

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



**OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE CARBÓN ACTIVADO, A
PARTIR DE CÁSCARA DE MANÍ, VARIEDAD MANÍ BAYO
(*Arachis hypogaea L.*), CULTIVADA EN LA PROVINCIA GRAN
CHACO (DEPARTAMENTO DE TARIJA)**

Por:

JHONNY MORA VARGAS

**Modalidad de graduación (Proyecto de Grado: Investigación aplicada)
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Octubre de 2024

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. LUIS FERNANDO ZENTENO BENITEZ

ING. HUGO FRANCO SÁNCHEZ

ING. WALTER RODOLFO ZENTENO CRUZ

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

El presente proyecto está dedicado primeramente a Dios por darme la fuerza necesaria para lograr este objetivo.

A mis padres Dionicio Mora Aguilar y Alcira Vargas Vidaurre por haberme forjado como la persona que soy y darme su apoyo incondicional, para que pueda lograr una de mis metas más en vida.

A mis hermanas por su constante apoyo y motivación.

A mis amigos y compañeros que fueron parte de mi formación.

Agradecimientos:

Agradezco a Dios por su amor, su gracia infinita y darme sabiduría para mejorar día a día y cumplir mis objetivos y metas como este presente proyecto.

A mis padres que son el pilar y mi inspiración, que me enseñaron a ser humilde, valorar todo lo que tengo y apoyarme a concluir mis estudios.

Agradezco a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho por haberme permitido formarme profesionalmente. A mis docentes por compartir sus conocimientos y por su paciencia.

“El éxito no es un accidente, es trabajo duro, perseverancia, aprendizaje, estudio, sacrificio y sobre todo, amar lo que estás haciendo.”

Pelé

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
Generalidades	1
Aplicaciones del carbón activado	3
Mercado.....	5
Mercado consumidor	5
Mercado competidor	7
MATERIA PRIMA.....	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	10
Justificación Tecnológica	10
Justificación Económica.....	11
Justificación Social.....	11
Justificación Ambiental.....	11

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO	13
1.1. Carbón Activado	13
1.1.1. Carbón activado a partir de residuos agroindustriales	14
1.2. Propiedades del Carbón Activado	15
1.2.1. Los centros activos o zonas de activación.....	16
1.2.2. La porosidad	16
1.2.3. Superficie específica	17
1.3. Composición Química y Física del Carbón Activado	17
1.3.1. Composición química.....	17
1.3.2. Composición física	17
1.3.2.1. Tamaño de poros	17
1.3.2.1.1. Clasificación de los poros	18
1.4. Tipos de Carbones Activados.....	19
1.4.1. Carbón activado granular	19
1.4.2. Carbón activado en polvo.....	19
1.4.3. Carbón activado extruido o peletizado	20
1.5. Métodos de Activación.....	21
1.5.1. Activación física.....	21
1.5.2. Activación química	23
1.5.2.1. Activación química con $ZnCl_2$	25
1.5.2.2. Activación química con H_3PO_4	26

1.5.3. Ventajas y desventajas de los métodos de activación	27
1.5.4. Importancia de la química superficial de los carbones	28
1.6. Adsorción	30
1.6.1. Mecanismo de adsorción.....	31
1.6.2. Tipos de adsorción	32
1.6.2.1. Adsorción física o fisisorción.....	32
1.6.2.2. Adsorción química o quimisorción	33
1.6.3. Factores que influyen la adsorción del carbón activado	33
1.7. Especificaciones de Calidad del Carbón Activado	34
1.7.1. Descripción de las especificaciones de calidad del carbón activado	36
1.7.1.1. Índice de yodo	36
1.7.1.2. Índice azul de metileno	36
1.7.1.3. Índice de melaza	37
1.7.1.4. Densidad aparente	38
1.7.1.5. Tamaño de partículas	39
1.7.1.6. Dureza	39
1.7.1.7. Contenido de ceniza	39
1.8. Generalidades del Maní.....	40
1.9. El maní en Bolivia	42
1.9.1. Variedades de maní en Bolivia.....	43
1.9.1.1. Maní Overo	43
1.9.1.2. Maní Bayo	43
1.9.1.3. Maní Colrado.....	43

1.9.1.4. Maní Cartucho	44
1.10. Cáscara de Maní.....	44
1.10.1. Limitaciones de cáscara de maní.....	45
1.10.2. Composición química de la cáscara de maní	45

