



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga

Departamento de Ingenierías

PROYECTO DE TITULACIÓN

*[ESTUDIO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ESPECIES ARVENSES DE
TERRENOS DE CULTIVOS LOCALES: CORRELACIÓN DE VARIABLES POR
DISEÑOS ESTADÍSTICOS EXPERIMENTALES EMPLEANDO UNA MALEZA LOCAL]*

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA INDUSTRIAL

PRESENTA:

LIZBETH ARELY OVALLE RUVALCABA

ASESOR:

JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR

Mayo



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero dar gracias a mis padres, Ma. Del Carmen Ruvalcaba Galindo y Rubén Ovalle Rosales, por ser los principales promotores de lograr mis metas, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han llevado a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, también por siempre luchar para sacarnos adelante a pesar de los obstáculos que se presentan a lo largo del camino.

A mi hermana Liliana Guadalupe Ovalle Ruvalcaba por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso.

A mi pareja, Josué Manuel Salazar Pasillas por haberme apoyado a lo largo de mi formación académica profesional, por creer en mí, por nunca dudar de mis capacidades, conocimientos, por su paciencia, por mantenernos equilibrados a pesar de los obstáculos ya que sin su apoyo esto no sería posible.

A mis maestros José Alonso Dena Aguilar y Alejandro Puga Vargas por su apoyo incondicional no solo durante este proyecto sino a lo largo de toda la carrera, quienes con su experiencia, conocimiento y motivación me guiaron en esta investigación.

También agradezco a la comunidad del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por esta gran oportunidad de desarrollo para mí y todos los estudiantes que se encuentran dentro, gracias a todo los docentes y personal administrativo.

Finalmente agradezco a todos y cada uno de mis compañeros y amigos ya que, gracias a ellos, hoy estoy segura de que cada día se aprende algo nuevo.

RESUMEN

“ESTUDIO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ESPECIES ARVENSES DE TERRENOS DE CULTIVOS LOCALES: CORRELACIÓN DE VARIABLES POR DISEÑOS ESTADÍSTICOS EXPERIMENTALES EMPLEANDO UNA MALEZA LOCAL”

Por: **LIZBETH ARELY OVALLE RUVALCABA**

Se analiza la eficacia de una metodología ya definida para la obtención de biodiesel a nivel laboratorio empleando malezas de terrenos de cultivo locales.

Sobre esta temática se han realizado trabajos previos y se ha detectado la necesidad de identificar los factores de riesgo que provocan una variabilidad en los resultados obtenidos.

Por tanto, en este trabajo se replica la metodología de estudio para realizar un análisis estadístico para obtener productos menos sensibles a los factores aleatorios (o ruidos) que hacen que varíen los parámetros que definen su calidad y consecuentemente definir cuáles son los factores de riesgo del proceso.

El análisis de la metodología indica que la edad de la planta, edad y marca del solvente hexano, temperatura ambiente, metodología para añadir los reactivos en el proceso de transesterificación y tiempos de duración por proceso son de injerencia en la calidad de los resultados.

El presente trabajo es producto del proyecto clave 11474.21-P “Estudio de obtención de biodiesel a partir de especies arvenses de terrenos de cultivos locales”.

Dirigido por:

MML. Alejandro Puga Vargas

Dr. José Alonso Dena Aguilar

ÍNDICE

	Pág.
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	1
1.3 Problema(s) a resolver.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Alcances y limitaciones.....	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ACEITES VEGETALES.....	6
2.2 BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES.....	7
2.3 ARREGLOS ORTOGONALES.....	9
2.4 CUADROS LATINOS.....	11
2.5 GRÁFICOS DE CONTROL.....	13
2.6 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO EN EL PROCESO.....	15
III. DESARROLLO	16
3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	16
3.1.1 Obtención de biodiesel.....	16
3.1.2 Análisis estadístico, arreglo Taguchi de estudio y caracterización de materiales.....	20
3.1.3 Factores de riesgo.....	23
3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	24

	Pág.
IV. RESULTADOS	25
4.1 PRUEBAS BIODIÉSEL.....	25
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	36
4.4 FACTORES DE RIESGO.....	42
V. CONCLUSIONES	44
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	45
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN	46
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	48
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de cantidad en ml del solvente con la extracción de la maleza.....	17
Tabla 2. Factores y niveles experimentales empleados en un arreglo L4.....	23
Tabla 3. Cronograma de actividades general.....	24
Tabla 4. Método de análisis.....	34
Tabla 5. Información del factor (Extracción).....	34
Tabla 6. Análisis de varianza	34
Tabla 7. Resumen del modelo.....	34
Tabla 8. Coeficientes.....	35
Tabla 9. Ecuación de regresión lineal.....	35
Tabla 10. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.....	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	3
Figura 2. Aceite vegetal.....	7
Figura 3. Biodiésel.....	8
Figura 4. Propiedades del biodiesel vs diésel del petróleo.....	9
Figura 5. Aceite de palma.....	9
Figura 6. Arreglo ortogonal.....	11
Figura 7. Construcción de cuadros latinos.....	12
Figura 8. Diseño de cuadro latino.....	12
Figura 9. Proceso con la extensión de los límites de tolerancia natural menor que la extensión de los límites de la especificación.	13
Figura 10. Ejemplo de gráfico X-R.....	14
Figura 11. Análisis y gestión de riesgos.....	15
Figura 12. Proceso de extracción soxhlet	16
Figura 13. Producto de extracción soxhlet.....	17
Figura 14. Proceso de destilación simple.....	18

	Pág.
Figura 15. Aceite vegetal, después de 6 hrs de agitación.....	18
Figura 16. Proceso de transesterificación	19
Figura 17. Biodiésel.....	20
Figura 18. Acomodo de arreglo ortogonal en Minitab.....	20
Figura 19. Selección de estadísticos a calcular.....	21
Figura 20. Selección de respuesta y factor.....	21
Figura 21. Nivel de significancia.....	22
Figura 22. Selección de tipo de gráficas.....	22
Figura 23. Lavados de la maleza en el equipo Soxhlet.....	26
Figura 24. Resultado de la extracción en el equipo Soxhlet.....	26
Figura 25. Destilación simple.....	27
Figura 26. Resultado de destilación simple (18 ml, aceite vegetal).....	27
Figura 27. Agitación de aceite vegetal a 100 rpm x 6 hrs.....	28
Figura 28. Aceite vegetal después de agitación.....	28
Figura 29. Proceso de transesterificación.....	29

	Pág.
Figura 30. Separación de biodiesel en embudos de decantación (Corrida #1).....	29
Figura 31. Separación de biodiesel en embudos de decantación (Corrida #2).....	30
Figura 32. Separación de biodiesel en embudos de decantación (Corrida #3).....	30
Figura 33. Separación de biodiesel en embudos de decantación (Corrida #4).....	31
Figura 34. Resultante corrida #1.....	31
Figura 35. Resultante corrida #2.....	32
Figura 36. Biodiésel resultante corrida #3.....	32
Figura 37. Biodiésel resultante corrida #4.....	33
Figura 38. Datos experimentales empleados en el análisis estadístico.....	33
Figura 39. Gráficos de residuos para cantidad ml.....	36
Figura 40. Hexano J.T. Baker.....	36
Figura 41. Hidróxido de sodio al 50%.....	37
Figura 42. Parrilla de agitación magnética LabCompanion.....	38
Figura 43. Matraz de fondo redondo (500 ml).....	38

Figura 44. Matraz de fondo redondo (1000 ml).....	39
	Pág.
Figura 45. Termómetro.....	39
Figura 46. Vasos de precipitado.....	40
Figura 47. Pipeta graduada.....	40
Figura 48. Probeta graduada.....	40
Figura 49. Papel filtro.....	41
Figura 50. Maleza (Aceitilla amarilla chica).....	41

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, desarrollo tecnológico, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere a la obtención de biodiésel a nivel laboratorio empleando malezas de terrenos de cultivo locales y en donde los trabajos previos de [1] y [2] han detectado la necesidad de identificar los factores de riesgo que inciden en los resultados hasta ahora logrados.

El presente trabajo es producto del proyecto clave 11474.21-P “Estudio de obtención de biodiesel a partir de especies arvenses de terrenos de cultivos locales”.

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista,

a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

Objetivos de la empresa

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.

- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño y construcción de un colector solar cilíndrico parabólico y su caracterización térmica.

