

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA**

**Estudio del efecto del secado en horno de convección
en la producción de bioetanol, a partir de cáscara de
naranja (*Citrus sinensis*)**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

(ORIENTACIÓN EN ENERGÍA SOLAR)

P R E S E N T A :

Juan Antonio Martínez Ruiz

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Alberto Mendoza Espinoza

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

CODIRECTOR

Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

Universidad Autónoma Metropolitana

INTEGRACIÓN DEL JURADO:

Presidente: Dr. Edgar Vicente Torres González,
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Secretario: Dr. José Alberto Mendoza Espinoza,
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Vocal: Dr. Fernando Díaz de León Sánchez,
Universidad Autónoma Metropolitana

1^{er}. Suplente: Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez,
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

2^{do}. Suplente: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas,
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Lugar donde se realizó el posgrado:

PLANTEL DEL VALLE, UACM.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. José Alberto Mendoza Espinoza
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Díaz de León Sánchez
Universidad Autónoma Metropolitana

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me permitió concluir con mis estudios de maestría, a mis padres, tíos, hermanos, esposa e hijas, donde siempre encontré cariño, comprensión y motivación, para seguir adelante y no desistir en mi meta.

A mi nieta Selene Zamira Martínez Apodaca, quien es una gran motivación en mi vida.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, por ser mi casa de estudios, y haberme abrigado dentro de sus instalaciones donde tuve la grata experiencia de conocer a mis profesores, los cuales me compartieron sus conocimientos; para ellos y para la institución, muchas gracias.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT), que me apoyo durante mis estudios de Maestría, beneficiándome con una beca.

A mi director de tesis, Doctor José Alberto Mendoza Espinoza, por ser mi mentor, en el cual encontré motivación y apoyo en el desarrollo de mi trabajo de tesis, gracias por cobijarme con sus conocimientos.

Al personal docente y administrativo del Programa de Energía, que me apoyaron en todo momento y me llevaron a buen puerto.

A todos ustedes mil gracias.

La parte final de este proyecto conto con el apoyo de la Secretaria de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, bajo el proyecto financiado con folio 3617c24, convenio SECTEI/148/2024, con el cual se compraron disolventes y un baño ultrasónico que sirvió de base para la preparación de muestras.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ABREVIATURAS	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL	6
1.1. Planteamiento del problema	6
1.2. Justificación del proyecto	6
1.3. Propuesta de investigación e hipótesis	9
1.3.1. Investigación	9
1.3.2. Hipótesis	9
1.4. Objetivo general y específicos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. La biomasa como recurso energético	10
2.2. Los biocombustibles	10
2.3 El bioetanol	12
2.3.1. Generalidades	12
2.3.2. Estadísticas de producción de bioetanol en el mundo	13
2.3.3. Panorama de producción de bioetanol en México	15
2.4. Procesos para la obtención de bioetanol	17
2.4.1. Generalidades	17
2.4.2. Preparación de materia prima	19
2.4.3. Fermentación	21
2.4.4. Recuperación	22
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	23
3.1. Diseño de investigación	24
3.1.1. Pretratamiento de la materia prima	24
3.1.1.1. Selección de la materia prima	24
3.1.1.2 Embolsado y etiquetado de la muestra	25
3.2.1 Secado en horno de convección	26
3.2.1.1 Secado a 100, 150 y 180 °C, por 60 y 120 min	26
3.2.1.2 Cálculo teórico del consumo eléctrico	27
3.2.1.3 Proceso de triturado de la cáscara seca	27

4.4.1. Cálculo Teórico de Bioetanol	65
4.4.2. Cálculo de consumo eléctrico	68
CONCLUSIONES	70
PERSPECTIVAS	71
ANEXOS	72
ANEXO 01. Parámetros físicos, tablas de resultados de secado a 100, 150 y 180 °C a 60 y 120 min	72
ANEXO 02. Parámetros físicos, tabla de concentrado de pesos de cáscara de naranja fresca y de secada a 100, 150 y 180 °C durante 60, 90 y 120 min	73
ANEXO 03. Parámetros físicos, concentrado de Iluminación, Cromo y Ángulo Hue, en dispositivo Color Lab	74
ANEXO 04. Parámetros químicos, tablas de análisis de glucosa en Brixómetro y curva de calibración de glucosa	75
ANEXO 05. Efecto de la temperatura y tiempo en la liberación de azúcares	76
Referencias	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Materia prima para obtención de biocombustibles	12
Figura 2: Variación internacional, tendencia y producción total	14
Figura 3: Distribución porcentual de la producción de bioetanol en el mundo (2019)	15
Figura 4: Estructura molecular de lignocelulósica	19
Figura 5: Pretratamiento de materiales lignocelulósicos	21
Figura 6: Diagrama de trabajo	23
Figura 7: Pesado de naranja entera	24
Figura 8: Pesado de pericarpio (bagazo)	24
Figura 9: Pesado de cáscara de naranja fresca	24
Figura 10: Etiquetado de muestra	25
Figura 11: Horno de convección Felisa, modelo FE-293	26
Figura 12: Muestras de cáscara seca en horno de convección	26
Figura 13: Muestras de cáscara seca	27
Figura 14: Muestra de harina de cáscara seca	27
Figura 15: Molino de mano	28
Figura 16: Cáscara de naranja seca y pulverizada	28
Figura 17: Espectro de colores tridimensional	30
Figura 18: Espectro de colores bidimensional	30
Figura 19: Espacio de colores iluminación, croma y ángulo Hue	31
Figura 20: Refractor Cary 630 FTIR (vista de frente)	32
Figura 21: Refractor Cary 630 FTIR (vista de aérea)	32
Figura 22: Lectura de datos en software	32
Figura 23: Representación gráfica del software	32
Figura 24: Espectro de infrarrojo	33
Figura 25: Muestras de harina de cáscara de naranja seca	34
Figura 26: Solución de harina de cáscara de naranja con agua destilada	34
Figura 27: Brixómetro	34
Figura 28: Agitador eléctrico Vortex	34
Figura 29: Muestras en baño maría	34
Figura 30: Brixómetro	34
Figura 31: Reacción REDOX entre ácido 3,5 dinitrosalicílico y azúcares reductores de la muestra	36
Figura 32: Diagrama de proceso del método de Miller o DNS para la obtención de azúcares reductores	36
Figura 33: Reactivo DNS en agitación	37
Figura 34: Reactivo DNS en agitación por 12 horas	37
Figura 35: Disolución de glucosa al 10%	38
Figura 36: Aforo de solución de glucosa en 100 mL de agua destilada	39
Figura 37: Dilución de muestras a diferentes concentraciones	41
Figura 38: Gradilla con muestras blancas y de diferentes concentraciones	42
Figura 39: Espectrofotómetro, marca Thermo, modelo Geneys 10vis	43
Figura 40: Diferentes concentraciones de solución en celdas de lectura	44
Figura 41: Secado de cáscara a 100 °C durante 120 min	51
Figura 42: Secado de cáscara a 150 °C durante 120 min	53
Figura 43: Secado de cáscara a 180 °C durante 60 min	55
Figura 44: Secado de cáscara a 180 °C durante 90 min	55

Figura 45: Gráfica de superficie de respuesta de los grados brix eje “Y” con los tratamientos a diferentes temperaturas y tiempos	59
Figura 46: Gráfica de correlación entre la concentración y la absorbancia	61
Figura 47: Gráfica de superficie de respuesta entre los azúcares libres eje “Y” los diferentes procesos de secado	64
Figura 48: Comparación de los máximos en los procesos de ° Brix y azúcares reductores	65
Figura 49: Anova de absorbancia de muestras de harina de cáscaras de naranja	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de naranja por estados	7
Tabla 2: Soluciones para las disoluciones de glucosa	40
Tabla 3: Muestras para análisis en espectrofotómetro	40
Tabla 4: Peso del lote 1, procesado a 100 °C durante 60 y 120 min	47
Tabla 5: Peso del lote 2 procesado a 150 °C durante 60 y 120 min	48
Tabla 6: Peso del lote 3 procesado a 180 °C durante 60 y 120/90 min	49
Tabla 7: Resultados por gravimetría (peso y humedad)	50
Tabla 8: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 100 °C	52
Tabla 9: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 150 °C	54
Tabla 10: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 180 °C	56
Tabla 11: Promedio de °Brix obtenidos para lote 1	57
Tabla 12: Promedio °Brix obtenidos para lote 2	58
Tabla 13: Promedio de °Brix obtenidos para lote 3	58
Tabla 14: Relación de la concentración en mg/100 y la absorbancia a diferentes concentraciones de glucosa	60
Tabla 15: Absorbancia de las diferentes concentraciones de muestras de cáscara de naranja	62
Tabla 16: Porcentaje de azúcar calculado para una relación de 0.5 g de cáscara en 6 mL de agua destilada	63
Tabla 17: Proyección teórica de azúcar, alcohol y producción de energía	66
Tabla 18: Consumo eléctrico del proceso de secado	69
Tabla 19: Peso de cáscara secada a 100 °C durante 60 y 120 min	72
Tabla 20: Peso de cáscara secada a 150 °C durante 60 y 120 min	72
Tabla 21: Peso de cáscara secada a 180 °C durante 60 y 120 min	72
Tabla 22: Concentrado de secado a 100, 150 y 180 °C durante 60, 90 y 120 min	73
Tabla 23: Resultado de cálculos de Iluminación, Croma y Ángulo Hue	74
Tabla 24: Datos de pruebas realizadas en Brixómetro	75

ABREVIATURAS

GEI	Gases de efecto invernadero
CO ₂	Bióxido de carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₃	Ozono
C ₂ H ₅ OH	Bioetanol
CO ₂ e	Bióxido de carbono equivalente
NaOH	Hidróxidos de sodio
C ₄ H ₄ Na ₂ O ₆	Tartrato de potasio y sodio
HMF	Hidroximetilfurfural
CFC	Clorofluorocarbonos
DNS	3-5 Ácido dinitrosalicílico
UV	Ultravioleta
mL	Mililitros
g	Gramos
kW	Kilo watt
° C	Grados centígrados
µm	Micrómetro
µL	Microlitro
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
SIAP	Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera
ONU	Organización de las Naciones Unidas
W	Watt
GJ	Gigajoule
SIAP	Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera
min	minutos
Kg	kilogramos

Ton	Toneladas
IR	Infrarrojo
COP	Conferencia de las Partes
GE	Gasto eléctrico
P	Potencia eléctrica
t	Tiempo
%H	Por ciento de humedad
P1	Peso inicial
P2	Peso final
L	Luminosidad
a	Coordenada rojo/verde
b	Coordenada amarillo/azul
C	Croma
H	Ángulo Hue
X	Concentración
Y	Absorbancia
m	Pendiente
kWh	Kilowatt hora
Co	Costo
Tcf	Toneladas de cáscara fresca
Tp	Toneladas de naranja producida
Tcp	Toneladas de cáscara procesada
At	Azúcar teórico
Alt	Alcohol teórico
Pe	Producción de energía

RESUMEN

En las últimas décadas el consumo de combustibles fósiles para obtener energía, se ha incrementado, así como su sobreexplotación y por consecuencia la escasez de los mismos, pero lo más preocupante son las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) que se emiten al medio ambiente debido a la combustión de dichos combustibles, generando contaminación y cambios ambientales tal como el calentamiento global y la afectación a la capa de ozono.

Por lo que es necesario trabajar en proyectos para generar energía aprovechando los recursos renovables, como la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, biomasa entre otras.

La biomasa que se genera de productos agroindustriales, al no darles un adecuado tratamiento final, se descomponen en basureros o vertederos de basura, generando plagas, enfermedades y emiten metano al medio ambiente.

En México, la naranja se produce y se consume casi todo el año, generando grandes cantidades de biomasa desvalorizada, que rara vez es aprovechada y procesada, por tal motivo se considera importante el estudio del procesamiento y transformación de dicha biomasa en un biocombustible de segunda generación, es decir obtener bioetanol (C_2H_5OH) de cáscara de naranja.

En este trabajo se evaluó el efecto de secado en horno de convección analizando como variables de respuesta temperaturas de 100, 150 y 180 °C a tiempos de 60 y 120 min por cada temperatura, obteniendo los mayores resultados en azúcares reductores, obtenidos a partir de cáscaras de naranja, con un rendimiento teórico de bioetanol de 41 mL, a una temperatura de secado de 180 °C durante 60 min, el cual fue mayor comparado con el resultado de Ramírez (2019), donde reporta que obtuvo 20 mL de bioetanol al 90% de pureza por cada 2 Kg de cáscara fresca fermentada, con lo que podemos concluir que el secado afecta favorablemente el proceso de producción de bioetanol.

INTRODUCCIÓN

La energía es fundamental para la vida en nuestro planeta (Badii M., *et. al.* 2016), el Sol es y ha sido, la principal fuente de energía calorífica y luminosa, entre otros beneficios, interviene en la fotosíntesis de las plantas las cuales sirven como fuente alimenticia para muchos seres vivos, entre ellos el ser humano, el cual desde hace muchos años se ha preocupado por aprovechar y transformar la energía proveniente de la naturaleza (Romero S., 2010).

De acuerdo con (Doddoll, 2021), el Sol, es la estrella más cercana a la Tierra, y fundamental para la vida en nuestro planeta, puesto que es la principal fuente de energía (calor y luz). La energía solar permite que se produzcan ciertas reacciones químicas en el organismo que permiten el crecimiento y desarrollo de los animales (incluyendo al ser humano) y de las plantas (Doddoll, 2021).

Según (Chávez G., 2006) los mayas tenían una gran admiración y respeto por la energía proveniente del Sol, no solo la ocupaban para calentar agua, secar alimentos o calcular épocas de siembra y cosecha entre otros, también la aprovechaban como un recurso medicinal con un concepto de “frío-calor”, combinado con las propiedades medicinales de algunas plantas que recolectaban (Chávez G., 2006).

Al paso del tiempo, las necesidades energéticas fueron creciendo, y para satisfacerlas, el hombre desarrolló técnicas para obtener energía de otras fuentes que no provenían directamente de la naturaleza, uno de los grandes logros fue el descubrimiento del fuego, de donde podía obtener calor y cocinar sus alimentos, y conforme iba desarrollando su inteligencia, sus conocimientos y tecnologías para su comodidad y confort, en esa misma medida iba creciendo la demanda de energía (Romero S., 2010).

Los molinos, de viento, agua, aceite, harina, y otros instrumentos hidráulicos por ejemplo los elevadores de agua, batanes, acequias, etc. eran una herramienta esencial de la sociedad preindustrial (Arroyo I., 2012).

La Edad Media fue sin duda, un tiempo de innovación tecnológica y progreso que no se había dado con tanta intensidad en cualquier otro período previo de la historia, basado en la diversificación del uso del molino, lo que permitió posteriormente una revolución económica y la transformación del orden social (Palomo P. & Fernández U., 2007).

Con la aparición de los recursos energéticos de origen fósil (carbón, petróleo y gas), se da un gran desarrollo tecnológico en base al consumo y combustión de estos productos, se sustituyen las formas rudimentarias de transporte, por máquinas de vapor que alimentaban sus calderas con carbón, posteriormente, las carretas se sustituyen por vehículos de combustión interna que consumen gasolina, en los hogares se sustituye el cocinar con carbón o leña, por estufas de petróleo y posteriormente, con la modernidad llegan las estufas de gas (Badii M., *et. al.* 2020).

Según (Marquardt, 2009), la revolución industrial que se da a partir de 1760 en Gran Bretaña, es el comienzo de la transformación del sistema de energía de los siglos XIX y XX, con lo cual se da pie a varias revoluciones parciales. Entre ellas: el cambio del tránsito desde el sistema agrario, compuesto por el caballo y el barco a vela, que fueron sustituidos por los nuevos medios de transporte fósil-energéticos como los ferrocarriles y los barcos de vapor, las cuales ofrecían más y mejores capacidades cuantitativas y de velocidad; así como la revolución de la urbanización que transformó las ciudades agrarias de diez mil o veinte mil habitantes en metrópolis de varios millones; otro ejemplo más fue la revolución demográfica, que multiplicó la población mundial desde el año de 1800, estos fueron algunos de los factores que aumentaron la demanda energética, y el consumo de energías fósiles (Marquardt, 2009).

De acuerdo con (Gismondi, 2018), nuestras economías basadas en la producción y consumo de combustibles fósiles amenazan los sistemas de vida de la Tierra enfrentándonos a una nueva época geohistórica, el Antropoceno, caracterizada por el

colapso de la biodiversidad, condiciones extremas de clima y riesgos sistémicos imposibles de prever (Gismondi, 2018).

En fin, con el paso del tiempo, se creó una gran red de bienes y servicios, que se satisfacían con la generación de energía, calorífica y eléctrica, principalmente, provenientes de fuentes no renovables, pero con ello también llegó la sobre explotación de dichos recursos, la contaminación, la afectación exponencial al medio ambiente, el calentamiento global, etc., perjudicando la salud del planeta y de los seres vivos que lo habitamos (Conopoima M., 2023). Es por ello que es necesario comenzar a trabajar en la transición paulatina del consumo de energías no renovables (ya que estas son finitas y en un futuro próximo se agotarán) a renovables (no son finitas a corto plazo) (Badii M., *et. al.* 2020), es indispensable mencionar que el trabajo no es fácil, pero que, si es urgente, ya que las condiciones ambientales de un tiempo a la fecha, no son muy halagüeñas (Gismondi, 2018).

De acuerdo con (Oyarzún G., 2022), desde la Revolución Industrial de 1880, la concentración de gases de efecto invernadero y la temperatura media global han aumentado gradualmente, llegando a niveles actualmente insospechados. Entre 1980 y 2000, la temperatura media anual de la superficie terrestre aumentó 0.35°C , junto con un aumento significativo de la concentración atmosférica de CO_2 . Si las emisiones de gases invernadero no se controlan, se prevé que la temperatura media anual supere el nivel crítico de más 1.5°C para 2050 (Oyarzún G., 2022).

Por otra parte (Villa Z., *et. al.* 2021), comenta que, como fuente de seguridad energética de los recursos naturales no renovables, los combustibles fósiles, el petróleo y sus derivados están llegando a niveles de agotamiento acelerado y se prevé que en un plazo mediano ya no será posible cubrir la demanda mundial (Villa Z., *et. al.* 2021).

Por otra parte (Espíndola & Valderrama, 2012), comentan que, el efecto invernadero provoca que la energía solar que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie terrestre elevando la

temperatura. Este efecto es producido por algunos gases liberados al medio ambiente en forma natural o bien por acción humana. La Huella de Carbono se considera como una herramienta importante para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, debido de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Espíndola & Valderrama, 2012).

Es por ello que la Organización de las Naciones Unidas, convoca anualmente a las convenciones; entre ellas se encuentran las COP's, también conocidas como "Conferencias de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático", que se llevan a cabo anualmente con el objetivo de analizar la situación ambiental del planeta y tomar decisiones concretas para combatir el calentamiento global. Donde participan representantes de varios países del mundo y tratan el problema del cambio climático, se hacen propuestas y se llegan a acuerdos para reducir las emisiones de bióxido de carbono CO₂ al ambiente (Oyarzún G., 2022). La primera COP tuvo lugar en Berlín en 1995, mientras que, la vigésima séptima versión tuvo lugar en el año 2022, y en la cual se tocaron temas como el desarrollo de hidrógeno verde, agua y seguridad alimentaria, como lograr una transición energética justa hacia las energías renovables y las comunidades vulnerables. Sin embargo, según datos del *World Resources Institute*, China, Estados Unidos y la Unión Europea emiten casi la mitad del total mundial de emisiones. Además, las emisiones continúan aumentando y no hay garantías de que los compromisos adoptados se puedan alcanzar (Oyarzún G., 2022).

