

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, A PARTIR DE  
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR DE IABSA EN EL  
DEPARTAMENTO DE TARIJA.**

**Por:**

**RENE EDUARDO OÑA VALDEZ**

**Perfil de Proyecto de Grado (Modalidad, Investigación Aplicada).**

**Presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN  
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Noviembre de 2017**

**TARIJA-BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis en primer lugar a mi familia, que siempre me apoyaron en cada paso de mi vida y en cada elección que tomaba.

A mi madre (Dña. Marcela Valdez), que siempre estuvo a mi lado, escuchándome y dándome consejos.

A mi padre (Sr. Rene Oña Mercado), que no sólo me guió para convertirme en el hombre que soy ahora, sino también me enseñó lo que significa el trabajo duro y su respectiva recompensa.

A mis queridas hermanas (Shirley, Mariela, Lorena y Carla), las cuales siempre lograban alegrarme.

También le dedico esta tesis a mis amigos y amigas, a mis compañeros y compañeras de carrera con los cuales aprendimos a formarnos como las personas que somos ahora.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a este mundo por tener las oportunidades que se me ofrecieron y se me ofrecerán a lo largo de mi vida.

Gracias a la UAJMS, la carrera de Ing. Química y su plantel docente, que gracias a todos ellos pude aprender lo que me gusta y ahora podré trabajar en aquellas áreas que me interesan.

Gracias al Ingenio Azucarero de Bermejo, por haberme facilitado la materia prima (bagazo de caña de azúcar) para la realización de mi proyecto de tesis y también por la información recibida para la complementación de este mismo proyecto.

También le doy gracias a los ingenieros que forman parte de mi tribunal calificador, por haber aceptado ser parte de los que califiquen este proyecto.

Doy gracias a los laboratorios de Operaciones Unitarias y laboratorio de Química, los cuales me permitieron el ingreso a sus ambientes y la utilización de sus materiales de laboratorio y equipos para poder realizar mi proyecto de grado.

Debo agradecer a todas las personas de aquellos trabajos de los cuales saqué información para completar o fundamentar mi proyecto de grado.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Advertencia.....	I
Dedicatoria.....	Ii
Agradecimiento.....	Iii
Pensamiento personal.....	Iv
Resumen.....	V

## INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
ANTECEDENTES.....	1
Mercado internacional y nacional del carbón activado.....	2
Justificación e importancia del tema.....	2
Aspecto del mercado.....	3
Aspecto tecnológico.....	3
Aspecto económico –social.....	3
Aspecto ambiental.....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

	<b>Página</b>
1.1 Generalidades de los carbones activados.....	6
1.2 Estructura y características del carbón activado.....	6
1.3 Clasificación del carbón activado.....	7
1.3.1 Clasificación según la distribución de sus poros.....	7
1.3.1.1 Microporos.....	8
1.3.1.2 Mesoporos.....	8
1.3.1.3 Macroporos.....	8
1.3.2 Clasificación según el tamaño de la partícula.....	8
1.3.2.1 Carbón activado en polvo (CAP).....	8
1.3.2.2 Carbón activado granular (CAG).....	8
1.4 Procesos de obtención del carbón activado.....	9
1.4.1 Activación física del carbón activado.....	9
1.4.2 Activación química del carbón activado.....	10
1.5 Ventajas y desventajas de los métodos de activación.....	11
1.6 Descripción del mecanismo de adsorción.....	13
1.6.1 Tipos de adsorción.....	14
1.6.1.1 Fisorción o adsorción física.....	14
1.6.1.2 Quimisorción o adsorción química.....	14
1.6.2 Parámetros de adsorción del carbón activado.....	15
1.7 Índices Asociados a los Carbones Activados.....	16

1.8 Regeneración del carbón activado.....	17
1.9 Usos principales del carbón activado.....	17
1.10 Materia prima: bagazo de caña de azúcar.....	21
1.10.1 Disponibilidad del bagazo de caña de azúcar.....	21
1.10.2 Ubicación de IABSA.....	23