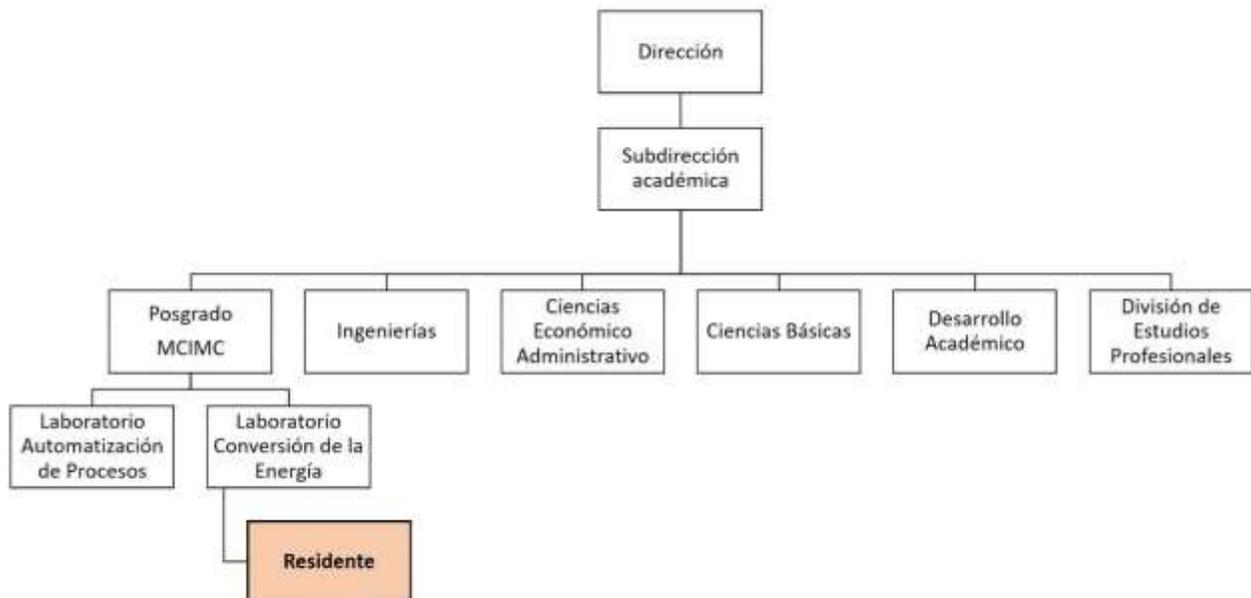


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

En los trabajos previos de [1] y [2] se describen la metodología de extracción y transesterificación de aceite vegetal de malezas para obtener biodiésel. Sin embargo, diversos trabajos posteriores no han podido ser replicados con el mismo éxito.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Control de calidad de la metodología experimental propuesta:
 - Análisis de los factores aleatorios (o ruidos) de la metodología experimental de estudio.
 - Llevar a cabo pruebas experimentales de producción de biodiésel con la metodología de estudio.
 - Cuantificar cada parte del proceso para identificar los factores de riesgo del proceso.

1.4 Justificación

Lo factores operativos que fueron empleados en [1] y [2] son: la cantidad y calidad de la maleza (edad), la marca de los reactivos, tiempos de destilación, volúmenes de extracciones, tipo de solvente, entre otros.

Sin embargo, no se tiene ningún dato estadístico que permita establecer una relación entre los factores antes mencionados y los resultados obtenidos en trabajos posteriores a [1] y [2].

Razón por la cual, el alcance del proyecto es analizar los factores aleatorios (o ruidos) que existen en la metodología de estudio.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar una metodología experimental preestablecida para conocer la correlación de variables y viabilidad para la obtención de biodiesel a nivel laboratorio a partir de un y un análisis estadístico.

1.5.2 Objetivos específicos

- Enunciar el estado del arte de los métodos usados en la producción de biodiésel mediante una revisión bibliográfica exhaustiva para analizar un diseño experimental preestablecido.
- Analizar una metodología experimental preestablecida para realizar un análisis estadístico obtener productos menos sensibles a los factores aleatorios (o ruidos) que hacen que varíen los parámetros que definen su calidad.
- Llevar a cabo pruebas experimentales de producción de biodiésel a nivel laboratorio mediante la ejecución del diseño experimental y análisis estadísticos preestablecidos para cuantificar cada actividad del proceso propuesto
- Elaborar gráficos de control para contar con un seguimiento estadístico del control de calidad del proceso a nivel laboratorio y analizar dichas variables y determinar la forma en que se relacionan o que tan dependientes son una de la otra.

1.6 Alcances y limitaciones

El estudio solo se centra en un solo tipo de maleza y empleando las mismas condiciones experimentales empleadas en [1] y [2] para detectar los ruidos del proceso. Los factores de riesgo solo son detectados. Ninguna acción de mejora o de solución a los mismos fue aplicada por estar fuera del alcance del estudio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ACEITES VEGETALES

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas, está compuesto por lípidos, es decir, ácidos grasos de diferentes tipos. La proporción de estos ácidos grasos y sus diferentes características, son las que dan las propiedades a los distintos aceites vegetales existentes. Los aceites y las grasas vegetales se extraen de las semillas oleaginosas de frutas y pepitas. No solamente se utilizan para la alimentación, sino que también, son utilizadas con fines industriales. Dependiendo del tipo de materia prima se utiliza un método y otro para su extracción y elaboración. Esto es así porque es necesario separar el líquido (aceite) de la parte sólida.

Los aceites vegetales se utilizan como ingrediente o componente en muchos productos manufacturados. Muchos aceites vegetales se utilizan para hacer jabones, productos de la piel, velas, perfumes y otros productos de cuidado personal y cosméticos. Algunos aceites son particularmente convenientes como aceites de secado, y se utilizan en la fabricación de pinturas y de otros productos de tratamiento de madera. El aceite Dammar (una mezcla de aceite de linaza y resina Dammar), por ejemplo, se utiliza casi exclusivamente para tratar los cascos de los barcos de madera. Los aceites vegetales se utilizan cada vez más en la industria eléctrica, ya que los aisladores como aceites vegetales no son tóxicos para el medio ambiente, biodegradables si se derraman y tienen altos puntos de inflamación y fuego. Sin embargo, los aceites vegetales son menos estables químicamente, por lo que se utilizan generalmente en sistemas donde no están expuestos al oxígeno, y son más caros que el destilado de petróleo crudo. Los tetraésteres sintéticos, que son similares a los aceites vegetales, pero con cuatro cadenas de ácidos grasos comparados con los tres normales encontrados en un éster natural, son fabricados por la esterificación de Fischer. Los tetraésteres generalmente tienen alta estabilidad a la oxidación y han encontrado uso como lubricantes de motores. El aceite vegetal se utiliza para producir el líquido hidráulico y lubricante, ambos biodegradables [3].



Figura 2. *Aceite vegetal.*

2.2 BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES

El biodiésel es un combustible líquido producido a partir de materias renovables, como los aceites vegetales o grasas animales, que actualmente sustituye parcial o totalmente al diésel de petróleo en los motores diésel. De acuerdo con algunas empresas en Estados Unidos, Francia, Alemania, Brasil y Argentina, que ya usan biodiésel, al incorporarlo a un motor convencional se reducen las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos aromáticos y partículas sólidas. Puede funcionar en cualquier motor diésel, y se presume que duplica la vida útil de los vehículos, no obstante, algunas de sus propiedades (alta viscosidad, baja volatilidad, menor poder calorífico, estabilidad a oxidación, etc.) deben ser mejoradas para poder lograr reemplazar a 100% el uso de combustibles fósiles.

El biodiésel se describe químicamente como una mezcla de ésteres de alquilo (metilo y etilo, principalmente), con cadenas largas de ácidos grasos. Estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia. Este combustible puede utilizarse puro (B100, conocido como “gasoil verde”), o en mezclas de diferentes concentraciones con el diésel de petróleo. La mezcla más utilizada en nuestros días es a 20%, es decir, 20 partes de biodiésel y 80 partes de petrodiesel. Cuando es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan 5%.

El biodiésel es un líquido de color amarillo-ámbar, con una viscosidad similar a la del diésel de petróleo, no es inflamable, no es explosivo, con un punto de inflamación

superior comparado con el diésel de petróleo, es biodegradable, disminuye significativamente las emisiones de gases tóxicos y de otras sustancias volátiles cuando se quema como combustible. Además, presenta mejor índice de cetano (referencia para conocer el grado de inflamabilidad) y mejor eficiencia en la lubricación.



Figura 3. Biodiésel. Aumenta la seguridad energética, mejora la calidad del aire y el medio ambiente y brinda beneficios de seguridad.