Una de las grandes propuestas para amortiguar los problemas de emisiones de GEI, estriba en reducir el consumo de combustibles fósiles o también llamados de fuentes no renovables, mediante la generación de energías provenientes de fuentes renovables, de las cuales destacan la energía solar, la eólica, mareomotriz, hidráulica, geotérmica y biomasa (Barragán L., 2020).

De esta última mediante procesos específicos de tratamiento, se pueden obtener los llamados biocombustibles como son el biodiesel, bioetanol y biogás, que pueden sumar a la matriz energética de nuestro país, estos biocombustibles se caracterizan

por emitir bajas emisiones de GEI, y son más amigables con el medio ambiente en comparación a los combustibles fósiles (Villa Z., *et. al.* 2021).

En países como Estados Unidos y Brasil, el bioetanol se produce a partir del maíz y la caña de azúcar respectivamente, por desgracia en México, la producción e investigación de producción de bioetanol a partir de biomasa es muy precaria (Torroba, 2020).

En este trabajo se expondrán temas como: La biomasa como recurso energético, Estadísticas de producción de bioetanol, Panorama de producción de bioetanol en México, Procesos para la obtención de bioetanol, Preparación de materia prima, Secado de cáscara de naranja en horno de convección, Caracterización química, Determinación de azúcares reductores, Cálculo teórico de obtención de bioetanol, entre otros.

Este proyecto tiene como propósito dar un mejor manejo final de biomasa desvalorizada en particular de cáscara de naranja, para ello se estudiará cómo afecta el secado en horno de convección de dicha cáscara en la producción de bioetanol y determinar si el secado de cáscara de naranja potencializa o no la producción de bioetanol.

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL

1.1. Planteamiento del problema

Como ya se mencionó anteriormente, la combustión y uso de hidrocarburos (carbón, petróleo y gas), para obtener energía necesaria para las actividades de la industria, de la movilidad, del hogar, entre otras, producen y emanan grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Dióxido de Carbono CO₂, Metano CH₄, Óxido Nitroso N₂O, Ozono O₃, Clorofluorocarbonos conocidos como CFC), que al ser emanados a la atmosfera provocan el deterioro de la capa de ozono, forman un efecto invernadero entre la atmosfera y la corteza terrestre, generando el calentamiento global, cambios ecológicos y de temperatura, afectando ecosistemas y en general la salud de los seres vivos y del planeta mismo (Grijalva E., *et. al.* 2020).

Otro tipo de contaminantes, es la llamada biomasa desvalorizada, producto del consumo de frutas, verduras, etc., que al llegar a basureros y no darles un correcto tratamiento final, generan plagas, enfermedades, y lo peor, lixiviados que contaminan mantos acuíferos y emiten gases contaminantes como bióxido de carbono y metano al ambiente (Bernache P., 2012). La cáscara de naranja forma parte de esta biomasa desvalorizada.

1.2. Justificación del proyecto

Según datos arrojados por el estudio realizado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, comprendido de julio de 2021 a julio de 2022 (Tabla 1), donde se especifica la producción de naranja por entidad federativa, Veracruz es el principal productor seguido de Tamaulipas (SIAP, 2022).

Tabla 1: Producción de naranja por estados
ene-jul/2021 vs ene-jul/2022

Avances a julio de 2022 (toneladas)			
Entidad Federativa	Año		% total generado a jul 2022
	2021	2022	
Veracruz	1,964,438	1,861,230	52.1
Tamaulipas	637,892	735,414	20.6
San Luis Potosí	228,866	221,778	6.2
Puebla	190,402	187,775	5.3
Sonora	146,049	147,776	4.1
Nuevo León	207,191	139,438	3.9
Hidalgo	65,628	64,610	1.8
Tabasco	41,716	55,674	1.6
Yucatán	35,254	38,158	1.1
Baja California Sur	36,056	36,029	1
Oaxaca	34,742	34,416	1
Sinaloa	14,124	11,924	0.3
Quintana Roo	10,370	8,135	0.2
Jalisco	4,681	5,405	0.2
Morelos	4,848	4,880	0.1
Campeche	9,167	4,173	0.1
Guerrero	4,361	3,908	0.1
Colima	3,094	3,031	0.08
Baja California	2,576	2,577	0.07
Chiapas	1,963	1,991	0.06
Michoacán	2,351	1,793	0.05
México	9	21	0.001
Nayarit	13	0	0
Total	3,645,790	3,570,135	100

Fuente: datos obtenidos de (SIAP, 2022)

Haciendo un estimado de producción de naranja al final del 2022 de 4'922,969 toneladas, tomando en cuenta que aproximadamente el 50% de cada naranja es jugo y el otro 50 % son residuos de naranja, se generaron aproximadamente 2'461,484 toneladas de biomasa desvalorizada que, al no darles un adecuado trato final, al llegar a su proceso de descomposición en basureros, producirían una huella de carbono equivalente.

De acuerdo con el trabajo realizado por Chardí en 2016, denominado “*Huella de Carbono Generada por el Consumo de Frutas y Verduras en España*” donde presenta los resultados correspondientes a la huella de carbono asociados a los producidos en frutas y verduras, en concreto solo se tomará el dato correspondiente a los residuos de naranja, el cual indica que en España se generan 49.62 toneladas de CO₂ equivalente/año (Chardí, 2016).

Por otra parte, Arvizu Montes, *et. al.* en 2022, menciona que, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la huella de carbono del desperdicio de alimentos a nivel mundial se estima en 3,300 millones de toneladas de CO₂e de gases de efecto invernadero (GEI) liberados a la atmósfera por año. Esto equivale a entre 8 y 10% del total de las emisiones GEI anuales. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en México el 12% de las emisiones de carbono provienen del sector agropecuario. También comenta que los cítricos generan 0.39 kg de CO₂e por kg de producto (Arvizu Montes, *et. al.*, 2022).

Ahora bien, tomando en cuenta este último dato, se calcula un estimado, es decir, las 2'461,484 toneladas de biomasa desvalorizada de cáscara de naranja antes mencionada, se generarían $2,461'484,000 \text{ kg} \times 0.39 = 959'978,760 \text{ kg}$ de CO₂e en el año 2022.

Por lo anterior, en el presente proyecto se estudiará cómo afecta el proceso de secado de cáscara de naranja en horno de convección en el proceso de obtención de bioetanol.

1.3. Propuesta de investigación e hipótesis

1.3.1. Investigación

En el presente trabajo se propone investigar de manera experimental el efecto del secado en horno de convección en la producción de bioetanol, usando como modelo de estudio cáscara de naranja, basados en que la temperatura afecta la disposición de azúcares libres (Monroy I., *et. al.* 2021).

1.3.2. Hipótesis

El proceso de secado mediante horno de convección potencializa la producción de bioetanol

1.4. Objetivo general y específicos

1.4.1. Objetivo general

Conocer, cómo afecta el secado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en la producción de bioetanol.

1.4.2. Objetivos específicos

- Observar los cambios de peso y color durante el proceso de secado.
- Estudiar el efecto de la temperatura y el tiempo en la concentración de azúcares reductores.
- Estudiar el efecto de la temperatura y el tiempo en la concentración de grados Brix.
- Calcular el potencial teórico de producción de bioetanol en base a los azúcares reductores.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. La biomasa como recurso energético

De acuerdo con Borja en 2018, la biomasa es la materia orgánica no fosilizada, originada mediante proceso biológico o espontáneo. Esa materia tiene varios usos para el hombre, ya que constituye la base de nuestra alimentación, así como materia prima para gran número de industrias, tal como la farmacéutica, cosmética, textil, maderera, papelera, etc., también la biomasa puede ser una fuente de energía pues se puede transformar en biocombustibles (Borja, 2018).

2.2. Los biocombustibles

Los biocombustibles provienen del aprovechamiento y procesamiento adecuado de la biomasa, convirtiéndose este producto en una fuente de energía renovable, que puede apoyar en la disminución de consumo, sobreexplotación y dependencia de hidrocarburos.

Los biocombustibles según Ramírez en (2019), se pueden obtener en forma sólida, líquida y gaseosa, siendo utilizados como alternativa energética alrededor del mundo, se tiene:

- Bioetanol: Pertenece a la familia de los alcoholes, en su gran mayoría se obtiene de la caña de azúcar.
- Biodiesel: Se obtiene a partir de las semillas de oleaginosas.
- Biogás: Se obtiene principalmente a partir de los excrementos de animales, o también de la cáscara de café (Ramírez, 2019).

(Toalombo, *et. al.*, 2022) menciona que, los biocombustibles se clasifican según el tipo de materia prima utilizada en su producción, es decir, existen biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación como se describe a continuación:

- Biocombustibles de Primera Generación: Se obtienen por fermentación o transesterificación. El proceso de transesterificación química consiste en mezclar aceite vegetal con metanol y un catalizador para que se libere biodiesel y glicerina como producto residual. El biodiesel se produce mediante una reacción de transesterificación, con lo cual se sustituye el glicerol por un alcohol simple, en el que se debe reducir la viscosidad del aceite, requiriendo una temperatura de entre 40-60 °C (Toalombo, *et. al.*, 2022).
- Biocombustibles de Segunda Generación: Se obtienen a través de bioquímica y termoquímica. Permiten la transformación de la biomasa lignocelulósica en energía. Se refiere a la biomasa lignocelulósica obtenida a partir de residuos forestales, residuos agrícolas, madera barata o aserrín. La hidrólisis consiste en romper los enlaces β -1,4-glucosídicos que unen las moléculas de celulosa y hemicelulosa, dando como resultado la formación de los correspondientes monómeros de azúcar (Velasco C., 2020).
- Biocombustibles de Tercera Generación: Se obtienen de organismos que producen su propio alimento y utilizan energía solar. Las algas son consideradas para la investigación por su alta tasa de crecimiento, pudiendo duplicar su población en 24 horas, además de crecer en ambientes marinos o de aguas residuales, en comparación con otros cultivos que no se desarrollan en estas condiciones (Toalombo, *et. al.*, 2022).
- Biocombustibles de Cuarta Generación: de la cual solo se conoce la fase teórica, en donde las bacterias modificadas son capaces de transformar anhídrido carbónico en biocombustible (Pacheco O., *et. al.*, 2023). La Figura 1, ilustra lo antes mencionado.



Figura 1: Materia prima para obtención de biocombustibles

Fuente: Modificado de, (Los biocombustibles, 2019)

El presente proyecto trata de cómo afecta el secado en horno de convección de la cáscara de naranja (mediante parámetros de tiempo y temperatura) en la producción de bioetanol, es por ello que de aquí en adelante el trabajo se enfocará a lo relacionado con el bioetanol de segunda generación.

2.3 El bioetanol

2.3.1. Generalidades

El bioetanol es un producto que se puede considerar de Primera o de Segunda Generación, ya que se puede obtener de plantas con alto contenido de azúcares, como la caña de azúcar, o bien, del maíz que contiene gran cantidad de almidones. También se obtiene bioetanol de segunda generación a partir de residuos orgánicos ricos en celulosa.

2.3.2. Estadísticas de producción de bioetanol en el mundo

Los biocombustibles al paso del tiempo, se van posicionando como una opción para aportar a la disminución en la tendencia de la dependencia del consumo de hidrocarburos en algunas partes del mundo.

Esta tendencia se refleja en las estadísticas de proceso y consumo de bioetanol en varios países del mundo (Toalombo, *et. al.*, 2022), comenta que, la producción de etanol comenzó en Brasil en la década de 1970, cuando el país experimentó una crisis petrolera y vio la necesidad de promover el desarrollo de combustibles alternativos que mejorarían la economía interna del país. También menciona que, los principales productores de etanol en el mundo son Brasil utilizando caña de azúcar, Estados Unidos a base de maíz amarillo y Europa que utiliza cereales y remolacha (Toalombo, *et. al.*, 2022).

Aunque por otra parte (Torroba, 2020), menciona que, a principios de siglo, el combustible bioetanol era poco utilizado y su producción se concentraba principalmente en Brasil, que respondía por el 60% de la producción mundial y crecía acumulativamente a un promedio del 32% anual. Además, paulatinamente nuevos países se fueron involucrando en su producción y consumo. Al mismo tiempo, ha aumentado la proporción de bioetanol producido a partir de maíz, y hoy este grano es la materia prima más utilizada para la producción de bioetanol en el mundo (Torroba, 2020).

La producción mundial de bioetanol aumentó un 31% en la última década (2010-2019). La variación anual estuvo entre el -1% y el 15%, y la producción aumentó claramente hasta los 112 millones de metros cúbicos, es decir 112,000 millones de litros en 2019 (Torroba, 2020), en la Figura 2 se muestra los porcentajes detalladamente.

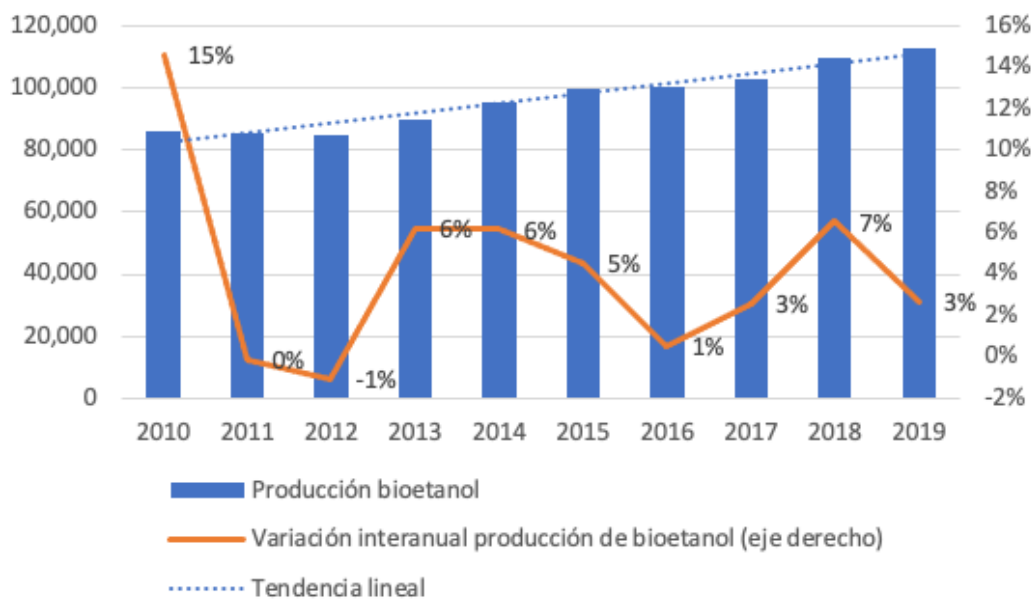


Figura 2: Variación internacional, tendencia y producción total (en miles de m3) de bioetanol

Fuente: obtenido de (Torroba, 2020)

Los cinco principales productores de bioetanol son Estados Unidos (53%), Brasil (28%), China (4%), India (3%) y Canadá (1%). El 11% restante de la producción se distribuye en los demás países del mundo, con una participación destacada de Tailandia, Argentina, Francia y Alemania (Torroba, 2020), como se muestra en la Figura 3.

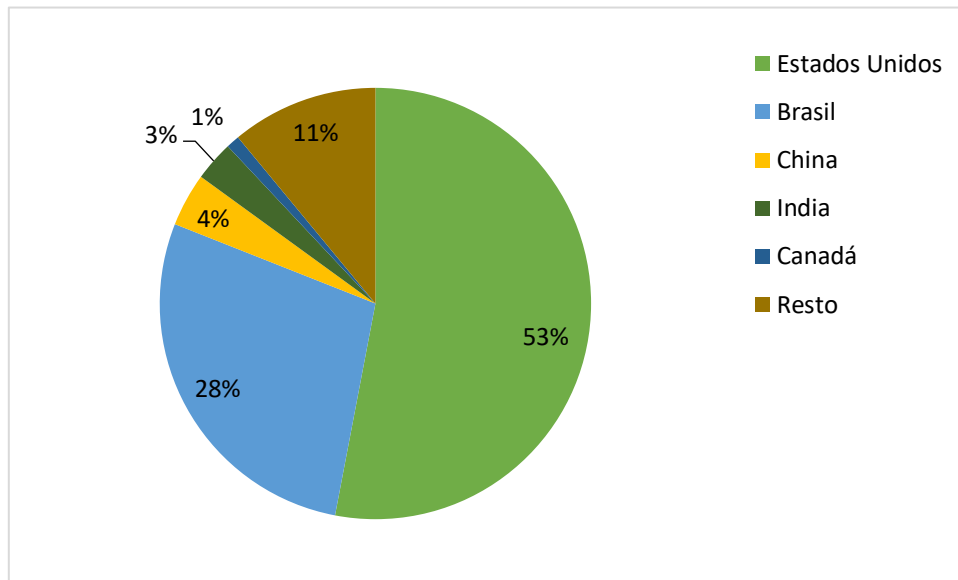


Figura 3: Distribución porcentual de la producción de bioetanol en el mundo (2019)

Fuente: Datos obtenidos de (Torroba, 2020)

Como se puede observar, en la actualidad varios países del mundo están apostando por el procesamiento, comercialización y uso de biocombustibles como el bioetanol, rumbo a la desaceleración de la contaminación, y afectaciones al medio ambiente y al cambio climático. Por desgracia en nuestro país, son muy pocos los estudios, proyectos, inversiones y avances en esta materia.

2.3.3. Panorama de producción de bioetanol en México

De acuerdo con (Pedraza, *et. al.*, 2023), en México el grano de maíz (*Zea mays*) es el más importante y el que más se cultiva en la república por su valor nutricional y cultural (Barros, 2008; SIAP, 2022). Este recurso agrícola es muy importante en la cultura y economía del país, pero dicha producción generó una gran cantidad de residuos agrícolas (SIAP, 2022). Se consideran biomasa y tienen potencial para producir bioetanol. En 2019 se produjeron en México 54 millones de litros de este biocombustible, pero en total se consumieron 171 millones de litros y los 117 millones restantes se importaron de Estados Unidos (CEI, 2022).

De los datos anteriores se desprende que de los 112,000 millones de litros de bioetanol producidos mundialmente, México produjo 54 millones de litros, lo que representa el 0.05%, de la producción mundial.

A pesar que México es productor de maíz y caña de azúcar, estos productos no pueden ser utilizados tan abiertamente para producir bioetanol, como sucede en Estados Unidos y Brasil, ya que estos productos están considerados dentro de la canasta básica de alimentación en nuestro país.

En México, el maíz es la base de la alimentación, y representa parte de la soberanía alimentaria, por lo que su uso para producir biocombustibles puede modificar su demanda y precio (Romero *et al.* 2015), como se cita en (Pérez, *et. al.*, 2017).

En México no se cuenta con una ley específica que prohíba el uso del maíz para la producción de bioetanol, sin embargo, con fecha 13/04/2020, la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, en el Diario Oficial de la Federación, publica la "*Ley Federal para Fomento y Protección del Maíz Nativo*", en el Artículo 1. Párrafo II, menciona que "*Declarar a la protección del Maíz Nativo y en Diversificación Constante en todo lo relativo a su producción, comercialización y consumo, como una obligación del Estado para garantizar el derecho humano a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad, establecido en el tercer párrafo del artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*".

