

Tabla de Contenido

1.	Introducción	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Antecedentes Generales.....	2
1.2.1	Situación Energética	2
1.2.1.1	Contexto Energético Mundial	2
1.2.1.2	Contexto Energético Nacional.....	4
1.2.2	Biocombustibles	7
1.3	Biodiesel	9
1.3.1	Definición	9
1.3.2	Materias primas	10
1.3.2.1	Aceites	10
1.3.2.2	Aceite Usado	12
1.3.2.3	Alcohol.....	13
1.3.3	Producción de Biodiesel	14
2.	Proyecto de Tesis	20
2.1	Cáscaras de Huevo como Catalizador Heterogéneo	20
2.1.1	Composición y Estructura de la Cáscara de Huevo	20
2.1.2	Uso de Cáscara de Huevo como Catalizador Heterogéneo para la Transesterificación de Aceites	22
2.1.2.1	Mecanismo del Óxido de Calcio para la Transesterificación.....	22
2.1.2.2	Trabajos sobre Cáscara de Huevo como Catalizador Heterogéneo.....	23
2.1.3	Reacción del Carbonato de Calcio con Ácidos.....	26
2.1.4	Producción de Sterno	26
2.2	Descripción del Proyecto	26
2.3	Objetivos.....	27
2.3.1	Objetivo General	27
2.3.2	Objetivos Específicos.....	27
3.	Metodología	28
3.1	Preparación del Catalizador	28
3.1.1	Preparación Experimental.....	28

3.1.2	Cinética y Avance del Tratamiento.....	30
3.2	Caracterización de Catalizadores	30
3.2.1	Área Específica BET	30
3.2.2	Difracción de Rayos X	30
3.3	Actividad de Catalizadores	31
4	Resultados y Discusiones.....	33
4.1	Velocidades de Reacción	33
4.2	Efecto del Tratamiento sobre las Áreas Específicas.....	35
4.2.1	Áreas Específicas de la Cáscara de Huevo sin Tratar.....	35
4.2.2	Muestras Tratadas con Ácido Acético.....	37
4.2.3	Muestras Tratadas con Ácido Clorhídrico	38
4.2.4	Muestras Precalcinadas a 300°C por 3 horas	38
4.3	Efecto del Tratamiento y la Calcinación sobre la Masa de la Cáscara de Huevo	39
4.3.1	Tratamiento con Ácido	39
4.3.2	Efecto de la Calcinación.....	41
4.4	Difractogramas	42
4.5	Formación de Hidróxido de Calcio en las Muestras	45
4.5.1	Efecto de la Formación de Hidróxido de Calcio sobre el Área Específica BET	45
4.5.2	Formación de Hidróxido de Calcio y Mecanismo de Reacción.....	46
4.6	Análisis sobre el Efecto del Tratamiento Ácido	46
4.7	Actividad de los Catalizadores	48
4.8	Resumen de la Síntesis de Catalizadores	49
5	Conclusiones y Trabajo Futuro.....	50
5.1	Conclusiones	50
5.2	Trabajos Futuros y Recomendaciones	51
6.	Bibliografía.....	52
Anexos	55
A.	Curvas de pH	55
B.	Difractogramas	59
1.	Muestras Tipo Hidróxido de Calcio	59
2.	Muestras Tipo Óxido de Calcio.....	60

