, etc.

El **beneficio** será para la empresa CEDAL S.A., ya que al solucionar el problema de la humedad que contienen los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales, también se reduce el volumen de los mismos, y esto a su vez reduce los costos operativos de la empresa.

Árbol de problemas

EFEECTO



**Ilustración 1: Árbol de problemas**  
Elaborado por: **Pablo Pallo**

## **Análisis Crítico**

La cantidad de lodos generados diariamente por la planta de tratamiento de aguas residuales, es de aproximadamente 7 toneladas diarias, y puede ocasionar el costo elevado para la disposición final de los mismos, ya que el volumen de estos es mayor por la cantidad de agua que contienen al momento de ser descargados del filtro prensa. La empresa que realiza el transporte y disposición final de los lodos cobra un valor de 40 dólares por tonelada.

La ineficiencia en la operación del filtro prensa, puede ocasionar un peso excesivo de los lodos, dado que el filtro prensa a través de bombas los succiona y los prensa tratando de esta manera de liberar el agua contenida en estos, si el filtro prensa no funciona correctamente ya sea por falta de mantenimiento o un fallo en las bombas de succión, los lodos no pueden ser prensados correctamente y estos se quedan con una alta cantidad de agua contenida.

El alto consumo de agua en el proceso de anodizado, puede ocasionar una mayor cantidad de lodos a tratar en el filtro prensa, el proceso de anodizado es un proceso electroquímico que usa agua y agentes químicos que proporciona un recubrimiento de óxido el cual a su vez proporciona mayor resistencia a la abrasión, protección contra la corrosión, facilidad para incorporar varios tonos de colores y la prolongación de la vida útil del material. Por lo tanto al usar una gran cantidad de agua en este proceso, la planta de tratamiento de aguas residuales y el filtro prensa no tienen la capacidad de procesar el agua y los lodos residuales respectivamente, en un solo turno de trabajo.

### **Objetivo general**

- Estudiar el manejo de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y su relación con los costos operativos de la empresa CEDAL en la ciudad de Latacunga.

### **Objetivos específicos**

- Describir el proceso de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa y la cantidad de lodos generados por la misma.
- Determinar la influencia de la reducción de la humedad que contienen los lodos generados por la PTAR en los costos operativos de la empresa CEDAL.
- Determinar la relación existente entre el manejo de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales con los costos operativos de la empresa.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **Área de estudio**

#### **Delimitación del objeto de investigación**

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Dominio Propio:</b>         | Tecnología y Sociedad               |
| <b>Línea de Investigación:</b> | Medio Ambiente y Gestión de Riesgos |
| <b>Campo:</b>                  | Ingeniería Industrial               |
| <b>Área:</b>                   | Manejo de los lodos                 |
| <b>Aspecto:</b>                | Costos Operativos                   |
| <b>Objeto de estudio:</b>      | Manejo de lodos y Costos operativos |
| <b>Periodo de análisis:</b>    | Mayo - Agosto 2019                  |

#### **Enfoque**

El presente proyecto tiene un enfoque Cualitativo - Cuantitativo

Cualitativo, porque analizó la información sobre los lodos producidos por la PTAR de la empresa, su tratamiento, transporte y disposición final.

Cuantitativo, porque se recopiló y analizó la información sobre la cantidad de lodos producidos por la PTAR de la empresa, su tratamiento, transporte y disposición final. Y se determinó el porcentaje de humedad final contenida en los lodos a través del tratamiento dado en la cámara de secado de efecto invernadero.

## **Justificación de la metodología**

**Bibliográfica Documental.-** Para desarrollar esta investigación fue necesario el aporte bibliográfico ya que se utilizaron libros, tesis, publicaciones; además de datos proporcionados por la empresa.

**Investigación de Campo.-** Puesto que fue necesario recoger muestras de la PTAR en el lugar donde está ubicada dentro de la empresa.

**Investigación Descriptiva.-** Por la necesidad de describir el proceso de tratamiento de aguas residuales de la empresa, y la cantidad de lodos que genera la misma.

## **Población y muestra**

Para este estudio la población es la cantidad de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa CEDAL S.A.

En este caso la cantidad de lodos que se tomarán en cuenta es de 2 Tn (Toneladas).

$$Población = 2 \text{ Toneladas de Lodos Generados}$$

### **Toma de la muestra de los lodos**

La muestra fue tomada en función de la cantidad de lodos que podían ser ingresados en la cámara de secado, por lo tanto se tomó una muestra de 60 kg basados en la siguiente fórmula:

**Ecuación 1:** Fórmula para calcular la muestra conociendo el tamaño de la población

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Fuente: **Psyma, (2015)**

Elaborado por: **Pablo Pallo**

**Donde:**

**N:** Tamaño de la población = 2000 Kg

**Z:** Nivel de confianza = 1,96

**p:** Probabilidad de éxito = 0,20

**q:** Probabilidad de fracaso = 0,80

**d:** Precisión = 0,10

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$n = \frac{2000kg * (1,96)^2 * 0,20 * 0,80}{(0,10)^2 * (2000 - 1) + (1,96)^2 * 0,20 * 0,80}$$

$$n = \frac{1229,312}{19,99 + 0,615}$$

$$n = 59,7$$

$$n = 60 \text{ kg}$$

Estas muestras se tomaron al inicio de la semana, es decir el día lunes al momento de la primera descarga en la mañana.

En la Tabla 1, se puede evidenciar el proceso de toma de la muestra.

Tabla 1: **Proceso de toma de muestras**

| Proceso de toma de muestra                              |                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Colocación de los lodos en la cámara de secado (Inicio) | Se procedió a colocar los lodos en la cámara de secado, en sus dos compartimentos.                                                  |
| División de la cámara de secado                         | Esto consistió en realizar una división de la cámara de secado en 8 partes iguales.                                                 |
| Toma de la muestra                                      | En esta etapa se recogía una cantidad de 7,5 kg de cada cuadrante de la cámara de secad, hasta obtener una cantidad total de 60 kg. |
| Pesaje de la muestra                                    | Se colocaba la muestra de 60 kg en un recipiente, y se la llevaba a la balanza para ser pesada.                                     |
| Colocación de la muestra en la cámara de secado (Fin)   | Se transportaba la muestra hacia la cámara de secado para depositarla allí hasta volver a realizar el proceso.                      |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

### Diseño del trabajo

En las tablas 2 y 3 se evidencia la operacionalización de la variable independiente y la variable dependiente.

Tabla 2: **Manejo de Lodos**

| Conceptualización                                                                                                                                                                                                                                                                  | Dimensiones                | Indicadores                                                     | Interrogantes del Investigador                                                                          | Técnicas                                                                                                     | Instrumentos                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| El criterio para la selección del tratamiento idóneo para la estabilización de un lodo en particular depende de varios factores, tales como: la cantidad y calidad de lodos a tratar, las condiciones particulares del sitio y, la situación financiera en cada caso. (Díaz, 2016) | humedad de los lodos       | % de humedad final de los lodos.                                | ¿Cuál es el porcentaje de humedad que se obtiene al emplear una cámara de secado?                       | Cálculo de la humedad inicial<br>Cálculo de la humedad perdida diaria<br>Cálculo de la humedad pérdida total | Cámara de secado de tipo efecto invernadero (Anexo 1)<br>Balanza (Anexo 2)  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Volumen de lodos generados | Toneladas de lodos obtenidos después del tratamiento de secado. | ¿Qué cantidad de lodos se genera en la PTAR?<br>¿Qué capacidad de procesamiento de lodos tiene la PTAR? | Pesaje de los lodos en la balanza de la empresa                                                              | Balanza (Anexo 2)<br>Montacargas (Anexo 3)<br>Tarjetas de balanza (Anexo 4) |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

Tabla 3: Costos Operativos

| Conceptualización                                                                                                                                                                                                                  | Dimensiones         | Indicadores                   | Interrogantes del Investigador                                                                          | Técnicas                                                                       | Instrumentos                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Los gastos operacionales incluyen nóminas, comisiones de ventas, beneficios para empleados y contribuciones de pensiones, transporte y viajes, amortización y depreciación, alquiler, reparaciones, y los impuestos. (Pérez, 2013) | Gastos de operación | Costo de la disposición final | ¿Qué cantidad de dinero se invierte en la disposición final de los lodos?                               | Cálculo del costo de la disposición final de los lodos.<br>Pesaje de los lodos | Programa Excel<br>Tarjetas de balanza (Anexo 6) |
|                                                                                                                                                                                                                                    | Transporte          | Costo de transporte de lodos  | ¿Cuál es el costo de transportar los lodos a su disposición final en un botadero de la ciudad de Quito? | Cálculo del costo de transporte de los lodos<br>Pesaje de los lodos            | Programa Excel<br>Tarjetas de balanza (Anexo 6) |

Fuente: (Cedal S.A.)  
Elaborado por: **Pablo Pallo**

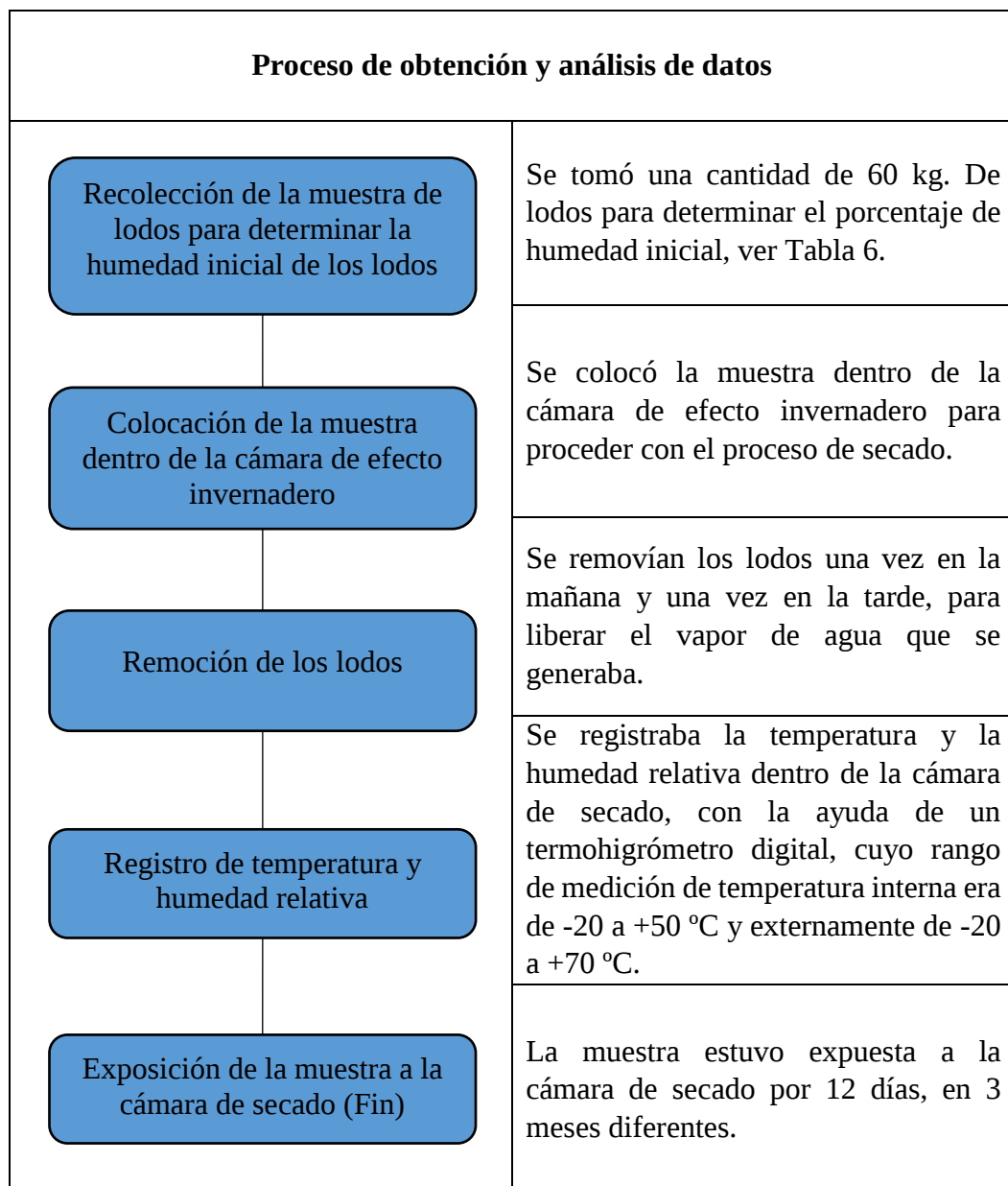
## Procedimiento para obtención y análisis de datos

Para la obtención de los datos primero se conoció y se describió el proceso de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa y la cantidad de lodos generados por la misma. Como se podrá evidenciar en los siguientes capítulos de esta investigación.

El proceso de obtención y análisis de datos se puede evidenciar en la Tabla 4.