La agroindustria genera gran cantidad de residuos orgánicos, que en muchas ocasiones no son aprovechados, y se denominan biomasa desvalorizada, la cual por lo general se descompone en basureros, pudriéndose y generando plagas, enfermedades, y emisiones de gases como el metano que afectan al medio ambiente.

2.4. Procesos para la obtención de bioetanol

2.4.1. Generalidades

De acuerdo con (Ramírez, 2019), la preparación de la materia prima inicia desde la selección de la misma, es decir para la obtención de bioetanol, se puede seleccionar materia prima que sean ricos en azúcares (directamente fermentables), amilácea (rica en almidón) o lignocelulosa (rica en celulosa, hemicelulosa y lignina) (Ramírez, 2019).

La biomasa más utilizada para la producción de bioetanol es la biomasa azucarada, así como la amilácea, mientras que la lignocelulosa se utiliza menos porque es más difícil separar los azúcares, sin embargo, la materia prima desvalorizada de este tipo es mucho muy económica (Barroso, 2010), como se cita en (Ramírez, 2019).

La lignocelulosa es un polímero muy abundante en la tierra, se encuentra de manera natural en muchas regiones del mundo y representa casi la mitad de la biomasa total, está presente en mucha de la biomasa residual de actividades agrícolas, industriales y forestales, es también el componente principal de las plantas; por lo que se tiene un soporte amplio para su utilización como base para la degradación de sus componentes y la obtención del sustrato base denominado celulosa para la generación de etanol lignocelulósico. El material lignocelulósico está comprendido esencialmente de tres materiales, los cuales son los monómeros degradables de la materia prima principal y cuya composición promedio también se menciona: la celulosa principalmente con un 33%, la hemicelulosa con un 28%, y la lignina con un 24% los cuales están asociados unos con otros mediante enlaces llamados fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrogeno (Ragauskas AJ, 2006), como se cita en (Vázquez, 2015).

La celulosa tiene una estructura cristalina organizada en el interior y ligeramente amorfa en el exterior. Estas estructuras forman enlaces agrupados que se unen para formar las llamadas microfibrillas de celulosa, que son un polímero de D-glucosa

unidas por enlaces β -1,4-glucosídicos, estructurados como largas cadenas lineales unidas por enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals intermoleculares, lo que dificulta la ruptura de esta estructura durante la hidrólisis; así como también difícil descomposición de su región amorfa por actividad enzimática (Perez, *et. al.*, 2005), como se cita en (Vázquez, 2015).

La hemicelulosa es una estructura de carbohidrato compleja compuesta de varios polímeros como pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (manosa, glucosa y galactosa) y ácidos de azúcar (ácido úrico). Sus azúcares están unidos por enlaces β -1,4 y, a veces, β -1,3 a través de cadenas laterales cortas. El componente dominante o principal de la hemicelulosa en la madera y algunas plantas agrícolas como pastos y paja es el xilano, mientras que otro componente llamado glucomanano (fibra muy soluble que capta agua formando soluciones viscosas) se encuentra en las maderas blandas. Es de un peso molecular más bajo que la celulosa y tiene cadenas laterales de azúcar cortas que forman polímeros fácilmente hidrolizables o susceptibles a la hidrólisis (Hendriks, 2009), como se cita en (Vázquez, 2015).

La lignina es un heteropolímero amorfo compuesto por tres unidades diferentes de fenilpropano (p-cumarilo, coniferilo y alcohol sinapílico) unidas entre sí por diferentes tipos de enlaces y presentes en la pared celular de la planta para proporcionar soporte estructural (rigidez) a la planta, impermeabilidad, resistencia y dureza contra ataques microbianos o ante un estrés oxidativo. Es el segundo polímero más abundante en la superficie terrestre después de la celulosa. Se considera un heteropolímero amorfo, insoluble en agua y ópticamente inactivo, todo lo anterior favorece a que presente un alto grado de variabilidad estructural que fomenta a que la degradación de la lignina sea muy dura (Aro N, 2005), como se cita en (Vázquez, 2015), en la Figura 4 se muestra la estructura molecular de la lignocelulósica.

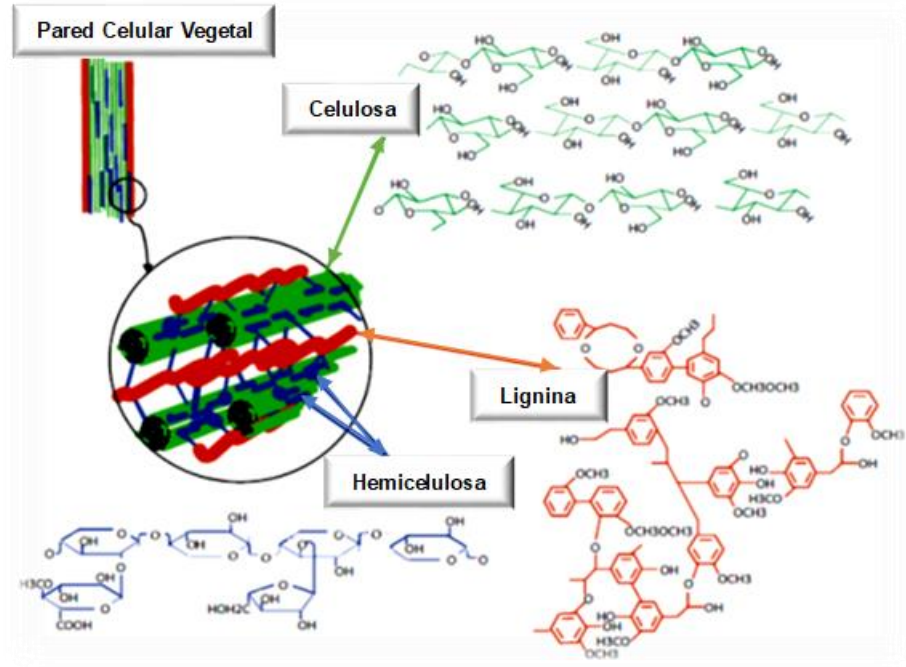


Figura 4: Estructura molecular de lignocelulósica

Fuente: adaptado de (Hermoso, García, Polaine, Topakas, 2007)

2.4.2. Preparación de materia prima

Debido a la composición del material lignocelulósico y a la presencia de lignina en las estructuras entre los enlaces hemicelulosa-celulosa, la degradación se limita a sus monómeros más simples y útiles; por ello, es necesario aplicar ciertos tratamientos a la materia prima lignocelulósica para facilitar la eliminación de la lignina y su penetración en las estructuras más simples, como la celulosa, que es la base de las últimas etapas de la producción de biocombustibles, porque es la fuente de glucosa; lo anterior se logra por dos formas de tratamientos: mecánicos y termoquímicos (Galbe & Zacchi, 2007), como se cita en (Vázquez, 2015).

De acuerdo con (Vázquez, 2015), durante el procesamiento mecánico del material lignocelulósico, se muele para reducir el tamaño de las partículas y la cristalinidad; el área de hidrólisis aumenta, el grado de polimerización disminuye, es más fácil

aumentar la tasa de tratamiento de hidrólisis, porque el tiempo de digestión disminuye del 23 al 59%; pero dependiendo del rendimiento total de la etapa de hidrólisis, sólo se consigue un rendimiento del 5 al 25%; dependiendo de la biomasa utilizada y del tiempo de molienda utilizado para reducir el tamaño de partícula (Sugimoto, *et. al.*, 2008).

Cabe mencionar que, en la mayoría de los sustratos biomásicos no se produce la degradación de los componentes requeridos; por lo que su viabilidad económica queda poco factible como pretratamiento (Sugimoto, *et. al.*, 2008).

Durante el pretratamiento térmico, se calienta la biomasa lignocelulósica. A medida que la temperatura sube por encima de 150-180 °C, parte de la biomasa lignocelulósica, como la hemicelulosa y poco después la lignina, comienza a disolverse, haciendo que la celulosa esté más abierta a la hidrólisis. La composición estructural de la hemicelulosa y los grupos ramificados determinan la estabilidad térmica, la acidez y la basicidad de la hemicelulosa. Por encima de 180 °C se produce una reacción exotérmica, se produce la disolución de la hemicelulosa, lo que favorece la formación de ácidos que pueden catalizar la hidrólisis. A temperaturas superiores a 160 °C la lignina se disuelve, la desventaja es que en un ambiente ácido se forman compuestos fenólicos y heterocíclicos como la vanilina, eril vanilina, furfural y hidroximetilfurfural (HMF), en medios ácidos, los cuales tienen un efecto inhibitorio o tóxicos sobre las bacterias y la levadura utilizadas para etapas posteriores, como en la hidrólisis (Yu & Zhang, 2007), como se cita en (Vázquez 2015).

También se utilizan tratamientos ácidos y alcalinos que favorecen la disolución de la lignina y principalmente de la hemicelulosa y tienen la misma finalidad que el tratamiento térmico. A veces se puede elegir un tratamiento con oxígeno en el que se añaden agentes oxidantes como ácido peracético, peróxido de hidrógeno u ozono para afectar la lignina y la hemicelulosa y promover la disponibilidad de celulosa para la hidrólisis. Además del tratamiento mecánico, se pueden combinar tratamientos químicos (ácidos, álcalis u oxidación) con tratamientos térmicos para aumentar la

susceptibilidad de la celulosa a la hidrólisis (Hendriks, 2009), como se cita en (Vázquez, 2015).

Los pretratamientos promueven la generación de regiones amorfas en la celulosa las cuales son más susceptibles a la hidrólisis posterior, ya sea por vía química o enzimática (Taherzadeh & Karimi, 2008), como se cita en (Vázquez, 2015). La Figura 5, muestra un esquema del pretratamiento de la lignocelulosa.

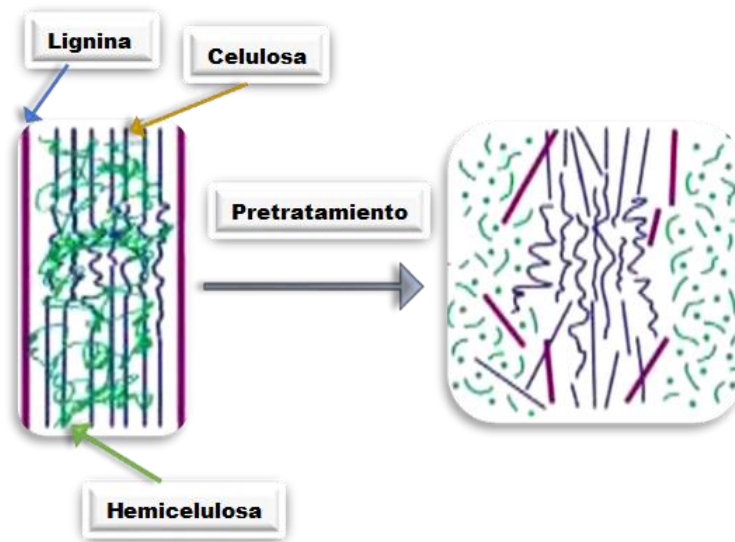


Figura 5: Pretratamiento de materiales lignocelulósicos

Fuente: adaptado de (Mosier, et. al, 2004)

2.4.3. Fermentación

En esta etapa se deben considerar tres factores dominantes para asegurar un alto rendimiento del producto y son: el sustrato (material biológico), las condiciones de operación y el microorganismo fermentador. Los azúcares monoméricos y fermentables producidos por hidrólisis química o enzimática son metabolizados por microorganismos que producen etanol a partir de una gran cantidad de azúcares asimilados liberados de los componentes polisacáridos básicos (celulosa y hemicelulosa), convirtiéndose en el sustrato que ha de consumir el microorganismo fermentador (Wen, et. al., 2011), como se cita en (Vázquez, 2015).

En materiales lignocelulósicos, este hidrolizado se compone principalmente de pentosas (en mayor medida xilosa) y por hexosas (en mayor medida glucosa); la cual será convertida a etanol por microorganismos ya sean bacterias, levaduras y hongos mediante glucolisis. Estos pueden ser usados para la fermentación especialmente la cepa de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, se utiliza más ampliamente porque puede convertir rápidamente los azúcares reductores en etanol y que presentan una alta tolerancia al etanol (más de 80 g/l), elevada osmotolerancia y altas temperaturas (Vázquez, 2015).

La fermentación ocurre en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) porque las condiciones del aire conducen a la inhibición del consumo de sustrato y del crecimiento microbiano (Chauaca M. & Ruiz B., 2023).

Así mismo, se hará embazando del mosto en frascos para destilación y será a temperatura ambiente.

2.4.4. Recuperación

La recuperación del etanol producido con diferentes configuraciones tecnológicas y diferentes tipos de materias primas se realiza de igual forma mediante los procesos de destilación y regeneración del etanol final. El contenido de etanol en el caldo de cultivo de la fermentación es de alrededor 10% (en peso). Parte de la concentración del etanol presente en el caldo de cultivo glucosado, ésta se efectúa en una columna de destilación convencional y se obtiene un alcohol concentrado al 50% aproximadamente (Gupte & Madamwar, 1997), como se cita en (Vázquez, 2015).

Este proceso es conocido generalmente como destilación, la cual puede ser simple o fraccionada, en este trabajo se cuenta con el equipo para realizar la destilación fraccionada, en la cual se puede obtener una mayor eficiencia en la obtención de bioetanol, ya que cuenta con cámara de evaporación, bomba de circulación de agua fría, torre de enfriamiento, cámara de condensación, platos teóricos, entre otros.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describen los métodos y procesos empleados para el estudio, pruebas, análisis cuantitativos y cualitativos, para determinar y cuantificar la presencia de azúcares reductores presentes en la cáscara de naranja seca, en la Figura 6, se puede observar el diagrama de trabajo.

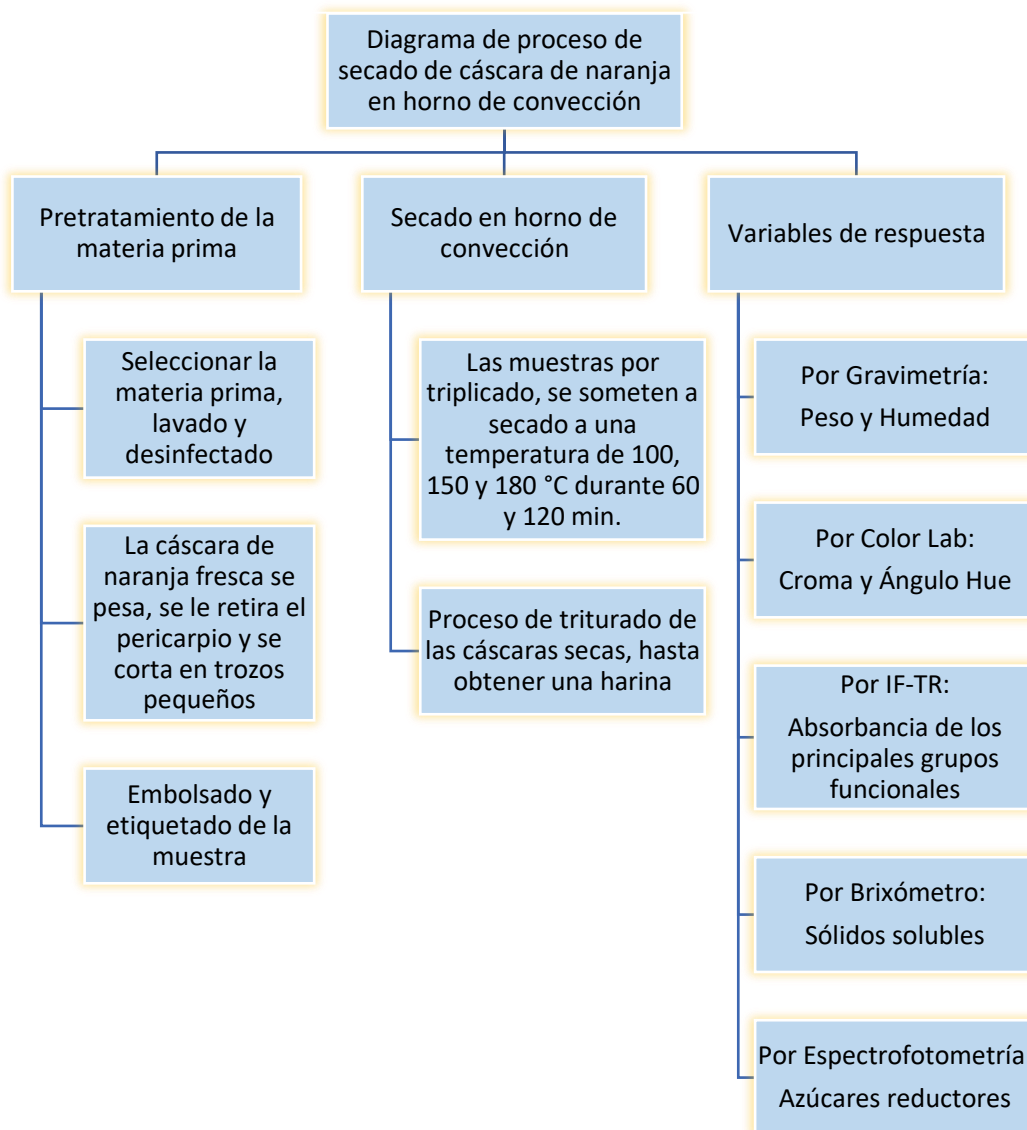


Figura 6: Diagrama de trabajo

Fuente: Elaboración propia

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Pretratamiento de la materia prima

El pretratamiento de la materia prima es un proceso empleado para disminuir las bacterias y/o impurezas que pudieran alterar los resultados de la obtención de bioetanol, el cual se describe en los siguientes puntos.

3.1.1.1. Selección de la materia prima

Se tomaron 12 kg de naranja entera, se lavaron, desinfectaron, se pesaron, después se partieron y se le extrajo el jugo, posteriormente se separó el pericarpio (bagazo) de la cáscara y se pesaron, como se observa en las Figuras 7, 8 y 9.



Figura 7: Pesado de naranja entera
Fuente: Fotografía propia, 28/02/2024



Figura 8: Pesado de pericarpio (bagazo)
Fuente: Fotografía propia, 29/02/2024



Figura 9: Pesado de cáscara de naranja fresca
Fuente: Fotografía propia, 29/02/2024

En una primera etapa, se tomaron fotografías a las muestras de cáscara de naranja fresca para su posterior análisis y comparación con las cáscaras secas, mediante la aplicación de celular Color Lab.

3.1.1.2. Embolsado y etiquetado de la muestra

Se prepararon 18 bolsas Ziploc de 16.5 /14.9 cm, a las cuales se le adicionaron aproximadamente 100 g de cáscara fresca y troceada.

Se etiquetó cada bolsa, poniendo el número de muestra, la temperatura de secado, el tiempo de secado, el peso de cáscara fresca, peso de cáscara seca y peso de harina (polvo) de cáscara de naranja (Figura 10).



Figura 10: Etiquetado de muestra

Fuente: Fotografía propia, 21/03/2024

Se clasificaron las muestras de la siguiente manera: 1.1, 1.2 y 1.3, las cuales fueron tres bolsas (unidades experimentales), cada una conteniendo 100 g de cáscara fresca, que se llevaron a secado en horno de convección a una temperatura de 100 °C, por un tiempo de 60 min, de la misma manera las bolsas 2.1, 2.2 y 2.3, pero por 120 min.