Índice de Tablas

Tabla 1: "Propiedades técnicas del biodiesel"	9
Tabla 2: "Composición porcentual de ácidos grasos de distintos tipos de aceites vegetales"	10
Tabla 3: "Consumo global de aceite vegetal y marino por tipo de aceite"	11
Tabla 4: "Comparación entre las propiedades del aceite usado, biodiesel a partir de aceite usado y petrodiesel comercial"	13
Tabla 5: "Procesos productivos y materias primas para metanol y etanol"	13
Tabla 6: "Comparación entre los distintos métodos para producir biodiesel a partir de aceites vegetales"	14
Tabla 7: "Comparación de los distintos catalizadores para la transesterificación"	16
Tabla 8: "Caracterización básica estadística de las cáscaras de huevo blancas"	20
Tabla 9: "Comparación entre los catalizadores derivados de bivalvos del género Meretrix, caracol manzana dorado y cáscara de huevo"	23
Tabla 10: "Rendimiento catalítico y área específica del catalizador tratado (SBES), el derivado de cáscara de huevo, el óxido de calcio, el óxido de magnesio y la zeolita (NaY)".	25
Tabla 11: "Volúmenes de ácido para preparar las soluciones de 500 mL para tratar las muestras de cáscara de huevo"	28
Tabla 12: "Masa de los reactivos utilizados para realizar la transesterificación"	31
Tabla 13: "Velocidades iniciales para las muestras tratadas con ácido acético"	33
Tabla 14: "Velocidades iniciales para las muestras tratadas con ácido clorhídrico".	33
Tabla 15: "Orden y constante de la reacción entre los distintos ácidos y la cáscara de huevo"	34
Tabla 16: "Velocidades iniciales calculadas con ley cinética para muestras tratadas con ácido acético" ...	34
Tabla 17: "Velocidades iniciales teóricas calculadas con la ley cinética para muestras tratadas con ácido clorhídrico"	35
Tabla 18: "Velocidad inicial de reacción si la concentración de iones hidronio con el ácido acético fuese igual a la nominal"	35
Tabla 19: "Áreas de referencia para los distintos tamaños de partícula sin tratamiento ácido, antes y después de calcinar"	36
Tabla 20: "Áreas específicas para muestras tratadas con ácido acético"	37
Tabla 21: "Porcentaje de variación de área con respecto a la referencia calcinada para cada tamaño de partícula"	37
Tabla 22: "Áreas específicas para muestras tratadas con ácido clorhídrico"	38
Tabla 23: "Porcentaje de variación de área con respecto a la referencia calcinada para cada tamaño de partícula"	38
Tabla 24: "Resultados del tratamiento, precalcinación y calcinación"	39
Tabla 25: "Pérdidas de masa por tratamiento de muestras con concentración inicial de ácido 5 mM"	40
Tabla 26: "Pérdidas de masa por tratamiento de muestras con concentración inicial de ácido 25 mM" ..	40
Tabla 27: "Pérdidas de masa por tratamiento de muestras con concentración inicial de ácido 100 mM" ..	40
Tabla 28: "Porcentaje remanente de masa después de la calcinación"	42
Tabla 29: "Cambio del área específica BET por efecto de la hidratación de las muestras"	45
Tabla 30: "Rendimientos mínimo y máximo de la transesterificación realizada"	48