Tabla 4: **Procedimiento para obtención y análisis de datos**

| Proceso de obtención y análisis de datos                      |                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Selección del proceso idóneo para secado<br>(Inicio)          | Para poder seleccionar el proceso idóneo para el secado de los lodos se realizó pruebas sometiendo a los lodos a tres condiciones diferentes, estas se mencionan en el desarrollo del capítulo tres.               |
| Toma de muestra para selección del proceso idóneo para secado | Se tomó una cantidad de 100 g. aproximadamente, de los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.                                                                             |
| Determinación del proceso de secado                           | Después de realizar los cálculos correspondientes a cada una de las muestras se determinó que el proceso de secado más efectivo fue el de la funda ziploc. Ver Tabla 8.                                            |
| Construcción de la cámara de secado de efecto invernadero     | Se construyó la cámara de secado de efecto invernadero en base a la determinación del proceso de secado, el cual fue el de la muestra con la condición de la funda ziploc, como se puede evidenciar en la Tabla 8. |
| Proceso de secado de los lodos                                | Los lodos fueron ingresados en la cámara de efecto invernadero.                                                                                                                                                    |



Fuente: **(Cedal S.A.)**

Elaborado por: **Pablo Pallo**

### ¿Para qué?

El estudio se realizó para resolver la problemática de la empresa CEDAL S.A., respecto a lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales, los cuales al momento de su descarga contienen un elevado porcentaje de humedad, este último hace que el volumen de los lodos aumente, de tal forma que la disposición final de los mismos incide significativamente en los costos operativos de la empresa.

### **¿De qué forma u objetos?**

Sobre los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa CEDAL S.A. los cuales fueron sometidos a pruebas para determinar su porcentaje de humedad inicial y su porcentaje de humedad total perdido.

### **¿Sobre qué aspectos?**

Se realizó este estudio, sobre el manejo de los lodos y los costos operativos de la empresa CEDAL S.A., puesto que estos tienen relación y generan una problemática para la empresa.

### **¿A quién?**

A la empresa CEDAL S.A., ya que fueron quienes requirieron y fueron beneficiarios de este estudio, que ayudó a resolver el problema que causaba el manejo y disposición final de los lodos residuales.

### **¿Cuándo?**

Este estudio se realizó entre los meses de abril y junio del 2019, tiempo en el cual se realizaron todos los análisis de datos y proceso de secado de los lodos dentro de la empresa.

### **¿Dónde?**

Este estudio se realizó en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi, en la empresa CEDAL S.A.

### **¿Cuántas veces?**

Se realizó los análisis con tres muestras, en tres meses distintos (abril – junio), tiempo en el cual se obtuvo los datos necesarios para cumplir con los objetivos de este estudio.

### **¿Con qué técnicas de recolección de la información?**

Para poder realizar la recolección de la información se necesitó de las siguientes técnicas:

- Cálculo de la humedad inicial.

- Cálculo de la humedad perdida diaria.
- Cálculo de la humedad pérdida total.
- Pesaje de los lodos en la balanza de la empresa.
- Cálculo del costo de transporte de los lodos.

### **¿Con qué instrumentos?**

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Cámara de secado de tipo efecto invernadero
- Recipiente para la muestra
- Balanza
- Montacargas
- Tarjetas de balanza

### **¿En qué situación?**

Se procedió a realizar este estudio, en las condiciones normales de trabajo de la empresa CEDAL S.A., ya que esto ayudó a realizar de mejor forma la investigación.

### **Pregunta de investigación**

¿Cómo se puede reducir los costos de operación generados por la humedad que contienen los lodos, y este a su vez influye en los costos de disposición final?

### **Las plantas de tratamiento de aguas residuales P.T.A.R.**

Las P.T.A.R. es una infraestructura sanitaria, en donde se efectúa el proceso de depuración de los efluentes de origen industrial o doméstico (García, 2016), con el fin de disminuir contaminantes con efectos nocivos para la salud y el ambiente. Además permiten que los efluentes se ajusten a la normativa aplicable para descarga (Galvis & Rivera, 2013).

Vistas localmente, parecen ser unidades aisladas, cuyo objetivo es de preservar algún cause de agua, por obligación legal y la presión de la autoridad ambiental regional, pero vistas de manera global representan el principio y el fundamento del sistema digestivo del mundo, de este gran hormiguero de los seres humanos.

En la industria, una P.T.A.R. es una unidad de control de calidad del proceso productivo, donde por medio de análisis del agua residual (cantidad, calidad), se puede diagnosticar el “estado del paciente”, o sea la eficiencia de la fábrica en un momento determinado, y en particular las pérdidas de materia prima y el gasto de insumos. (Conil, 2000).

### **Lodo residual**

Los lodos residuales son generados dentro del proceso de depuración del agua residual en una planta de tratamiento, y constituyen todos aquellos desechos removidos del agua residual en dicha acción. Pueden ser líquidos o semisólidos, con un contenido de sólidos variable de 0,25 a 12% en peso (Metcalf & Eddy, 2006)

Los lodos constituyen el subproducto de mayor importancia en el tratamiento de aguas residuales, debido a la gran cantidad que se genera y al posterior tratamiento al que son sometidos previo a su disposición final (Macías, 2013).

### **Características y composición del lodo residual**

Las características más importantes a considerar en los lodos residuales son: (Ortíz, 2013)

- **Características físicas:** Cantidad de lodo residual, contenido de sólidos totales, contenido de sólidos volátiles.

- **Características químicas:** Potencial hidrógeno, materia orgánica.
- **Características biológicas:** Microorganismos patógenos.

La composición de un lodo residual está influenciada principalmente por su origen, el tiempo de retención en las etapas de la planta de tratamiento y el tipo de tratamiento que ha recibido. (Ortíz, 2013).

A continuación en la Tabla 5 se resume la composición típica de un lodo residual:

**Tabla 5: Composición física y química típica de un lodo residual**

| Concepto                   | Unidades                 | Lodo primario | Lodo primario digerido | Lodo secundario |
|----------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|-----------------|
| Sólidos secos totales      | %                        | 2 – 8         | 6 – 12                 | 0.8 – 12        |
| Sólidos volátiles          | %ST                      | 60 – 80       | 30 – 60                | 59 – 88         |
| Proteína                   | %ST                      | 20 – 30       | 15 – 20                | 32 – 41         |
| Nitrógeno                  | %ST                      | 1.5 – 4       | 1.6 – 6                | 2.4 – 5         |
| Fósforo                    | %ST                      | 0.8 – 2.8     | 1.5 – 4                | 2.8 – 11        |
| Potasio (K <sub>2</sub> O) | %ST                      | 0 – 1         | 0 – 3                  | 0.5 – 0.7       |
| Celulosa                   | %ST                      | 8 – 15        | 8 – 15                 | -               |
| Hierro                     | %ST                      | 2 – 4         | 3 – 8                  | -               |
| Sílice (SiO <sub>2</sub> ) | %ST                      | 15 – 20       | 10 – 20                | -               |
| pH                         | u. Ph                    | 5 – 8         | 6.5 – 7.5              | 6.5 – 8         |
| Alcalinidad                | Mg CaCO <sub>3</sub> / L | 500 – 1500    | 2500 – 3500            | 580 – 1100      |
| Ácidos orgánicos           | Mg HAc / L               | 200 – 2000    | 100 – 600              | 1100 – 1700     |
| Contenido energético       | MJST / Kg                | 23000 – 29000 | 9000 – 13500           | 18500 – 23000   |

Fuente: **(Metcalf & Eddy, 1996)**

Elaborado por: **Pablo Pallo**

Muchos de los componentes conocidos son indispensables para considerar el uso final de los lodos procesados y del líquido separado durante el proceso.

### **Filtro Prensa**

Un filtro se compone de una serie de chapas verticales, yuxtapuestas y acopladas. Estas chapas prensadas entre ellas cuenta con un sistema hidráulico neumático que puede ser automático, semiautomático, La presión aplicada a las zonas unidad de cada filtro debe de soportar la presión interna de la cámara que se forma debido a la inyección mediante bomba del lodo al sistema. Esta disposición de placas verticales forman cámaras de filtración estanca a la inmersión que permiten la fácil mecanización de la descarga de las pastas.

Membranas filtrantes finamente y fijamente malladas se aplican en las dos grandes superficies crecientes en estas placas. A través de orificios se alimenta el sistema de lodo para ser prensado en la cámara de filtración. Están generalmente colocados en el centro de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión adecuada y mejor drenaje del lodo dentro de la cámara. Lodos sólidos se acumulan gradualmente en la cámara de filtración hasta que se genera una pasta compacta final. El filtrado se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos (Lenntech B.V., 2019).

### **Ciclos de Filtración**

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

- 1- **Cerramiento de la prensa:** cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza movable que es activado por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cerramiento es autorregulada mediante la filtración.

- 2- **Rellenado:** Durante esta fase corta la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodo con gran capacidad de filtración es mejor rellenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se haya rellenado del todo.
- 3- **Filtración:** Una vez rellenada la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de manera manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, los circuitos de filtración y ductos centrales, que están todavía rellenos de lodo se les aplica aire comprimido para su purgado.
- 4- **Apertura del filtro:** La cabeza movable se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por unas. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.
- 5- **Limpieza:** La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso. Para unidades largas o medias esto tienen lugar en prensados usando spray de agua a altas presiones (80-100 bar). La limpieza esta sincronizada con la separación de las placas (Lenntech B.V., 2019)

## **Anodizado**

Cuando escuchamos este término, lo primero que se nos cruza por la cabeza es el coloreado del aluminio, pues algo de eso tiene, pero en si el proceso de anodizado es una forma de proteger el aluminio contra de los agentes atmosféricos. Luego del extruído y decapado, este material entra en contacto con el aire y forma por si solo una delgada película de óxido con un espesor más o menos regular de 0,01 micrones denominada oxido de aluminio, esta tiene algunas mínimas propiedades protectoras.

Bien, el proceso de anodizado consiste en obtener de manera artificial películas de óxido de mucho más espesor y con mejores características de protección que las capas naturales, estas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos. Artificialmente se pueden obtener películas en las que el espesor es de 25 - 30 micrones en el tratamiento de protección o decoración y de casi 100 micrones con el procedimiento de endurecimiento superficial (Anodizado Duro). (Perez, 2006)

### **Etapas del proceso de anodizado**

- **Desengrase:** en esta etapa se busca eliminar todo tipo de grasa, ya sea de origen mineral o vegetal en la pieza. Se realiza en un medio ácido y a temperaturas altas.
- **Decapado o matizado:** se realiza para eliminar todo tipo de óxidos generados en los procesos previos. Este proceso usa soda cáustica (NaOH) como decapante en una concentración entre 50 y 240 g/L. El baño se encuentra a una temperatura entre 50 – 60°C.
- **Neutralizado:** este baño se realiza para detener el ataque de la soda, eliminar óxido de los componentes de aleación y blanquear los perfiles. Esta etapa es a temperatura ambiente y las piezas que salen no son enjuagadas, sino que continúan a la etapa siguiente. 42 Producción + Limpia - Enero - Junio 2006 - Vol. 1 No. 1
- **Anodizado:** en esta etapa se realiza el tratamiento anódico que se le da a la pieza, donde se genera una capa de óxido de aluminio sobre la misma. El baño es una celda galvánica en la cual el ánodo es el perfil y por lo tanto va a ser oxidado, lo que se logra sumergiéndolo en una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) de concentración entre 180 y 200 g/L. El baño debe mantenerse a una temperatura de 19 - 21°C, por lo cual se requiere refrigeración.
- **Electrocoloreado:** esta etapa proporciona el color al perfil de aluminio en la gama de los bronce. El perfil se sumerge en una solución de sulfato de estaño ( $SnSO_4$ ), con el objetivo de que dicho elemento ingrese al poro de la

superficie y lo rellene, formando el color. Dependiendo de la cantidad de estaño depositado, se genera un tono más claro o más oscuro.

- **Sellado:** al sumergir el perfil en este baño se logra el taponamiento de los poros de los perfiles para que permanezca el color. El proceso se realiza a temperatura ambiente, pero el enjuague posterior de las piezas se realiza en caliente (Zapata, 2006).

### **Proceso de tratamiento de las aguas en la planta CEDAL**

El proceso de tratamiento de las aguas en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de CEDAL pasa por las siguientes fases:

- Homogenización
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Compactación de lodos

En la Tabla 6, se puede evidenciar cada una de estas etapas con su descripción.

Tabla 6: **Proceso de tratamiento de aguas residuales**

| <b>Proceso de tratamiento de aguas residuales</b>                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> graph TD     A[Homogenización (Inicio)] --&gt; B[Floculación]     B --&gt; C[Sedimentación]     C --&gt; D[Filtración]     D --&gt; E[Compactación de lodos (final)]         </pre> | <p>El agua residual llega hacia el tanque neutralizador para posteriormente pasar a los tanques de almacenamiento y homogenización en donde se disminuye los efectos de la variación del flujo y la concentración de estas aguas.</p> |
|                                                                                                                                                                                           | <p>El efluente es conducido hacia un floculador, tanque de hormigón en donde se adiciona la sustancia química que una los sólidos provocando su precipitación, con la ayuda de una agitación lenta de un motor reductor.</p>          |
|                                                                                                                                                                                           | <p>El agua pasa a través del clarificador para convertirse en un material sólido y se pueda concentrar en los espesadores de fango.</p>                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                           | <p>Los lodos son enviados por medio de una bomba neumática de alto rendimiento hacia un sistema de filtro prensa que compacta los lodos hasta obtener una humedad inferior a 80%.</p>                                                 |
|                                                                                                                                                                                           | <p>Los lodos que se van depositando en el fondo del tanque, son constantemente bombeados con un sistema neumático hacia el filtro para su acumulación y disposición final.</p>                                                        |

Fuente: **Villafuerte, (2017)**

Elaborado por: **Pablo Pallo**

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se conocen los resultados del método y las herramientas mencionados en el capítulo anterior en la Justificación de la metodología, para determinar la alternativa más viable para el secado de los lodos generados por la PTAR de la empresa.