Lo mismo fue repetido en las muestras (3.1, 3.2 y 3.3), (4.1, 4.2 y 4.3), pero con una temperatura de 150 °C por 60 y 120 min respectivamente, y el mismo proceso se

realizó para las muestras (5.1, 5.2 y 5.3), (6.1, 6.2 y 6.3), para la temperatura de 180 °C por 60 y 120 min respectivamente.

3.2.1. Secado en horno de convección

3.2.1.1 Secado a 100, 150 y 180 °C, por 60 y 120 min

Primer lote de secado: a 100 °C.

El contenido de cada bolsa muestras 1.1, 1.2 y 1.3, fue puesto en papel de aluminio moldeado a manera de charola 15 x 20 cm, y colocadas en una gradilla que fue introducida en el horno de convección eléctrico de la marca Felisa, Modelo FE-293, de igual forma, en una segunda gradilla se colocaron las muestras 2.1, 2.2 y 2.3, y se pusieron a secar a una temperatura de 100 °C durante 60 y 120 min respectivamente (Figuras 11 y 12).



Figura 11: Horno de convección Felisa, modelo FE-293

Fuente: Fotografía propia, 12/03/2024



Figura 12: Muestras de cáscara seca en horno de convección

Fuente: Fotografía propia, 12/03/2024

3.2.1.2 Cálculo teórico del consumo eléctrico

Este cálculo se propone con base en los datos de la ficha técnica del horno de convección Felisa, donde se encontró que la potencia eléctrica requerida para su funcionamiento es de 1500 [W]; ahora bien si esta potencia la dividimos entre 1000 nos da como resultado 1.5 [kW], posteriormente se convirtió el tiempo con el cual se llevaron a cabo el secado, es decir, 60, 90 y 120 min, y los dividimos entre 60 min, obtenemos 1, 2 y 3 horas respectivamente, con estos datos se procede al cálculo de gasto eléctrico requerido durante todo el proceso, usando la siguiente relación:

$$GE = P * t$$

Donde:

GE = Gasto eléctrico [kWh]

P = Potencia eléctrica [kW]

t = tiempo de secado [h]

Los resultados obtenidos se presentan en el CAPÍTULO IV.

3.2.1.3 Proceso de triturado de la cáscara seca

Después de ordenar las muestras se procedió a documentar mediante fotografía de un trozo de cáscara seca por cada muestra, para su análisis posterior en Color Lab, luego se procedió al triturado de la cáscara seca, contenida en las 18 charolas de papel aluminio (Figuras 13 y 14).

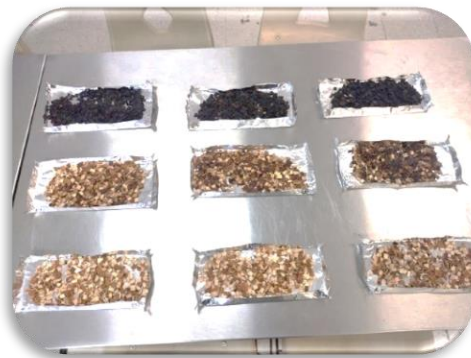


Figura 13: Muestras de cáscara seca

Fuente: Fotografía propia, 21/03/2024



Figura 14: Muestra de harina de cáscara seca

Fuente: Fotografía propia, 21/03/2024

Las cáscaras de cada charola se pasaron por un molino de mano, fueron trituradas hasta conseguir un granulado harinoso (Figuras 15 y 16), el polvo fue regresado a la charola, para ser pesado, registrando las lecturas, a continuación, el producto fue regresado a la bolsa de donde se tomó la materia prima.



Figura 15: Molino de mano

Fuente: Fotografía propia, 21/03/2024



Figura 16: Cáscara de naranja seca y pulverizada

Fuente: Fotografía propia, 21/03/2024

Las 18 bolsas de las unidades experimentales, fueron puestas en refrigeración -4°C para su posterior uso.

3.3. Caracterización química

3.3.1. Variables de respuesta

3.3.1.1. Determinación por gravimetría (peso y humedad)

El análisis por gravimetría se basó en pesar cada una de las muestras de cáscara de naranja, en sus diferentes consistencias, iniciando con las 18 bolsas que contienen 100 g de cáscara fresca, después del proceso de secado, se volvieron a tomar los pesos del contenido por bolsa, y finalmente se tomaron las lecturas de peso correspondientes al proceso de trituración, todos estos datos fueron registrados como se observa en (ANEXO 01, Tablas 19, 20 y 21), y con ellos se procedió a calcular el porcentaje de humedad, usando la siguiente relación:

$$\% H = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) * 100$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad

P1 = Peso inicial de cáscara fresca [g]

P2 = Peso final de cáscara seca [g]

El mismo procedimiento se realizó para la harina de cáscara de naranja. También se calcularon los pesos promedio por cada 3 muestras, así como su desviación estándar, los resultados se muestran en el CAPÍTULO IV.

3.3.1.2. Determinación por Color Lab (L, a, b, Cromo y ángulo Hue)

3.3.1.2.1. Determinación espacio de color L, a, b

Según (KONICA MINOTAL, 2023), el dispositivo Color Lab, es una herramienta que mediante la diferencia de colores se puede analizar el cambio en la fisiológicos en una matriz biológica compleja.

Para ello se establece un sistema de coordenadas en un espectro de colores que son ubicados en coordenadas en tres dimensiones denominadas L, a y b, también puedes ser llamado CIELAB (Figuras 17 y 18).

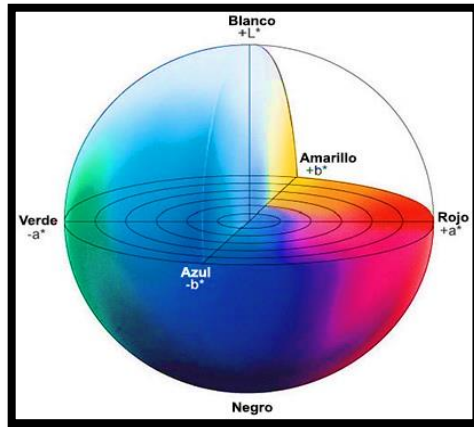


Figura 17: Espectro de colores tridimensional

Fuente: obtenida de (KONICA MINOTAL, 2023)

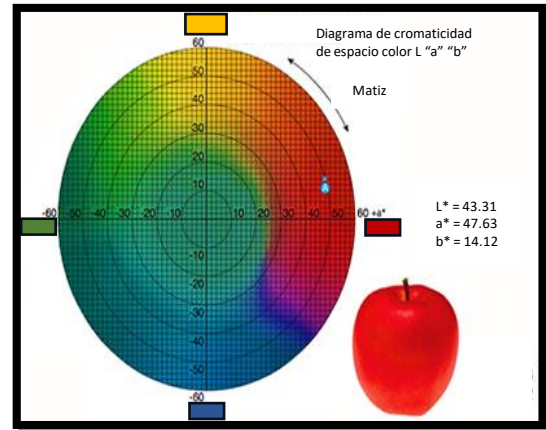


Figura 18: Espectro de colores bidimensional

Fuente: obtenida de (KONICA MINOTAL, 2023)

Donde “L” indica la Luminosidad, “a” y “b” son coordenadas cromáticas, es decir:

L = Luminosidad

a = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Los instrumentos de medición del color, incluidos los espectrofotómetros y los colorímetros, pueden determinar fácilmente estas propiedades del color. Definen el color del objeto en el espacio de color y muestran el valor de cada coordenada L^* , a^* y b^* (KONICA MINOTAL, 2023).

3.3.1.2.2. Determinación espacio de color L, C, h

De acuerdo con (Imagen Digital, 2023), el espacio L, C, h, es otra forma de representar los valores del dispositivo Color Lab, y que consiste en lo siguiente:

Tomando los valores L, a, b, de la cáscara seca, se establece que:

Con L fija, el color se representa con las coordenadas rectangulares “a” y “b”, pero también las podemos ocupar para calcular las coordenadas polares “C (Croma)” y “h (ángulo Hue)”, (Figura 19) (Imagen Digital, 2023), donde:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h = \arctan (b / a)$$

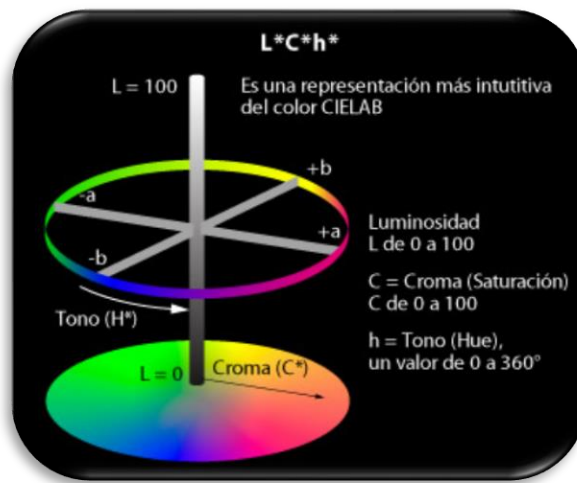


Figura 19: Espacio de colores iluminación, croma y ángulo Hue
Fuente: obtenido de (Imagen Digital, 2023)

Para el análisis de cáscara de naranja tanto fresca como seca, se procedió de la siguiente manera:

- 1.- En un celular se descargó el dispositivo Color Lab.
- 2.- Se tomó una foto de la muestra de cáscara de naranja fresca y en el dispositivo antes mencionado se tomaron las lecturas de Hunter Lab de las coordenadas L, a y b.
- 3.- Con la cáscara de naranja seca, se procedió a tomar una foto de la muestra y se toman las lecturas de las coordenadas L, a y b.
- 4.- Finalmente, se compararon las lecturas tomadas tanto de cáscara fresca como de cáscara seca para marcar el cambio. Los resultados se presentan en el CAPÍTULO IV.

3.3.1.3. Captura de espectros infrarrojos por área de refracción IR-TR (Absorbancia de OH)

3.3.1.3.1. Determinación de área de refracción (IR)

De las muestras pulverizadas se capturo el espectro de infrarrojo de los granulados de harinas secas empleando un equipo Cary 630 FTIR manufacturado por Agilent Technologies (Figuras 20 y 21). El análisis final de los espectros se llevó a cabo en el graficador de la paquetería de Excel 2023 (Figuras 22 y 23).



Figura 20: Refractor Cary 630 FTIR (vista de frente)

Fuente: Fotografía propia, 01/04/2024



Figura 21: Refractor Cary 630 FTIR (vista de aérea)

Fuente: Fotografía propia, 01/04/2024

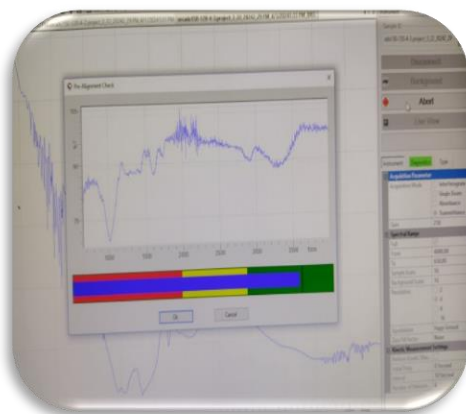


Figura 22: Lectura de datos en software

Fuente: Fotografía propia, 01/04/2024

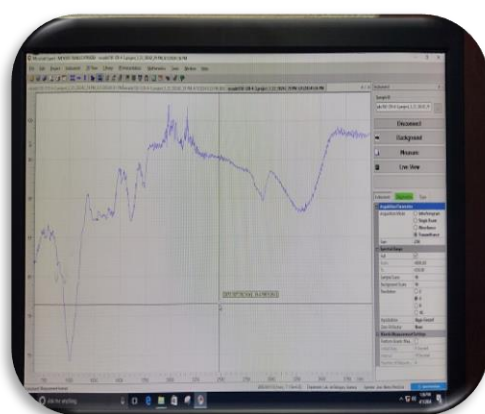


Figura 23: Representación gráfica del software

Fuente: Fotografía propia, 01/04/2024

Los archivos fueron compilados en una carpeta y descargados en formato de texto, para obtener los espectros de absorción. Por cada muestra analizada se generaron 1,798 datos, los cuales se descargaron en una base de datos la cual contenía 32,364 datos por las 18 muestras de polvo de cáscara de naranja, (Figura 24).

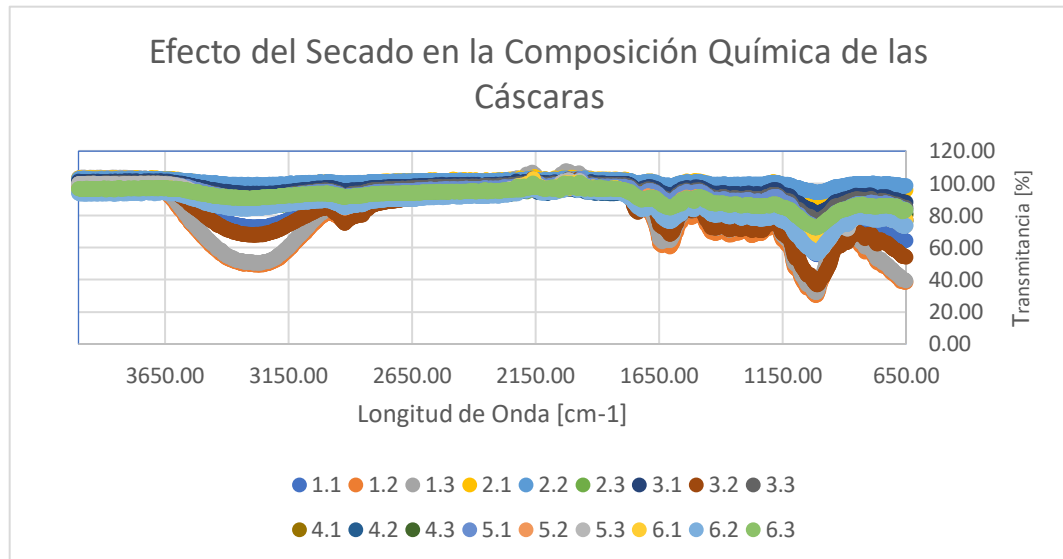


Figura 24: Espectro de infrarrojo

Fuente: Elaboración con datos propios, Realizado en espectrómetro Cary 360

3.3.1.4. Determinación de sólidos solubles

3.3.1.4.1. Determinación con Brixómetro (°Brix)

Los grados Brix (°Brix), nos sirven para determinar la cantidad de sólidos solubles principalmente azúcares disueltos en una solución. Para ello se utilizaron 18 tubos de ensayo tipo Falcon de 15 mL, en cada uno de ellos se adicionó 0.5 g de harina de cáscara de naranja secada procesada en las diferentes temperaturas y tiempos, seguido a ello se agregaron 6 mL de agua destilada, la mezcla se agitó empleando un Vortex, durante 30 segundos, posteriormente los 18 tubos se colocaron en gradillas para llevarse en un baño María a 60 °C durante 30 min, terminada la reacción se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, se tomaron los

grados Brix a cada mezcla utilizando Brixómetro marca Ohaus, el estudio se llevó a cabo por triplicado (Figuras 25, 26, 27, 28, 29 y 30).

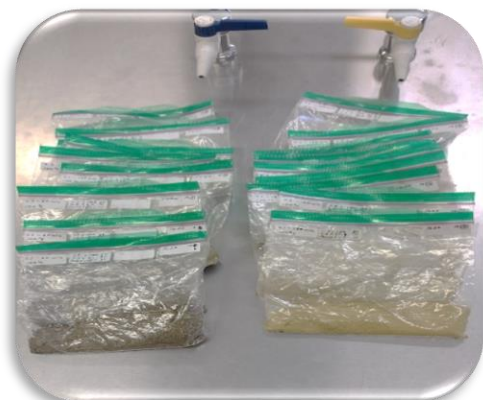


Figura 25: Muestras de harina de cáscara de naranja seca

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024

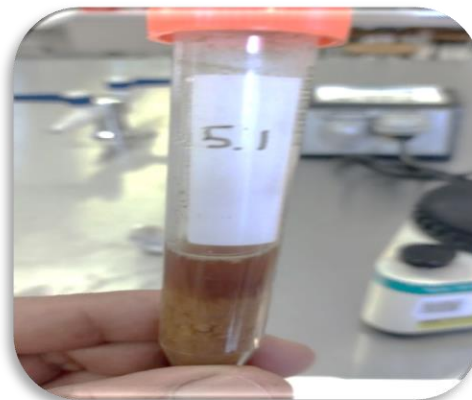


Figura 26: Solución de harina de cáscara de naranja con agua destilada

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024

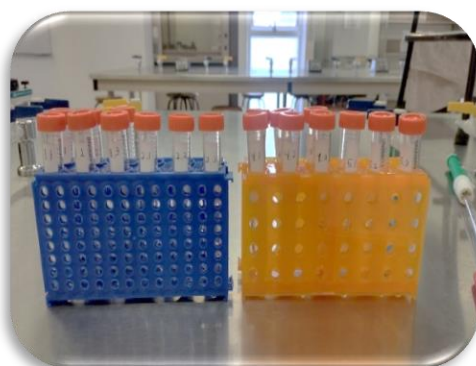


Figura 27: Brixómetro

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024



Figura 28: Agitador eléctrico Vortex

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024



Figura 29: Muestras en baño maría

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024



Figura 30: Brixómetro

Fuente: Fotografía propia, 10/04/2024

Las muestras fueron filtradas, para ser guardadas en refrigeración a -4°C , para análisis posteriores. Los resultados se presentan en el CAPÍTULO IV.

3.3.1.5. Determinación de azúcares reductores

3.3.1.5.1. Técnica de Miller (DNS)

El método DNS es una técnica colorimétrica que se utiliza para cuantificar azúcares reductores en muestras, de acuerdo con (Romero Q. & Angulo B., 2020), el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico) como reactivo, tiene la capacidad de oxidar los azúcares reductores principalmente mono y disacáridos, dando como resultado un complejo colorimétrico que presenta una longitud de onda máxima en 540 nm (Romero Q. & Angulo B., 2020).

Según (Vega P., 2015), los azúcares reductores: son azúcares que tienen la capacidad de reaccionar como reductores con otras moléculas que actúan como oxidantes, tal es el caso de los iones metálicos de plata, cobre y compuestos orgánicos como el ácido 3,5-dinitrosalicílico, al mismo tiempo que el azúcar se oxida formando un ácido carboxílico. Como fundamento podemos mencionar de manera general que este procedimiento se centra en una reacción redox que se lleva a cabo en medio alcalino, en presencia del DNS y los azúcares reductores presentes en una muestra (Figura 31) (Vega P., 2015).