El biodiésel tiene en general un poder calórico inferior algo menor al diésel (7,795 kcal/l vs. 8,74 kcal/l). Su viscosidad cinemática en general está entre 1,9 y 6,0 cSt, aunque este parámetro no difiere sustancialmente del gasoil (1,3-4,1 cSt). Su densidad es de aproximadamente 0,878 kg/L a 15°C, y su flash point llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de apenas 60-80°C, lo que lo hace más seguro como combustible. Posee además un número cetano ligeramente mayor al del gasoil, y duplica el poder de lubricación del mismo.

En la Figura 4 se muestra un resumen de las características típicas del biodiésel y del diésel petrolífero.

Propiedades	Biodiesel	Diesel
Norma del combustible	ASTM D975	ASTM PS121
Composición	C12-C22 FAME	C10-C21 HC
Metiléster	95.5-98 % (normas)	-
Carbono (% peso)	77	86.5
Azufre (% peso)	0-0.0024	0.05 máx.
Agua (ppm peso)	0.05 % máx.	161
Oxígeno (% peso)	11	0
Hidrógeno (% peso)	12	13
No. Cetano	48 - 55	40-55
PCI (KJ/Kg)	37,700	41,860
Viscosidad cinem. (40° C)	1.9-6.0	1.3 - 4.1
Punto de inflamación (°C)	100-170	60 - 80
Punto de ebullición (°C)	182-338	188-343
Gravedad específica (Kg/l) (60°F)	0.88	0.85
Relación de aire/combustible	13.8	15

Figura 4. Propiedades del biodiesel vs diésel del petróleo.

La mayoría del biodiésel producido en el mundo es proveniente de aceites vegetales principalmente del aceite de colza en Europa y Canadá, y aceite de soya en Estados Unidos. En Colombia, la principal materia prima para la producción de biodiésel es el aceite de palma, pues actualmente cuenta con más de 300.000 hectáreas sembradas en palma de aceite y cinco plantas productoras de biodiesel [4].



Figura 5. Aceite de palma.

2.3 ARREGLOS ORTOGONALES

Un diseño de Taguchi es un experimento diseñado que permite elegir un producto o proceso que funciona con mayor consistencia en el entorno operativo. Los diseños de

Taguchi reconocen que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados. Estos factores que no se pueden controlar se denominan factores de ruido.

Los diseños de Taguchi intentan identificar factores controlables (factores de control) que minimicen el efecto de los factores de ruido. Durante el experimento, usted manipula los factores de ruido para hacer que haya variabilidad y luego determina la configuración óptima de los factores de control para que el proceso o producto sea robusto o resistente ante la variación causada por los factores de ruido. Un proceso diseñado con esta meta producirá una salida más consistente. Un producto diseñado con esta meta tendrá un rendimiento más consistente, independientemente del entorno en el que se utilice.

Un ejemplo bien conocido de los diseños de Taguchi es el de la empresa japonesa de losetas Ina Tile Company en la década de 1950. La empresa estaba produciendo demasiadas losetas fuera de las dimensiones especificadas. Un equipo de calidad descubrió que la temperatura del horno utilizado para cocer las losetas variaba, causando falta de uniformidad en la dimensión de las losetas. Ellos no podían eliminar la variación de temperatura, porque construir un nuevo horno era demasiado costoso. Por lo tanto, la temperatura era un factor de ruido. Usando experimentos diseñados de Taguchi, el equipo descubrió que, al aumentar el contenido de cal de la arcilla, un factor de control, las losetas se volvían más resistentes o robustas ante la variación de temperatura en el horno, lo cual permitía producir losetas más uniformes.

Los diseños de Taguchi utilizan arreglos ortogonales, los cuales estiman los efectos de los factores en la media de respuesta y en la variación. Un arreglo ortogonal significa que el diseño está balanceado, de manera que los niveles de los factores se ponderan equitativamente. Debido a eso, cada factor se puede evaluar sin considerar todos los demás factores, de manera que el efecto de un factor no afecta la estimación de otro factor. Esto puede reducir el tiempo y el costo asociados al experimento cuando se utilizan diseños fraccionados.

Los diseños con arreglos ortogonales se concentran principalmente en los efectos principales. Algunos de los arreglos que ofrece el catálogo de Minitab permiten estudiar ciertas interacciones [5].

Corridas	Factores															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
4	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
6	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
7	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
8	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
9	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
10	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
11	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
12	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
13	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
14	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
15	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
16	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
17	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
18	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1

Figura 6. Arreglo ortogonal.

2.4 CUADROS LATINOS

Los diseños en cuadrados latinos son apropiados cuando es necesario controlar dos fuentes de variabilidad. En dichos diseños el número de niveles del factor principal tiene que coincidir con el número de niveles de las dos variables de bloque o factores secundarios y además hay que suponer que no existe interacción entre ninguna pareja de factores. Supongamos que el número de niveles de cada uno de los factores es K. El diseño en cuadrado latino utiliza K^2 bloques, cada uno de estos bloques corresponde a una de las posibles combinaciones de niveles de los dos factores de control. En cada bloque se aplica un solo tratamiento de manera que cada tratamiento debe aparecer con cada uno de los niveles de los dos factores de control. Si consideramos una tabla de doble entrada donde las filas y las columnas representan cada uno de los dos factores de bloque y las celdillas los niveles del factor principal o tratamientos, el requerimiento anterior supone que cada tratamiento debe aparecer una vez y sólo una en cada fila y en cada columna.

Recibe el nombre de cuadrado latino de orden K a una disposición en filas y columnas de K letras latinas, de tal forma que cada letra aparece una sola vez en cada fila y en cada columna.

A continuación, vamos a dar una forma simple de construcción de cuadrados latinos. Se parte de una primera fila con las letras latinas ordenadas alfabéticamente.

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	...	Columna k
Fila 1	A	B	C	...	K

Figura 7. Construcción de cuadros latinos.

Las sucesivas filas se obtienen moviendo la primera letra de la fila anterior a la última posición (construcción por permutación cíclica), el cuadrado así obtenido es un cuadrado latino estándar.

Un cuadrado latino se denomina estándar cuando las letras de la primera fila y la primera columna están ordenadas alfabéticamente. A parte de los cuadrados latinos así obtenidos existen otros cuadrados latinos diferentes, estándares y no estándares. En el Apéndice B se muestran algunos cuadrados latinos estándares para los órdenes 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

El procedimiento para construir un diseño en cuadrado latino es el siguiente:

- 1) Se elige aleatoriamente un cuadrado latino de los disponibles.
- 2) Se asigna aleatoriamente el orden de las filas y columnas.
- 3) Se asignan aleatoriamente los tres factores a las filas, columnas y letras, respectivamente [6] y [7].

A α	B γ	C β
B β	C α	A γ
C γ	A β	B α

Figura 8. Diseño de cuadro latino.

2.5 GRAFICAS DE CONTROL

Los gráficos de control sirven para poder analizar el comportamiento de diferentes procesos y poder prever posibles fallos de producción mediante métodos estadísticos. Se utilizan en la mayoría de los procesos industriales.

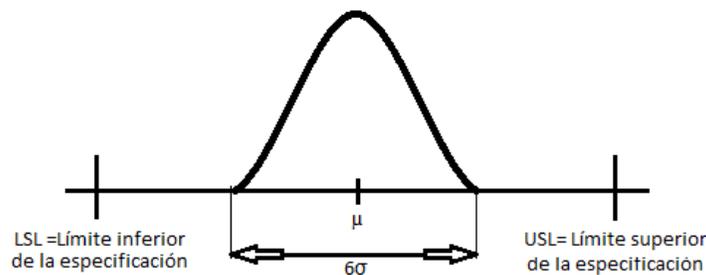


Figura 9. Proceso con la extensión de los límites de tolerancia natural menor que la extensión de los límites de la especificación.

En ciertos procesos en los que se alcanza un alto grado de capacidad es aconsejable reducir el nivel de control proporcionado por los gráficos de control estándar, para ello utilizaremos los límites de control modificados [8].

Gráficas X-R: Las gráficas XR o también llamadas Gráficas Xbar-R son de gran utilidad y son ampliamente recomendadas porque no requieren de conocimientos avanzados (aunque no siempre es explicada de forma simple), por lo cual su aplicación es posible en cualquier ámbito. Las Gráficas XR son un subconjunto de las gráficas de control y de las GCV.