#### Situación actual

La empresa CEDAL S.A, se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga, entre las calles, Av. Unidad Nacional y Av. Roosevelt. Ver Ilustración 2.

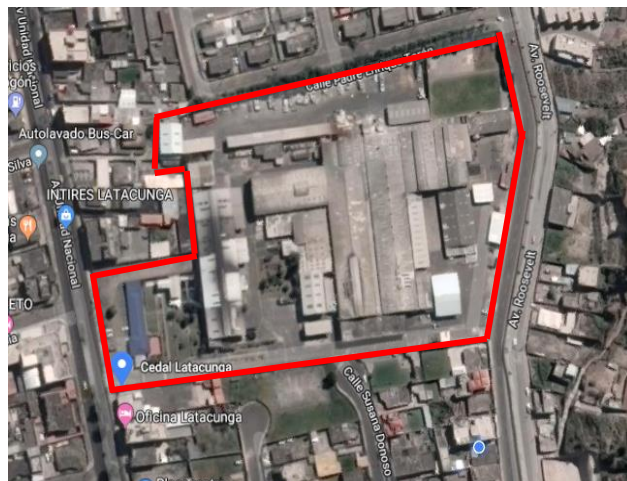


Ilustración 2: Ubicación de la planta CEDAL S.A.

Fuente: Google Maps,( 2019)

## **Operación de la planta de tratamiento de vertidos líquidos**

La planta de tratamiento de CEDAL S.A.; ha sido diseñada para tratar los efluentes provenientes de los procesos de anodizado, pintura y matricería principalmente.

La capacidad de procesamiento de la planta de efluentes es de 400m<sup>3</sup>/día.

El tipo de tratamiento utilizado en la planta es de tipo físico – químico, se utiliza un polímero orgánico como floculante, y no se necesita coagulante por su alto contenido de hidróxido de aluminio que funciona como tal; El proceso de tratamiento consta de cinco etapas: Homogenización, floculación, sedimentación, filtración y compactación de lodos.

## **Manejo y puesta en marcha de la planta**

Para poner en funcionamiento a la planta de tratamiento de vertidos, se realizan las siguientes actividades:

- Prender las bombas dosificadoras, agitadores y las bombas de ingreso de agua.
- Si la calidad del agua no es la adecuada (color visible, pH fuera de límites permisibles, existencia de flóculos sobrenadantes), se parará la planta. Se tomará una nueva muestra del agua a tratar, para realizar una prueba de jarras. Según el resultado, se tomarán las medidas correctivas necesarias.
- Lavado del filtro prensa, de acuerdo al nivel de lodos observado o a la frecuencia de trabajo de la bomba del filtro prensa (recomendado 2 veces por semana mínimo).
- Registrar los valores de peso de lodos resultante de la descarga del filtro prensa.

## **Situaciones anormales de operación**

Las situaciones anormales de operación que podrían presentarse en la planta de tratamiento de CEDAL S.A. y que han sido consideradas son: Efluentes concentrados provenientes del proceso de anodizado y pintura, cuando se lava los tanques y cuando envían agua del chiller o su purga.

## **Análisis rutinario de la planta de tratamiento de vertidos**

El técnico o los técnicos responsables de CEDAL, realizarán las siguientes actividades:

- Registrar los valores diarios de pH y caudal de la agua tratada.
- Tomar una muestra representativa de lodo y determinar el porcentaje de humedad.
- El porcentaje de humedad debe procurar ser menor al 80%. Si el resultado es mayor se informará a mantenimiento para implantar los correctivos pertinentes en el filtro prensa. (Cedal S.A., 2018)

## **Cálculo la humedad inicial**

En primera instancia se realizó el cálculo para conocer la humedad inicial de los lodos de la planta de tratamiento de efluentes (PTE). En la tabla 6 se puede observar el cálculo realizado.

Tabla 7: **Cálculo de la humedad inicial**

| CÁLCULO DE LA HUMEDAD INICIAL |                   |                        |                  |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|------------------|
| PTE                           | Peso Muestra (gr) | Peso muestra seca (gr) | %Humedad inicial |
|                               | 60000             | 11040,6                | 81,599           |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La Ecuación 2 es empleada para calcular la humedad inicial:

**Ecuación 2:** Fórmula para calcular la humedad inicial de los lodos

$$\%humedad\ inicial = \frac{Pm - Pms}{Pm} * 100$$

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

**Donde:**

**Pm**= Peso de la muestra = 60000

**Pms**= Peso de la muestra seca = 11040,6

$$\%humedad\ inicial = \frac{60000 - 11040,6}{60000} * 100$$

$$\%humedad\ inicial = \frac{48959,4}{60000} * 100$$

$$\%humedad\ inicial = 0,8159 * 100$$

$$\%humedad\ inicial = 81,60\%$$

Como se puede evidenciar la humedad inicial de los lodos al momento de ser descargados de la PTE (Planta de tratamiento de efluentes), es de 81,60%.

### **Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos**

Para poder determinar cuál es el tratamiento idóneo para el secado de los lodos se realizaron pruebas, que constaron en colocar una cantidad de 100 g. de los lodos generados en envases plásticos y en fundas ziploc (fundas herméticas) ver ilustración 3, estas muestras fueron colocadas al aire libre por cinco días, en donde se pudo evidenciar que la muestra contenida en la funda ziploc fue la idónea para el secado de los lodos, ya que los lodos al pasar los cinco días, su humedad se reducía significativamente como se muestra en la Tabla 7 en la sección marcada de color azul.



**Ilustración 3: Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos**  
Fuente: CEDAL S.A.

Cabe mencionar que para determinar el tratamiento idóneo para el secado de los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa, se tomó en cuenta tres condiciones a las que estuvieron expuestos los lodos, estas tres condiciones fueron:

- Al aire libre en envase de plástico, sin tapa
- Al aire libre en funda ziploc
- Al aire libre bajo cubierta en envase de plástico, sin tapa.

Tabla 8: Selección del tratamiento idóneo para el secado de los lodos

| PLANTA PTE                                               |                   |                           |                                |            |                                        |                             |                             |                        |                     |               |
|----------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| Condición                                                | Fecha<br>dd/mm/aa | Peso<br>recipiente<br>(g) | Peso<br>muestra<br>inicial (g) | Tiempo (h) | Peso<br>recipiente+muestra<br>seca (g) | Peso<br>muestra<br>seca (g) | %<br>Humedad<br>inicial (g) | % Humedad<br>final (g) | Factor de<br>secado | Promedio<br>% |
| Aire libre<br>en envase<br>de plástico                   | 25/03/2019        | 29,34                     | 100,1570                       | 24         | 78,58                                  | 49,2352                     | 81,61                       | 50,84                  | 30,77               | 32,25         |
|                                                          | 26/03/2019        | 29,34                     | 100,1862                       | 48         | 50,61                                  | 21,2641                     | 81,61                       | 78,78                  | 2,83                |               |
|                                                          | 27/03/2019        | 29,34                     | 100,1553                       | 72         | 105,07                                 | 75,7273                     | 81,61                       | 24,39                  | 57,22               |               |
|                                                          | 28/03/2019        | 29,34                     | 100,0324                       | 96         | 89,35                                  | 60,0033                     | 81,61                       | 40,02                  | 41,59               |               |
|                                                          | 29/03/2019        | 29,34                     | 100,1021                       | 120        | 76,66                                  | 47,3133                     | 81,61                       | 52,73                  | 28,88               |               |
| Aire libre<br>en funda<br>ziploc                         | 25/03/2019        | 6,33                      | 100,3561                       | 24         | 89,74                                  | 83,4100                     | 81,61                       | 16,89                  | 64,72               | 67,54         |
|                                                          | 26/03/2019        | 6,33                      | 100,0128                       | 48         | 77,13                                  | 70,8022                     | 81,61                       | 29,21                  | 52,40               |               |
|                                                          | 27/03/2019        | 6,33                      | 100,2920                       | 72         | 96,08                                  | 89,7573                     | 81,61                       | 10,50                  | 71,11               |               |
|                                                          | 28/03/2019        | 6,33                      | 100,2600                       | 96         | 101,41                                 | 95,0816                     | 81,61                       | 5,16                   | 76,45               |               |
|                                                          | 29/03/2019        | 6,33                      | 100,1420                       | 120        | 97,88                                  | 91,5520                     | 81,61                       | 8,58                   | 73,03               |               |
| Aire libre<br>bajo<br>cubierta,<br>envase de<br>plástico | 25/03/2019        | 29,34                     | 100,1335                       | 24         | 87,08                                  | 57,7352                     | 81,61                       | 42,34                  | 39,27               | 31,79         |
|                                                          | 26/03/2019        | 29,34                     | 100,0923                       | 48         | 82,11                                  | 52,7692                     | 81,61                       | 47,28                  | 34,33               |               |
|                                                          | 27/03/2019        | 29,34                     | 100,0217                       | 72         | 83,99                                  | 54,6486                     | 81,61                       | 45,36                  | 36,25               |               |
|                                                          | 28/03/2019        | 29,34                     | 100,3700                       | 96         | 73,46                                  | 44,1113                     | 81,61                       | 56,05                  | 25,56               |               |
|                                                          | 29/03/2019        | 29,34                     | 100,1287                       | 120        | 71,34                                  | 42,9986                     | 81,61                       | 58,06                  | 23,55               |               |

Fuente: CEDAL S.A.  
Elaborado por: Pablo Pallo

## Construcción de la cámara de efecto invernadero

Luego de determinar que el secado en la funda ziploc era el idóneo, ya que su factor de secado fue de 67,54% siendo el promedio más alto entre las tres condiciones a las que fueron sometidos los lodos, se procedió a la construcción de una cámara de efecto invernadero que simule el efecto de la funda ziploc a una escala superior, el objetivo fue construir una estructura resistente y económica, el piso tenía adoquines ya colocados en el área designada por la empresa, en donde se colocaron los lodos.

La cubierta fue montada con plástico de polietileno de 150 micras, con una pendiente pronunciada para facilitar la fuga de vapor de agua que se generaba durante el proceso de secado, el plástico fue tensado, cubriendo los frontales y laterales, y se dejó una parte libre para las puertas de ingreso en cada lado, las dimensiones de estas últimas fueron de 2,00 m x 1,50 m. (Ilustración 4 - 9)

Se hicieron orificios en los pingos de eucalipto, estos sirvieron para que los clavos pudieran ser insertados fácilmente. (Ilustración 4)

Estas actividades se realizaron con la ayuda de colaboradores expertos en la construcción de invernaderos.



Ilustración 4: Construcción de la cámara de efecto invernadero  
Fuente: (Cedal S.A.)

Para la colocación de los parantes se procedió a cabar los hollos en las esquinas y en la mitad de cada lado del terreno cuyas medidas eran 6 m x 5 m, con la ayuda de una pala excavadora. (Ilustración 5)



Ilustración 5: **Colocación de los parantes**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Los travesaños se colocaron con la ayuda de varios colaboradores, se unieron los travesaños a los parantes con clavos de dos pulgadas para que la estructura sea resistente. (Ilustración 6)



Ilustración 6: **Colocación de los travesaños**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Con la ayuda de tecles y cuerdas resistentes, los colaboradores procedieron a la colocación y tensado del plástico, cabe recalcar que el plástico debía estar tensado correctamente para que el viento no perjudique la estructura.



Ilustración 7: **Colocación y tensado del plástico de polietileno**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Como se puede evidenciar en la Ilustración 8, se procedió a colocar la malla sarán y la cortina, estos elementos ayudaron en la ventilación de la cámara de efecto invernadero, puesto que la cortina podía ser recogida con la ayuda de una manivela.



Ilustración 8: **Colocación de la malla sarán y cortina**  
Fuente: (Cedal S.A.)



Ilustración 9: **Colocación de las correas guías de la cortina**  
Fuente: (Cedal S.A.)

En la ilustración 9, se puede observar lo que fue la colocación de las correas guías de la cortina.

### **Proceso de secado**

El ingreso de los lodos se produjo el 13 de mayo del 2019 y se retiraron doce días después, es decir el 24 de mayo del 2019. Cabe recalcar que se dio los cuidados necesarios para evitar la contaminación con agentes externos a la investigación. La disposición del material experimental no excedió los 4cm de altura, esto facilitó el secado (Ilustración 10).



Ilustración 10: **Lodos ubicados dentro de la cámara de secado**  
Fuente: (Cedal S.A.).

El material se removía dos veces al día, abriendo la cortina del invernadero una vez al día por las mañanas, permitiendo que la humedad salga (ilustración 11 y 12).



Ilustración 11: **Apertura de la cortina**  
Fuente: (Cedal S.A.)