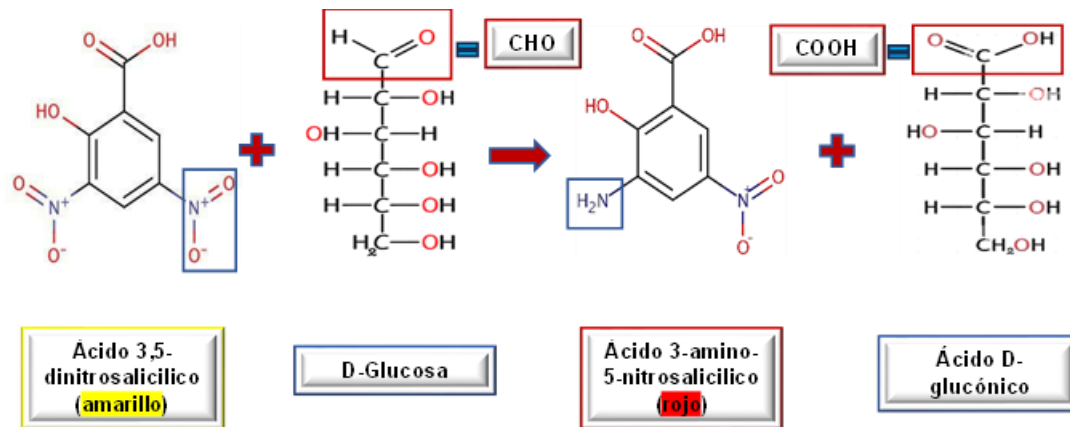


Figura 31: Reacción REDOX entre ácido 3,5 dinitrosalicílico y azúcares reductores de la muestra
Fuente: adaptado de (Vega P., 2015)

De manera más específica, uno de los grupos nitro N_2O del ácido 3,5 dinitrosalicílico se torna de color amarillo en la solución, posteriormente en el proceso reacciona y se reduce a grupo amino NH_2 , por lo que en solución tendremos ácido 3-amino-5-nitrosalicílico tornándose la solución a color rojo, de igual manera el grupo de azúcar reductor (alcohol o cetona), se oxida formando un ácido carboxílico COOH (Vega P., 2015).

La (Figura 32), muestra el diagrama del procedimiento del método Miller (DNS) para determinar azúcares reductores.

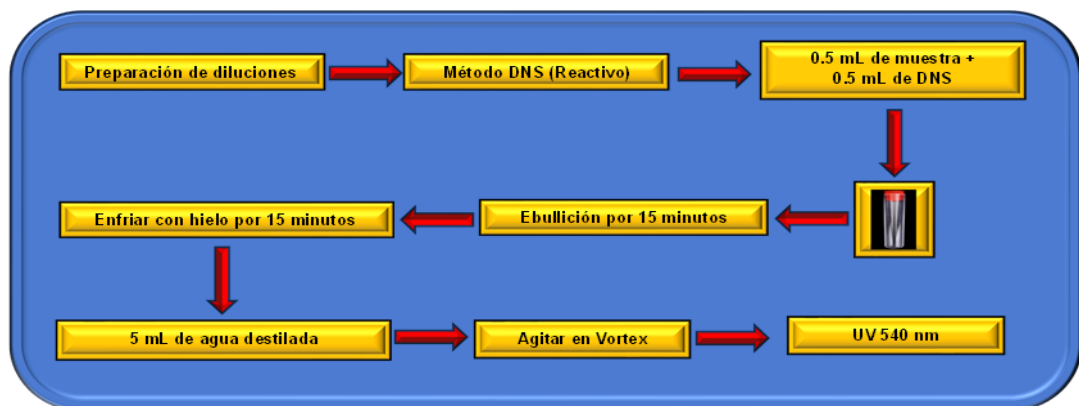


Figura 32: Diagrama de proceso del método de Miller o DNS para la obtención de azúcares reductores
Fuente: adaptado de (Aguirre F., et. al, 2017)

Las muestras que se ocuparon para el análisis de los grados Brix, se ocuparon para el análisis por el método de Miller (1959).

3.3.1.5.2. Preparación del Reactivo DNS

1.- En un vaso de precipitados de 200 mL, se agregaron 160 mL de agua destilada, con ayuda de una barra magnética de 5 cm, y un agitador magnético, se puso la solución en movimiento, a la cual se le agregó lentamente 3.2 g de hidróxido de sodio (NaOH) hasta su disolución, posteriormente se le agregaron también lentamente 60 g de tartrato de potasio y sodio ($C_4H_4Na_2O_6$) al 99% hasta su disolución, finalmente fue agregado lentamente 2 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), tornándose la disolución de color naranja.

2.- Se llevó la solución a 200 mL, el vaso de precipitados fue cubierto con papel aluminio evitando el contacto con la luz, y se dejó en agitación por 12 horas, (Figuras 33 y 34).



Figura 33: Reactivo DNS en agitación

Fuente: Fotografía propia, 16/04/2024

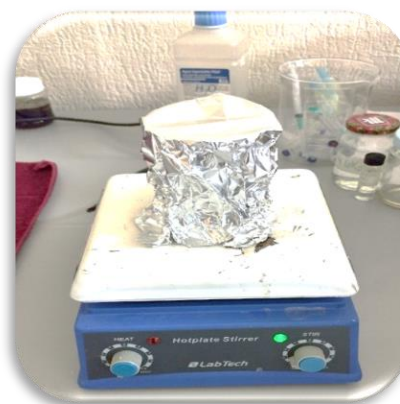


Figura 34: Reactivo DNS en agitación por 12 horas

Fuente: Fotografía propia, 16/04/2024

3.- Posteriormente la solución fue retirada, filtrada, envasada en un frasco color ámbar y puesta en refrigeración para su posterior uso.

Para utilizar el método de Miller, es necesario adaptarlo según las condiciones del laboratorio.

3.3.1.5.3. Curva patrón de calibración de glucosa

Se elaboró una curva de calibración de glucosa a fin de tener un parámetro de referencia para obtener el resultado de equivalentes de glucosa.

3.3.1.5.3.1. Preparación de la solución básica

1.- En un vaso de precipitados de 200 mL, fueron agregados 80 mL de agua destilada, y se puso en agitación magnética.

2.- Se pesaron 10 g de glucosa, la cual se fue vertiendo poco a poco al vaso de precipitados (evitando que se formaran grumos de glucosa), hasta su disolución y homogenización (Figura 35).



Figura 35: Disolución de glucosa al 10%

Fuente: Fotografía propia, 22/04/2024

3.- La solución fue vertida en un matraz aforado de 100 mL, se le agregó agua destilada hasta llegar a la marca de aforo, con lo cual se obtuvo una solución al 10 % de concentración de glucosa (Figura 36).



Figura 36: Aforo de solución de glucosa en 100 mL de agua destilada

Fuente: Fotografía propia, 22/04/2024

3.3.1.5.3.2. Preparación de muestras de glucosa, de acuerdo a su concentración

Cabe mencionar que las siguientes concentraciones se embazaron en frascos de 4 mL de capacidad.

Solución A = 10%

De la solución A se obtuvieron las siguientes soluciones (Tabla 2); que fueron vertidas en tubos de ensayo de 15 mL (Tabla 3).

Tabla 2: Soluciones para las disoluciones de glucosa

Solución	% de concentración de glucosa	Cantidad de solución + cantidad de agua destilada	Aforo a 10 mL
B	1	1 mL de Sol _A + 9 mL de agua destilada	10 mL Sol _B
C	5	5 mL de Sol _A + 5 mL de agua destilada	10 mL Sol _C
D	0.5	1 mL de Sol _C + 9 mL de agua destilada	10 mL Sol _D
E	0.25	1 mL de Sol _D + 9 mL de agua destilada	10 mL Sol _E

Fuente: Elaborada con datos propios

Con las muestras de la Tabla 2, se hicieron las concentraciones de las muestras que se observan en la Tabla 3, que fueron las que se analizaron en el espectrofotómetro. De la Tabla 3 se obtienen las muestras que se presentan en la Figura 37.

Tabla 3: Muestras para análisis en espectrofotómetro

Solución	% de concentración de glucosa	Relación que se ocupó para la concentración de glucosa	Aforo a 4 mL
F	1.25	(1/4) (4) mL de Sol _C + 3 mL de agua destilada	4 mL Sol _F
G	1	(1/10) (4) mL de Sol _A + 3.6 mL de agua destilada	4 mL Sol _G
H	0.25	(1/2) (4) mL de Sol _D + 2 mL de agua destilada	4 mL Sol _H
I	0.125	(1/2) (4) mL de Sol _E + 2 mL de agua destilada	4 mL Sol _I
J	0.1	(1/5) (4) mL de Sol _D + 3.2 mL de agua destilada	4 mL Sol _J

Fuente: Elaborada con datos propios



*Figura 37: Dilución de muestras a diferentes concentraciones
Fuente: Fotografía propia, 26/04/2024*

3.3.1.5.3.3. Procedimiento para la preparación de muestra blanco a diferentes concentraciones

Muestra blanco: Estas muestras se prepararon para calibrar el espectrofotómetro, con la finalidad que a partir de esta lectura (que dio cero), se llevó a cabo la lectura de las muestras con diferentes concentraciones de glucosa.

- 1.- En una gradilla para baño maría, fueron colocados 12 tubos de ensayo de 10 mL, los primeros 3 fueron para las muestras blanco y los restantes para las soluciones con diferentes concentraciones de glucosa, antes preparadas.
- 2.- La gradilla fue cubierta con papel aluminio para evitar lo más posible el contacto con la luz, ya que el DNS reacciona en presencia de ella.
- 3.- A los 3 tubos de muestras blanco, con ayuda de una micropipeta, se vertieron 0.5 mL de agua destilada, y posteriormente 0.5 mL de reactivo DNS.
- 4.- De la misma manera se procedió por triplicado a llenar los demás tubos, es decir, se vertieron 0.5 mL de muestra de concentración de glucosa y 0.5 mL de reactivo DNS ocupando 3 muestras de diferentes concentraciones, (Figura 38).



Figura 38: Gradilla con muestras blancas y de diferentes concentraciones

Fuente: Fotografía propia, 29/04/2024

5.- Dicha gradilla con los 12 tubos preparados se pusieron dentro de un baño maría a 90 °C durante 15 min, para posteriormente someterlas a enfriamiento en una tina con hielo por 15 min.

6.- Se le agregaron 5 mL de agua destilada a cada muestra.

7.- Cada tubo se sometió a agitación en un Vortex para homogenizar la solución, y se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 20 min.

8.- En otra gradilla se prepararon las 2 concentraciones restantes, repitiendo el mismo procedimiento descrito en los pasos del 1 al 6.

Nota: al agregar el reactivo DNS, todas las muestras se tornaron de color rojizo.

3.3.1.5.3.4. Lectura en espectrofotómetro

Dentro del espectrofotómetro marca THERMO, modelo GENEYS 10 vis, existe una cámara donde se encuentra un carrusel para celdas de lectura, cada espacio está

marcado empezando con la letra “B” que indica que ahí va la muestra blanco, y posteriormente con números 1, 2, 3, 4 y 5.

Dichos espacios contienen dos caras con un hueco paralelos a la misma altura y del mismo diámetro, por donde pasa la luz UV/Visible (previa calibración de longitud de onda a 540 nm), atravesando la solución contenida en la celda y emitiendo una lectura de absorción.

En el teclado del espectrofotómetro, se puede seleccionar el número de celda que se desea analizar (Figura 39).



Figura 39: Espectrofotómetro, marca Thermo, modelo Geneys 10vis

Fuente: Fotografía propia, 29/04/2024

3.3.1.5.3.5. Proceso para lectura de absorción

1.- En una celda de plástico (Cuba), con una micropipeta, se vertió 1 mL de muestra blanco, y se introdujo en el espacio marcado con la letra “B” dentro del espectrofotómetro.

2.- De igual manera, se procedió con las diferentes muestras de concentraciones de glucosa, (Figura 40).

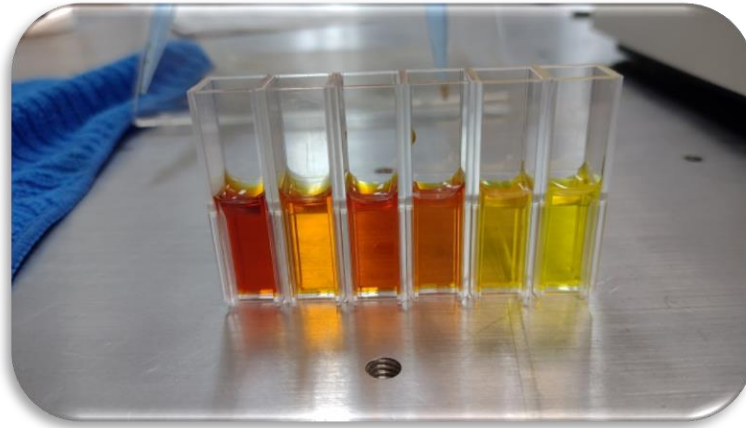


Figura 40: Diferentes concentraciones de solución en celdas de lectura

Fuente: Fotografía propia, 29/04/2024

3.- Las lecturas se tomaron por triplicado. Los resultados se muestran en el CAPÍTULO IV.

3.3.1.5.3.6. Preparación de las muestras de solución de cáscara de naranja seca, para lectura en espectrofotómetro

1.- Las 18 muestras ocupadas en el análisis de los grados Brix, fueron utilizadas para el análisis de azúcares reductores.

2.- Se repitió el “Procedimiento para la preparar de muestras blanco y de diferentes concentraciones” pasos del 1 al 7, solo que, en lugar de muestras de glucosa, se aprovecharon las muestras de solución de cáscara de naranja que quedaron del análisis para obtener los grados Brix.

3.- Se repitió el “Proceso para lectura de absorción”, pasos del 1 al 3.

Nota: Solo que, en este caso en lugar de usar las muestras de concentraciones de glucosa, se usaron las muestras de los grados Brix, y se calcularon sus concentraciones respectivas.

4.- Se obtuvo la absorbancia de cada muestra, no así, la concentración.

5.- Para calcular la concentración de cada muestra se procedió a utilizar la pendiente de la ecuación de la curva de glucosa ($Y=1.4338X$), con esta pendiente se procedió a calcular la concentración de las muestras provenientes del análisis de los grados Brix, es decir:

$$X=Y/1.4338$$

Donde:

X = Concentración

Y = Absorbancia

m = pendiente = 1.4338

Los resultados se presentan en el CAPÍTULO IV.

3.3.1.5.3.7. Determinación de la ANOVA

De acuerdo con (Boqué & Maroto, 2004), el análisis de varianza (ANOVA) es una poderosa herramienta estadística que resulta muy útil en la industria de gestión de operaciones y en el laboratorio analítico para examinar métodos analíticos. Existen muchos modelos de aplicación, que se pueden dividir en dos categorías según el propósito que persiguen: comparar múltiples columnas de datos y estimar diferentes etapas del proceso (Boqué & Maroto, 2004).

Si estuviésemos desarrollando un nuevo método colorimétrico y necesitáramos investigar la influencia de distintos factores independientes en la absorbancia, tales como la concentración de reactivo A y la temperatura a la que tiene de la reacción, entonces hablaríamos de un ANOVA de dos factores (Boqué & Maroto, 2004). Los resultados de la aplicación de este método se verán en el CAPÍTULO IV.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de parámetros físicos

4.1.1. Resultados de pérdida de peso durante el proceso de secado

Primer ensayo de secado: lote 1 de cáscara de naranja, descrito en el CAPÍTULO III, apartado 3.2.1.1, se llevó a cabo a una temperatura de 100 °C durante un tiempo de 60 y 120 min, al finalizar la prueba se pesaron las muestras de cáscara procesada obteniendo lo que se describe a continuación: en las muestras marcadas con los números 1.1, 1.2 y 1.3 que estuvieron durante 60 min, se observó una pérdida de peso promedio de 33.67 ± 3.5 g, mientras que en las muestras marcadas 1.4, 1.5 y 1.6 que estuvieron durante 120 min, se encontró una pérdida promedio de 47.83 ± 2.4 g de los 100 g marcados como partida para ambas muestras Tabla 4, lo que significa que el tiempo fue un factor importante en la pérdida de humedad al comparar estos tratamientos a la misma temperatura, aunque en este punto no podemos saber si las cáscaras ya están en peso constante.

Cabe mencionar, que a pesar que las características físicas de las muestras no eran las idóneas para el proceso de trituración, estas si se sometieron a su pulverización, teniendo dificultades en el proceso de molienda por el contenido de humedad, hasta llegar a un granulado tipo harina, donde se obtuvieron los siguientes resultados: para las muestras 1.1, 1.2 y 1.3 el peso promedio final derivado de la muestra inicial fue de 57.43 ± 4.1 g (57%), y para las muestras 2.1, 2.2 y 2.3 el peso promedio 50.17 ± 3.0 g (50%), los resultados se muestran en la Tabla 4. Pudiéndose corroborar que se obtuvo una mayor cantidad de masa en las muestras 1.1, 1.2 y 1.3, aunque como se logra elucidar debe contener mayor humedad, este factor puede provocar cambios en el proceso de obtención de azúcares y fermentación, por las reacciones que se dan en el interior de la matriz biológica derivadas del agua libre.

Tabla 4: Peso del lote 1, procesado a 100 °C durante 60 y 120 min.

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Pérdida de peso [g]	Promedio y Desviación estándar, pérdida de peso [g]	Promedio de harina de cáscara seca [g]
1.1	100	60	100	70	30	33.67±3.5	57.43±4.1
1.2	100	60	100	66	34		
1.3	100	60	100	63	37		
2.1	100	120	100	54	46	47.83±2.4	50.17±3.0
2.2	100	120	100	53	47		
2.3	100	120	100	49.5	50.5		

Fuente: Elaborada con datos propios

Segundo ensayo de secado: lote 2 de cáscara de naranja, descrito en el CAPÍTULO III, apartado 3.2.1.1, en esta ocasión el proceso se realizó a 150 °C durante 60 y 120 min, al finalizar la prueba se pesaron las muestras de cáscara procesada obteniendo, en las muestras 3.1, 3.2 y 3.3 que estuvieron durante 60 min, una pérdida de peso promedio de 38.90 ± 4.6 g (39%), mientras que las muestras 4.1, 4.2 y 4.3 que estuvieron durante 120 min, se encontró una pérdida promedio de 52.90 ± 1.2 g (53%), de los 100 g de partida, podemos apreciar un comportamiento similar al observado para la temperatura de 100 °C, mayor tiempo, mayor pérdida de peso, es decir una correlación positiva.

Con las muestras del lote a 150 °C, fue más fácil obtener un granulado tipo harina durante el triturado, debido posiblemente a que las muestras contienen menor humedad como se puede escalar de la pérdida de peso, obteniendo los siguientes resultados: para las muestras 3.1, 3.2 y 3.3 el peso promedio final fue de 51.33 ± 1.2 g, y para las muestras 4.1, 4.2 y 4.3 el peso promedio 46.00 ± 1.0 g de los 100 g de partida, los resultados se muestran en la Tabla 5. En relación con la temperatura anterior de 100 °C las muestras 4.1, 4.2 y 4.3, presentan menor peso que las anteriores por lo cual se obtiene un peso menor final, comparado con los otros tratamientos.

Tabla 5: Peso del lote 2 procesado a 150 °C durante 60 y 120 min.

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Pérdida de peso [g]	Promedio y Desviación estándar, pérdida de peso [g]	Promedio de harina de cáscara seca [g]
3.1	150	60	100	59.8	40.2	38.90±4.6	51.33±1.2
3.2	150	60	100	66.2	33.8		
3.3	150	60	100	57.3	42.7		
4.1	150	120	100	48.2	51.8	52.90±1.2	46.00±1.0
4.2	150	120	100	47.3	52.7		
4.3	150	120	100	45.8	54.2		

Fuente: Elaborada con datos propios

Tercer ensayo de secado: lote 3 de cáscara de naranja, descrito en el CAPÍTULO III, apartado 3.2.1.1, el proceso se realizó a 180 °C durante 60 y 90 min. Es importante mencionar que en un inicio se planteó el experimento a 120 min, sin embargo la muestra comenzó a calcinarse por lo cual se modificó el tiempo a 90 min, al igual que en los tratamientos anteriores al finalizar la prueba se pesaron las muestras obteniendo, los siguientes resultados para las muestras 5.1, 5.2 y 5.3 que estuvieron durante 60 min, una pérdida de peso promedio de 47.17 ± 3.0 g (47%), mientras que las muestras 6.1, 6.2 y 6.3 que estuvieron a 90 min, se encontró una pérdidas promedio de 53.17 ± 4.6 g (53%), como se mencionó anteriormente se tuvo un ensayo fallido a 120 min.