El formato usado para estas gráficas debe incluir las especificaciones del proceso y la característica a monitorear, incluyendo una gráfica de promedios y una gráfica de rangos presentadas comúnmente juntas. Adicionalmente cuenta con una sección donde se documentan los hallazgos y/o aspectos relevantes de la jornada. Algunos aspectos destacados de estas gráficas son:

1. Función: monitoreo de la media y el rango de una variable normalmente distribuida.

2. Graficado: las mediciones son graficadas mediante subgrupos, comúnmente entre 2 y 5.
3. Son vinculadas a: CEP, CEC, GCV y 7HB.
4. Condiciones de uso:
 - La característica por monitorear debe ser representada por datos variables.
 - La característica debe ser modelada por una variable aleatoria normalmente distribuida.
 - Los datos variables deben ser medibles en escala continua (peso, temperatura, longitud, etc.).
 - Es factible un muestreo constante, fijo, rápido y que sea mayor a 1 y menor a 9.
 - Las evaluaciones de la característica son basadas en el muestreo (puede ser destructivo).
 - Asignación de una persona (no requiere conocimientos de estadística) a esta responsabilidad.
 - La fiabilidad de la gráfica está en función de la exactitud de los datos de origen, su forma de adquisición y el apropiado manejo.
 - Las muestras recolectadas en subgrupos constituyen datos no homogéneos (extraíbles de diferentes universos / horarios de monitoreo) y de cálculo conveniente [9].

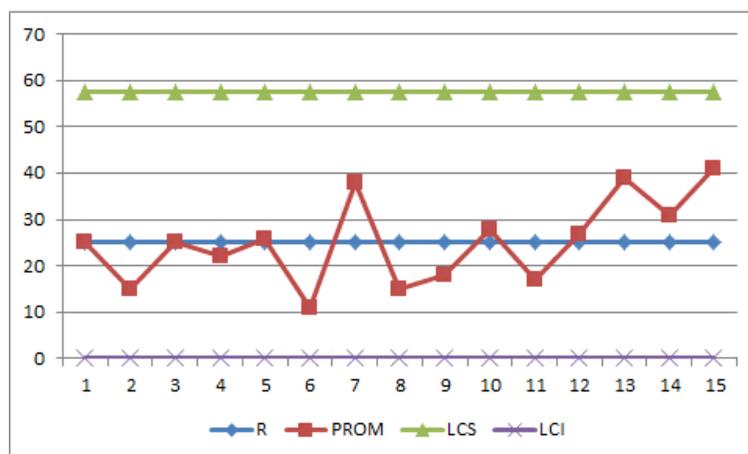


Figura 10. Ejemplo de gráfico X-R.

2.6 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO EN EL PROCESO

La percepción del riesgo como amenaza es el sistema más utilizado para identificarlo. En este contexto, gestionar el riesgo significa instalar sistemas de control que minimicen tanto la probabilidad de que ocurran sucesos negativos como su severidad (la pérdida económica que supondría para el emprendedor). Es un enfoque de naturaleza defensiva, su propósito es asignar recursos para reducir la probabilidad de sufrir impactos negativos. Desde la percepción del riesgo como oportunidad, la gestión significa utilizar técnicas que maximicen los resultados, limitando los posibles perjuicios o costes. El enfoque es de naturaleza ofensiva. La gestión del riesgo desde la perspectiva del riesgo como incertidumbre se dirige a minimizar la desviación entre los resultados que el emprendedor desea obtener y los que realmente obtiene.

¿Cómo identifica causas y efectos de los riesgos en su empresa? ¿Qué puede ocurrir?

- ✓ En esta primera fase de la metodología se identifican de forma sistemática las posibles causas concretas de los riesgos empresariales, así como los diversos y posibles efectos que debe afrontar el emprendedor.
- ✓ Una correcta identificación de riesgos requiere un conocimiento detallado de la empresa, del mercado en el que opera, del entorno legal, social, político y cultural que le rodea.
- ✓ La identificación del riesgo debe ser sistemática y empezar por identificar los objetivos clave de éxito y amenazas que puedan perturbar el logro de dichos objetivos [10].



Figura 11. Análisis y gestión de riesgos.

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Obtención de biodiesel

Con respecto a la extracción del aceite vegetal a través de la maleza, se compone por dos procesos que son; Soxhlet y destilación simple. Cabe resaltar que para el proceso Soxhlet se usaron 30 gr de maleza para cada prueba, esta se envuelve en papel filtro y en la parte superior se cubre con algodón como anteriormente ya se realizaba.



Figura 12. Proceso de extracción soxhlet.

Primero, en el proceso Soxhlet se obtuvieron aproximadamente 150 ml y 190 ml por cada una de las corridas (pruebas realizadas), cabe mencionar que por cada corrida se realizaban 30 lavados a la maleza con el único objetivo de extraer la máxima concentración de la semilla para aumentar el porcentaje de pureza del aceite.



Figura 13. Producto de extracción soxhlet.

Tabla 1. Datos de cantidad en ml del solvente con la extracción de la maleza.

No. De extracción	Tipo de semilla	Temperatura	Tiempo	Cantidad en ML
1	Amarilla	275°	1.20 hrs	190
2	Amarilla	270°	1.7 hrs	192
3	Amarilla	250°	4.25 hrs	188
4	Amarilla	250°	4.32 hrs	179
5	Amarilla	300°	3.11 hrs	188
6	Amarilla	300°	3.38 hrs	188
7	Amarilla	270°	2.37 hrs	192
8	Amarilla	300°	3.02 hrs	179
9	Amarilla	300°	3.00 hrs	161
10	Amarilla	300°	1.34 hrs	168
11	Amarilla	300°	4.20 hrs	155
12	Amarilla	300°	2.08 hrs	169
13	Amarilla	300°	3.12 hrs	151
14	Amarilla	300°	2.22 hrs	151
15	Amarilla	300°	2.18 hrs	118
16	Amarilla	300°	2.19 hrs	171
17	Amarilla	300°	2.21 hrs	173
18	Amarilla	300°	3.05 hrs	160
19	Amarilla	300°	1.58 hrs	160
20	Amarilla	300°	2.39 hrs	170

Luego de extraído el lavado de la maleza, se somete a un proceso de destilación simple, esto con el objetivo de obtener 20 ml de aceite vegetal. En el proceso de destilación simple se obtuvieron cantidades de aproximadamente 18 ml y 35 ml de aceite vegetal por cada una de las corridas realizadas con anterioridad.

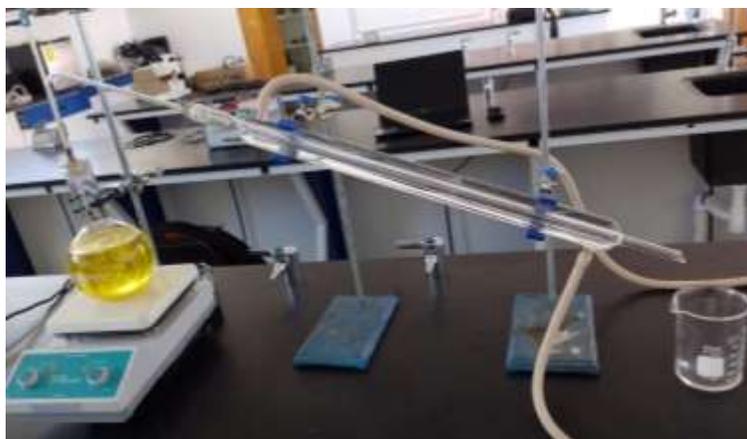


Figura 14. *Proceso de destilación simple.*

Sin embargo, una vez realizado el proceso de destilación simple y obtenido nuestro aceite vegetal, el aceite es sometido a una prueba de agitación sobre la parrilla de agitación magnética. Para realizar este paso se agregó un total de 100 ml de aceite vegetal en un vaso de precipitado y se colocó sobre la parrilla con una temperatura de 0° y con una agitación de 100 rpm por un tiempo aproximado de 5 a 6 horas, el tiempo de agitación fue determinado a la medida estable en la cantidad de mililitros resultantes después de cada 15-20 minutos, esto con el objetivo de eliminar los posibles restos de hexano en el aceite vegetal y así eliminar el antiguo paso de dejar el aceite expuesto a la intemperie por 24 h, que tenía el mismo objetivo de eliminar cualquier resto de hexano en el aceite vegetal.