Ilustración 12: **Remoción de los lodos**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Se registraba la temperatura y la humedad relativa en la mañana, en la tarde y en la noche dentro del invernadero con la ayuda de un termohigrómetro digital (ilustración 13). Hay que mencionar que la temperatura y la humedad relativa variaban de acuerdo a la situación climática del día (ilustración 14), estos valores se presentan en la Tabla 8, los cuales son valores promedio de las mediciones realizadas.



Ilustración 13: **Temperatura y humedad relativa (termohigrómetro)**  
Fuente: (Cedal S.A.)



Ilustración 14: **Temperatura y humedad relativa 2 (termohigrómetro)**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Para poder tomar la muestra de los lodos, se procedió a realizar una división del piso del invernadero en 4 partes en el lado derecho y lo mismo en el lado izquierdo (ilustración 15 y 16), de las cuales se tomó una cantidad de 7,5 kg de cada cuadrante hasta completar los 60 kg necesarios. Estos 60 kg se colocaron en un recipiente de plástico realizado artesanalmente por el investigador para poder pesar la muestra en la balanza (ilustración 17).



**Ilustración 16: División del piso de la cámara de efecto invernadero 1**

Fuente: (Cedal S.A.)



**Ilustración 15: División del piso de la cámara de efecto invernadero 2**

Fuente: (Cedal S.A.)



**Ilustración 17: Recipiente para pesar los lodos en la balanza**  
Fuente: (Cedal S.A.)

Para poder determinar el porcentaje de humedad que perdía la muestra cada día, en el transcurso de 12 días de estar expuesta a la cámara de secado de tipo efecto invernadero, se procedió a realizar una tabla para llevar los datos necesarios para realizar los cálculos de la humedad perdida diaria y la humedad total perdida de la muestra, (Tabla 8). Cabe mencionar que se realizaron tres ensayos en meses diferentes (Tablas 8 – 10), con las muestras expuestas 12 días a la cámara de efecto invernadero, en abril se realizaron los ensayos al inicio del mes, en mayo se realizaron a mediados de dicho mes, y en junio se realizaron al final del mes. Siendo el ensayo más efectivo el del mes de mayo, en el que hubo mejor reducción del porcentaje de humedad contenida en los lodos.

En la Tabla 9, se puede evidenciar el ensayo realizado en el mes de abril. En el cual se consiguió reducir el porcentaje de humedad de los lodos en un 63,02%.

Tabla 9: Datos recogidos para determinar la humedad perdida diaria y la humedad perdida total de la muestra para el mes de abril

| PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES (PTE) |                   |                            |                                   |                         |               |                                        |                            |                                         |                               |                         |                                   |                                                      |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Condición                                | Fecha<br>dd/mm/aa | Peso<br>recipiente<br>(Kg) | Peso<br>muestra<br>humeda<br>(Kg) | Peso<br>inicial<br>(Kg) | Tiempo<br>(h) | Temperatura<br>invernadero<br>c/d (°C) | Humedad<br>relativa<br>(%) | Peso<br>recipiente+muestra<br>seca (Kg) | Diferencia<br>de peso<br>(Kg) | %<br>Humedad<br>inicial | %<br>Humedad<br>perdida<br>diaria | %<br>Humedad<br>total<br>perdida<br>de la<br>muestra |
| Cámara de Efecto invernadero             | 01/04/2019        | 6,5                        | 60                                | 66,5                    | 24            | 16                                     | 76                         | 57,45                                   | 9,05                          | 81,6                    | 13,61                             | 13,61                                                |
|                                          | 02/04/2019        | 6,5                        | 57,45                             | 63,95                   | 48            | 14,9                                   | 78                         | 56,32                                   | 7,63                          | 81,6                    | 11,93                             | 15,31                                                |
|                                          | 03/04/2019        | 6,5                        | 56,32                             | 62,82                   | 72            | 17,2                                   | 70                         | 50,67                                   | 12,15                         | 81,6                    | 19,34                             | 23,80                                                |
|                                          | 04/04/2019        | 6,5                        | 50,67                             | 57,17                   | 96            | 15,6                                   | 73                         | 48,79                                   | 8,38                          | 81,6                    | 14,66                             | 26,63                                                |
|                                          | 05/04/2019        | 6,5                        | 48,79                             | 55,29                   | 120           | 17,6                                   | 68                         | 42,86                                   | 12,43                         | 81,6                    | 22,48                             | 35,55                                                |
|                                          | 06/04/2019        | 6,5                        | 42,86                             | 49,36                   | 144           | 18,5                                   | 70                         | 37,56                                   | 11,8                          | 81,6                    | 23,91                             | 43,52                                                |
|                                          | 07/04/2019        | 6,5                        | 37,56                             | 44,06                   | 168           | 18,5                                   | 69                         | 35,9                                    | 8,16                          | 81,6                    | 18,52                             | 46,02                                                |
|                                          | 08/04/2019        | 6,5                        | 35,9                              | 42,4                    | 192           | 17,6                                   | 73                         | 31,09                                   | 11,31                         | 81,6                    | 26,67                             | 53,25                                                |
|                                          | 09/04/2019        | 6,5                        | 31,09                             | 37,59                   | 216           | 19,6                                   | 69                         | 27,63                                   | 9,96                          | 81,6                    | 26,50                             | 58,45                                                |
|                                          | 10/04/2019        | 6,5                        | 27,63                             | 34,13                   | 240           | 16,9                                   | 67                         | 24,59                                   | 9,54                          | 81,6                    | 27,95                             | 63,02                                                |
|                                          | 11/04/2019        | 6,5                        | 24,59                             | 31,09                   | 264           | 15,7                                   | 70                         | 24,59                                   | 6,5                           | 81,6                    | 20,91                             | 63,02                                                |
|                                          | 12/04/2019        | 6,5                        | 24,59                             | 31,09                   | 288           | 18,9                                   | 71                         | 24,59                                   | 6,5                           | 81,6                    | 20,91                             | 63,02                                                |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En la Tabla 10, se puede evidenciar el ensayo realizado en el mes de mayo, el cual tuvo un porcentaje de reducción de humedad de los lodos de 77,44%.

Tabla 10: Datos recogidos para determinar la humedad pérdida diaria y la humedad pérdida total de la muestra para el mes de mayo

| PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES (PTE) |                   |                            |                                    |                         |               |                                        |                            |                                         |                               |                         |                                   |                                                      |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Condición                                | Fecha<br>dd/mm/aa | Peso<br>recipiente<br>(Kg) | Peso<br>muestra<br>humedad<br>(Kg) | Peso<br>inicial<br>(Kg) | Tiempo<br>(h) | Temperatura<br>invernadero<br>c/d (°C) | Humedad<br>relativa<br>(%) | Peso<br>recipiente+muestra<br>seca (Kg) | Diferencia<br>de peso<br>(Kg) | %<br>Humedad<br>inicial | %<br>Humedad<br>perdida<br>diaria | %<br>Humedad<br>total<br>perdida<br>de la<br>muestra |
| Cámara de Efecto invernadero             | 13/05/2019        | 6,5                        | 60                                 | 66,5                    | 24            | 15,5                                   | 78                         | 55,765                                  | 10,735                        | 81,6                    | 16,14                             | 16,14                                                |
|                                          | 14/05/2019        | 6,5                        | 55,7650                            | 62,265                  | 48            | 14,7                                   | 80                         | 49                                      | 13,265                        | 81,6                    | 21,30                             | 26,32                                                |
|                                          | 15/05/2019        | 6,5                        | 49                                 | 55,5                    | 72            | 18,8                                   | 72                         | 42,5                                    | 13                            | 81,6                    | 23,42                             | 36,09                                                |
|                                          | 16/05/2019        | 6,5                        | 42,5000                            | 49                      | 96            | 16,4                                   | 76                         | 36,75                                   | 12,25                         | 81,6                    | 25,00                             | 44,74                                                |
|                                          | 17/05/2019        | 6,5                        | 36,7500                            | 43,25                   | 120           | 15,5                                   | 70                         | 31,8                                    | 11,45                         | 81,6                    | 26,47                             | 52,18                                                |
|                                          | 18/05/2019        | 6,5                        | 31,8000                            | 38,3                    | 144           | 19,3                                   | 69                         | 26,67                                   | 11,63                         | 81,6                    | 30,37                             | 59,89                                                |
|                                          | 19/05/2019        | 6,5                        | 26,6700                            | 33,17                   | 168           | 18,5                                   | 71                         | 21,32                                   | 11,85                         | 81,6                    | 35,73                             | 67,94                                                |
|                                          | 20/05/2019        | 6,5                        | 21,3200                            | 27,82                   | 192           | 17,6                                   | 73                         | 17,21                                   | 10,61                         | 81,6                    | 38,14                             | 74,12                                                |
|                                          | 21/05/2019        | 6,5                        | 17,2100                            | 23,71                   | 216           | 19,6                                   | 69                         | 15                                      | 8,71                          | 81,6                    | 36,74                             | 77,44                                                |
|                                          | 22/05/2019        | 6,5                        | 15                                 | 21,5                    | 240           | 17,9                                   | 71                         | 15                                      | 6,5                           | 81,6                    | 30,23                             | 77,44                                                |
|                                          | 23/05/2019        | 6,5                        | 15                                 | 21,5                    | 264           | 15,7                                   | 70                         | 15                                      | 6,5                           | 81,6                    | 30,23                             | 77,44                                                |
|                                          | 24/05/2019        | 6,5                        | 15                                 | 21,5                    | 288           | 18,6                                   | 72                         | 15                                      | 6,5                           | 81,6                    | 30,23                             | 77,44                                                |

Fuente: (Cedal S.A.)  
Elaborado por: **Pablo Pallo**

En la Tabla 11, se puede evidenciar el ensayo realizado en el mes de junio, en el que se logró la reducción del porcentaje de humedad de los lodos en un 55,05%.

Tabla 11: Datos recogidos para determinar la humedad perdida diaria y la humedad perdida total de la muestra para el mes de junio

| PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES (PTE) |                   |                            |                                   |                         |               |                                        |                            |                                         |                               |                         |                                   |                                                      |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Condición                                | Fecha<br>dd/mm/aa | Peso<br>recipiente<br>(Kg) | Peso<br>muestra<br>humeda<br>(Kg) | Peso<br>inicial<br>(Kg) | Tiempo<br>(h) | Temperatura<br>invernadero<br>c/d (°C) | Humedad<br>relativa<br>(%) | Peso<br>recipiente+muestra<br>seca (Kg) | Diferencia<br>de peso<br>(Kg) | %<br>Humedad<br>inicial | %<br>Humedad<br>perdida<br>diaria | %<br>Humedad<br>total<br>perdida<br>de la<br>muestra |
| Cámara de Efecto invernadero             | 17/06/2019        | 6,5                        | 60                                | 66,5                    | 24            | 14,3                                   | 77                         | 63,54                                   | 2,96                          | 81,6                    | 4,45                              | 4,45                                                 |
|                                          | 18/06/2019        | 6,5                        | 63,54                             | 70,04                   | 48            | 14,7                                   | 78                         | 60,56                                   | 9,48                          | 81,6                    | 13,54                             | 8,93                                                 |
|                                          | 19/06/2019        | 6,5                        | 60,56                             | 67,06                   | 72            | 17,6                                   | 72                         | 58,89                                   | 8,17                          | 81,6                    | 12,18                             | 11,44                                                |
|                                          | 20/06/2019        | 6,5                        | 58,89                             | 65,39                   | 96            | 18,6                                   | 67                         | 56,34                                   | 9,05                          | 81,6                    | 13,84                             | 15,28                                                |
|                                          | 21/06/2019        | 6,5                        | 56,34                             | 62,84                   | 120           | 14,9                                   | 69                         | 52,12                                   | 10,72                         | 81,6                    | 17,06                             | 21,62                                                |
|                                          | 22/06/2019        | 6,5                        | 52,12                             | 58,62                   | 144           | 18,2                                   | 65                         | 48,36                                   | 10,26                         | 81,6                    | 17,50                             | 27,28                                                |
|                                          | 23/06/2019        | 6,5                        | 48,36                             | 54,86                   | 168           | 18,3                                   | 69                         | 44,98                                   | 9,88                          | 81,6                    | 18,01                             | 32,36                                                |
|                                          | 24/06/2019        | 6,5                        | 44,98                             | 51,48                   | 192           | 16,7                                   | 66                         | 39,78                                   | 11,7                          | 81,6                    | 22,73                             | 40,18                                                |
|                                          | 25/06/2019        | 6,5                        | 39,78                             | 46,28                   | 216           | 18,9                                   | 70                         | 33,34                                   | 12,94                         | 81,6                    | 27,96                             | 49,86                                                |
|                                          | 26/06/2019        | 6,5                        | 33,34                             | 39,84                   | 240           | 16,8                                   | 73                         | 29,89                                   | 9,95                          | 81,6                    | 24,97                             | 55,05                                                |
|                                          | 27/06/2019        | 6,5                        | 29,89                             | 36,39                   | 264           | 15,7                                   | 70                         | 29,89                                   | 6,5                           | 81,6                    | 17,86                             | 55,05                                                |
|                                          | 28/06/2019        | 6,5                        | 29,89                             | 36,39                   | 288           | 18,6                                   | 70                         | 29,89                                   | 6,5                           | 81,6                    | 17,86                             | 55,05                                                |

Fuente: (Cedal S.A.)  
Elaborado por: **Pablo Pallo**

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Interpretación de resultados

En el mes de abril, se realizó el primer ensayo con los lodos expuestos a la cámara de secado de efecto invernadero, en el cual se consiguió reducir la humedad hasta un 18,58% respecto al inicial de 81,60%, luego de haber permanecido 12 días en la cámara de secado, ver Tabla 12.