En el proceso de secado las muestras gracias a su pérdida de humedad la molienda se llevó a cabo sin dificultad, debido a que la materia prima era firme y dura, llegando fácilmente a un granulado harinoso en las muestras, obteniendo, para las muestras 5.1, 5.2 y 5.3 un peso promedio final de 51.33 ± 3.1 g, y para las muestras 6.1, 6.2 y 6.3 un peso promedio final de 45.67 ± 4.2 g de los 100 g de partida, los resultados se muestran en la Tabla 6. Como podemos observar el tiempo también fue un factor importante en la perdida de humedad, pero hay que determinar el vire adecuado donde las muestras dejan de perder el agua libre para iniciar a perder el agua ligada.

Tabla 6: Peso del lote 3 procesado a 180 °C durante 60 y 120/90 min.

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Pérdida de peso [g]	Promedio y Desviación estándar, pérdida de peso [g]	Promedio de harina de cáscara seca [g]
5.1	180	60	100	49.7	50.3	47.17±3.0	51.33±3.1
5.2	180	60	100	55.6	44.4		
5.3	180	60	100	53.2	46.8		
6.1	180	120/90	100	47.2	52.8	53.17±4.6	45.67±4.2
6.2	180	120/90	100	50.3	49.7		
6.3	180	120/90	100	41.2	58.8		

Fuente: Elaborada con datos propios

En el (ANEXO 02, Tabla 22), se presenta el concentrado de los tres ensayos de secado.

4.1.2. Resultados del análisis por gravimetría (peso y humedad)

La pérdida de peso durante el proceso de secado de cáscara de naranja, está muy relacionado con la pérdida de humedad. La pérdida de peso está dada generalmente en g finales por g de materia procesada, mientras que la pérdida de humedad se estila presentarla generalmente en %, este último se calculó como se describe en el CAPÍTULO III, apartado 3.3.1.1.

Estos resultados nos indican que el tiempo es un factor importante al igual que la temperatura, por están razón es necesario definir en qué punto se inicia a perder el agua ligada, nuestros resultados pueden predecir de manera descriptiva que la mayor pérdida de peso se dio a 180 °C y 90 min, en las condiciones de procesamiento establecidas anteriormente. Siendo necesario observar las características fisiológicas del material después del secado, se realizó el análisis de color con el objetivo de que el cambio de color nos representa un mayor cambio fisiológico en la matriz de estudio. En el ANEXO 02, Tabla 22, se muestra el análisis

estadístico del proceso donde encontramos que no existen diferencias significativas en las pérdidas de pesos mayores que fueron secados a los 150 °C por 120 min y 180 °C por 90 min.

La Tabla 7, muestra los resultados obtenidos de pérdidas de peso y de humedad, de los tres ensayos.

Tabla 7: Resultados por gravimetría (peso y humedad)

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Promedio de Cáscara Seca en [g]	Pérdida de peso [g]	% de Agua Pérdida	Promedio de pérdida de peso [g]	Peso de harina de cáscara seca [g]
1.1	100	60	100	70	66.33±3.5	30	30	33.67±3.5	55.5
1.2	100	60	100	66		34	34		54.7
1.3	100	60	100	63		37	37		62.1
2.1	100	120	100	54	52.17±2.4	46	46	47.83±2.4	50.5
2.2	100	120	100	53		47	47		53
2.3	100	120	100	49.5		50.5	50.5		47
3.1	150	60	100	59.8	61.10±4.6	40.2	40.2	38.90±4.6	52
3.2	150	60	100	66.2		33.8	33.8		50
3.3	150	60	100	57.3		42.7	42.7		52
4.1	150	120	100	48.2	47.10±1.2	51.8	51.8	52.90±1.2	47
4.2	150	120	100	47.3		52.7	52.7		46
4.3	150	120	100	45.8		54.2	54.2		45
5.1	180	60	100	49.7	52.83±3.0	50.3	50.3	47.17±3.0	48
5.2	180	60	100	55.6		44.4	44.4		54
5.3	180	60	100	53.2		46.8	46.8		52
6.1	180	120/90	100	47.2	46.23±4.6	52.8	52.8	53.17±4.6	47
6.2	180	120/90	100	50.3		49.7	49.7		49
6.3	180	120/90	100	41.2		58.8	58.8		41

Fuente: Elaborada con datos propios

4.1.3. Resultados del análisis realizado por aplicación Color Lab

Las características físicas que presentó la cáscara de naranja después del proceso de secado fueron las siguientes:

Las muestras a 60 y 120 min, correspondientes al lote 1, la coloración fue naranja, pero con una ligera tendencia cromática a café como se muestran en el análisis del ángulo Hue, derivado de las coordenadas L, a, b (Figura 41, Tabla 8), se observaron

cambios en la dureza de las muestras, pero no fueron determinadas cuantitativamente.





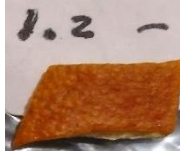




Figura 41: Secado de cáscara a 100 °C durante 120 min

Fuente: Fotografía propia, 14/03/2024

Una vez seca la cáscara se tomó fotografía de un trozo de ella seleccionada al azar, a fin de analizar posteriormente la cromaticidad mediante la aplicación Color Lab (L, a, b), para su posterior estudio y comparación.

Se analizaron las dos formas de apreciación tanto espacio L, a, b, como espacio L, C, h, como se detalla en el CAPÍTULO III, apartado 3.3.1.2, los resultados se muestran en las Tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 100 °C

Muestra	Cáscara Fresca	Color Lab	Cáscara Seca	Color Lab Hunter Lab	Croma	Ángulo Hue
					C=Saturación $C=(a^2+b^2)^{1/2}$	"h = Tono" $h=\arctan(b/a)$
1.1		L = 64.11		L = 40.86	31.76	51.69
		a = 11.78		a = 19.69		
		b = 39.71		b = 24.92		
1.2		L = 61.26		L = 30.85	33.10	36.03
		a = 23.76		a = 26.77		
		b = 38.08		b = 19.47		
1.3		L = 58.26		L = 46.28	27.95	68.75
		a = 17.28		a = 10.24		
		b = 34.42		b = 26.01		
2.1		L = 56.25		L = 49.31	27.45	68.75
		a = 06.83		a = 09.95		
		b = 32.94		b = 25.58		
2.2		L = 65.37		L = 33.25	23.77	54.19
		a = 07.57		a = 13.91		
		b = 40.28		b = 19.28		
2.3		L = 61.29		L = 40.30	29.36	54.64
		a = 17.56		a = 16.99		
		b = 37.48		b = 23.94		

Fuente: Elaborada con datos propios











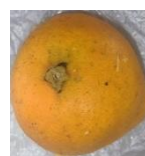

Para las muestras correspondientes al lote 2 (3.1, 3.2 y 3.3, 4.1, 4.2 y 4.3), se hizo el mismo procedimiento que para las muestras anteriores, con la diferencia que el secado en horno de convección se mantuvo a 150 °C. Las características físicas que presentó la cáscara de naranja después del proceso de secado fueron las siguientes. En cuanto al color, la cromática se tornó entre naranja y café (Figura 42, Tabla 9), mientras que en la consistencia se observaron cambios en firmeza a 120 min, sin embargo, no se determinó el cambio de manera cuantitativa.



Figura 42: Secado de cáscara a 150 °C durante 120 min

Fuente: Fotografía propia, 14/03/2024

Tabla 9: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 150 °C

Muestra	Cáscara Fresca	Color Lab Hunter Lab	Cáscara Seca	Color Lab Hunter Lab	Croma	Ángulo Hue
					C=Saturación $C=(a^2+b^2)^{1/2}$	"h = Tono" $h=\arctan(b/a)$
3.1		L = 64.18		L = 47.84	29.66	61.72
		a = 15.63		a = 14.05		
		b = 32.63		b = 26.12		
3.2		L = 55.70		L = 32.29	27.93	39.57
		a = 13.11		a = 21.53		
		b = 32.4		b = 17.79		
3.3		L = 57.44		L = 37.28	23.66	53.84
		a = 6.67		a = 13.96		
		b = 33.35		b = 19.10		
4.1		L = 51.44		L = 43.54	31.34	53.23
		a = -11.34		a = 18.76		
		b = 29.66		b = 25.10		
4.2		L = 52.07		L = 44.82	27.53	64.27
		a = 17.10		a = 11.95		
		b = 29.89		b = 24.80		
4.3		L = 59.03		L = 42.76	23.72	63.16
		a = 11.85		a = 10.71		
		b = 34.66		b = 21.17		

Fuente: Elaborada con datos propios

Finalmente, para el tercer lote de secado a 180 °C (muestras 5.1, 5.2 y 5.3, 6.1, 6.2 y 6.3), se empleó el mismo procedimiento que en los lotes anteriores.

Encontrando que las características físicas que presentó la cáscara de naranja después del proceso de secado fueron las siguientes: en relación a la coloración para 60 min, las muestras cromáticamente se tornaron de color café (Figura 43, Tabla 10), y para las muestras que se habían programado para 120 min, es decir la 6.1, 6.2 y 6.3, se tuvieron que retirar del horno antes del tiempo, ya que, a los 90 min, se comenzaron a quemar (Figura 44), en relación a la consistencia tanto las muestras a 60 como las de 90 min, se sentían firmes y duras al tacto, sin determinar el cambio de manera cuantitativa.



Figura 43: Secado de cáscara a 180 °C durante 60 min




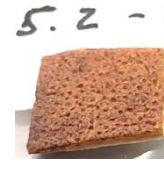

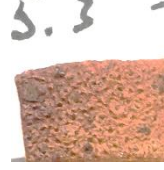

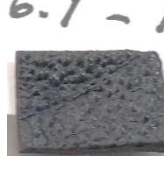


Fuente: Fotografía propia, 19/03/2024



Figura 44: Secado de cáscara a 180 °C durante 90 min

Fuente: Fotografía propia, 19/03/2024

Tabla 10: Apreciación cromática en Color Lab, de cáscara fresca y cáscara seca a 180 °C

Muestra	Cáscara Fresca	Color Lab Hunter Lab	Cáscara Seca	Color Lab Hunter Lab	Croma	Ángulo Hue
					C=Saturación $C=(a^2+b^2)^{1/2}$	"h = Tono" $h=\arctan(b/a)$
5.1		L = 50.02		L = 25.32	10.61	47.64
		a = 14.48		a = 07.15		
		b = 28.59		b = 07.84		
5.2		L = 62.62		L = 31.52	19.44	45.10
		a = 14.39		a = 13.72		
		b = 33.66		b = 13.77		
5.3		L = 46.44		L = 34.81	21.72	51.92
		a = 9.27		a = 13.40		
		b = 27.53		b = 17.10		
6.1		L = 58.27		L = 14.65	1.60	-4.67
		a = 10.47		a = -01.59		
		b = 36.09		b = 00.13		
6.2		L = 55.05		L = 14.30	1.11	73.84
		a = 13.38		a = -00.31		
		b = 34.16		b = -01.07		
6.3		L = 54.41		L = 15.46	1.46	55.01
		a = 12.65		a = -00.84		
		b = 33.75		b = -01.20		

Fuente: Elaborada con datos propios

Así mismo, en el ANEXO 03 y Tabla 23, se observan los resultados cuantitativos de los cálculos referente a la cromática de iluminación, saturación y tono presentes en las muestras, así como sus promedios y desviación estándar.

4.2. Análisis de parámetros químicos

4.2.1. Resultados del análisis de refractometría

La metodología para la preparación de las muestras se describe en el CAPÍTULO III, apartado 3.3.1.4, Los resultados obtenidos del análisis por refractometría fueron tomados por triplicado considerando las temperaturas a 25 y 60 °C durante 30 min antes y después del baño María, como a continuación se detalla: Para el lote 1, las muestras 1.1, 1.2 y 1.3 (secadas a 100 °C por 60 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) a 25 °C, los °Brix promedio fueron de 2.57 ± 0.3 , y para 60 °C 2.77 ± 0.2 , así mismo para las muestras 2.1, 2.2 y 2.3 (secadas a 100 °C por 120 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) los °Brix promedio fueron de 2.17 ± 0.3 y 3.20 ± 0.1 para 25 y 60 °C respectivamente, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Promedio de °Brix obtenidos para lote 1

Muestra	Peso de harina de cáscara seca [g]	Agua destilada [mL]	1° Prueba Experimental °Brix (antes del Baño María a 25 °C)	° Brix Promedio de la Prueba 1	2° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	3° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	° Brix Promedio de las Pruebas 2 y 3
1.1	0.5	6	2.6	2.57±0.3	3.1	2.9	2.77±0.2
1.2	0.5	6	2.8		2.6	2.8	
1.3	0.5	6	2.3		2.8	2.4	
2.1	0.5	6	2.4	2.17±0.3	3.1	3.3	3.20±0.1
2.2	0.5	6	1.8		3.2	3.4	
2.3	0.5	6	2.3		3.2	3	

Nota en amarillo secado a 100 °C por 60 min, en azul secado a 100 °C por 120 min.

Fuente: Elaborada con datos propios

Para el lote 2, las muestras 3.1, 3.2 y 3.3, (secadas a 150 °C por 60 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) los °Brix promedio fueron de 2.73 ± 0.1 , y 3.13 ± 0.0 , así mismo para las muestras 2.1, 2.2 y 2.3 (secadas a 150 °C por 120 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) los °Brix promedio 2.83 ± 0.4 y 3.17 ± 0.2 para 25 y 60 °C respectivamente, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Promedio °Brix obtenidos para lote 2

Muestra	Peso de harina de cáscara seca [g]	Agua destilada [mL]	1° Prueba Experimental ° Brix (antes del Baño María a 25 °C)	° Brix Promedio de la Prueba 1	2° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	3° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	° Brix Promedio de las Pruebas 2 y 3
3.1	0.5	6	2.6	2.73±0.1	3.1	3.1	3.13±0.0
3.2	0.5	6	2.8		3.2	3.1	
3.3	0.5	6	2.8		3	3.3	
4.1	0.5	6	2.8	2.83±0.4	3.2	3.1	3.17±0.2
4.2	0.5	6	2.5		3	3	
4.3	0.5	6	3.2		3.3	3.4	

Nota en amarillo secado a 150 °C por 60 min, en azul secado a 150 °C por 120 min.

Fuente: Elaborada con datos propios

Para el lote 3, las muestras 5.1, 5.2 y 5.3, (secadas a 180 °C por 60 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) los °Brix promedio fueron de 3.10 ± 0.3 , y 3.65 ± 0.2 , y para las muestras 6.1, 6.2 y 6.3 (secadas a 150 °C por 90 min, y triturado hasta obtener granulado harinoso) los °Brix promedio 0.73 ± 0.6 y 1.45 ± 0.2 para 25 y 60 °C respectivamente, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Promedio de °Brix obtenidos para lote 3

Muestra	Peso de harina de cáscara seca [g]	Agua destilada [mL]	1° Prueba Experimental ° Brix (antes del Baño María a 25 °C)	° Brix Promedio de la Prueba 1	2° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	3° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	° Brix Promedio de las Pruebas 2 y 3
5.1	0.5	6	3	3.10±0.3	3.4	3.5	3.65±0.2
5.2	0.5	6	3.4		3.8	3.6	
5.3	0.5	6	2.9		3.7	3.9	
6.1	0.5	6	0.1	0.73±0.6	1.1	1.6	1.45±0.2
6.2	0.5	6	1.3		1.6	1.8	
6.3	0.5	6	0.8		1.3	1.3	

Nota en amarillo secado a 180 °C por 60 min, en azul secado a 180 °C por 90 min.

Fuente: Elaborada con datos propios

El concentrado de °Brix promedio se presenta en el ANEXO 04 y Tabla 24, donde observamos que la mayor cantidad de grados brix se obtuvo en el tratamiento de las muestras 5, lo que indica una mayor cantidad de sólidos solubles asociados a sacarosa, este máximo se puede observar en la gráfica de superficie de respuesta que se muestra en la Figura 45. La diferencia se corrobora con un análisis de comparación de medias mediante t-student (ANOVA) con un alfa 0.05 (ANEXO 05, Figura 49).

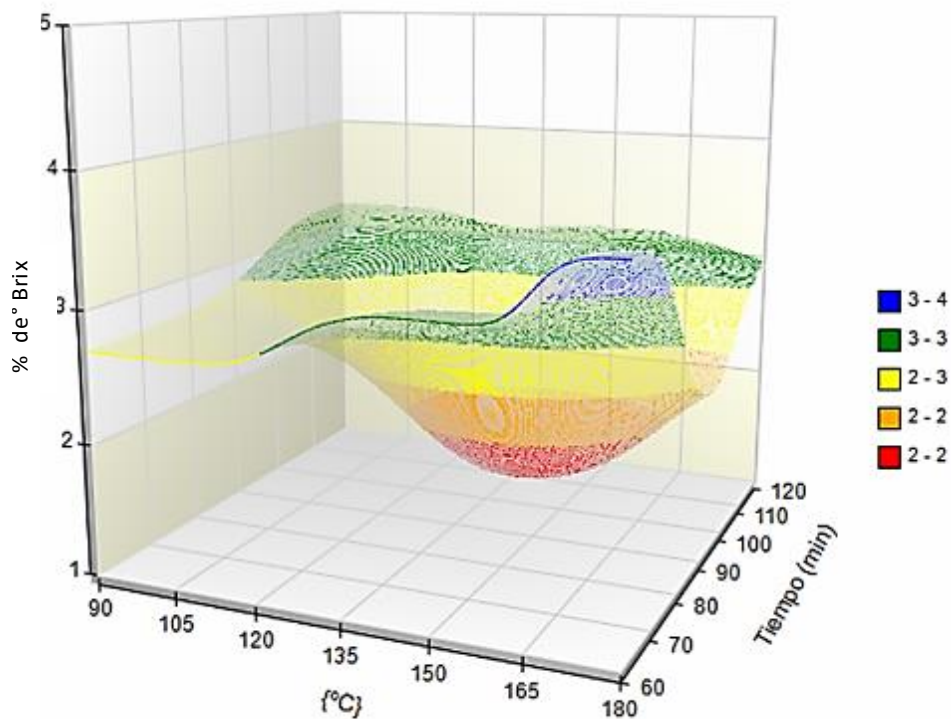


Figura 45: Gráfica de superficie de respuesta de los grados brix eje "Y" con los tratamientos a diferentes temperaturas y tiempos

Fuente: Elaboración con datos propios

4.2.2. Curva patrón de glucosa para la determinación de azúcares reductores

En el CAPÍTULO III, apartado 3.3.1.5, se describe el procedimiento para la preparación de las muestras, las características del espectrofotómetro, con el cual se tomaron las lecturas para el análisis cromatográfico.

Para la curva patrón se prepararon 5 concentraciones diferentes entre 0.1 y 1.25 g de azúcar por 100 mL de agua destilada, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14 y Figura 46, Obteniendo un coeficiente correlación de Pearson r^2 de 0.9913 para la ecuación lineal $Y = (1.4338) X$, la cual se empleó para el cálculo de las concentraciones para los diferentes tratamientos de secado.