## CAPÍTULO II

### PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

	<b>Página</b>
2.1 Selección del proceso de obtención del carbón activado.....	24
2.2 Diseño factorial del proceso de obtención del carbón activado.....	24
2.2.1 Planteamiento del problema.....	24
2.2.2 Factores y dominio experimental.....	27
2.2.3 Matriz de experimentos para la etapa de activación: el diseño factorial completo $3^2$ .....	28
2.3 Descripción del proceso de obtención del carbón activado.....	30
2.3.1 Recolección del bagazo de caña de azúcar.....	31
2.3.2 Secado al sol.....	32
2.3.4 Caracterización del bagazo de caña de azúcar.....	33
2.3.4.1 Análisis de contenido de humedad.....	33
2.3.4.2 Determinación de la densidad aparente.....	35
2.3.4.3 Determinación de la densidad real (Método picnómetro).....	36

2.3.4.4 Determinación del contenido de cenizas.....	37
2.3.5 Secado del bagazo de caña de azúcar.....	37
2.3.6 Tamizado del bagazo de caña de azúcar.....	38
2.3.7 Impregnación.....	39
2.3.8 Activación.....	40
2.3.9 Lavado, secado y pesaje del carbón activado.....	41
2.3.10 Caracterización del carbón activado.....	43
2.3.10.1 Determinación del contenido de cenizas.....	43
2.3.10.2 Determinación del Índice de azul de metileno.....	44

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

	<b>Página</b>
3.1 Presentación de los resultados de la caracterización del bagazo de caña de azúcar.....	51
3.1.1 Resultados del análisis de contenido de humedad.....	51
3.1.2 Resultados de la determinación de la densidad aparente.....	52
3.1.3 Resultados de la determinación de la densidad real (Método picnómetro).....	53
3.1.4 Resultados de la determinación del contenido de cenizas.....	53
3.1.5 Resultados del análisis granulométrico (Tamizado) del bagazo de caña de azúcar.....	54

3.2 Presentación de los resultados de la obtención del carbón activado.....	54
3.2.1 Resultados del rendimiento del carbón activado.....	54
3.2.2 Resultados del contenido de cenizas del carbón activado.....	59
3.2.3 Resultados de la determinación del índice de azul de metileno.....	63
3.3 Comparación, presentación y presentación del mejor carbón activado obtenido experimentalmente.....	69
3.3.1 Comparación de absorbancias con el carbón activado comercial (CACC)..	69
3.3.2 Presentación del índice de azul de metileno.....	70
3.3.3 Determinación del mejor carbón activado obtenido experimentalmente....	71

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

	<b>Página</b>
4.1 Conclusiones.....	82
4.2 Recomendaciones.....	85

## BIOGRAFÍA

	<b>Página</b>
Biografía.....	87

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS, CUADROS Y/O TABLAS

	<b>Página</b>
DIAGRAMA I-1 / Diagrama de bloques del proceso de producción mediante activación física.....	10
DIAGRAMA I-2 / Diagrama de bloques del proceso de producción mediante activación química.....	11
CUADRO I-1 / Ventajas y desventajas de los métodos de activación.....	12
TABLA I-1 / Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular y en polvo para distintas aplicaciones.....	18
CUADRO I-2 / Producción de la oferta de caña de azúcar en la región de Bermejo.....	22
TABLA II-1 / Factores evaluados en el proceso de activación química.....	25
TABLA II-2 / Factores y dominio experimental para la etapa de activación.....	27
TABLA II-3 / Matriz de experimentos de un diseño factorial completo 3 <sup>2</sup> , plan de experimentación.....	28
TABLA II-4 / Codificación de los experimentos de obtención del carbón Activado.....	29
TABLA II-5 / Codificación de los experimentos sin uso de ácido fosfórico.....	30
DIAGRAMA II-1 / Diagrama de bloques del proceso de obtención del carbón activado.....	31
DIAGRAMA II-2 / Procedimiento de la determinación del contenido de Humedad.....	34

DIAGRAMA II-3 / Procedimiento de la determinación de la densidad aparente.	35
DIAGRAMA II-4 / Procedimiento de la determinación de la densidad real.....	36
DIAGRAMA II-5 / Procedimiento de impregnación del bagazo de caña de Azúcar.....	40
DIAGRAMA II-6 / Procedimiento de carbonización y activación.....	41
DIAGRAMA II-7 / Procedimiento de lavado, secado y pesaje del carbón activado.....	42
DIAGRAMA II-8 / Procedimiento de la determinación del contenido de cenizas..	44
TABLA II-6 / Lecturas de absorbancias para distintas concentraciones de azul de metileno.....	47
TABLA III-1 / Resultados obtenidos del contenido de humedad.....	51
TABLA III-2 / Resultados obtenidos de la densidad aparente.....	52
TABLA III-3 / Resultados obtenidos de la densidad real.....	53
TABLA III-4 / Resultados del análisis granulométrico.....	54
TABLA III-5 / Rendimiento del carbón activado.....	55
TABLA III-6 / Contenido de cenizas del carbón activado.....	59
TABLA III-7 / Resultados finales del índice de azul de metileno.....	63
TABLA III-8 / Carbones activados con alto nivel de adsorbancia.....	68
TABLA III-9 / Datos del Índice de Azul de Metileno de las pruebas de laboratorio.....	69
TABLA III-10 / Comparación de carbones activados obtenidos experimentalmente.....	71
TABLA III-9 / Costos del Proyecto.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS Y/O GRÁFICAS