Tabla 12: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de abril

| Diferencia de Humedad perdida % | Tiempo (h) |
|---------------------------------|------------|
| 81,61                           | 0          |
| 67,99                           | 24         |
| 66,29                           | 48         |
| 57,80                           | 72         |
| 54,97                           | 96         |
| 46,05                           | 120        |
| 38,08                           | 144        |
| 35,58                           | 168        |
| 28,35                           | 192        |
| 23,15                           | 216        |
| 18,58                           | 240        |
| 18,58                           | 264        |
| 18,58                           | 288        |

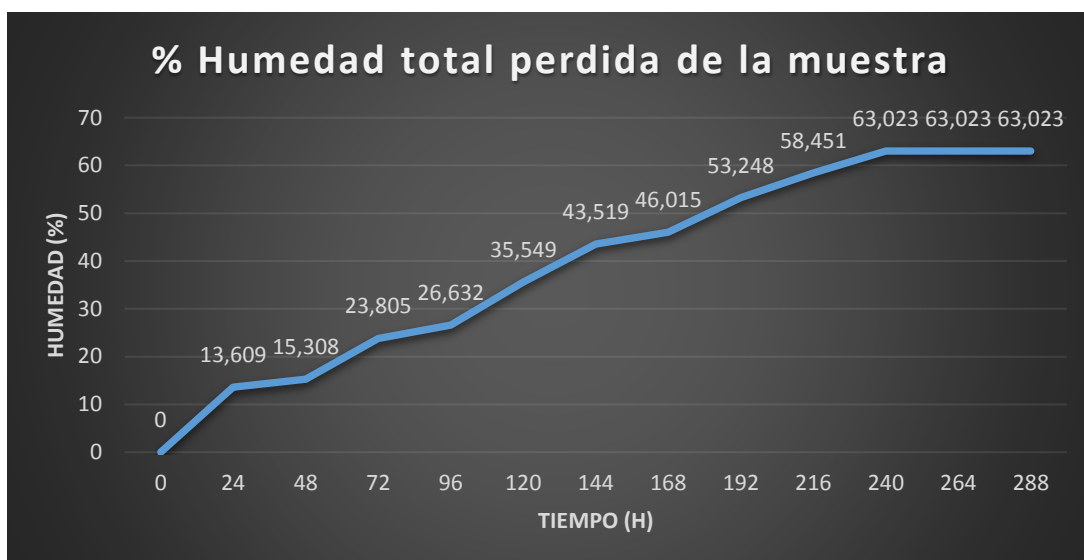
Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por:

**Pablo Pallo**

Además la determinación del porcentaje de humedad en el mes de abril, demostró una diferencia de 63,023%, respecto al porcentaje de humedad inicial antes de ser ingresados a la cámara de secado. Ver Gráfico 1.

Gráfico 1: Humedad perdida de la muestra en el mes de abril



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En el mes de mayo se realizó el segundo ensayo con los lodos, al colocar los mismos dentro de la cámara de secado, se pudo evidenciar que la humedad se redujo hasta alcanzar un porcentaje de 4,17% respecto al inicial de 81,60%, luego de transcurrir 12 días de exposición. Ver Tabla 13.

Tabla 13: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de mayo.

| Diferencia de Humedad perdida (%) | Tiempo (h) |
|-----------------------------------|------------|
| 81,61                             | 0          |
| 65,47                             | 24         |
| 55,29                             | 48         |
| 45,52                             | 72         |
| 36,87                             | 96         |
| 29,43                             | 120        |
| 21,72                             | 144        |
| 13,67                             | 168        |
| 7,49                              | 192        |

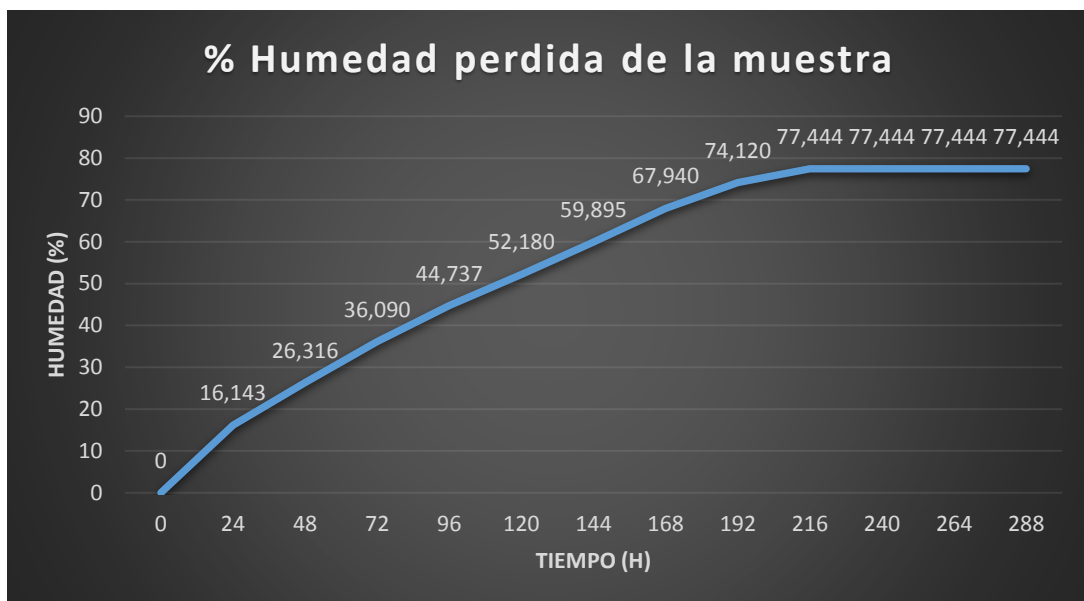
| Diferencia de Humedad perdida (%) | Tiempo (h) |
|-----------------------------------|------------|
| 4,17                              | 216        |
| 4,17                              | 240        |
| 4,17                              | 264        |
| 4,17                              | 288        |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La determinación del porcentaje de humedad expresado en el Gráfico 2, determinó que los lodos obtuvieron un alto índice de reducción, con una diferencia de 77,44 % en relación al porcentaje de humedad previo al ingreso a la cámara de efecto invernadero.

Gráfico 2: Humedad perdida de la muestra en el mes de mayo



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

Los datos del ensayo realizado en el mes de junio se presentan en la Tabla 14, en donde se puede evidenciar que se logró reducir la humedad contenida de los lodos luego de haber estado expuestos por 12 días en la cámara de secado, hasta un 2,55%, respecto al inicial de 81,60%.

Tabla 14: Diferencia de humedad perdida (%) en el mes de junio

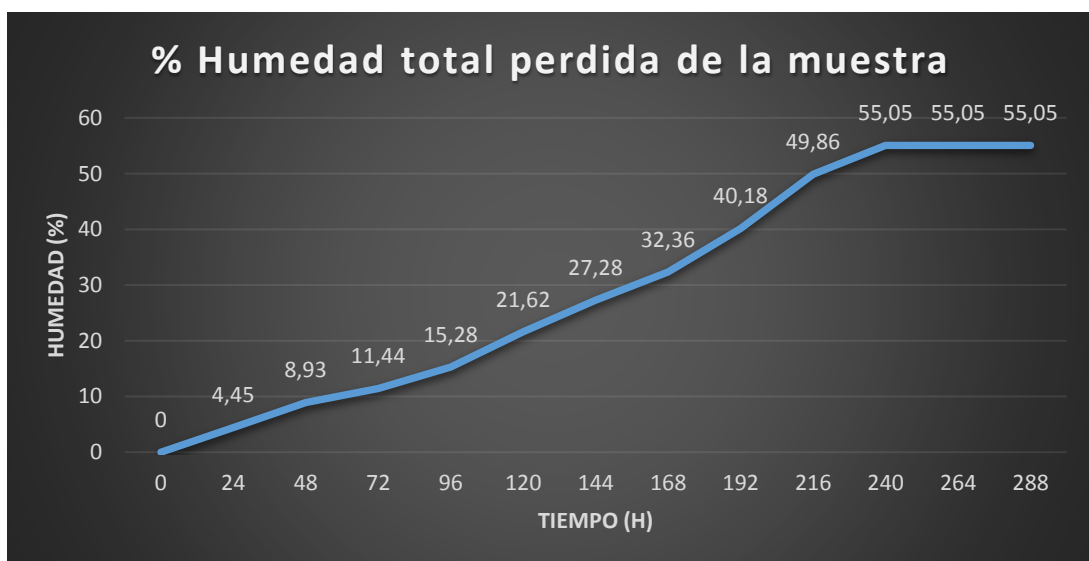
| Diferencia de Humedad perdida % | Tiempo (h) |
|---------------------------------|------------|
| 81,61                           | 0          |
| 77,15                           | 24         |
| 72,67                           | 48         |
| 70,16                           | 72         |
| 66,32                           | 96         |
| 59,98                           | 120        |
| 54,32                           | 144        |
| 49,24                           | 168        |
| 41,42                           | 192        |
| 31,74                           | 216        |
| 26,55                           | 240        |
| 26,55                           | 264        |
| 26,55                           | 288        |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En el mes de junio se evidenció una diferencia del porcentaje de humedad de 55,05%, esto respecto del inicial, previo al ingreso de los lodos a la cámara de secado. Gráfico 3.

Gráfico 3: Humedad perdida de la muestra en el mes junio



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En el mes de abril, los lodos se retiraron a los 12 días (288 horas), después de haber estado en la cámara de secado, ya que desde el décimo día no demostraron una variación o reducción de humedad. Ver Tabla 15.

Tabla 15: **Humedad total perdida de la muestra en el mes de abril**

| Diferencia de Humedad perdida | Tiempo (h) | % Humedad total perdida de la muestra |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 81,61                         | 0          | 0                                     |
| 67,99                         | 24         | 13,609                                |
| 66,29                         | 48         | 15,308                                |
| 57,80                         | 72         | 23,805                                |
| 54,97                         | 96         | 26,632                                |
| 46,05                         | 120        | 35,549                                |
| 38,08                         | 144        | 43,519                                |
| 35,58                         | 168        | 46,015                                |
| 28,35                         | 192        | 53,248                                |
| 23,15                         | 216        | 58,451                                |
| 18,58                         | 240        | 63,023                                |
| 18,58                         | 264        | 63,023                                |
| 18,58                         | 288        | 63,023                                |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En el mes de mayo, el porcentaje de humedad a partir del noveno día (216 horas) que los lodos estuvieron en la cámara de secado, ya no tuvo una variación o no se redujo más la humedad, como se puede apreciar en la Tabla 16. Es por esto que al doceavo día (288 horas) se retiraron los lodos de la cámara de secado.

Tabla 16: **Humedad total perdida de la muestra en el mes de mayo**

| Diferencia de Humedad perdida | Tiempo (h) | % Humedad total perdida de la muestra |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 81,61                         | 0          | 0                                     |
| 65,47                         | 24         | 16,14                                 |

| Diferencia de Humedad perdida | Tiempo (h) | % Humedad total perdida de la muestra |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 55,29                         | 48         | 26,31                                 |
| 45,52                         | 72         | 36,09                                 |
| 36,87                         | 96         | 44,73                                 |
| 29,43                         | 120        | 52,18                                 |
| 21,72                         | 144        | 59,89                                 |
| 13,67                         | 168        | 67,94                                 |
| 7,49                          | 192        | 74,12                                 |
| 4,17                          | 216        | 77,44                                 |
| 4,17                          | 240        | 77,44                                 |
| 4,17                          | 264        | 77,44                                 |
| 4,17                          | 288        | 77,44                                 |

Fuente: CEDAL S.A.  
Elaborado por: Pablo Pallo

En el mes de junio, los lodos no demostraron una reducción de humedad a partir del décimo día (240 horas) de haber estado expuestos a la cámara de secado, por lo que se retiraron a los doce días (288 horas). Ver Tabla 17.

Tabla 17: Humedad total perdida de la muestra en el mes de junio

| Diferencia de Humedad perdida | Tiempo (h) | % Humedad total perdida de la muestra |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 81,61                         | 0          | 0                                     |
| 77,15                         | 24         | 4,45                                  |
| 72,67                         | 48         | 8,93                                  |
| 70,16                         | 72         | 11,44                                 |
| 66,32                         | 96         | 15,28                                 |
| 59,98                         | 120        | 21,62                                 |
| 54,32                         | 144        | 27,28                                 |
| 49,24                         | 168        | 32,36                                 |
| 41,42                         | 192        | 40,18                                 |
| 31,74                         | 216        | 49,86                                 |
| 26,55                         | 240        | 55,05                                 |

| Diferencia de Humedad perdida | Tiempo (h) | % Humedad total perdida de la muestra |
|-------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 26,55                         | 264        | 55,05                                 |
| 26,55                         | 288        | 55,05                                 |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La relación que existió entre la humedad perdida de la muestra y la humedad relativa dentro de la cámara de secado para el mes de abril, se puede observar en la Tabla 18, cabe mencionar que los datos de la humedad relativa son promedio de las mediciones realizadas cada día, durante el proceso de secado de los lodos.