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	47
2.1. Materia prima para la obtención de carbón activado	47
2.2. Selección del Método Tecnológico Industrial para la Obtención Experimental de Carbón Activado de la Cáscara de Maní.....	48
2.3. Diseño Experimental	52
2.3.1. Variables dependientes.....	52
2.3.2. Variables independientes.....	52
2.4. Diseño Factorial	53
2.5. Descripción del Método Experimental Seleccionado para la Obtención de Carbón Activado Granular de Cáscara de Maní	57
2.5.1. Recolección de materia prima	59
2.5.2. Selección de la materia prima	59
2.5.3. Caracterización de la materia prima	60
2.5.3.1. Determinación del porcentaje humedad de la cáscara de maní.....	60
2.5.3.2. Determinación de cenizas de la cáscara de maní	62
2.5.3.3. Determinación de material volátil de la cáscara maní.....	64
2.5.3.4. Determinación de carbón fijo	65

2.5.4. Procedimiento para la obtención de carbón activado granular a partir de cáscara de maní variedad maní bayo (<i>Arachis hypogaea L.</i>).....	66
2.5.4.1. Secado de la cáscara de maní.....	66
2.5.4.2. Molienda y tamizado de la cáscara de maní.....	67
2.5.4.3. Impregnación.....	70
2.5.4.4. Carbonización y activación	72
2.5.4.5. Lavado	74
2.5.4.6. Secado	76
2.6. Caracterización del Producto Obtenido.....	78
2.6.1. Determinación del índice de yodo.....	78
2.6.2. Determinación del índice de azul de metileno	82
2.6.2.1. Determinación de la curva de calibración de la solución de azul de metileno	82
2.6.2.2. Decoloración de la solución de azul de metileno para determinar el porcentaje de remoción	83

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
3.1. Resultado de la Caracterización de la Cáscara de Maní.....	86
3.1.1. Resultados de la determinación del porcentaje humedad de la cáscara de maní	86
3.1.2. Caracterización de la materia prima en base seca	87
3.1.3. Resultado del análisis microbiológico de la cáscara de maní	88

3.2. Resultados de las Determinaciones del Índice de Yodo, Área Superficial en Función del Índice de Yodo y Índice de Azul de Metileno del Carbón Activado Obtenido de la Cáscara de Maní	89
3.2.1. Resultados de la determinación de índice de yodo	89
3.2.1.1. Ecuaciones utilizadas para el cálculo del índice de yodo	89
3.2.1.2. Resultados de análisis del índice de yodo	90
3.2.2. Resultados del área superficial en función al índice de yodo	95
3.2.3. Resultados de la determinación del índice de azul de metileno	97
3.2.3.1. Curva de calibración de la solución de azul de metileno	97
3.2.3.2. Ecuaciones utilizadas para el cálculo del índice de azul de metileno	99
3.2.3.3. Resultados de análisis del índice de azul de metileno.....	100
3.3. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del carbón activado obtenido de la cáscara de maní.....	106
3.4. Balance de Materia y Energía	106
3.4.1. Balance de materia	106
3.4.1.1. Balance de materia por etapa	111
3.4.1.1.1. Balance de materia en la etapa de selección de la materia prima .	111
3.4.1.1.2. Balance de materia en la etapa de secado de la materia prima	112
3.4.1.1.3. Balance de materia en la etapa de molienda	113
3.4.1.1.4. Balance de materia en la etapa de tamizado	114
3.4.1.1.5. Balance de materia en la etapa de impregnación	116
3.4.1.1.6. Balance de materia en la etapa de filtración.....	117
3.4.1.1.7. Balance de materia en la etapa de activación	118
3.4.1.1.8. Balance de materia en la etapa de lavado y secado	120

3.4.2. Balance de energía	121
3.4.2.1. Balance de energía en la etapa de secado de la materia prima.....	121
3.4.2.2. Balance de energía en la etapa de molienda.....	122
3.4.2.3. Balance de energía en la etapa de tamizado	123
3.4.2.4. Balance de energía en la etapa filtración.....	124
3.4.2.5. Balance de energía en la etapa de activación	125
3.4.2.6. Balance de energía en la etapa de secado del carbón activado	126
3.5. Determinación del Rendimiento del Proceso	126
3.6. Análisis Estadístico del Diseño Factorial.....	129
3.6.1. Análisis estadístico de la variable respuesta área superficial en función al índice de yodo	129
3.6.2. Análisis estadístico de la variable respuesta % de remoción del azul de metileno	136
3.7. Comparación de la Mejor Muestra de Carbón Activado Obtenido con uno Comercial	143
3.8. Prueba de aplicación del carbón activado obtenido de la cáscara de maní	144