Índice de Figuras

Figura 1: “Predicción (realizada en 2015) del precio del barril de petróleo crudo hasta el 2040”	2
Figura 2: “Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de combustibles fósiles” [11]	3
Figura 3: “Oferta total de energía primaria mundial desde 1971 hasta 2014 en Mtep	3
Figura 4: “Porcentaje de los distintos tipos de energía en la oferta total de energía primaria mundial”	4
Figura 5: “Oferta primaria de energía en Chile en 2007” [16]	5
Figura 6: “Fuentes de generación eléctrica en Chile en 2007” [16]	5
Figura 7: “Porcentaje de generación eléctrica en base a energías renovables”	6
Figura 8: “Porcentaje de la capacidad instalada del país que ocupan las ERNC” [19]	6
Figura 9: “Evolución de la generación bruta de energía eléctrica por ERNC” [19]	7
Figura 10: “Recirculación del carbono al producir y combustionar biocombustibles” [3]	8
Figura 11: “Consumo y producción globales de aceite vegetal por año” [8]	11
Figura 12: “Aceites más consumidos en Chile” [11]	12
Figura 13: “Mecanismo de la Reacción de Transesterificación usando Metanol como Alcohol” [28]	15
Figura 14: “Neutralización de un ácido graso libre” [28]	16
Figura 15: “Saponificación de un triglicérido” [28]	16
Figura 16: “Hidrólisis completa de triglicéridos” [20]	17
Figura 17: “Proceso de producción de biodiesel utilizando un catalizador heterogéneo básico”	18
Figura 18: “Reacción de Esterificación” [28]	19
Figura 19: “Esquema de las principales capas que componen la cáscara de huevo	20
Figura 20: “Imagen de una sección de la cáscara de huevo metalizado con oro y analizada en un microscopio electrónico de barrido”	21
Figura 21: “Mecanismo del Óxido de Calcio para la Transesterificación”	23
Figura 22: “Cinética de los distintos catalizadores en base a bivalvos del género <i>Meretrix</i> , caracol manzana dorado y cáscara de huevo de gallina	24
Figura 23: “Efectos sobre el rendimiento del uso repetido del catalizador tratado (SBES) , el derivado de cáscara de huevo de gallina, el óxido de calcio, el óxido de magnesio y la zeolita (NaY)	25
Figura 24: “Rampa de calentamiento de la mufla para la calcinación de la cáscara de huevo tratada”	29
Figura 25: “Rampa de Calentamiento de la Mufla para las muestras precalcinadas a 300°C por 3 horas”	29
Figura 26: “Montaje para la transesterificación”	32
Figura 27: “Modelo de fracturamiento de la cáscara de huevo”. Esquema no está a escala	36
Figura 28: “Análisis estadístico de la pérdida de masa asociada a la manipulación experimental”	41
Figura 29: “Análisis estadístico de la pérdida de masa por calcinación”	42
Figura 30: “Difractograma de la Muestra Tratada con Ácido Acético 100 mM para el tamaño de partícula de 53 a 75 μm ”	43
Figura 31: “Difractograma de la Muestra Tratada con Ácido Clorhídrico 100 mM para el tamaño de partícula de 75 a 200 μm ”	44
Figura 32: “Difractograma de la muestra tratada con ácido acético 25 mM para el tamaño de partícula de 200 a 425 μm ”	44
Figura 33: “Modelo propuesto para el ataque ácido en ausencia de cutícula y/o membrana”	47
Figura 34: “Modelo propuesto para el ataque ácido en cáscaras no molidas con membrana y cutícula”	48

Figura 35: “Comparación de datos para distintos tamaños de partícula usando ácido clorhídrico 100 mM”	55
Figura 36: “Comparación de datos para distintas concentraciones de ácido usando un tamaño de partícula de 75- 200”	56
Figura 37: #Comparación de datos para distintas concentraciones de ácido acético usando un tamaño de partícula de 200 – 425 μm ”	57
Figura 38: “Comparación de datos para distintas concentraciones de ácido clorhídrico de 5, 25 y 100 mM con un tamaño de partícula de 200 – 425 μm . ”	57
Figura 39: “Comparación ácido clorhídrico y acético 25 mM. para un tamaño de partícula de 200 – 425 μm ”	58
Figura 40: “Comparación ácido clorhídrico y ácido acético a 100 mM. para un tamaño de partícula de 53 – 75 μm ”	58
Figura 41: “Difractograma de la muestra tratada con ácido acético 25 mM para el tamaño de partícula de 200 a 425 μm ”.	59
Figura 42: “Difractograma de la muestra tratada con ácido clorhídrico 100 mM para el tamaño de partícula de 200 a 425 μm ”.	60
Figura 43: “Difractograma de la muestra tratada con ácido clorhídrico 5 mM para el tamaño de partícula de 200 a 425 μm ”.	60
Figura 44: “Difractograma de la muestra tratada con ácido acético 25 mM para el tamaño de partícula de 75 a 200 μm ”.	61
Figura 45: “Difractograma de la muestra tratada con ácido acético 5 mM para el tamaño de partícula de 53 a 75 μm ”.	61