Tabla 14: Relación de la concentración en mg/100 y la absorbancia a diferentes concentraciones de glucosa

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA
X	Y
1.25	1.763
1.25	1.768
1.25	1.768
1	1.415
1	1.413
1	1.414
0.25	0.548
0.25	0.553
0.25	0.553
0.125	0.255
0.125	0.258
0.125	0.258
0.100	0.085
0.100	0.086
0.100	0.087

Fuente: Elaborada con datos propios

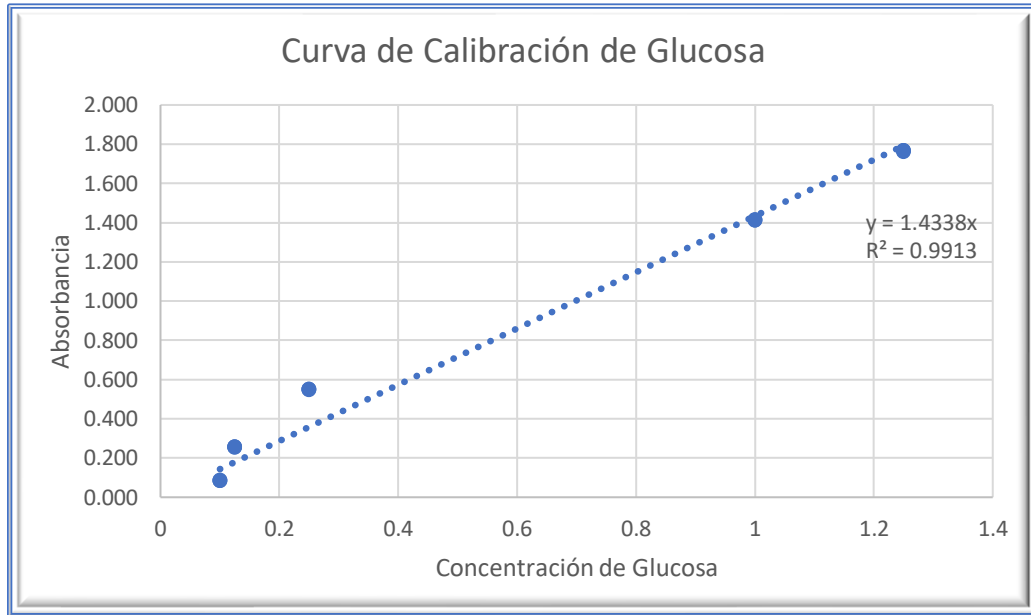


Figura 46: Gráfica de correlación entre la concentración y la absorbancia

Fuente: Elaborada con datos propios

4.3. Efectos de la temperatura y el tiempo en la liberación de azúcares reductores.

4.3.1. Resultados del análisis de azúcares reductores por espectroscopia en muestras de las soluciones de harina de cáscara de naranja procesadas por diferentes condiciones de secado

Empleando la ecuación de la línea recta obtenida anteriormente Figura 46, se obtienen los resultados de azúcares reductores para los diferentes tratamientos (Tabla 15).

Tabla 15: Absorbancia de las diferentes concentraciones de muestras de cáscara de naranja

Muestra	Temperatura	Tiempo	Asorbancia	Concentración	Promedio de concentración por DNS	Concentración de azúcares
	[° C]	[min]	y	x		
3.1	150	60	0.2230	0.16	0.16	0.22
3.1	150	60	0.2230	0.16		
3.1	150	60	0.2210	0.15		
3.2	150	60	0.2770	0.19	0.19	
3.2	150	60	0.2790	0.19		
3.2	150	60	0.2790	0.19		
3.3	150	60	0.4080	0.28	0.30	
3.3	150	60	0.4100	0.29		
3.3	150	60	0.4800	0.33		
4.1	150	120	0.4910	0.34	0.34	0.51
4.1	150	120	0.4930	0.34		
4.1	150	120	0.4920	0.34		
4.2	150	120	0.6410	0.45	0.45	
4.2	150	120	0.6400	0.45		
4.2	150	120	0.6350	0.44		
4.3	150	120	1.0790	0.75	0.75	
4.3	150	120	1.0820	0.75		
4.3	150	120	1.0810	0.75		
5.1	180	60	1.1650	0.81	0.81	0.96
5.1	180	60	1.1690	0.82		
5.1	180	60	1.1680	0.81		
5.2	180	60	1.1910	0.83	0.83	
5.2	180	60	1.1900	0.83		
5.2	180	60	1.1890	0.83		
5.3	180	60	1.7930	1.25	1.25	
5.3	180	60	1.7910	1.25		
5.3	180	60	1.7880	1.25		

Fuente: Elaborada con datos propios

En la Tabla 15, se puede observar que la absorbancia más alta obtenida fue la correspondiente al proceso de secado a una temperatura 180 °C durante un tiempo de 60 min, por tanto, en estos parámetros de tiempo y temperatura se presenta la mayor concentración de liberación de azúcares presentes en los tratamientos. Esto se visualiza de mejor manera si se observa la gráfica de superficie de respuesta obtenida por el programa NCSS 2019, versión 19.0.9.

En la Figura 47 se presenta la gráfica de superficie de respuesta de la Tabla 16 que resumen los datos de la Tabla 15, donde se puede apreciar la absorbancia más alta cuantificada.

Tabla 16: Porcentaje de azúcar calculado para una relación de 0.5 g de cáscara en 6 mL de agua

T [°C], Tiempo (min)	n	$\bar{x} \pm s$
100, 60	3	< 0.1
100, 60	3	< 0.1
100, 60	3	< 0.1
100, 120	3	< 0.1
100, 120	3	< 0.1
100, 120	3	< 0.1
150, 60	3	0.2 ± 0.0008
150, 60	3	0.2 ± 0.0008
150, 60	3	0.3 ± 0.0286
150, 120	3	0.3 ± 0.0007
150, 120	3	0.3 ± 0.0022
150, 120	3	0.4 ± 0.0011
180, 60	3	0.8 ± 0.0015
180, 60	3	0.8 ± 0.007
180, 60	3	1.2 ± 0.0018
180, 90	3	< 0.1
180, 90	3	< 0.1
180, 90	3	< 0.1

Fuente: Elaborada con datos propios

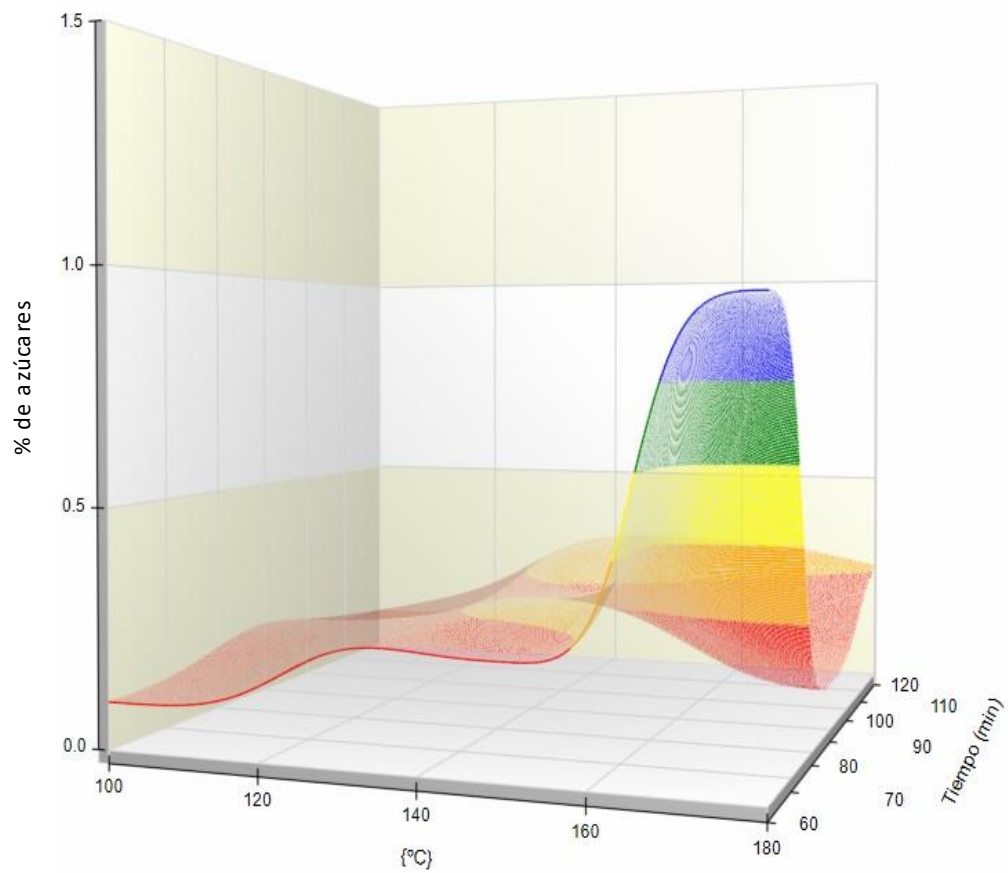


Figura 47: Gráfica de superficie de respuesta entre los azúcares libres eje "Y" los diferentes procesos de secado

Fuente: Elaboración con datos propios

Es importante mencionar que el tratamiento de secado coincide en los máximos observados para las gráficas de superficie de respuesta (Figura 48).

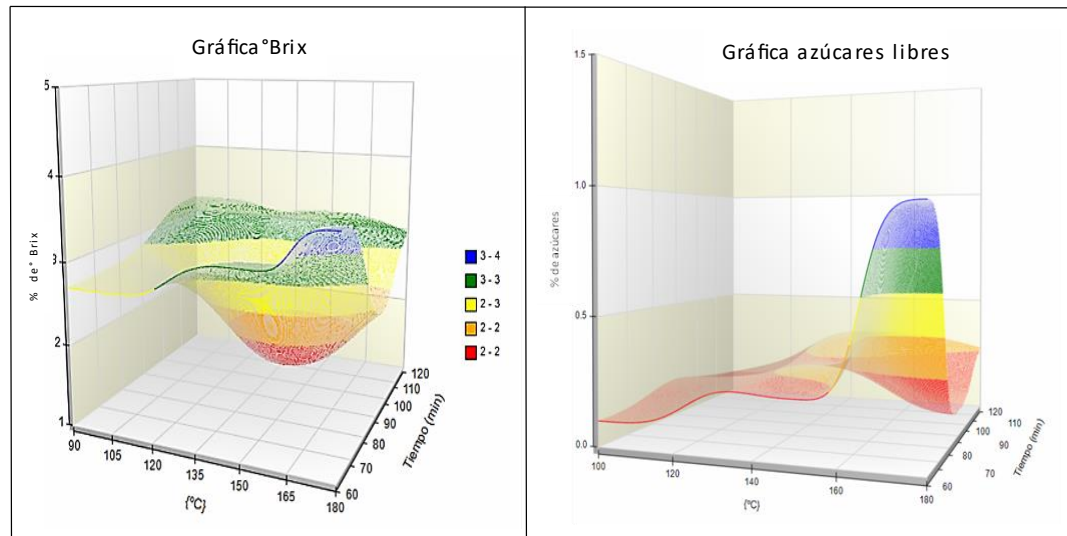


Figura 48: Comparación de los máximos en los procesos de ° Brix y azúcares libres

Fuente: Elaborado con datos propios

4.4. Proyección de la viabilidad financiera

En el balance de viabilidad se emplearon como consideraciones, el etanol teórico producido en la máxima liberación de azúcares libres, Figura 48, y se tomó en cuenta la energía requerida para el proceso

4.4.1. Cálculo Teórico de Bioetanol

Para realizar el cálculo teórico de Bioetanol, se basó en la relación que 1 g de glucosa produce 0.51 mL de etanol (Díaz S., 2024), esto fundamentado en la ecuación de fermentación $C_6H_{12}O_6 = 2(CH_3 - CH_2OH) + 2CO_2$, en la Tabla 17 se muestra los resultados obtenidos, para los datos de producción se emplearon la relación fruto, cáscaras y estadísticas de producción, como se muestra en la nota al pie. Para el cálculo de la producción de energía se empleó el poder calorífico del etanol 1336.8 kilojoules por kilogramo.

Tabla 17: Proyección teórica de azúcar, alcohol y producción de energía

T [°C], tiempo (min)	% azúcar	Toneladas de cáscara fresca	Toneladas de cáscara procesada	Azúcar teórico	Alcohol teórico [Lt/año]	Producción de energía [GJ/año]
100, 60	0.03	873,770	579,600	0.3	1,821.24	41,160.02
100, 120	0.03	873,770	455,816	0.4	1,810.80	40,924.17
150, 60	0.22	873,770	533,873	2.6	13,901.01	314,162.80
150, 120	0.51	873,770	411,545	6.2	25,388.87	573,788.57
180, 60	0.96	873,770	461,642	11.6	53,421.38	1,207,323.16
180, 90	0.01	873,770	403,973	0.1	563.50	12,735.09

Fuente: Elaborada con datos propios

Nota: El detalle del cálculo de etanol teórico se muestra a continuación

Para calcular las toneladas de cáscara fresca, no se tiene un dato preciso de las toneladas de cáscara de naranja generadas por año en México, por lo que, se tomó en cuenta que según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), en 2022 se produjeron 4'922,969 toneladas de naranja en el país y que el 17.75 % es cáscara, con estos datos se procede al cálculo con la siguiente relación.

Donde:

Tcf = Toneladas de cáscaras fresca

Tp = Toneladas de naranja producida

% 17.75 = 0.1775

$$Tcf = Tp * (0.1775)$$

Por lo que obtenemos:

$$Tcf = (4,922,969) * (0.1775) = 873,770 \text{ toneladas/año de cáscara de naranja.}$$

Además de la (Tabla 7) “Resultados por gravimetría (peso y humedad)” se tomaron los datos del peso promedio de cáscara de naranja seca, con ellos se calcularon las toneladas de cáscara procesada.

Para calcular las toneladas de cáscara procesada, se calcularon de la siguiente manera:

$$T_{cp} = (T_{cf} * P_{cs}) / 100$$

Donde:

T_{cp} = Toneladas de cáscara procesada

T_{cf} = Toneladas de cáscara fresca

P_{cs} = Promedio de cáscara seca

Con (Tabla 15) “Absorbancia de las diferentes concentraciones de muestras de cáscara de naranja”, se calculan los promedios de % de azúcares.

Los azúcares teóricos se calculan con la siguiente relación:

$$A_t = (\% \text{ azúcar} * 6 \text{ mL}) / (0.5 \text{ g})$$

Donde:

A_t = Azúcar teórico

% azúcar = Concentración de azúcar

6 mL = de agua destilada

0.5 g = de muestra

El alcohol o bioetanol teórico al año, fue calculado de la siguiente manera:

$$A_{lt} = T_{cp} * A_t$$

Donde:

A_{lt} = Alcohol teórico

T_{cp} = Toneladas de cáscara procesada

A_t = Azúcar teórico

La producción de energía al año se calcula, tomando en cuenta que la literatura comenta que el potencial energético del etanol es de 22.6 [GJ/mL] (Díaz S., 2024), por lo que:

$$Pe = (At) \cdot (22.6)$$

Donde:

Pe = Producción de energía

Alt = Alcohol teórico

4.4.2. Cálculo de consumo eléctrico

Para el calcular el consumo eléctrico, se procedió a elaborar el consumo eléctrico requerido para el secado a diferentes temperaturas y tiempos, utilizando la relación:

$$GE = P \cdot t$$

Donde:

GE = Gasto eléctrico [kWh]

P = Potencia eléctrica [kW]

t = tiempo [h]

El consumo eléctrico por lote de secado oscila entre 1.5 y 3 [kWh], lo cual no representa un consumo excesivo de energía.

En tanto al costo se pueden calcular multiplicando los kWh por la tarifa de consumo que corresponda al tipo de servicio contratado. Como no se contaba con el recibo de CFE de la UACM plantel Centro Histórico, no se pudo calcular el costo real, sin embargo, se efectuó una proyección con una tarifa de recibo eléctrico para casa habitación en el precio de consumo básico, mismo que en el mes de mayo del año 2024, fue de \$ 1.035 MXN por kWh (CFE, 2024), por lo tanto, para el secado a 180 °C por 60 min, el costo se puede calcular con datos obtenidos de la Tabla 18:

$$Co = GE \cdot Ta = 1.5 \cdot 1.035 = \$ 1.55$$

Donde:

Co = Costo [\$]

GE = Gasto eléctrico [kWh]

Ta = tarifa por [\$/kWh]

Tabla 18: Consumo eléctrico del proceso de secado

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Potencia [W]	Potencia en [kW]	Horas de uso	Gasto eléctrico en [kWh]
			P	P/1000	t	P*t
1.1, 1.2, 1.3	100	60	1500	1.5	1	1.5
2.1, 2.2, 2.3	100	120	1500	1.5	2	3
3.1, 3.2, 3.3	150	60	1500	1.5	1	1.5
4.1, 4.2, 4.3	150	120	1500	1.5	2	3
5.1, 5.2, 5.3	180	60	1500	1.5	1	1.5
6.1, 6.2, 6.3	180	90	1500	1.5	1.5	2.25
						12.75

Fuente: Elaborada con datos propios

Como se puede observar en la Tabla 16, es posible calcular el costo para el proceso de secado de cáscara de naranja a 100, 150 y 180 °C por 60, 90 y 120 min, dando como resultado \$ 13.20 pesos, con lo que se observa que secar en horno de convección promete ser rápido, eficiente y económico.

Cabe mencionar que el secado solamente se utilizaría para el lote que presente una mayor eficiencia en la obtención de azúcares libres.

CONCLUSIONES

- 1.- El secado de cáscara de naranja en horno de convección a una temperatura de 180 °C, durante 60 minutos, presentaron la mejor potenciación teórica en la producción de bioetanol, obteniendo más del doble de producto que con cáscara fresca.
- 2.- En comparación con la tesis de la Maestra Zoila Flor Ramírez en 2019, que reporta que con 2 Kg de cáscara fresca obtuvo 20 ml de bioetanol. Teóricamente con la misma cantidad de materia prima procesada, se obtendrían 41 ml de bioetanol.
- 3.- Queda abierta la posibilidad de estudiar otros tipos de biomasa desvalorizada en los cuales se pudiera potencializar los azúcares libres mediante el secado.
- 4.- Es importante destacar que en el presente proyecto de secado en horno de convección y triturado de cáscara de naranja, se encontró que los mejores resultados en la presencia de azúcares libres fueron a los 180 °C por 60 min.

Es urgente e inminente la transición de generación de energías provenientes de recursos renovables. En nuestro país, por desgracia, el tema de los biocombustibles es poco investigado y explotado. Sin embargo, puede llegar a sumar al esfuerzo de amortiguar la dependencia de combustibles fósiles y sus emanaciones de gases que afectan al medio ambiente.

PERSPECTIVAS

Trabajar en conjunto con otros investigadores que promuevan el procesamiento de biomasa desvalorizada para la obtención de bioetanol que sea de baja emisión de contaminantes tanto en la producción como en su combustión, a fin de amortiguar las emisiones de GEI y la dependencia de combustibles fósiles.

Estudiar y proponer un proceso de obtención de bioetanol, a partir de cáscara de naranja seca, donde no se utilicen químicos en su proceso, es decir, que sea lo más natural posible, esto con la finalidad de reaprovechar a su vez, los residuos sólidos generados durante el proceso de fermentación, por ejemplo, como alimento para lombrices de composta.

Con lo que respecta a los residuos líquidos generados en el proceso de destilación, si es necesario, poder enriquecer con minerales dicho residuo formando un lixiviado que sirva como abono para mejorar las tierras de sembradíos.

Trabajar en el secado de otros tipos de biomasa desvalorizada, por ejemplo, los residuos de agaves de las destiladoras de tequila, o bien los residuos orgánicos generados en la central de abastos.

ANEXOS

ANEXO 01. Parámetros físicos, tablas de resultados de secado a 100, 150 y 180 °C a 60 y 120 min

Tabla 19: Peso de cáscara secada a 100 °C durante 60 y 120 min

Condiciones de secado (100 °C, a 60 y 120 min)			
Muestra	Peso Inicial [g]	Peso Final (60 min) [g]	Peso Final (120 min) [g]
1.1	100	70	
1.2	100	66	
1.3	100	63	
2.1	100		54
2.2	100		53
2.3	100		49.5

Fuente: Elaborada con datos propios

Tabla 20: Peso de cáscara secada a 150 °C durante 60 y 120 min

Condiciones de secado (150 °C, a 60 y 120 min)			
Muestra	Peso Inicial [g]	Peso Final (60 min) [g]	Peso Final (120 min) [g]
3.1	100	59.8	
3.2	100	66.2	
3.3	100	57.3	
4.1	100		48.2
4.2	100		47.3
4.3	100		45.8

Fuente: Elaborada con datos propios

Tabla 21: Peso de cáscara secada a 180 °C durante 60 y 120 min

Condiciones de secado (180 °C, a 60 y 120 min)			
Muestra	Peso Inicial [g]	Peso Final (60 min) [g]	Peso Final (90 min) [g]
5.1	100	49.7	
5.2	100	55.6	
5.3	100	53.2	
6.1	100		47.2
6.2	100		50.3
6.3	100		41.2

Fuente: Elaborada con datos propios

ANEXO 02. Parámetros físicos, tabla de concentrado de pesos de cáscara de naranja fresca y de secada a 100, 150 y 180 °C durante 60, 90 y 120 min

Tabla 22: Concentrado de secado a 100, 150 y 180 °C durante 60, 90 y 120 min

Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Pérdida de peso [g]	Promedio y Desviación estándar, pérdida de peso [g]	Promedio de harina de cáscara seca [g]
1.1	100	60	100	70	30	33.67±3.5	57.43±4.1
1.2	100	60	100	66	34		
1.3	100	60	100	63	37		
2.1	100	120	100	54	46	47.83±2.4	50.17±3.0
2.2	100	120	100	53	47		
2.3	100	120	100	49.5	50.5		
3.1	150	60	100	59.8	40.2	38.90±4.6	51.33±1.2
3.2	150	60	100	66.2	33.8		
3.3	150	60	100	57.3	42.7		
4.1	150	120	100	48.2	51.8	52.90±1.2	46.00±1.0
4.2	150	120	100	47.3	52.7		
4.3	150	120	100	45.8	54.2		
5.1	180	60	100	49.7	50.3	47.17±3.0	51.33±3.1
5.2	180	60	100	55.6	44.4		
5.3	180	60	100	53.2	46.8		
6.1	180	120/90	100	47.2	52.8	53.17±4.6	45.67±4.2
6.2	180	120/90	100	50.3	49.7		
6.3	180	120/90	100	41.2	58.8		

Fuente: Elaborada con datos propios

Se cálculo el promedio y la desviación estándar.

ANEXO 03. Parámetros físicos, concentrado de Iluminación, Cromo y Ángulo Hue, en dispositivo Color Lab

Tabla 23: Resultado de cálculos de Iluminación, Cromo y Ángulo Hue

Análisis en cáscara seca de Color Lab (L, a, b), C = Saturación y h = Tono				
Muestra	Croma "C = Saturación" $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$ [Unidades Lineales]	Ángulo Hue "h = Tono" $h = \arctan(b/a)$ [grados]	Croma "C = Saturación" $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$ [Unidades Lineales]	Ángulo Hue "h = Tono" $h = \arctan(b/a)$ [grados]
1.1	31.76	51.69	30.94±2.7	52.8±16.2
1.2	33.10	36.03		
1.3	27.95	68.51		
2.1	27.45	68.75	26.86±2.8	59.19±8.3
2.2	23.77	54.19		
2.3	29.36	54.64		
3.1	29.66	61.72	27.08±3.1	51.71±11.2
3.2	27.93	39.57		
3.3	23.66	53.84		
4.1	31.34	53.23	27.53±3.8	60.22±6.1
4.2	27.53	64.27		
4.3	23.72	63.16		
5.1	10.61	47.64	17.26±5.9	48.22±3.4
5.2	19.44	45.10		
5.3	21.72	51.92		
6.1	1.60	-4.67	1.39±0.2	41.39±41.0
6.2	1.11	73.84		
6.3	1.46	55.01		

Fuente: Elaborado con datos propios

ANEXO 04. Parámetros químicos, tablas de análisis de glucosa en Brixómetro y curva de calibración de glucosa

Tabla 24: Datos de pruebas realizadas en Brixómetro

Muestra	Peso de harina de cáscara seca [g]	Agua destilada [mL]	1° Prueba Experimental ° Brix (antes del Baño María a 25 °C)	° Brix Promedio de la Prueba 1	2° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	3° Prueba Experimental ° Brix (Con Baño María a 60 °C)	° Brix Promedio de las Pruebas 2 y 3
1.1	0.5	6	2.6	2.57±0.3	3.1	2.9	2.77±0.2
1.2	0.5	6	2.8		2.6	2.8	
1.3	0.5	6	2.3		2.8	2.4	
2.1	0.5	6	2.4	2.17±0.3	3.1	3.3	3.20±0.1
2.2	0.5	6	1.8		3.2	3.4	
2.3	0.5	6	2.3		3.2	3	
3.1	0.5	6	2.6	2.73±0.1	3.1	3.1	3.13±0.0
3.2	0.5	6	2.8		3.2	3.1	
3.3	0.5	6	2.8		3	3.3	
4.1	0.5	6	2.8	2.83±0.4	3.2	3.1	3.17±0.2
4.2	0.5	6	2.5		3	3	
4.3	0.5	6	3.2		3.3	3.4	
5.1	0.5	6	3	3.10±0.3	3.4	3.5	3.65±0.2
5.2	0.5	6	3.4		3.8	3.6	
5.3	0.5	6	2.9		3.7	3.9	
6.1	0.5	6	0.1	0.73±0.6	1.1	1.6	1.45±0.2
6.2	0.5	6	1.3		1.6	1.8	
6.3	0.5	6	0.8		1.3	1.3	

Fuente: Elaborada con datos propios

Como se puede observar en la Tabla 24, la diferencia en los promedios en los °Brix, se debe al tratamiento de las muestras a baño maría a 60 °C durante 30 min, ya que, a esta temperatura y tiempo, se detectó más presencia en las muestras de sólidos solubles (principalmente azúcares).

ANEXO 05. Efecto de la temperatura y tiempo en la liberación de azúcares

ANOVA

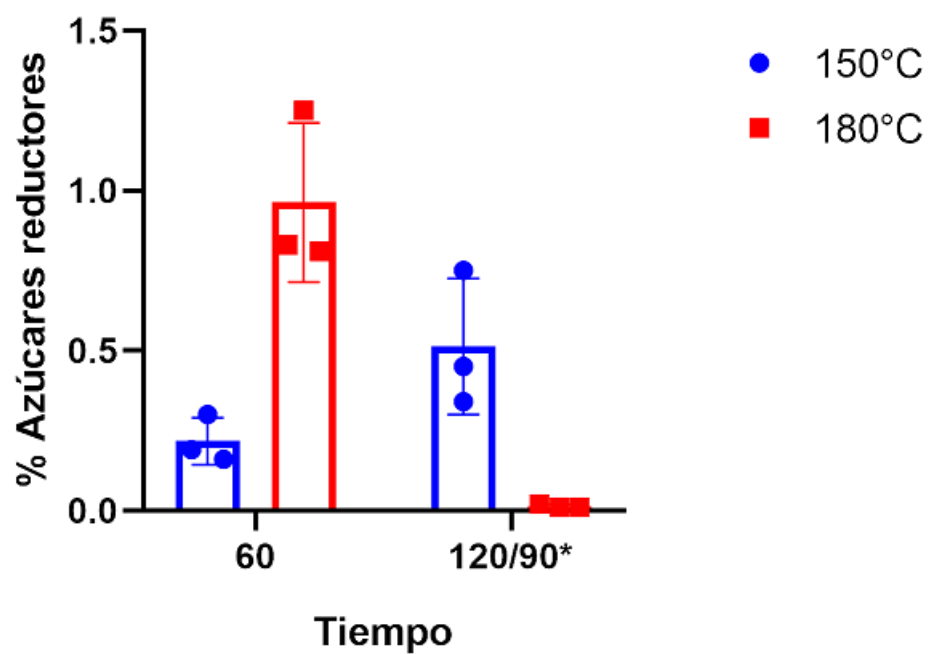


Figura 49: Anova de absorbancia de muestras de harina de cáscaras de naranja

Fuente: Elaborada con datos propios

Referencias

- Aguirre F., F. J., Castillo S., C., Chora Hernández, G., Fuentes Ramírez, S. A., & Salas Carbajal, K. S. (2017). *Curvas de calibración para proteínas y azúcares reductores*. Obtenido de Bioconversiones: <https://bioconversionesequipo3.blogspot.com/2017/02/practica-1-curvas-de-calibracion-para.html>
- Arroyo I., F. (2012). *Imágenes de molinos y artificios hidráulicos en las iconografías urbanas de los siglos XVI y XVII*. Obtenido de Universidad de Granada España: <https://www.redalyc.org/pdf/171/17125450004.pdf>
- Arvizu Montes, C., de la Torre Holahlavsky, L., Monroy Nava, M., Gómez Orozco, M., González Gallegos, J., Guzmán Najar, A., & García Meza, J. (2022). *Guía para evitar el desperdicio de alimentos*. Obtenido de ITESO Universidad Jesuita de Guadalajara: https://portal.zapopan.gob.mx/medioambiente/documentos/guia_evitar_desperdicio_alimentos.pdf
- Badii, M., Guillen, A., & Abreu, J. (2016). *Energías Renovables y Conservación de Energía*. Obtenido de International Journal of Good Conscience: [http://www.spentamexico.org/v11-n1/A12.11\(1\)141-155.pdf](http://www.spentamexico.org/v11-n1/A12.11(1)141-155.pdf)
- Badii, M., Gullen, A., Castillo Martínez, D., García Martínez, M., & Abreu, J. (mayo de 2020). *La Energía, Elemento Central del Desarrollo Sustentable*. Obtenido de International Journal of Good Conscienc: [http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15\(1\)40-51.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15(1)40-51.pdf)
- Barragán L., R. A. (16 de Octubre de 2020). *LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIALEN EL ECUADOR A PARTIR DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES*. Obtenido de UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4023/1/Rommel%20Alexis%20Barrag%C3%A1n%20Llanos.pdf>
- Bernache P., G. (2012). *RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS*. Obtenido de Rev. Int. Contam. Ambie: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a14.pdf>
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). *EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)*. Obtenido de Universidad Rovira: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/112041045/anovacast-libre.pdf?1709464332=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEL_ANALISIS_DE_LA_VARIANZA_ANOVA_1_Comp.pdf&Expires=1723697350&Signature=HfUQgMOOAJHFvEpaBOAu0apNa4aocGMY7tyWiXmj-i6NGDUt3gt
- Borja, M. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Obtenido de Textos Académicos Universitarios: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/113122/IPP-Vel%C3%A1zquez%20-%20Aprovechamiento%20de%20la%20biomasa%20para%20uso%20energ%C3%A9tico.pdf?sequence=2>
- CFE. (mayo de 2024). *Esquema tarifario*. Obtenido de Comisión Federal de Electricidad: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>

- Chardí, L. (2016). *HUELLA DE CARBONO GENERADA POR EL CONSUMO DE FRUTAS Y VERDURAS EN ESPAÑA*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75962/TFM_Laura%20Chard%C3%AD%20Puchalt.pdf?sequence=3
- Chauaca M., S. E., & Ruiz B., Y. A. (2023). *Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (Citrus sinensis) y plátano (Musa paradisiaca L.) del mercado Las Américas, Abancay - Apurímac 2022*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES:
<https://repositorio.utea.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fc434cbe-d9b4-46d0-b128-9f234e1f3119/content>
- Chávez G., M. (2006). *El sol como fundamento curativo de las terapias mayas yucatecas en el período colonial*. Obtenido de Estudios de cultura maya:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/ecm/v28/v28a7.pdf>
- Conopoima M., Y. d. (2023). *La deforestación y su efecto degradante en el medioambiente*. Obtenido de Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias:
file:///C:/Users/52561/Downloads/La_deforestacion_y_su_efecto_degradante_en_el_medioambiente.pdf
- Cortes, W. G. (2014). *Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos*. Obtenido de Revista de Tecnología:
<file:///C:/Users/GENERALES/Desktop/Dialnet-TratamientosAplicablesAMaterialesLignocelulosicosP-6041572.pdf>
- Díaz Sánchez, C. (marzo de 2024). Trabajo recepcional para obtener el título de Maestro en Ingeniería Energética. *Estudio del empleo de diferentes cáscaras de frutas como materia prima para obtención de bioetanol en México*. CDMX, México.
- Doddoll, C. (2021). *El Sol, la estrella más cercana a la Tierra*. Obtenido de Ciencia UNAM:
<https://ciencia.unam.mx/leer/1129/el-sol-la-estrella-mas-cercana-a-la-tierra#:~:text=El%20Sol%2C%20por%20ser%20la%20estrella%20m%C3%A1s%20cercana,%28incluyendo%20al%20ser%20humano%29%20y%20de%20las%20plantas.>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). *Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas*. Obtenido de Información Tecnológica:
<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>
- Gismondi, M. (2018). *Historiar las transiciones: el valor de la teoría histórica para la investigación de las transiciones energéticas*. Obtenido de Procesos: Revista Ecuatoriana de Historia:
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8098/1/09-TR-Gismondi.pdf>
- Grijalva E., A. d., Jimenez H., M. E., & Ponce S., H. X. (octubre de 2020). *Contaminación del agua y aire por agentes químicos*. Obtenido de Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento: <file:///C:/Users/52561/Downloads/883-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1944-1-10-20201020.pdf>
- Imagen Digital. (2023). *El espacio de color L*C*h**. Obtenido de Imagen Digital:
http://www.gusgsm.com/el_espacio_de_color_lch

- KONICA MINOTAL. (2023). *Entendiendo el espacio de color CIE L*a*b**. Obtenido de KONICA MINOTAL: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Marquardt, B. (2009). *La cuestión ecológica de la revolución industrial y la habilidad para el futuro de la civilización industrial*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <file:///C:/Users/52561/Downloads/rpjuridico,+36537-154345-1-CE.pdf>
- Monroy I., L., Zambrano Z., M., Latorre C., G., & Rosero D., E. (JULIO de 2021). *PRODUCCIÓN DE ETANOL CELULÓSICO A PARTIR DE LA CONVERSIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS*. Obtenido de Revista Científica "INGENIAR": <file:///C:/Users/52561/Downloads/47-Texto%20del%20art%C3%ADculo-179-1-10-20211112.pdf>
- Oyarzún G., M. (2022). *COP 27: Un pequeño paso hacia la justicia climática*. Obtenido de Chil Enferm Respir: <https://www.scielo.cl/pdf/rcher/v38n4/0717-7348-rcher-38-04-0216.pdf>
- Pacheco O., J. A., Castro S., A., Sánchez C., A. R., & Solís O., M. M. (2023). *UNA REVISIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOETANOL CON PASTO C4*. Obtenido de IPN: <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol24/pdf/vol-24-5.pdf>
- Palomo P., J., & Fernández U., M. P. (2007). *Los molinos hidráulicos en la Antigüedad*. Obtenido de UNED. Espacio, Tiempo y Forma: file:///C:/Users/52561/Downloads/Los_molinos_hidraulicos_en_la_Antiguedad.pdf
- Pedraza Cervantes, I. F., Barrera Necha, L. L., & Acosta Rodrigues, J. L. (noviembre de 2023). *DISPONIBILIDAD A 10 AÑOS DE MATERIA PRIMA DEL PAISAJE AGRÍCOLA DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN EL NOROESTE DE MÉXICO*. Obtenido de MEMORIAS del DOCTORADO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO PAISAJÍSTICO: <https://www.ipn.mx/assets/files/ceprobi/docs/eventos/memorias-dccpp-2023.pdf#page=52>
- Pérez, A., Rivas, M. I., Caamal, I., & Martínez, D. (2017). *La producción de bioetanol y su impacto en el precio de productos agrícolas en México*. Obtenido de Ecosistemas y Recursos Agropecuarios: <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v4n12/2007-901X-era-4-12-00597.pdf>
- Ramírez, Z. F. (NOVIEMBRE de 2019). TRABAJO RECEPCIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRIA EN FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA. *OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA VARIEDAD VALENCIA CULTIVADA EN RÍO VERDE, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO*.
- Romero Q., J. G., & Angulo B., C. A. (2020). *Extracción de ADN (Método de Miller)*. Obtenido de Universidad Autónoma de Sinaloa: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-sinaloa/genetica-y-biologia-molecular/metodo-miller/9785687>
- Romero S., A. (2010). *APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES*. Obtenido de Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.: <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- SIAP. (13 de septiembre de 2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. Obtenido de SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759456/Naranja_Agosto_2022.pdf

- Toalombo Vargas, V. M., Borja Mayorga, D. f., Feijoo Álvarez, M. P., & Cedillo Espinoza, J. P. (Julio de 2022). *Los biocombustibles como alternativa de energía a partir de recursos renovables y/o desechos*. Obtenido de Polo del Conocimiento:
file:///C:/Users/GENERALES/Desktop/Respaldo%20To%3%B1o/4%C2%B0%20MAESTR%C3%8DA%202024%20I/01%20TESIS%20BIOETANOL/NUEVA%20BIBLIOGRAF%C3%8DA/Taalombo%20-%20Biocombustibles%20%20como%20alternativa%20energetica.pdf
- Torroba, A. (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. Obtenido de Instituto Nacional para la Agricultura (IICA):
file:///C:/Users/GENERALES/Desktop/Respaldo%20To%3%B1o/4%C2%B0%20MAESTR%C3%8DA%202024%20I/01%20TESIS%20BIOETANOL/NUEVA%20BIBLIOGRAF%C3%8DA/produccion%20de%20bioetanol%20en%20el%20mundo.pdf
- Vázquez, O. (2015). *ETANOL LIGNOCELULÓSICO, A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ, POR MEDIO DE HIDRÓLISIS QUÍMICA-ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE VERAZURU:
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41986/VazquezMoralesOscar.pdf;jsessionid=8B1554C0CE0E65999BB1DFDC0A7623E3?sequence=1>
- Vega P., A. (2015). *Método DNS, (Ácido 3,5 Dinitrosalicílico)*. Obtenido de Facultad de Química de la UNAM: <https://repositoriosalud.unam.mx/handle/123456789/612>
- Velasco C., A. P. (2020). *UNA REVISIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULOSA*. Obtenido de UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL VILLAVICENCIO :
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30358/2020angievelasco.pdf?sequence=6>
- Villa Z., M. P., Crespo B., L. A., & Cruz A., J. I. (2021). *Biocombustibles, una alternativa ecológica para el desarrollo sostenible en el Ecuador* . Obtenido de Dilemas Contemporáneos:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/dilemas/v8nspe3/2007-7890-dilemas-8-spe3-00039.pdf>