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

4. COSTOS DEL PROYECTO.....	147
4.1. Evaluación de Costos	147
4.2. Costos de elaboración del carbón activado de cáscara de maní.....	152

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	154
---	-----

5.1. Conclusiones 154

5.2. Recomendaciones 156

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 158

ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

Cuadro 1. Aplicaciones del carbón activado	4
Cuadro 2. Principales consumidores de carbón activado en Bolivia	6
Cuadro 3. Importadores de Carbón activado	7
Cuadro 4. Importaciones de carbón activado en Bolivia	8
Cuadro I-1. Usos del carbón activado obtenido a partir de residuos agroindustriales ..	15
Cuadro I-2. Ventajas y desventajas de los métodos de activación	28
Cuadro I-3. Principales parámetros del carbón activado.....	35
Cuadro I-4. Taxonomía del maní	41
Cuadro I-5. Composición química de la cascara de maní	46
Cuadro II-1. Factores a evaluar	49
Tabla I-1. Producción por año de maní en Bolivia	43
Tabla I-2. Producción por año de maní en Tarija	43
Tabla II-1. Escala de calificación	48
Tabla II-2. Selección del método experimental para la obtención de carbón activado de cáscara de maní	50
Tabla II-3. Selección del reactivo activante para la obtención experimental de carbón activado de cáscara de maní	51
Tabla II-4. Variables y niveles	54
Tabla II-5. Matriz de experimentos y plan de experimentos	55
Tabla II-6. Codificación de los experimentos de obtención de carbón activado	56
Tabla III-1. Determinación del porcentaje humedad de la cáscara de maní	86
Tabla III-2. Comparación del porcentaje de humedad	87
Tabla III-3. Análisis de la caracterización de la materia prima en base seca	87

Tabla III-4. Comparación del porcentaje de cenizas	88
Tabla III-5. Resultados del cálculo del índice de yodo réplica 1	92
Tabla III-6. Resultados del cálculo del índice de yodo réplica 2	93
Tabla III-7. Resultados promedio del índice de yodo	94
Tabla III-8. Área superficial del carbón activado réplica 1	95
Tabla III-9. Área superficial del carbón activado réplica 2	96
Tabla III-10. Promedio área superficial	96
Tabla III-11. Lecturas de absorbancia para la curva patrón	98
Tabla III-12. Resultados del cálculo de la masa adsorbida y % de remoción del azul de metileno, réplica 1	102
Tabla III-13. Resultados del cálculo de la masa adsorbida y % de remoción del azul de metileno, réplica 2	103
Tabla III-14. Resultados promedio de la masa adsorbida del azul de metileno	104
Tabla III-15. Resultados promedio del porcentaje de remoción del azul de metileno.	105
Tabla III-16. Corrientes del balance de materia para cada experimento y réplica	107
Tabla III-17. Corrientes del balance de materia para cada experimento y réplica ...	108
Tabla III-18. Rendimiento en masa de cada experimentos y réplicas del carbón activado obtenido a partir de la cascara de maní	128
Tabla III-19. Datos para el cálculo del Área superficial	130
Tabla III-20. Pruebas de efectos inter-sujetos para el Área superficial	131
Tabla III-21. Ajustes de datos para el modelo lineal general	132
Tabla III-22. ANOVA para el Área superficial	132
Tabla III-23. Coeficientes del modelo de regresión lineal para el Área superficial	133

Tabla III-24. Comparación del área superficial observado y el área superficial del modelo	135
Tabla III-25. Datos para el cálculo del análisis de varianza del % de Remoción del azul de metileno	137
Tabla III-26. Pruebas de efectos inter-sujetos para el % de Remoción del azul de metileno	138
Tabla III-27. Ajustes de datos para el modelo lineal general	139
Tabla III-28. ANOVA para el % de Remoción del azul de metileno	139
Tabla III-29. Coeficientes del modelo de regresión lineal para el % de Remoción del azul de metileno	140
Tabla III-30. Comparación del % de remoción del azul de metileno observado y el % de remoción del azul de metileno del modelo	142
Tabla III-31. Comparación entre carbones activados	143
Tabla III-32. Resultados de la prueba de aplicación	146
Tabla IV-1. Detalle de costos de reactivos utilizados en la parte experimental y análisis del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cascara de maní	147
Tabla IV-2. Detalle de costos de materiales adquiridos para realizar la parte experimental del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cascara de maní.....	148
Tabla IV-3. Detalle de los costos de análisis fisicoquímicos	149
Tabla IV-4. Detalle de los costos de análisis microbiológicos	150
Tabla IV-5. Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos	150
Tabla IV-6. Detalle de costos energéticos	151
Tabla IV-7. Detalle de costos totales	151