Tabla 18: **Humedad total pérdida de la muestra y Humedad Relativa (abril)**

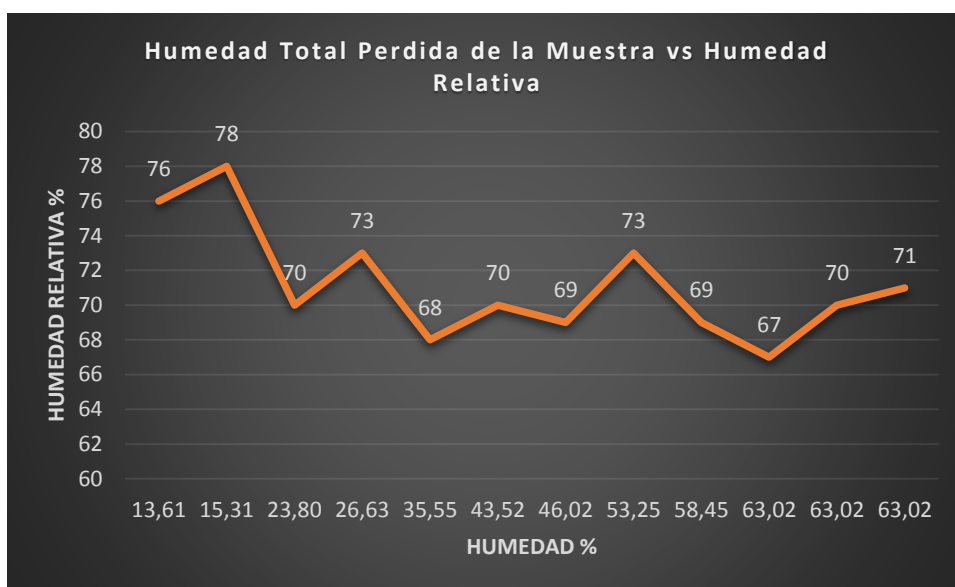
| % Humedad total perdida de la muestra | Humedad relativa (%) |
|---------------------------------------|----------------------|
| 13,61                                 | 76                   |
| 15,31                                 | 78                   |
| 23,80                                 | 70                   |
| 26,63                                 | 73                   |
| 35,55                                 | 68                   |
| 43,52                                 | 70                   |
| 46,02                                 | 69                   |
| 53,25                                 | 73                   |
| 58,45                                 | 69                   |
| 63,02                                 | 67                   |
| 63,02                                 | 70                   |
| 63,02                                 | 71                   |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La humedad relativa variaba cada día, pero esto no influía en la reducción de la humedad de los lodos, como se puede observar en el Gráfico 4.

Gráfico 4: Humedad perdida de la muestra vs Humedad Relativa



Fuente: (Cedal S.A.)  
Elaborado por: **Pablo Pallo**

Como se mencionó anteriormente, la humedad relativa no influía en la reducción de la humedad de los lodos durante el proceso de secado, ya que con la temperatura existente dentro de la cámara de secado, se conseguía reducir la humedad, hay que mencionar que los datos de la temperatura son promedios de las mediciones realizadas durante el día. Ver Tabla 19.

Tabla 19: Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del Invernadero

| % Humedad total perdida de la muestra | Temperatura invernadero c/d (°C) |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 13,61                                 | 16                               |
| 15,31                                 | 14,9                             |
| 23,80                                 | 17,2                             |
| 26,63                                 | 15,6                             |
| 35,55                                 | 17,6                             |

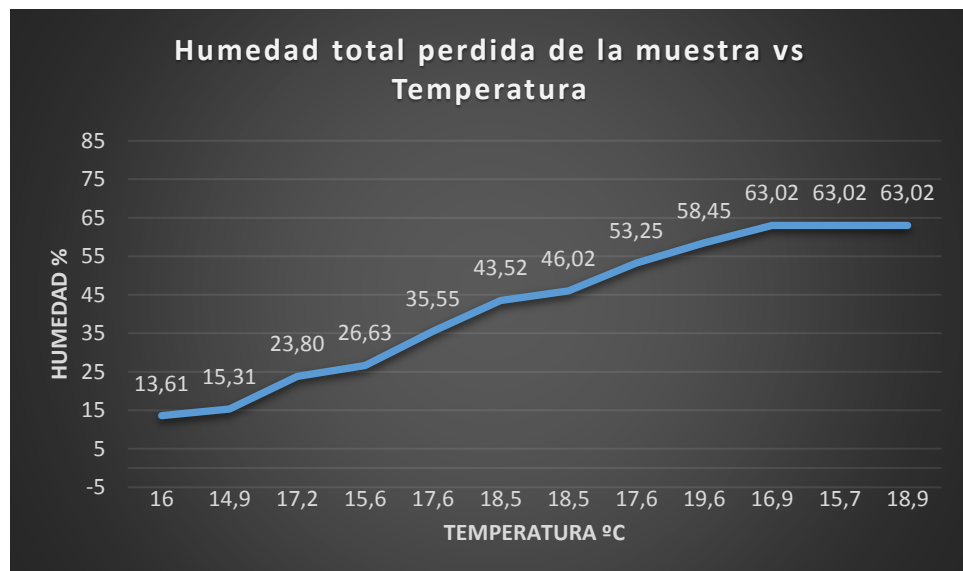
| % Humedad total perdida de la muestra | Temperatura invernadero c/d (°C) |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 43,52                                 | 18,5                             |
| 46,02                                 | 18,5                             |
| 53,25                                 | 17,6                             |
| 58,45                                 | 19,6                             |
| 63,02                                 | 16,9                             |
| 63,02                                 | 15,7                             |
| 63,02                                 | 18,9                             |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En el Gráfico 5, se puede evidenciar, como se reducía la humedad de los lodos de acuerdo a la temperatura dentro de la cámara de secado, esta humedad se reducía constantemente hasta llegar a un punto en el cual no había más reducción.

Gráfico 5: Humedad perdida de la muestra vs Temperatura



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La relación que existió entre la humedad perdida de la muestra y la humedad relativa dentro de la cámara de secado para el mes de mayo, se puede observar en la Tabla 20.

Tabla 20: Humedad total perdida de la muestra y Humedad Relativa (Mayo)

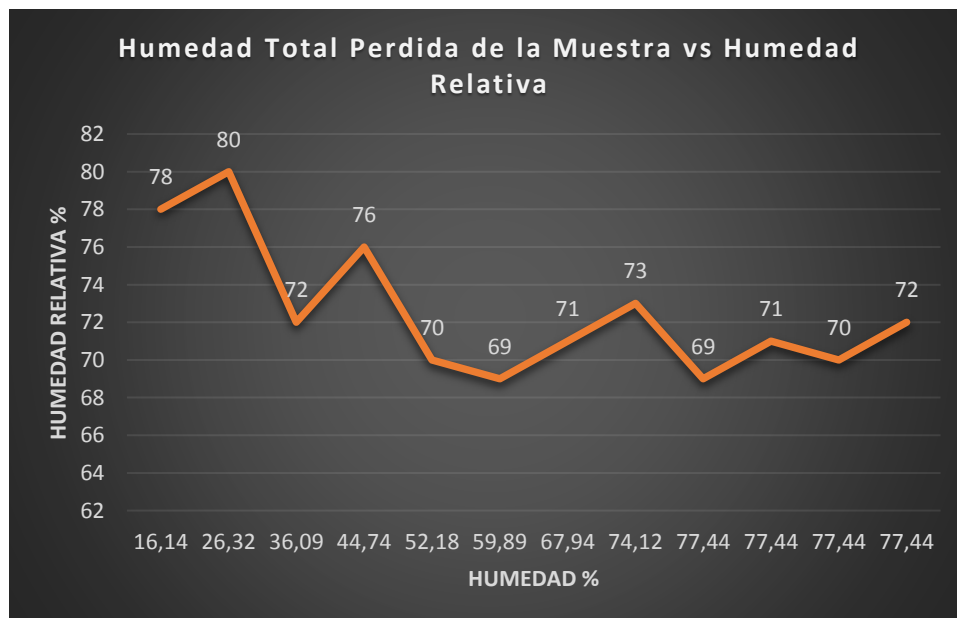
| % Humedad total perdida de la muestra | Humedad relativa (%) |
|---------------------------------------|----------------------|
| 16,14                                 | 78                   |
| 26,32                                 | 80                   |
| 36,09                                 | 72                   |
| 44,74                                 | 76                   |
| 52,18                                 | 70                   |
| 59,89                                 | 69                   |
| 67,94                                 | 71                   |
| 74,12                                 | 73                   |
| 77,44                                 | 69                   |
| 77,44                                 | 71                   |
| 77,44                                 | 70                   |
| 77,44                                 | 72                   |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La variación de la humedad relativa y la reducción de humedad contenida en los lodos se puede observar en el Gráfico 6.

Gráfico 6: Humedad total perdida de la muestra vs Humedad Relativa



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En la Tabla 21, se puede observar la humedad total perdida de los lodos y la temperatura al interior de la cámara de secado para el mes de mayo.

Tabla 21: **Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del invernadero**

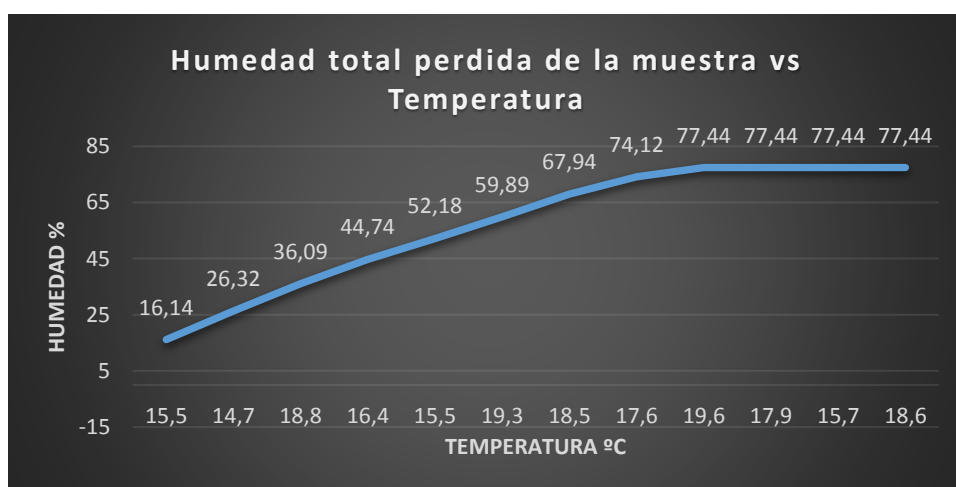
| % Humedad total perdida de la muestra | Temperatura invernadero c/d (°C) |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 16,14                                 | 15,5                             |
| 26,32                                 | 14,7                             |
| 36,09                                 | 18,8                             |
| 44,74                                 | 16,4                             |
| 52,18                                 | 15,5                             |
| 59,89                                 | 19,3                             |
| 67,94                                 | 18,5                             |
| 74,12                                 | 17,6                             |
| 77,44                                 | 19,6                             |
| 77,44                                 | 17,9                             |
| 77,44                                 | 15,7                             |
| 77,44                                 | 18,6                             |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

El Gráfico 7, muestra la reducción de humedad de los lodos de acuerdo a la temperatura dentro de la cámara de secado, esto para el mes de mayo.

Gráfico 7: **Humedad perdida de la muestra vs Temperatura**



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La relación que existió entre la humedad perdida de la muestra y la humedad relativa dentro de la cámara de secado para el mes de junio, se puede observar en la Tabla 22.

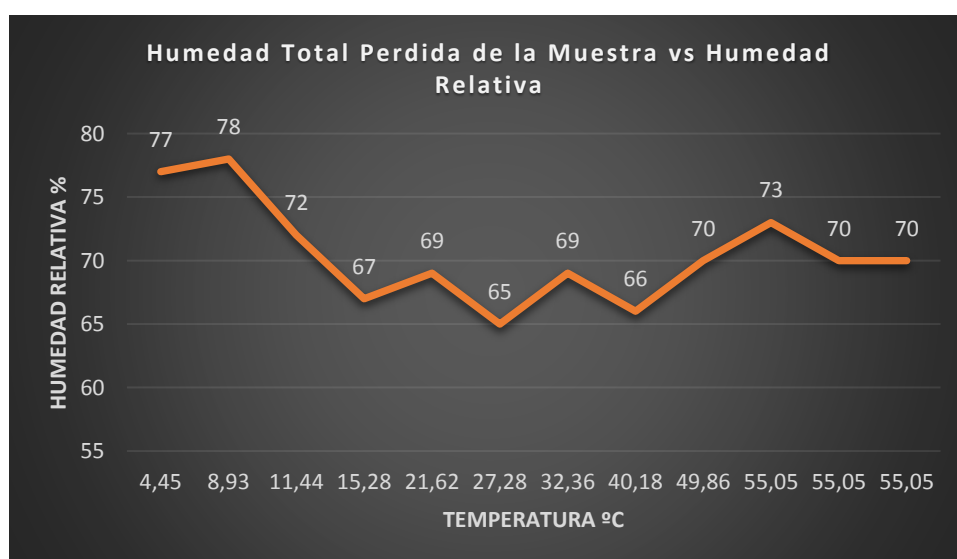
Tabla 22: **Humedad total perdida de la muestra y Humedad Relativa (Junio)**

| % Humedad total perdida de la muestra | Humedad relativa (%) |
|---------------------------------------|----------------------|
| 4,45                                  | 77                   |
| 8,93                                  | 78                   |
| 11,44                                 | 72                   |
| 15,28                                 | 67                   |
| 21,62                                 | 69                   |
| 27,28                                 | 65                   |
| 32,36                                 | 69                   |
| 40,18                                 | 66                   |
| 49,86                                 | 70                   |
| 55,05                                 | 73                   |
| 55,05                                 | 70                   |
| 55,05                                 | 70                   |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La variación de la humedad relativa y la reducción de humedad contenida en los lodos se puede observar en el Gráfico 8.