	<b>Página</b>
FIGURA 1-1 / Representación esquemática de la estructura de un carbón Activado.....	6
FIGURA 1-2 / Estructura química del carbón activado.....	7
FIGURA 1-3 / Gránulo de carbón activado.....	7
FIGURA 2-1 / Temperaturas de Tarija-Bolivia durante el secado al sol del bagazo de caña de azúcar .....	33
GRÁFICA 2-1 / Curva de calibración “Concentración vs Absorbancia”.....	47
GRÁFICA 3-1 / Humedad vs Tiempo, del secado del bagazo de caña de azúcar .....	52
GRAFICA 3-2 / Rendimiento vs Concentración (temperaturas constantes).....	56
GRÁFICA 3-3 / Rendimiento vs Temperatura (concentraciones constantes).....	57
GRÁFICA 3-4 / Diagrama de efectos del rendimiento del carbón activado	58
GRÁFICA 3-5 / Cenizas vs Concentración (temperaturas constantes)	60
GRÁFICA 3-6 / Cenizas vs Temperatura (concentraciones constantes)	62
GRÁFICA 3-7 / Diagrama de efectos del contenido de cenizas del carbón Activado	59
GRÁFICA 3-8 / Porcentaje de remoción vs Concentración (temperaturas constantes).....	64
GRÁFICA 3-9 / Porcentaje de remoción vs Temperatura (Concentraciones	

constantes).....	65
GRÁFICA 3-10 / Diagrama de efectos de la adsorción del azul de metileno del carbón activado.....	67

## ÍNDICE DE FOTOS

	<b>Página</b>
FOTO II-1 / Sección del patio de acopio del bagazo de caña de azúcar en IABSA.....	32
FOTO II-2 / Realización del ensayo de contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar.....	34
FOTO II-3 / Realización de los ensayos de la densidad aparente del bagazo de caña de azúcar.....	35
FOTO II-4 / Realización de los ensayos de la densidad real del bagazo de caña de azúcar.....	36
FOTO II-5 / Secado del bagazo de caña de azúcar en el secador de Bandejas.....	37
FOTO II-6 / Realización del análisis granulométrico del bagazo de caña de azúcar.....	38
FOTO II-7 / Impregnación del ácido diluido con el bagazo de caña de Azúcar.....	39
FOTO II-8 / Realización de las pruebas de activación del bagazo de caña de azúcar.....	40
FOTO II-9 / Realización del lavado y secado del carbón activado.....	42
FOTO II-10 / Realización de las pruebas del contenido de cenizas del carbón activado.....	43
FOTO II-11 / Molienda y tamizado de las muestras de carbón activado.....	45
FOTO II-12 / Preparación de la solución madre de azul de metileno.....	46

FOTO II-13 / Realización de experimentos de adsorción de azul de metileno.....	46
FOTO II-14 / Realización de los experimentos del índice de azul de metileno.....	48
FOTO II-15 / Solución de 4 ppm de azul de metileno.....	49
FOTO II-16 / Realización de las lecturas de las absorbancias en el Espectrofotómetro.....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I / Consumo de carbón activado en el mundo y Bolivia.

ANEXO II / Aplicaciones del carbón activado por actividad y tipos de contaminantes eliminados.

ANEXO III / Diseño del reactor de acero inoxidable.

ANEXO IV / Proceso de activación física y sus inconvenientes.

ANEXO V / Cálculos de la caracterización del bagazo de caña de azúcar.

ANEXO VI / Resultados del contenido de cenizas del bagazo de caña de azúcar.

ANEXO VII / Cálculos de la caracterización del carbón activado obtenido experimentalmente.

ANEXO VIII / Matriz de diseño de experimentos factoriales.

ANEXO IX / Certificado de calibración del espectrofotómetro.