Figura 15. *Aceite vegetal, después de 6 hrs de agitación.*

En cuanto al proceso de transesterificación de aceite vegetal, es el proceso final para obtener biodiésel a través del aceite vegetal obtenido anteriormente. Tomando en cuenta que se cambió la manera de añadir el metanol y la sosa caustica al aceite vegetal, pues anteriormente se le añadía la cantidad de metanol ya establecida con la ayuda de una pipeta, en una sola expulsión y posteriormente la sosa con la ayuda de el catalizador y se observaba una reacción burbujeante, por lo que ahora se le agrega primero el metanol mililitro a mililitro y una vez disuelto en el aceite, pasamos a añadirle la sosa caustica hasta obtener una mezcla homogénea, posterior a ello, se dejó actuar en agitación el aceite con los solventes por 30 minutos, para después llevar a reposar en los embudos de separación por 24 horas para después realizar los respectivos lavados para neutralizar su ph.



Figura 16. *Proceso de transesterificación.*

Hay que hacer notar que las corridas 3 y 4 fueron los únicos que se aproximaron en llegar al resultado esperado, es decir; Biodiésel.



Figura 17. Biodiésel.

3.1.2 Análisis estadístico, arreglo Taguchi de estudio y caracterización de materiales

En cuanto a los análisis correspondientes a realizar, se procedió a usar el software (Minitab), el cual se usó para calcular un modelo lineal general.

Paso 1. Realizar el arreglo ortogonal en Minitab.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
PRUEBA	EXTRACCIÓN	CANTIDAD	ME							
1	A	1	192							
2	B	1	166							
3	C	1	160							
4	D	1	118							
5	A	2	188							
6	B	2	179							
7	C	2	190							
8	D	2	175							
9	A	3	171							
10	B	3	190							
11	C	3	178							
12	D	3	160							
13	A	4	151							
14	B	4	171							
15	C	4	180							
16	D	4	150							

Figura 18. Acomodo de arreglo ortogonal en Minitab.

Paso 2. Seleccionar la pestaña de estadísticas, posteriormente selecciona ANOVA, modelo lineal general, y en la pestaña secundaria selecciona Ajustar modelo lineal general.

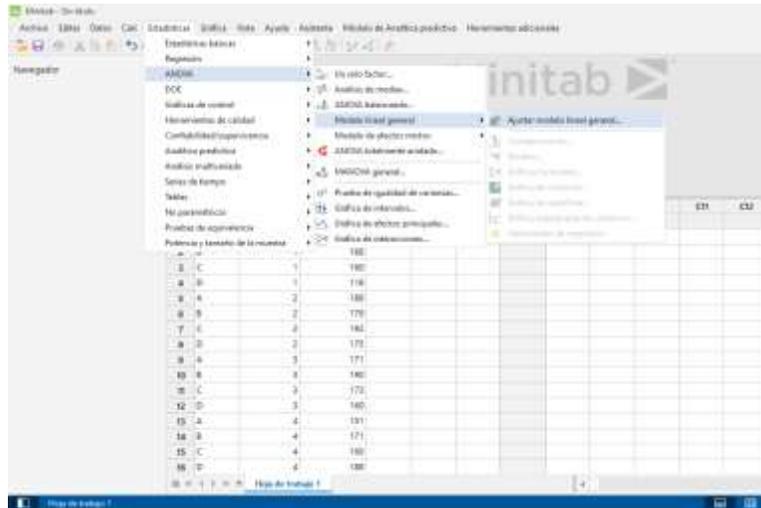


Figura 19. Selección de estadísticos a calcular.

Paso 3. Seleccionar la variable de respuesta (Cantidad ml) y seleccionar el factor (Extracción).

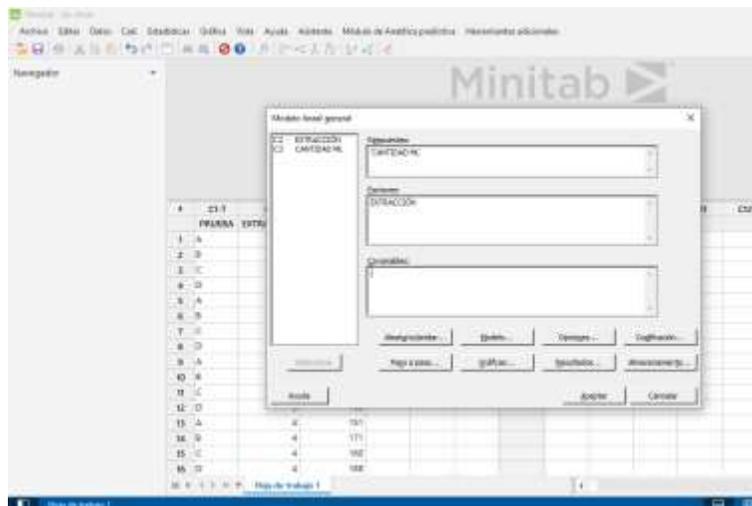


Figura 20. Selección de respuesta y factor.

Paso 4. Establecer el nivel de significancia, dar clic en aceptar.

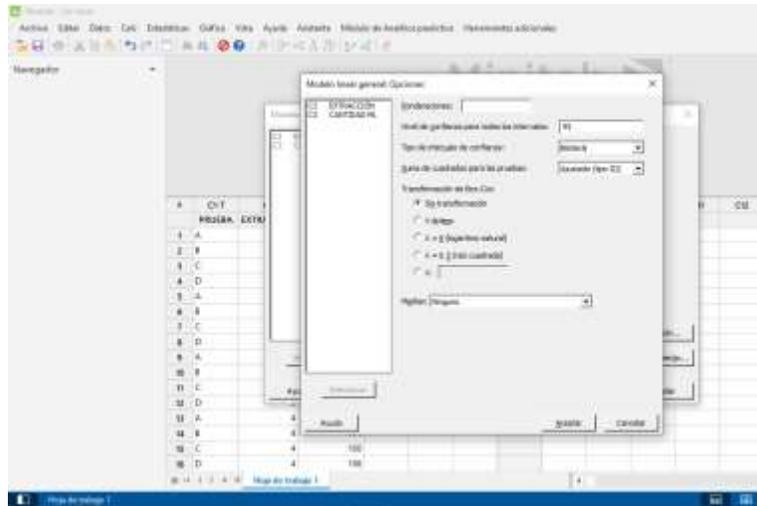


Figura 21. Nivel de significancia.

Paso 5. Seleccionar las gráficas que se desean ver y analizar, en este caso, selecciona las 4 gráficas en una sola pantalla y después da clic en aceptar.

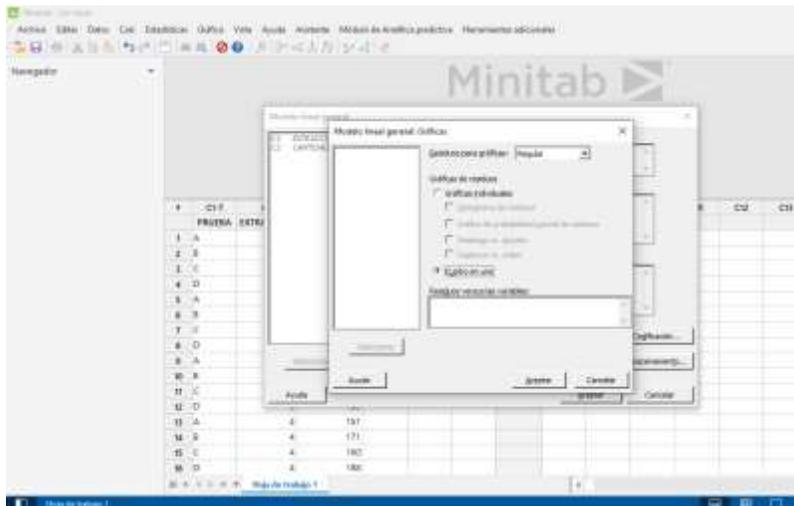


Figura 22. Selección de tipo de gráficas.

Conforme a los factores y arreglos definidos con anterioridad en proyectos pasados [1] y [2], se lleva a cabo el siguiente arreglo de Taguchi.

Tabla 2. Factores y niveles experimentales empleadas en un arreglo L4.

CORRIDA	1 (Aceite vegetal)	2 (Metanol)	3 (Hidróxido de sodio)
1	20	4	46
2	20	6	69
3	30	4	69
4	30	6	46

Hay que tener en cuenta que para el proceso de transesterificación se realizó el arreglo ortogonal L4 de Taguchi (Ver tabla 8), ahí se muestra las cantidades adecuadas que se le deben añadir a la cantidad de aceite vegetal por cada corrida.