Tabla IV-8. Detalle de costo de elaboración de 1 kg de carbón activado	152
Tabla IV-9. Precios del carbón activado	153
Tabla V-1. Caracterización de la cáscara de maní en base seca	154
Tabla V-2. Características del carbón activado obtenido de mejor calidad	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Carbón activado en forma de placas graníticas	14
Figura 1-2. Gránulo de carbón activado	18
Figura 1-3. Carbón activado granular	19
Figura 1-4. Carbón activado en polvo	19
Figura 1-5. Carbón activado extruido	20
Figura 1-6. Diagrama de activación física del carbón activado	23
Figura 1-7. Diagrama de activación química del carbón activado	25
Figura 1-8. Esquema de la macromolécula de la celulosa	26
Figura 1-9. Esquema de la macromolécula de la hemicelulosa	26
Figura 1-10. Esquema de la macromolécula la lignina	27
Figura 1-11. Algunos grupos funcionales en el carbón activado	30
Figura 1-12. Esquema de la adsorción	31
Figura 1-13. Representación esquemática de la adsorción física	33
Figura 1-14. Principales variedades de maní en Bolivia	44
Figura 2-1. Maní bayo	47
Figura 2-2. Diagrama de bloques del método de activación química a emplear para la obtención experimental de carbón activado granular de cáscara de maní	58
Figura 2-3. Cáscara de maní	59
Figura 2-4. Selección de la cascara de maní	60
Figura 2-5. Secador de infrarrojos	61
Figura 2-6. Determinación de cenizas	63
Figura 2-7. Determinación del material volátil	64
Figura 2-8. Secado de la cáscara de maní	66

Figura 2-9. Molienda de la cáscara de maní con el molino de discos y molino de martillos	67
Figura 2-10. Recolección de molienda finalizada	68
Figura 2-11. Tamizado	69
Figura 2-12. Cáscara de maní molida malla 1mm	70
Figura 2-13. Impregnación	71
Figura 2-14. Filtración al vacío del exceso de agente activante	72
Figura 2-15. Carbonización y activación en la mufla	72
Figura 2-16. Carbón activado obtenido	74
Figura 2-17. Lavado de carbón activado	75
Figura 2-18. pH del lavado del carbón activado	76
Figura 2-19. Secado de carbón activado	77
Figura 2-20. Ebullición del HCl con el carbón activado	79
Figura 2-21. Decoloración del amarillo rojizo intenso	80
Figura 2-22. Tonalidad de color azul	81
Figura 2-23. Titulación	81
Figura 2-24. Soluciones preparadas para la curva de calibración	82
Figura 2-25. Espectrofotómetro	83
Figura 2-26. Muestra de azul de metileno con el carbón activado	84
Figura 2-27. Filtrado	85
Figura 2-28. Medición de la absorbancia	85
Figura 3-1. Curva de calibración	98
Figura 3-2. Diagrama de flujo del balance de materia general para la obtención experimental de carbón activado granular de cáscara de maní	110

Figura 3-3. Diagrama de flujo en la etapa de selección de la materia prima	111
Figura 3-4. Diagrama de flujo en la etapa de secado de la materia prima	112
Figura 3-5. Diagrama de flujo en la etapa de molienda	113
Figura 3-6. Diagrama de flujo en la etapa de tamizado	115
Figura 3-7. Diagrama de flujo en la etapa de impregnación de la cascara de maní	116
Figura 3-8. Diagrama de flujo en la etapa de filtración de la cáscara de maní impregnada.....	117
Figura 3-9. Diagrama de flujo en la etapa de activación de la cáscara de maní	119
Figura 3-10. Diagrama de flujo en la etapa de lavado y secado del carbón activado de cáscara de maní	120
Figura 3-11. Modelo lineal	134
Figura 3-12. Comparación gráfica del área superficial observado y el área superficial del modelo	136
Figura 3-13. Modelo lineal	141
Figura 3-14. Comparación gráfica del % de remoción del azul de metileno observado y el % de remoción del azul de metileno del modelo	143
Figura 3-15. Filtración del agua clorada	145