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

En la Tabla 23, se puede observar la humedad total perdida de los lodos y la temperatura al interior de la cámara de secado para el mes de junio.

Tabla 23: **Humedad total perdida de la muestra y Temperatura del invernadero**

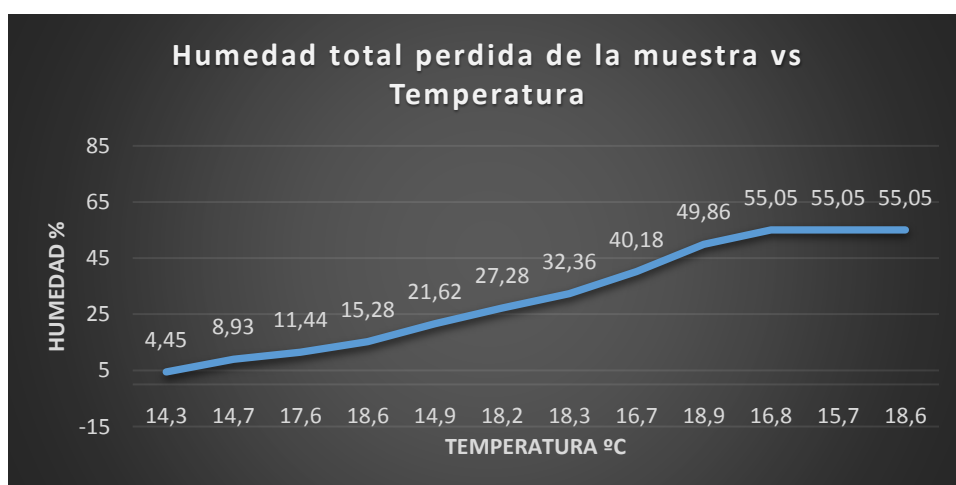
| % Humedad total perdida de la muestra | Temperatura invernadero c/d (°C) |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 4,45                                  | 14,3                             |
| 8,93                                  | 14,7                             |
| 11,44                                 | 17,6                             |
| 15,28                                 | 18,6                             |
| 21,62                                 | 14,9                             |
| 27,28                                 | 18,2                             |
| 32,36                                 | 18,3                             |
| 40,18                                 | 16,7                             |
| 49,86                                 | 18,9                             |
| 55,05                                 | 16,8                             |
| 55,05                                 | 15,7                             |
| 55,05                                 | 18,6                             |

Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

Finalmente el Gráfico 9, muestra la reducción de humedad de los lodos de acuerdo a la temperatura dentro de la cámara de secado, esto para el mes de junio.

Gráfico 9: **Humedad perdida de la muestra vs Temperatura**



Fuente: (Cedal S.A.)

Elaborado por: **Pablo Pallo**

La empresa CEDAL S.A., realiza la disposición final de los lodos generados por la Planta de Tratamiento de Efluentes, mediante un gestor ambiental externo, el mismo que realiza el transporte de los Big Bag's, a un costo de 40 dólares por tonelada.

Los Big Bag, son las lonas en donde se guardan los lodos hasta su disposición final (ilustración 18).



Ilustración 18: **Big Bag para los lodos**

Fuente: **(Cedal S.A.)**

Con la reducción de la humedad contenida en los lodos al implementar la técnica de secado en la cámara de efecto invernadero se redujo el peso de los mismos, y esto a su vez, ayudó a reducir el costo de disposición final en un 54%, del costo previo al secado de los lodos, como se puede ver en la Tabla 24.

Tabla 24: **Cálculo del costo de disposición final de los lodos**

| Cantidad (Ton) | Costo (\$) | Costo final (\$) | Reducción del costo (%) |
|----------------|------------|------------------|-------------------------|
| 1              | 40,00      | 40,00            | 100%                    |
| 0,540          | 40,00      | 21,60            | 54%                     |

Fuente: **(Cedal S.A.)**

Elaborado por: **Pablo Pallo**

### **Contraste con otras investigaciones**

En la investigación de (Díaz, 2016), menciona que para la construcción de una cámara artesanal de secado, se utilizaron materiales como caña guadua y plástico transparente, además los resultados obtenidos demostraron la eficacia de la cámara de secado de los lodos residuales y de las arcillas en 24 y 48 horas respectivamente, la reducción del porcentaje de humedad en las arcillas fue del 6,85%, respecto a un inicial de 9,64%, y un 24,85% para los lodos, respecto a un inicial de 28,09%.

En esta investigación se construyó una cámara de efecto invernadero para el secado de los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa CEDAL S.A., en la cual se utilizaron materiales como pingos de eucalipto y plástico de polietileno transparente, además de un diseño completamente diferente de la cámara de secado.

Los resultados en esta investigación respecto a la humedad reducida en los lodos residuales fueron de 4,17% respecto a un inicial de 81,6%, demostrando la eficacia de la cámara de secado, al lograr reducir este porcentaje de humedad al cabo de doce días de exposición de los lodos en la cámara de secado.

## **Solución a la pregunta de investigación**

En la presente investigación se dio una solución a la siguiente pregunta de investigación, ¿Cómo se puede reducir los costos de operación generados por la humedad que contienen los lodos, y esta a su vez influye en los costos de disposición final?

Para poder resolver la pregunta de investigación, en primera instancia fue necesario conocer el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, esto ayudó a saber qué cantidad de lodos se generaba diariamente en dicha planta, para después poder reducir la humedad contenida en los lodos generados por la planta de tratamiento de efluentes de la empresa, de tal manera que la opción más viable para el secado fue la construcción de una cámara de efecto invernadero, los lodos fueron ingresados en esta cámara y se dejaron allí por 12 días, en tres meses diferentes, abril, mayo y junio, tiempo en el cual los lodos redujeron su humedad. Se tomaron los datos del ensayo realizado en mayo ya que en este mes el porcentaje de humedad contenida en los lodos se redujo en un 77,44% respecto al inicial de 81,60%. Con la reducción de la humedad de los lodos, también se logró reducir el volumen de los mismos, esto a su vez redujo el costo de disposición final en un 54%, lo que quiere decir que la alternativa para secado de los lodos es VIABLE para la empresa, y ayuda a reducir los costos de operación.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

- Al haber realizado esta investigación dentro de la empresa CEDAL S.A. de la ciudad de Latacunga, se logró describir el proceso de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa, conociendo las etapas que se realizan como son la homogenización, floculación, sedimentación, filtración, compactación. Además se pudo conocer la cantidad de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales, la cual fue de 7 toneladas diarias.
- Para dar tratamiento a los lodos se construyó la cámara de efecto invernadero, compuesta de plástico de polietileno transparente, fue capaz de secar los lodos generados por la Planta de Tratamiento de Efluentes, en un 77,44%. Reduciendo de esta manera los costos de disposición final de los lodos. La evaluación de las variables tiempos de secado y temperatura de los lodos residuales, permitió un control técnico sobre los procesos físicos dentro de la cámara. La metodología de muestreo y las técnicas de laboratorio aplicadas, fueron determinantes para realizar los ensayos de porcentaje de humedad en los lodos.
- La humedad en comparación antes y después del secado, así como también los tiempos de secado que tomó el proceso, demuestran la eficiencia de la cámara de efecto invernadero implementada. A través de la implementación de la cámara de efecto invernadero y su eficiencia para el secado de los

lodos, se pudo evidenciar que los costos de disposición final se redujeron significativamente en un 54%, demostrando así la viabilidad que tiene para la empresa la implementación de este tipo de cámaras de secado.

- El costo operativo que incurría la empresa CEDAL S.A. en el manejo de los lodos inicialmente era de 40 dólares por tonelada, al implementar la cámara de secado de efecto invernadero, se logró reducir la humedad de los lodos en un 77,44%, respecto a un inicial de 81,60%, logrando de esta manera reducir el volumen de los lodos, y también el costo operativo que genera el manejo de los mismos a través de un gestor externo, el cual se redujo en un 54%, lo que quiere decir que el costo operativo de manejo de los lodos es ahora de 21,60 dólares.

## **Recomendaciones**

- Efectuar futuros estudios relacionados al uso de los lodos residuales como materia prima para materiales de construcción, tales como bloques o adoquines, realizando un análisis del límite plástico, índice de plasticidad y el porcentaje de materia orgánica contenidos en los lodos generados por la Planta de Tratamiento de Efluentes.
- En lo posible, investigar algunas alternativas para mejorar el diseño de la cámara de secado, una de las alternativas sería, agregar ventiladores extraídos de los CPU's de las computadoras de escritorio, esto ayudará a que la humedad no se concentre en la cámara y se libere fácilmente.
- Realizar una investigación para determinar, cómo aprovechar el calor generado por los hornos del proceso de fundición de la empresa CEDAL S.A. Latacunga, para el secado de los lodos generados por la Planta de Tratamiento de Efluentes de la empresa.

## **Bibliografía**

**Barreto, Andrea Bermeo. 2014.** *Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción.* Cuenca : s.n., 2014.

**Blandon, Sebastian Buildes. 2010.** *Tratamiento y Adecuada Disposición de Lodos Domésticos e Industriales.* Pereira : s.n., 2010.

**Cano, Allan Hernández. 2013.** *Sistema de Control para la Producción más Limpia en una Fábrica de Pinturas Arquitectónicas e Industriales.* San Carlos : s.n., 2013.

**Catwright, Peter. 2009.** *Tratamiento y reúso del agua en aplicaciones comerciales e industriales.* s.l. : Revista Agua Latinoamérica, 2009.

**Cedal S.A. 2016.** *Cedal Aluminio.* [En línea] 2016.  
<http://www.cedal.com.ec/nosotros/quienes-somos.html>.

—. **2018.** *Informe del Departamento de Sistemas Integrados de Gestión.* Latacunga : s.n., 2018.

**Comisión Nacional del Agua. 2011.** *Agenda del Agua 2030.* México D.F. : s.n., 2011.

**Conil, Philippe. 2000.** *BIOTEC.* 2000.

**Díaz, Anisley Amador. 2014.** *Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones.* La Habana : s.n., 2014. 1015-8553.

**Díaz, María Emilia. 2016.** *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero.* Guayaquil : s.n., 2016.

**García, María. 2016.** *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales.* Cuenca : s.n., 2016.

**Glavis, Juliana. 2013.** *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) de la empresa jugos hit de la ciudad de pereira.* Pereira : s.n., 2013.

**Google Maps. 2019.** Google Maps. [En línea] 2019. [Citado el: 17 de 05 de 2019.] <https://www.google.com/maps/place/Cedal+Latacunga/@-0.9436278,-78.6106302,319m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1scedal+latacunga!3m4!1s0x91d46127029506e5:0xf2e68225fd486f68!8m2!3d-0.944005!4d-78.6111984>.

**Gualoto, Johana. 2016.** *Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua residual de la parroquia rural de Nono.* Quito : s.n., 2016.

**Lenntech B.V. 2019.** Lenntech. [En línea] 2019. [Citado el: 23 de 07 de 2019.] <https://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>.

**Macías, Juan. 2013.** *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso?.* Guadalajara : s.n., 2013.

**Metcalf & Eddy. 1996.** *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid : Mc Graw Hill, 1996. págs. 1 - 1043. Vol. 1 Y 2. 8448116127.

—. **1995.** *Wastewater Engineering Treatment and Reuse.* New York : McGrawHill, 1995.

—. **2006.** *Wastewater Engineering. "Treatment and Reuse".* New York : Mc Graw Hill, 2006.

**Ministerio del Ambiente Ecuador. 2013.** *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador.* 2013.

**Molina, Laura Gómez. 2016.** *Caracterización Fisicoquímica de los Lodos Provenientes de una Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial de una Empresa de Café del Departamento de Caldas.* Manizales : s.n., 2016.

**Morales, Mariel. 2005.** *Digestión anaerobia de lodos de plantas de tratamiento de aguas y su aprovechamiento.* Puebla : s.n., 2005.

**Oropeza, Norma. 2006.** *Lodos Residuales: estabilización y manejo.* Quintana Roo : s.n., 2006.

**Ortíz, Axel Iván. 2013.** *Impacto de lodos residuales de la planta de tratamiento de la UAAAN en calabacita tipo zucchini.* Coahuila : s.n., 2013.

**Pérez, Alejandro Buján. 2013.** Enciclopedia Financiera. [En línea] 2013. <https://www.enciclopediafinanciera.com/definicion-gastos-operacionales.html>.

**Perez, Alejandro García. 2006.** *Instalación de una Planta Moderna de Anodizado para Perfiles de Aluminio.* Lima : s.n., 2006.

**Psyma. 2015.** Psyma Passionate People. Creatve Solutions. [En línea] 04 de 11 de 2015. [Citado el: 14 de 06 de 2019.] <https://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>.

**Vicencio, Guadalupe. 2011.** *Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro.* 2011.

**Villafuerte, Erick. 2017.** Quebakan.com. [En línea] 11 de 06 de 2017. [Citado el: 17 de 07 de 2019.] <http://www.quebakan.com/v15/cedal-aporta-a-la-conservacion-del-medio-ambiente-con-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-planta-de-latacunga/>.

**Zapata, Leyla Jaramillo. 2006.** *Recuperación de NaOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el anodizado de aluminio. Una oportunidad económica y ambiental.* Bogotá : s.n., 2006.

**Zuñiga, María Elena Perez. 2016.** *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB).* Cuenca : s.n., 2016.

# ANEXOS

## Anexos

### Anexos 1: Cámara de secado de efecto invernadero



### Anexos 2: Balanza de la empresa CEDAL S.A.



### Anexos 3: Montacargas



# Anexos 4: Tarjetas de balanza

|                                                                                                                                                                                                 |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|------------|------------|
| <p>Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A.<br/> Latacunga - Av. Unidad Nacional s/n Telf: 032812-610<br/> www.cedal.com.ec</p>                                                           |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p><b>INGRESO DE PRODUCTO</b></p>                                                                                                                                                               | <p><b>TARJETA DE BALANZA Nro. 2670</b></p> |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>Ticket de salida de camión :</p>                                                                                                                                                             |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>PRODUCTO:</p>                                                                                                                                                                                |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>PROVEEDOR/CLIENTE: CEDAL</p>                                                                                                                                                                 |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>CHOFER: BARBOSA</p>                                                                                                                                                                          |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>CAMION PLACA Nro: PTE</p>                                                                                                                                                                    |                                            |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <table border="1"> <tr> <td>PESO BRUTO:</td> <td>4,460.00 KG.</td> </tr> <tr> <td>PESO TARA:</td> <td>3,940.00 KG.</td> </tr> <tr> <td>PESO NETO:</td> <td>540.00 KG.</td> </tr> </table>       |                                            | PESO BRUTO:                 | 4,460.00 KG.              | PESO TARA:                 | 3,940.00 KG.             | PESO NETO: | 540.00 KG. |
| PESO BRUTO:                                                                                                                                                                                     | 4,460.00 KG.                               |                             |                           |                            |                          |            |            |
| PESO TARA:                                                                                                                                                                                      | 3,940.00 KG.                               |                             |                           |                            |                          |            |            |
| PESO NETO:                                                                                                                                                                                      | 540.00 KG.                                 |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <table border="1"> <tr> <td>FECHA ENTRADA: 16 Mayo 2019</td> <td>HORA DE ENTRADA: 11:47:12</td> </tr> <tr> <td>FECHA SALIDA: 16 Mayo 2019</td> <td>HORA DE SALIDA: 11:51:43</td> </tr> </table> |                                            | FECHA ENTRADA: 16 Mayo 2019 | HORA DE ENTRADA: 11:47:12 | FECHA SALIDA: 16 Mayo 2019 | HORA DE SALIDA: 11:51:43 |            |            |
| FECHA ENTRADA: 16 Mayo 2019                                                                                                                                                                     | HORA DE ENTRADA: 11:47:12                  |                             |                           |                            |                          |            |            |
| FECHA SALIDA: 16 Mayo 2019                                                                                                                                                                      | HORA DE SALIDA: 11:51:43                   |                             |                           |                            |                          |            |            |
| <p>Vto. bueno Balanza</p>                                                                                                                                                                       | <p>Proveedor / Cliente</p>                 |                             |                           |                            |                          |            |            |

**Anexos 5:** Técnicos responsables de la planta de tratamiento de aguas residuales



**Anexos 6:** Transporte para la disposición final de los lodos



**Anexos 7:** Lodos residuales almacenados hasta su  
disposición final



## Anexos 8: Ficha Técnica de Balanza Pionner

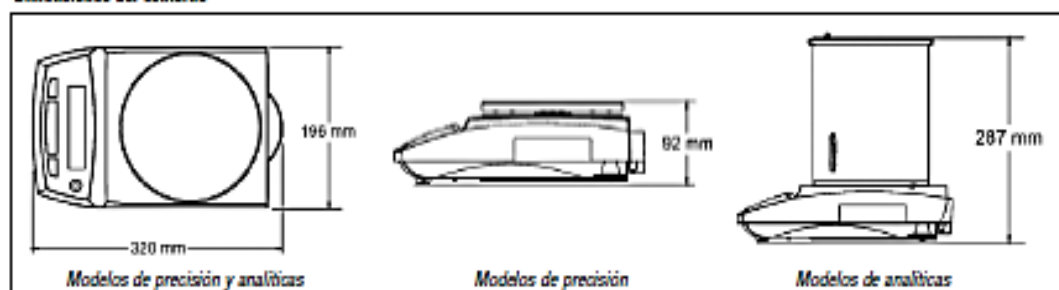
### Especificaciones

| Modelos con calibración interna                                     | PA04C                                                                                                 | PA114C     | PA214C      | PA213C      | PA413C      | PA512C                                                                                    | PA2102C                                                                                      | PA4102C                                                                                      | PA4101C   |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Modelos sin calibración interna                                     | PA04                                                                                                  | PA114      | PA214       | PA213       | PA413       | PA512                                                                                     | PA2102                                                                                       | PA4102                                                                                       | PA4101    |
| Capacidad (g)                                                       | 65                                                                                                    | 110        | 210         | 210         | 410         | 510                                                                                       | 2100                                                                                         | 4100                                                                                         | 4100      |
| Repetibilidad (Desv. típica) mg                                     | 0.1                                                                                                   |            |             | 1           |             | 10                                                                                        |                                                                                              |                                                                                              | 100       |
| Sensibilidad d (g)                                                  | 0.0001                                                                                                |            |             | 0.001       |             | 0.01                                                                                      |                                                                                              |                                                                                              | 0.1       |
| Linealidad (mg)                                                     | 0.2                                                                                                   |            | 0.3         | 2           |             | 20                                                                                        |                                                                                              | 30                                                                                           | 100       |
| Modos de aplicación                                                 | Pesaje, recuento de piezas, porcentajes                                                               |            |             |             |             |                                                                                           |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Unidades de pesaje                                                  | mg, g, ct, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, grain, mesghal, Newton, ozt, toals, custom             |            |             |             |             | g, lb, ct, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, grain, mesghal, Newton, ozt, toals, custom | g, kg ct, lb, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, grain, mesghal, Newton, ozt, toals, custom | g, kg ct, lb, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, grain, mesghal, Newton, ozt, toals, custom |           |
| Tamaño de la plataforma (mm)                                        | 90 dia.                                                                                               |            |             | 120 dia.    |             | 180 dia.                                                                                  |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Cal. de amplitud de pesaje (g)                                      | 50g o 60g                                                                                             | 50g o 100g | 100g o 200g | 100g o 200g | 200g o 400g | 200g o 500g                                                                               | 1kg o 2kg                                                                                    | 2kg o 4kg                                                                                    | 2kg o 4kg |
| Cal. de linealidad de pesaje (g)                                    | 20g + 50g                                                                                             | 50g + 100g | 100g + 200g |             | 200g + 400g | 200g + 500g                                                                               | 1kg + 2kg                                                                                    | 2kg + 4kg                                                                                    |           |
| Tiempo de tara                                                      | 1 segundo                                                                                             |            |             |             |             |                                                                                           |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Tiempo de estabilización                                            | 3 segundos                                                                                            |            |             |             |             |                                                                                           |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Peso bruto (kg)                                                     | 4.5kg                                                                                                 |            |             |             |             | 3.3kg                                                                                     |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Peso de envío (kg)                                                  | 6.9kg                                                                                                 |            |             |             |             | 5.4kg                                                                                     |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Dimensiones de la balanza A (ancho) x A (alto) x P (profundo) (cm)  | 19.6 x 28.7 x 32cm                                                                                    |            |             |             |             | 19.6 x 9.2 x 32cm                                                                         |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Dimensiones de la caja L (longitud) x A (anchura) x A (altura) (cm) | 49.5 x 39.5 x 52.2cm                                                                                  |            |             |             |             | 49.5 x 39.5 x 32.7cm                                                                      |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Protector antiviento                                                | Sí                                                                                                    |            |             |             |             | Ninguno                                                                                   |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Condiciones de funcionamiento                                       | -10 °C a 40 °C a 10% - 80% de humedad relativa, sin condensación, hasta 4000 m sobre el nivel del mar |            |             |             |             |                                                                                           |                                                                                              |                                                                                              |           |
| Temp. de almacenamiento                                             | -40 °C a 70 °C a 10% - 80% de humedad relativa, sin condensación.                                     |            |             |             |             |                                                                                           |                                                                                              |                                                                                              |           |

### Especificaciones

| Modelos con aprobación OIML               | PA54CM        | PA114CM | PA214CM | PA213CM | PA413CM | PA512CM | PA2102CM | PA4102CM | PA4101CM |
|-------------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Capacidad (g)                             | 65            | 110     | 210     | 210     | 410     | 510     | 2100     | 4100     | 4100     |
| Modos de aplicación                       | Pesaje        |         |         |         |         |         |          |          |          |
| Unidades de pesaje                        | mg, kg, g, ct |         |         |         |         |         |          |          |          |
| Precisión de indicación verificada o (mg) | 1             |         |         | 10      |         | 100     |          |          |          |

### Dimensiones del contorno



## Anexos 9: Ficha Técnica de Montacargas Caterpillar

| Dimensiones                                    |            |
|------------------------------------------------|------------|
| Peso operativo                                 | 5230 Kg    |
| A. Largo a la cara de la horquilla             | 251 cm     |
| B. Ancho total                                 | 118 cm     |
| C. Altura con el mástil abajo                  | 212 cm     |
| D. Distancia entre ejes                        | 157.5 cm   |
| E. Distancia libre de piso a máquina           | 10 cm      |
| F. Altura a la parte superior de la protección | 220.5 cm   |
| G. Altura máxima de la horquilla               | 305 cm     |
| H. Punta del Mástil adelante                   | 5 grado    |
| I. Punta del mástil atrás                      | 10 grado   |
| Radio de giro                                  | 223.5 cm   |
| Número de ruedas adelante                      | 2          |
| Número de ruedas atrás                         | 2          |
| Tipo de llanta                                 | Cushion    |
| Velocidad máxima                               | 19.5 Km/h  |
| Desplazamiento de motor                        | 4.3 Lt     |
| Marca de motor                                 | G.M        |
| Medición de Torque                             | 1200 rpm   |
| Modelo                                         | V6         |
| Potencia                                       | 92.5 Hp    |
| Revoluciones del motor                         | 2450 rpm   |
| Tipo de combustible                            | Gas        |
| Torque                                         | 220 Lb ft  |
| Capacidad de carga                             | 3500 Kg    |
| Carga central                                  | 50 cm      |
| Máxima extensión de la horquilla               | 104.14 cm  |
| Velocidad de bajada                            | 29.9 m/min |
| Velocidad de elevación                         | 34.1 m/min |

### IMPORTANTE:

Antes de imprimir ésta ficha, piense si es necesario / Before printing this datasheet, assess if it is needed



[www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec)

Latacunga, 30 de agosto de 2019

## CERTIFICADO

**CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL**, en fiel cumplimiento de nuestros principios corporativos de Responsabilidad Social Empresarial y Aporte a la Comunidad, CERTIFICA: que el Sr. **PABLO ESTEBAN PALLO PICHUCHO**, egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Indoamercia, realizó su proyecto de tesis en nuestra Empresa con el Tema: **"ESTUDIO DEL MANEJO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU RELACIÓN A LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA EMPRESA CEDAL S.A. EN LA CIUDAD DE LATACUNGA"**, dicho trabajo de titulación es aprobado y avalado por la empresa y servirá para mejorar nuestra gestión en el área del Sistema Integrado de Gestión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso de este documento dentro de los márgenes de la Ley.

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.

**"CEDAL"**

In g. Martín Burbano F.  
GERENTE DE PLANTA



Licencia Ambiental N°25



### Quito

Av. De La Prensa N51-270 y Florida  
PBX: + 593 2 2432521  
Fax: +593 2 2459028  
P.O. Box: 1711-05183  
[ventasquito@corpesa.com](mailto:ventasquito@corpesa.com)

### Durán

Lotización Las Ferias Mz. R Solar 11  
Km. 4 1/2 Vía Durán - Tambo  
PBX: + 593 4 281 0844  
P.O. Box: 5194  
[ventasduran@corpesa.com](mailto:ventasduran@corpesa.com)

### Latacunga

Av. Unidad Nacional s/n  
PBX: + 593 3 2812610  
Fax: +593 3 2812615  
P.O. Box: 05-01-207