Asimismo, una caracterización de materiales fue realizada para poder incluirlos en el estudio de los factores de riesgo del proceso y determinar si son parte del ruido obtenido en estudios pasados [1] y [2].

3.1.3 Factores de riesgo

Sobre los factores de riesgo del proceso para la obtención del biodiesel, se identificaron de manera experimental, poniendo en práctica paso a paso la metodología de los trabajos reportados en los documentos [1] y [2], esto con el objetivo de validar que los pasos indicados en dichos procedimientos fueran los correctos para poder determinar si en realidad se llega al resultado esperado de la obtención de biodiesel.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3. Cronograma de actividades general.

Actividades	AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Revisión bibliográfica										
Análisis de factores										
Pruebas experimentales										
Cuantificación del proceso										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

IV. RESULTADOS

4.1 PRUEBAS DE BIODIÉSEL

Vale la pena decir que una vez realizada la serie de pasos que se requieren para llevar a cabo un resultado de biodiésel, se logró mejorar la técnica de elaboración en la metodología, tales como; se estableció una cantidad de lavados para el proceso de extracción en soxhlet (30 lavados), para la destilación simple se estuvo monitoreando el tiempo que dura el proceso así como también se marca el matraz de fondo redondo para facilitar la observación de mililitros dentro del matraz durante el proceso de destilación y que así sea más fácil determinar la hora en que se debe parar dicho proceso.

Como antes ya se mencionó, se añadió un nuevo proceso de agitación para el aceite obtenido después de la destilación simple, dicho proceso consta de colocar el aceite vegetal en un vaso de precipitado sobre la parrilla de agitación magnética durante 6 hrs con una agitación de 100 rpm y con una temperatura de 0°, esto para eliminar los posibles restos de hexano que puedan existir dentro del aceite vegetal, lo cual fue uno de los objetivos logrados, ya que se mostró una disminución en cada una de las mediciones correspondientes.

Además para el proceso de transesterificación se modificó la técnica de agregación de los solventes (Metanol y sosa caustica), pues una vez que el aceite llega a una temperatura de 55° C, se le añaden los mililitros estipulados en el diseño de taguchi con una pipeta graduada, se agrega mililitro por mililitro para evitar que la mezcla muestre una reacción agresiva y burbugeante, una vez que el metanol está completamente disuelto, se agrega la cantidad de sosa caustica con ayuda de un catalizador, se agrega la cantidad en una sola expulsión.

Luego de obtener una mezcla homogénea de los solventes con el aceite, se dejó en calentamiento durante 30 minutos, para después llevar el resultado a su respectivo reposo en los embudos de separación durante 24 hrs, para después realizarle una serie de lavados con agua destilada y poder neutralizar su ph a 7.



Figura 23. Lavados de la maleza en el equipo soxhlet.

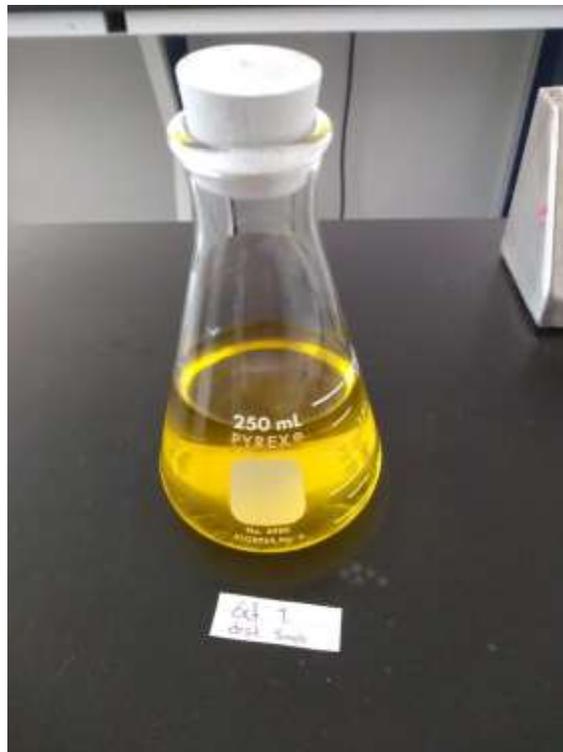


Figura 24. Resultado de la extracción en el equipo soxhlet.



Figura 25. Destilación simple.



Figura 26. Resultado de la destilación simple (18 ml, aceite vegetal).



Figura 27. *Agitación de aceite vegetal a 100 rpm x 6hrs.*

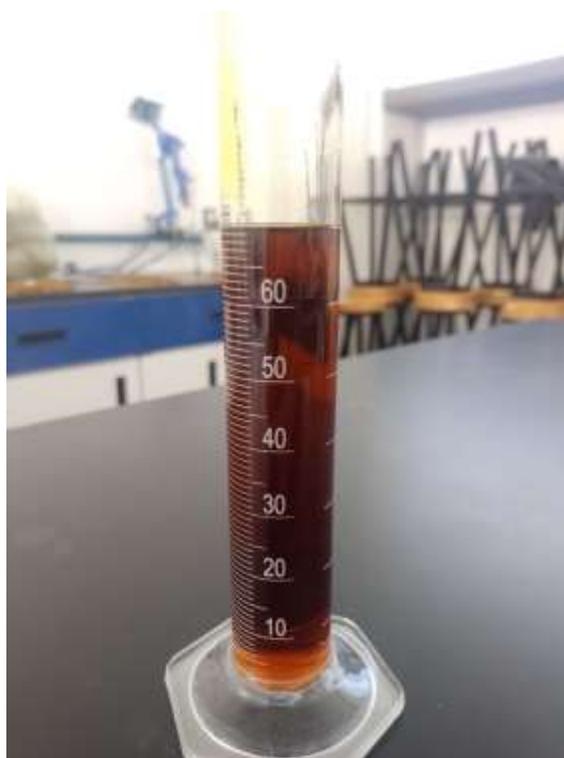


Figura 28. *Aceite vegetal despues de agitación.*



Figura 29. *Proceso de transesterificación.*



Figura 30. *Separación de biodiésel en embudo de decantación (Corrida #1).*



Figura 31. Separación de biodiésel en embudo de decantación (Corrida #2).



Figura 32. Separación de biodiésel en embudo de decantación (Corrida #3).



Figura 33. Separación de biodiésel en embudo de decantación (Corrida #4).



Figura 34. Resultante corrida #1.



Figura 35. Resultante corrida #2.



Figura 36. Biodiésel resultante corrida #3.

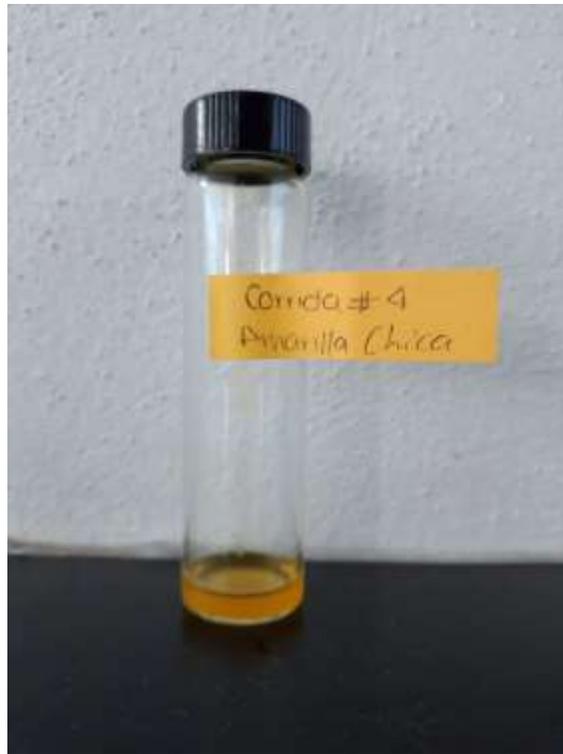


Figura 37. Biodiésel resultante corrida #4.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

	EXTRACCIONES					PRUEBA	EXTRACCIÓN	CANTIDAD ML
PRUEBAS	1	2	3	4		A	1	192
A	192	188	171	151		B	1	168
B	168	179	190	171		C	1	160
C	160	192	173	160		D	1	118
D	118	175	160	188		A	2	188
						B	2	179
A=	1.07					C	2	192
B=	1.2					D	2	175
C=	2.37					A	3	171
D=	3.11					B	3	190
						C	3	173
1=	250					D	3	160
2=	270					A	4	151
3=	275					B	4	171
4=	300					C	4	160
						D	4	188

Figura 38. Datos experimentales empleados en el análisis estadístico.