ANEXOS

Anexo 1: Especificación de equipos y materiales utilizados en la parte experimental.....	170
Anexo 2: Método de prueba estándar para la determinación del contenido de ceniza de la cáscara de maní, con la que se guio mediante la norma ASTM D 3174 – 04	176
Anexo 3: Metodo de prueba estandar para la determinación de índice de yodo del carbón activado (ASTM D 4607-14).....	180
Anexo 4: (NORMA NTE INEN 1988, 2013), productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación del número de yodo	184
Anexo 5: Determinación del índice de yodo	187
Anexo 6: Tabla de factor de corrección para el número de yodo	189
Anexo 7: Determinación de índice de azul de metileno	190
Anexo 8: Resultados del CEANID de contenido de cenizas y humedad de la cáscara de maní	191
Anexo 9: Resultados del CEANID de coliformes totales de la cáscara de maní	192
Anexo 10: Resultados del CEANID de contenido de cenizas y coliformes totales del carbón activado obtenido	193
Anexo 11: Resultados del CEANID del cloro residual antes de la filtración y después de la filtración con carbón activado	194
Anexo 12: pH de los lavados del carbón activado de cáscara de maní	196
Anexo 13: Fotografías de obtención de carbón activado	197

SIGLAS Y/O ABREVIACIONES

a.C. = Antes de Cristo.

ADM SAO = Archer Daniels Midland Company (ADM). Sociedad Aceitera del Oriente.

ANSI = American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Normalización).

ASTM = American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales).

AWWA = American Water Works Association (Asociación Americana de Obras Hidráulicas).

Bs = Bolivianos.

CBN = Cervecería Boliviana Nacional.

CEANID = Centro de Análisis Investigación y Desarrollo.

CEVITA = Centro Vitivinícola Tarija.

COSAALT = Cooperativa de Servicio de Agua y Alcantarillado de Tarija.

DIN = Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán para la Normalización).

DQO = Demanda Química de Oxígeno.

Etc. = Etcétera.

IABSA = Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima.

IBCE = Instituto Boliviano de Comercio Exterior.

ICRISAT = International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos).

ISO = International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización o Estandarización).

ITC = International Trade Centre (Centro de Comercio Internacional).

IUPAC = Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.

LOU = Laboratorio de Operaciones Unitarias.

NB = Norma Boliviana.

NMP = Número Más Probable.

NTE INEN = Normas Tecnológicas de la Edificación - Instituto Ecuatoriano de Normalización.

PIL = Planta Industrializadora de Leche.

Pza = Pieza.

S.A. = Sociedad Anónima.

UAJMS = Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias.

USD = Dólar estadounidense.

YPFB = Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos.

N = Concentración Normal.

°C = Grado Celsius.

% = Porcentaje.

h = Hora.

min = Minuto.

Rpm = Revolución por minuto.

l = Litro.

ml = Mililitro.

cm = Centímetro.

cm³ = Centímetro cúbico.

ha = Hectárea.

m^2 = Metro cuadrado.

m^3 = Metro cúbico.

mm = Milímetro.

nm = Nanómetro.

g = Gramo.

kg = Kilogramo.

mg = Miligramo.

p/v = Gramo de soluto/mililitro de solución.

kcal/mol = Kilocaloría por mol.

kW = kilovatios.

kWh = Kilovatio hora

kJ = Kilojulios.

$AlCl_3$ = Cloruro de aluminio.

C = Carbono.

Ca = Calcio.

CO = Monóxido de carbono.

CO₂ = Dióxido de carbono.

Fe = Hierro.

H₂ = Hidrógeno molecular.

H₂O = Agua.

H₃PO₄ = Ácido fosfórico.

HCl = Ácido clorhídrico.

K = Potasio.

KOH = Hidróxido de potasio.

Mg = Magnesio.

MgCl_2 = Cloruro de magnesio.

N_2 = Nitrógeno molecular.

Na = Sodio.

NaOH = Hidróxido de sodio.

O_2 = Oxígeno molecular.

ZnCl_2 = Cloruro de zinc.