El siguiente punto trata del procedimiento en Minitab, pues arroja la siguiente información, la cual se muestra en la Tabla 4, 5 y 6.

Tabla 4. Método de análisis.

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Tabla 5. Información del factor (Extracción).

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
EXTRACCIÓN	Fijo	4	1, 2, 3, 4

Tabla 6. Análisis de varianza.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
EXTRACCIÓN	3	1228	409.3	1.15	0.368
Error	12	4258	354.8		
Total	15	5486			

Tabla 6. En esta tabla, los valores p para todos los términos son 0.368. Puesto que los valores p son mayores que el nivel de significancia de 0.05, en conclusión, los efectos estadísticamente no son significativos.

Tabla 7. Resumen del modelo.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
18.8370	22.38%	2.98%	0.00%

Tabla 7. El valor R2 muestra que el modelo explica un 22.38% de la varianza de la cantidad en ml, lo que indica que el modelo es muy pequeño, por lo que no se ajusta bien a los datos.

Tabla 8. Coeficientes.

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	171.00	4.71	36.31	0.000	
EXTRACCIÓN					
1	-11.50	8.16	-1.41	0.184	1.50
2	12.50	8.16	1.53	0.151	1.50
3	2.50	8.16	0.31	0.764	1.50

Tabla 8. En esta tabla se observa que los FIV son muy bajos, pero, mayores a 1 (1.50), por lo que se concluye que los datos están correlacionados.

Tabla 9. Ecuación de regresión lineal.

Ecuación de regresión

$$\text{CANTIDAD ML} = 171.00 - 11.50 \text{ EXTRACCIÓN}_1 + 12.50 \text{ EXTRACCIÓN}_2 + 2.50 \text{ EXTRACCIÓN}_3 - 3.50 \text{ EXTRACCIÓN}_4$$

Tabla 10. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	CANTIDAD ML	Ajuste	Resid	Resid est.
4	118.00	159.50	-41.50	-2.54 R

Residuo grande R

Tabla 10. En esta tabla se muestra la muestra cual tuvo la menor cantidad de ml en la extracción

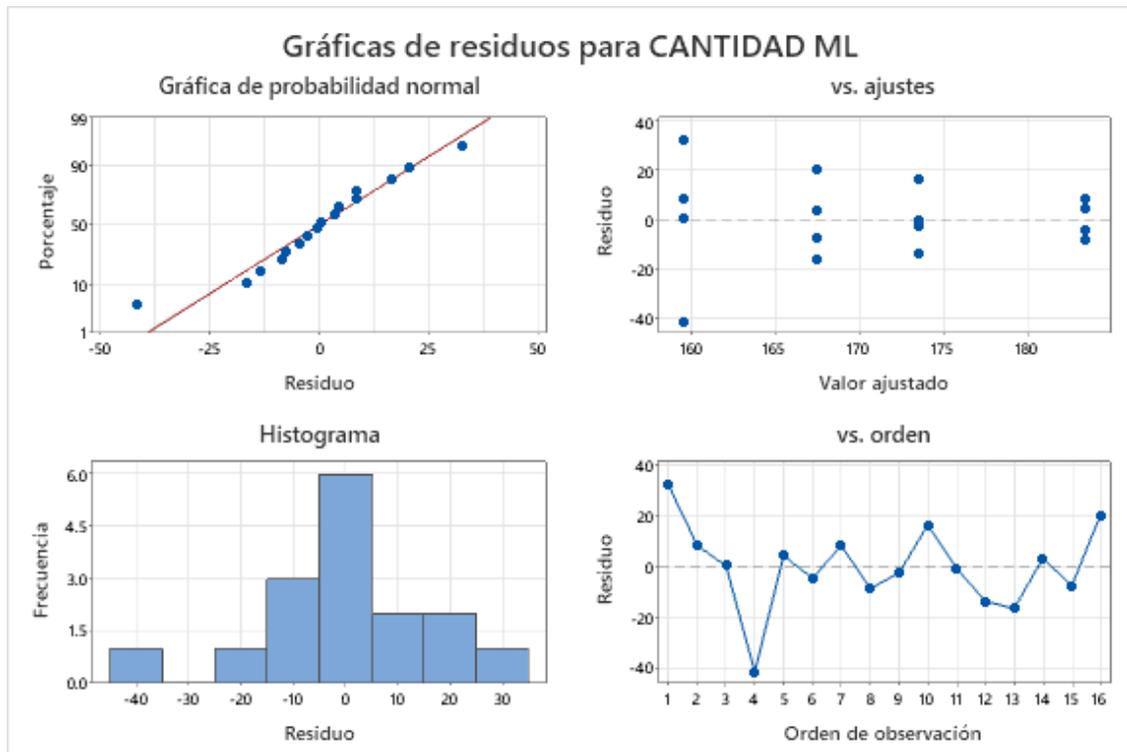


Figura 39. Gráficas de residuos para cantidad ml.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES [12]-[21]

Hexano (J.T. Baker):

- Sustancia química elaborada a partir del petróleo crudo.
- El hexano puro es un líquido incoloro con un olor ligeramente desagradable.
- Se evapora fácilmente en el aire y se disuelve muy poco en el agua.
- El hexano es altamente inflamable y sus vapores pueden ser explosivos.



Figura 40. Hexano J.T. Baker.

Metanol.

- Tipo de alcohol no bebible empleado para elaborar combustible, disolventes y anticongelantes.

Hidróxido de sodio al 50%:

- Es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo.
- Es soluble en agua, desprendiéndose calor.
- Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.
- Es usado, en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos.
- Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.



Figura 41. *Hidróxido de sodio al 50%.*

Parrilla de agitación magnética y calentamiento de 50°C a 400°C:

- Rango de temperatura (° C): Max 380
- Pantalla: Escala
- Regulador: regulador de energía electrónica

- Potencia del calentador (W) 680 100- 1500
- Velocidad (RPM)
- Velocidad de visualización: Escala
- Capacidad (H₂O, L): Hasta 5



Figura 42. Parrilla de agitación magnética LabCompanion.

Matraz de fondo redondo (Cap. 500 ml):

- Se usa para realizar reacciones en altas temperaturas.
- Su fondo esférico favorece la concentración de los reactivos.



Figura 43. Matraz de fondo redondo (500ml).

Matraz de fondo redondo (Cap. 1000 ml):

- Se usa para realizar reacciones en altas temperaturas.
- Su fondo esférico favorece la concentración de los reactivos.



Figura 44. Matraz de fondo redondo (1000ml).

Termómetro:

- Se emplea para medir la temperatura.
- Su presentación más común es de vidrio.
- Contiene un pequeño tubo de mercurio en su interior.



Figura 45. Termómetro.

Vasos de precipitado:

- Recipiente de laboratorio.
- Su presentación es de vidrio.
- Tiene forma cilíndrica con un pico en el borde, para facilitar el vertido de su contenido.
- Se emplea para procesos de precipitación (para calentar o agitar líquidos).



Figura 46. Vasos de precipitado.

Pipeta graduada:

- *Instrumento volumétrico.*
- *Mide la alícuota de un líquido con mucha precisión.*
- *Su presentación es de vidrio.*



Figura 47. Pipeta graduada.

Probeta graduada:

- *Instrumento volumétrico que permite medir volúmenes.*



Figura 48. Probeta graduada.

Papel filtro:

- *Está constituido por derivados de celulosa.*
- *Permite el manejo de soluciones con pH entre 0 y 12.*



Figura 49. *Papel filtro.*

Maleza:

- *Especie arvense.*
- *Su tallo tiene un tamaño desde los 10 cm hasta los 2.5 mts.*
- *Hierba anual, erecta o ramificada.*



Figura 50. *Maleza (Aceitilla amarilla chica).*

4.4 FACTORES DE RIESGO

En relación con antecedentes previos [1] y [2], se observan problemas en la realización de la metodología para la obtención del biodiesel, en esta investigación se realizaron cada uno de los pasos secuenciales de la metodología de manera minuciosa, para así poder detectar los factores de riesgo que afectan el proceso.

A continuación, se muestran algunos de los factores de riesgo que fueron encontrados en el transcurso de esta investigación:

- *Edad de la planta:* Se considera un factor de riesgo a la edad de la planta, pues se realizaron pruebas con semilla del año 2019 y 2022 y como resultado de la semilla del año 2019 se obtuvo un color de solvente en tono amarillo opaco, mientras que la semilla del año 2022, mostró colores amarillentos vívido.
- *Edad y marca del solvente hexano:* La edad del reactivo. Es muy importante que este se encuentre en fecha con disponibilidad de uso, pues gracias a las pruebas realizadas en la trazabilidad de esta investigación se define que efectivamente, influye mucho, pues, se realizaron pruebas con un reactivo caduco y en el resultado de las extracciones existe una gran diferencia a las pruebas realizadas con el reactivo que se encuentra en condiciones óptimas de uso, pues los mililitros resultantes del lavado de la semilla con el reactivo caduco se muestran en color verde, mientras que las pruebas realizadas con el reactivo en condiciones óptimas, muestran un color amarillento vívido. En el caso de la marca del reactivo, también se detectó que es influyente en los resultados debido a que la marca Golden Mayer no fue efectivo en la consecución de los resultados, siendo la marca JTBaker el que permitió llegar a mejores resultados.
- *Temperatura ambiente:* La temperatura es un factor de riesgo muy marcado en cada uno de los procesos para la obtención del biodiesel, ya que para cada uno de ellos se necesita la presencia de las parrillas de agitación magnética y aun que estas cuentan con manipulación de temperatura (50°C-380°C), esto impide la garantía de que los procesos sean correctos y óptimos de acuerdo a la temperatura deseada, pues la temperatura ambiente influye mucho, ya que si

existe una temperatura ambiente muy baja, esto le impide a la parrilla llegar a los grados estipulados e interrumpe la calidad del proceso.

- *Metodología para añadir los reactivos en el proceso de transesterificación:* Para este proceso se modificó un detalle en la forma de añadir los solventes al aceite vegetal para su conversión y transformación de aceite a biodiesel, pues anteriormente, con ayuda de una pipeta se agregaba primeramente el metanol en una sola expulsión para posteriormente agregar el hidróxido de sodio (50%) y esperar un tiempo establecido de 30 minutos, pero la mezcla mostraba una reacción agresiva y burbujeante por lo que se probó agregar el metanol de mililitro por mililitro con el objetivo de que la mezcla se hiciera homogénea y posteriormente añadir el hidróxido, esta nueva manera eliminó la reacción agresiva que se tenía anteriormente y mostró una reacción estable ya que no se mostraba burbujeante y no salpicaba la solución.
- *Tiempos de duración por proceso:* El tiempo que dura cada proceso es importante, ya que la solución se somete a ciertas temperaturas que en dado caso de durar más tiempo de lo normal puede ocasionar que nuestro solvente, o aceite pierda cantidad.

V. CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento de una metodología de obtención de biodiésel a nivel laboratorio empleando malezas de terrenos de cultivo locales para detectar los factores de riesgo que orillan a obtener resultados diferentes entre los trabajos previos reportados. Por lo que, se replica la metodología de estudio para realizar un análisis estadístico para detectar los factores de riesgo experimentales propios del proceso.

El análisis de la metodología indica que la edad de la planta, edad y marca del solvente hexano, temperatura ambiente, metodología para añadir los reactivos en el proceso de transesterificación y tiempos de duración por proceso son de injerencia en la calidad de los resultados.

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en proyectos de desarrollo tecnológico a nivel prototipo.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, análisis estadístico, diseños experimentales e identificación de factores de riesgo, entre otras materias. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de investigación fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Industrial con base en las necesidades del proyecto de investigación.
2. Implementé métodos de solución de problemas para alcanzar el cumplimiento de los objetivos de estudio.
3. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
4. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
5. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
6. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
7. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
8. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Veloz-Rosales, F. A. (mayo del 2021). *Diseño de un proceso a escala de laboratorio de extracción de aceite vegetal de malezas: análisis por diseños experimentales* [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga.
- [2] Hernández-Salazar, L. F. (julio del 2021). *Diseño de un proceso a escala de transesterificación de aceite vegetal de malezas: análisis por diseños experimentales* [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga.
- [3] Cass Scenic Railroad State Park, West Virginia"» (en inglés). GWWCA. Consultado el 28 de marzo de 2018.
- [4] KEMP, W., Biodiesel: basics and beyond. Canada: Aztext press, 2006
- [5] Diseños de Taguchi. (s/f). MiniTab. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/taguchi-designs/taguchi-designs/#:~:text=Los%20dise%C3%B1os%20de%20Taguchi%20reconocen,de%20los%20factores%20de%20ruido.>
- [6] García Leal, J. & Lara Porras, A.M. (1998). "Diseño Estadístico de Experimentos. Análisis de la Varianza." Grupo Editorial Universitario.
- [7] Lara Porras, A.M. (2000). "Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS" Proyecto Sur de Ediciones.
- [8] Montgomery, Douglas (21 de enero de 2004). Control estadístico de la calidad. Limusa-Wiley. ISBN 9789681862343.
- [9] Ortiz-González, Y., C., y González-Gaitán, I., M. "Control estadístico de procesos en organizaciones del sector servicios", Respuestas, vol. 23, no. S1, pp. 42 - 49, 2018. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1500>
- [10] (N.d.). Madrid.org. Retrieved December 14, 2022, from http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/Analisis_Riesgos/pages/pdf/metodologia/3IdentificaciondelosRiesgos_es.pdf

- [11] *Resumen de Salud Pública: n-Hexano (n-Hexane)*. (2021, January 25). Cdc.gov. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs113.html
- [12] HOJA DE SEGURIDAD IX METANOL. (s/f). UNAM - Química. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/9metanol.pdf>
- [13] *ToxFAQsTM: Hidróxido de sodio (Sodium Hydroxide)*. (2021, January 25). Cdc.gov. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts178.html
- [14] PARRILLA DE CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN CON PLATO CERAMICO 7x7 - LAB. (n.d.). Com.Mx. Retrieved December 14, 2022, from <http://laboratoriosdemexico.com.mx/parrillas/2232-parrilla-de-calentamiento-y-agitacion-con-plato-ceramico-7x7-lab-companion.html>
- [15] (N.d.). Com.Co. Retrieved December 14, 2022, from <https://artilab.com.co/balon-fondoredondo/#:~:text=Matraz%20de%20fondo%20redondo%2C%20este,desde%20250ml%2C%20hasta%2010.000ml>.
- [16] Termómetro de laboratorio. (n.d.). Femto.es. Retrieved December 14, 2022, from <https://femto.es/termometro-de-laboratorio>
- [17] Paoletti, M. (n.d.). *Vaso de precipitado*. Edu.ar. Retrieved December 14, 2022, from https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/vaso_de_precipitado.html
- [18] Pinto, J. R., & Faculda de de Ciências da Universidade do Porto. (2015). Pipeta graduada. *Revista de ciência elementar*, 3(1). <https://doi.org/10.24927/rce2015.091>
- [19] *Instrumentos para medir el volumen*. (n.d.). Juntadeandalucia.Es. Retrieved December 14, 2022, from http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14700420/helvia/aula/archivos/repositorio/0/123/html/instrumentos_para_medir_el_volumen.html
- [20] Cosmos. (n.d.). *PAPEL FILTRO*. Com.mx. Retrieved December 14, 2022, from <https://hiperquim.com.mx/material/papel-filtro/116>
- [21] *Simsia amplexicaulis - ficha informativa*. (n.d.). Gob.Mx. Retrieved December 14, 2022, from <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/simsia-amplexicaulis/fichas/ficha.htm>

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 16/agosto/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-056/2022
Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. LIZBETH ARELY OVALLE RUVALCABA**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 181050248, ha sido aceptado(a) para realizar en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado "**Estudio de obtención de biodiésel a partir de especies arvenses de terrenos de cultivos locales: correlación de variables por diseños estadísticos experimentales empleando una maleza local**" durante el periodo de agosto-diciembre 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Alejandro Puga Vargas (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica.
"Tierra Siempre Fértil".

VÍCTOR MANUEL VELASCO GALLARDO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 119
e-mail: cyd_parteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 12/diciembre/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-070/2022
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. LIZBETH ARELY OVALLE RUVALCABA**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 181050248, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Estudio de obtención de biodiesel a partir de especies arvenses de terrenos de cultivos locales; correlación de variables por diseños estadísticos experimentales empleando una maleza local"** durante el periodo de agosto-diciembre 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Alejandro Puga Vargas (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.
El presente proyecto de Residencia Profesional es parte del proyecto clave 11474.21-P "Estudio de obtención de biodiesel a partir de especies arvenses de terrenos de cultivos locales".

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Tarea Siempre Fértil"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 119
e-mail: cyd_pabteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx

