



**SEP**

**SEV**

**TECNM**

---

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA**

---

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE  
BIOMATERIAL A PARTIR DE FIBRAS DE COCO Y  
ATP – EVOH COMO ALTERNATIVA DE  
SUSTENTABILIDAD**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**PRESENTA**

**ING. JONATHAN MERAZ RIVERA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. LIDILIA CRUZ RIVERO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS DE POSGRADO**

Tantoyuca, Ver., a 04 de Septiembre de 2020

**C. Jonathan Meraz Rivera**

**PRESENTE:**

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

**PRESIDENTE:** Dra. Lidilia Cruz Rivero  
**SECRETARIO:** Dra. María Leonor Méndez Hernández  
**VOCAL:** Dr. Daniel Ángeles Herrera  
**SUPLENTE:** M. C. C. Rogelio García Rodríguez

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:

Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

**"Análisis y caracterización de biomaterial a partir de fibras de coco y ATP –  
EVOH como alternativa de sustentabilidad"**

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras plateadas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

**ATENTAMENTE**

  
**M. I. Jesús Guillermo Rivera Zumaya**  
**Director Académico**

C.c.p. Servicios Escolares.  
Titulación de Posgrado





## INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

### CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Tantoyuca, Veracruz a 04 de Septiembre de 2020

Yo, Jonathan Meraz Rivera, alumno (a) de la Maestría en Ingeniería Industrial, con numero de control M183S0009, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: Análisis y caracterización de biomaterial a partir de fibras de coco y ATP – EVOH como alternativa de sustentabilidad, desarrollado en: Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, durante el periodo comprendido del 18 de Febrero de 2019 al 15 de Julio de 2020, del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

Jonathan Meraz Rivera

Nombre y firma del(a) alumno(a)

Vo. Bo.

Dra. Lillia Cruz Rivero

Nombre y firma del asesor interno.

“La calidad empieza por la educación y termina con la educación.”

*Kaoru Ishikawa*

“La innovación sin ejecución es alucinación.”

*Henry Ford*

## **DEDICATORIAS**

A Dios, por los planes perfectos que da a mi vida, por la salud y la gran familia que me concedió.

A mis padres, Luis e Idolina, quienes me educaron y enseñaron a perseguir y luchar por mis sueños, a no sentirse derrotado, afrontar, vencer y superar los obstáculos de la vida. Por todas las circunstancias de dificultad, necesidad y carencia que vivimos como familia, los amo y los llevo presentes en mí ser.

A mi hermano, que me ayudo, aconsejo y apoyo todo el tiempo a lo largo de mis estudios, por su cariño incomparable, por la felicidad y alegría irradiante que brinda a la familia.

A mi compañera de vida, gracias por los bellos momentos, por el amor, el cariño, la atención y la felicidad que trajo a mi vida, los tiempos difíciles son más apacibles a tu lado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por hacer que la comunidad estudiantil continúe con su preparación académica, mediante los apoyos económicos excepcionales que otorga.

Al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTa) por la formación profesional que forja en todos los jóvenes estudiantes y la esperanza de seguir creciendo académicamente.

A mi director de tesis Dra. Lidilia Cruz Rivero y co-directores Dra. María Leonor Méndez Hernández y Dr. Daniel Ángeles Herrera, por el apoyo y conocimiento incondicional recibido en cada fase de la investigación, por su comprensión y amistad, un eterno agradecimiento.

Al Centro de Investigación en Petroquímica Secundaria y al Dr. José Luis Rivera Armenta por ser facilitadores durante los estudios y pruebas que se realizaron en la investigación.

## ÍNDICE

Resumen .....	17
Abstrac.....	18
Introducción.....	19
Capítulo I. Generalidades .....	21
1. 1. Antecedentes.....	21
1. 2. Problemática .....	25
1. 3. Planteamiento del problema .....	26
1. 4. Justificación .....	27
1. 5. Objetivos.....	28
1. 5. 1. Objetivo general .....	28
1. 5. 2. Objetivos específicos.....	28
1. 6. Hipótesis .....	28
1. 7. Alcances.....	28
1. 8. Limitaciones .....	29
Capítulo II. Marco Teórico.....	30
2. 1. Plástico.....	30
2. 1. 1. Definición.....	30
2. 1. 2. Composición.....	30
2. 1. 3. Historia .....	31
2. 1. 4. Evolución de la producción del plástico.....	31
2. 1. 5. Tiempo de vida .....	34
2. 1. 6. Contaminación.....	35
2. 1. 7. Plásticos más seguros .....	36
2. 1. 7. 1. El BPA y los ftalatos .....	37

2. 2. Bioplásticos .....	38
2. 2. 1. Plásticos biobasados .....	38
2. 2. 2. Plásticos biodegradables.....	40
2. 2. 3. Producción de bioplásticos .....	41
2. 3. Fibras naturales.....	42
2. 3. 1. Ventajas .....	44
2. 3. 2. Desventajas.....	44
2. 3. 3. Producción de fibras naturales.....	45
2. 4. Coco (Cocos Nucifera).....	46
2. 4. 1. Historia del coco.....	47
2. 4. 2. Producción de coco.....	47
2. 4. 3. Tipos .....	50
2. 4. 4. Propiedades.....	50
2. 5. Almidón Termoplástico (ATP).....	51
2. 5. 1. Propiedades.....	52
2. 6. Etileno Vinil Alcohol (EVOH).....	53
2. 6. 1. Propiedades.....	54
2. 7. Hule sintético (SB) .....	54
2. 7. 1. Propiedades.....	55
2. 8. Normatividad .....	55
2. 8. 1. Etileno Vinil Alcohol (EVOH).....	55
2. 8. 2. Hule sintético (SB) .....	56
2. 9. Despliegue de la Función de la Calidad (QFD).....	56
2. 9. 1. Definición .....	57
2. 9. 2. Historia .....	57

2. 9. 3. Beneficios .....	58
2. 9. 4. La Voz del Cliente (VoC).....	59
2. 9. 5. Etapas para el desarrollo del QFD .....	60
2. 10. Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ).....	61
2. 10. 1. Definición .....	62
2. 10. 2. Historia .....	63
2. 10. 3. Beneficios .....	63
2. 10. 4. Matriz de contradicciones.....	64
2. 10. 5. Los 39 parámetros .....	65
2. 10. 6. Los 40 principios de inventiva.....	66
2. 11. Métodos de caracterización .....	67
2. 11. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR) .....	67
2. 11. 2. Análisis Dinámico Mecánico (DMA).....	69
2. 11. 3. Análisis Termogravimétrico (TGA) .....	70
Capítulo III. Marco Metodológico.....	72
3. 1. Objeto de estudio .....	72
3. 2. Tipo de investigación.....	72
3. 3. Despliegue de la Función de la Calidad (QFD).....	73
3. 4. Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ).....	73
3. 4. 1. Parámetros y principios de inventiva.....	73
3. 4. 2. Matriz de contradicciones.....	74
3. 5. Encuesta.....	75
3. 6. Obtención de la fibra de coco .....	77
3. 7. Materiales .....	78
3. 8. Proceso de preparación.....	79

3. 8. 1. Fibra de coco .....	79
3. 8. 2. ATP – EVOH.....	80
3. 8. 3. Hule sintético (SB) .....	81
3. 9. Proceso de mezclado .....	81
3. 9. 1. Mezclas preliminares .....	83
3. 9. 2. Primera mezcla .....	83
3. 9. 3. Segunda mezcla .....	84
3. 9. 4. Tercera mezcla.....	85
3. 9. 5. Cuarta mezcla .....	85
3. 10. Proceso de prensado .....	86
3. 11. Preparación de las probetas .....	88
3. 12. Métodos de caracterización .....	89
3. 12. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR) .....	89
3. 12. 2. Análisis Dinámico Mecánico (DMA).....	89
3. 12. 3. Análisis Termogravimétrico (TGA).....	90
3. 13. Prueba de intemperismo .....	90
Capítulo IV. Marco Operativo.....	91
4. 1. Análisis de los resultados de la encuesta .....	91
4. 2. Desarrollo del Despliegue de la Función de la Calidad (QFD).....	100
4. 2. 1. Construcción de la Casa de la Calidad (HoQ).....	100
4. 2. 2. Crítico de calidad.....	105
4. 3. Desarrollo de la Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ) .....	107
4. 3. 1. Definición del parámetro A .....	107
4. 3. 2. Identificación de pares en conflicto.....	108
4. 3. 3. Identificación de principios de inventiva.....	108

4. 3. 4. Implementación de los principios de inventiva .....	110
4. 4. Proceso de obtención de la fibra de coco .....	111
4. 5. Análisis experimental .....	112
4. 5. 1. Mezclas preliminares .....	112
4. 5. 2. Primera Mezcla.....	113
4. 5. 3. Segunda Mezcla.....	116
4. 5. 4. Tercera Mezcla .....	117
4. 5. 5. Cuarta Mezcla.....	117
4. 6. Resultados de los métodos de caracterización.....	118
4. 6. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR) .....	118
4. 6. 2. Análisis mecánico dinámico (DMA).....	119
4. 6. 3. Análisis termogravimétrico (TGA) .....	121
4. 7. Resultados de la prueba de intemperismo .....	124
Conclusiones.....	126
Recomendaciones .....	127
Anexos .....	128
Bibliografía.....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción global de plástico. Fuente: Wang, <i>et al.</i> , 2019.....	32
Figura 2 Comparativa de la producción mundial de plástico 2006 – 2014. Fuente: Plastics Europe, 2016, Tomado de Gilbert, 2017. ....	33
Figura 3 Distribución de la producción mundial de plástico en 2017. Fuente: Horodytska, Cabanes y Fullana, 2019.....	34
Figura 4 Plásticos más seguros para reutilizar 2, 4 y 5. Fuente: Kumar, 2018. ....	36
Figura 5 Clasificación de polímeros de base biológica. Fuente: Verma y Fortunati, 2018..	39
Figura 6 Capacidad de producción global de bioplásticos 2019. Fuente: European Bioplastics, 2019. ....	42
Figura 7 Clasificación de las fibras naturales y sintéticas. Fuente: Diseño propio tomado de Velásquez, Peláez y Giraldo, 2016, Lalit, Mayank y Ankur, 2018 y Preda, Popa, Mădălina, Şerbănescu y Holban, 2019. ....	43
Figura 8 Producción mundial de fibras naturales vegetales. Fuente: Ngo, 2017. ....	45
Figura 9 Partes del coco. Fuente: Small, 2017. ....	46
Figura 10 Fósiles de Cocos recuperado de Mangonui, norte de Auckland, Nueva Zelanda (tamaño real 3.5 x 1.3 – 2.5 cm). Fuente: Madhavan, 2017 reproducido y tomado de la Universidad de Waikato, Nueva Zelanda. ....	47
Figura 11 Síntesis del EVOH en dos pasos: (a) copolimerización de etileno y acetato de vinilo, resultado polietilenvinilacetato, (b) transesterificación con metanol, resultado EVOH y acetato de metilo como producto secundario. Fuente: Maes, <i>et al.</i> , 2018.....	53
Figura 12 Etapas/Fases de la matriz HoQ de la metodología QFD. Fuente: Schillo, Isabelle y Shakiba, 2017. ....	61
Figura 13 Meta-Algoritmo de Invención TRIZ Fuente: Orloff, 2020.....	62
Figura 14 Matriz de contradicciones. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Otto.	75
Figura 15 Encuesta. Fuente: Diseño propio.....	76
Figura 16 Desechos de cáscara de coco. Fuente: El autor, Tantoyuca, Veracruz, 2019. ....	78
Figura 17 a) Fibra de coco, b) ATP – EVOH y c) Hule sintético (SB). Fuente: El autor, 2019. ....	78
Figura 18 Fibra de coco de aproximadamente 1 cm de longitud. Fuente: El autor, 2019....	79
Figura 19 Fibra de coco en micropartículas. Fuente: El autor, 2019.....	80

Figura 20 ATP – EVOH en tiras pequeñas. Fuente: El autor, 2019.....	80
Figura 21 Hule sintético (SB) en pequeños fragmentos. Fuente: El autor, 2019. ....	81
Figura 22 Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019. ....	81
Figura 23 Incorporación de los materiales al Reómetro, a) Zona de Calentamiento 1, b) Zona de Calentamiento 2, c) Zona de Calentamiento 3, d) Cámara de mezclado y e) Materiales. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.....	82
Figura 24 a) Retiro de las zonas de calentamiento 1 y 2, b) Retiro de la mezcla realizada. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.....	82
Figura 25 Mezclas preliminares, a) Mezcla a 170 ° C, b) Mezcla a 150 ° C y c) Mezcla a 100 ° C. Fuente: El autor, 2019. ....	83
Figura 26 Primera mezcla. Fuente: El autor, 2019.....	84
Figura 27 Segunda mezcla. Fuente: El autor, 2019.....	84
Figura 28 Tercera mezcla. Fuente: El autor, 2019. ....	85
Figura 29 Cuarta mezcla. Fuente: El autor, 2019. ....	85
Figura 30 Prensa mecánica Dake. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.....	86
Figura 31 Colocación de la mezcla en el molde. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019. ....	87
Figura 32 Introducción de la mezcla a la prensa mecánica Dake. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.....	87
Figura 33 a) Retiro de la muestra, b) Colocación de peso, c) Separación de las placas de aluminio y d) Desmolde de la muestra. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019. ....	88
Figura 34 Corte para la obtención de las probetas. Fuente: El autor, 2019.....	88
Figura 35 Probetas obtenidas de cada mezcla realizada, a) 1 <sup>er</sup> mezcla, b) 2 <sup>da</sup> mezcla, c) 3 <sup>er</sup> mezcla y d) 4 <sup>ta</sup> mezcla. Fuente: El autor, 2019.....	89
Figura 36 Formato de la casa de la calidad. Fuente: Battles, 2010. ....	100
Figura 37 Definición de los ¿Qué's? o requerimientos del cliente. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.....	101
Figura 38 Definición de los ¿Cómo's? o requerimientos funcionales. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010. ....	101

Figura 39 Determinación de la relación entre los requerimientos de los clientes (¿Qué's?) y los requerimientos funcionales (¿Cómo's?). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010. ....	102
Figura 40 Determinación de la correlación entre los requerimientos funcionales (¿Cómo's?). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010. ....	103
Figura 41 Ponderación de los requerimientos del cliente. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010. ....	104
Figura 42 Etapa 1 y 2 de la casa de la calidad. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010. ....	105
Figura 43 Traducción del crítico de calidad (QFD) a parámetro (TRIZ). Fuente: Diseño propio. ....	107
Figura 44 Identificación y localización de los principios de inventiva del parámetro 30 (parámetro A) y parámetro 14 (Parámetro B). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Otto. ....	110
Figura 45 Diagrama de flujo para la obtención de la fibra de coco. Fuente: Diseño propio. ....	112
Figura 46 Apariencia de las mezclas preliminares. Fuente: El autor, 2019. ....	113
Figura 47 Apiñamiento de fibra de coco en primera mezcla. Fuente: El autor, 2019. ....	114
Figura 48 Apariencia oscura en la primera mezcla. Fuente: El autor, 2019. ....	114
Figura 49 Comparativa entre a) 5 gr de Fibra de coco de 1 cm aproximado de longitud y b) 5 gr de Fibra de coco en micropartículas. Fuente: El autor, 2019. ....	115
Figura 50 Torque registrado de la Segunda mezcla. ....	116
Figura 51 Torque registrado de la Tercera mezcla. ....	117
Figura 52 Torque registrado de la Cuarta mezcla. ....	118
Figura 53 Espectros FTIR de FC/ATP-EVOH/SB. ....	119
Figura 54 Módulo de almacenamiento (E') de DMA para mezclas FC/ATP-EVOH/SB. .	120
Figura 55 Tangente de delta (Tan $\delta$ ) de DMA para mezclas FC/ATP-EVOH/SB. ....	121
Figura 56 Termograma TGA para mezcla (1) FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3. ....	122
Figura 57 Termograma TGA para mezcla (2) FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3. ....	122
Figura 58 Termograma TGA para mezcla (3) FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0. ....	123
Figura 59 Termograma TGA para mezcla (4) FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0. ....	123

Figura 60 Comparativa de probetas expuestas a condiciones climáticas naturales vs probetas resguardadas.....	125
Figura 61 Día 1 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2019.....	125
Figura 62 Día 150 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2020.....	125
Figura 63 Día 300 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2020.....	125
Figura 64 Espectro FTIR de FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3 (Mezcla 1).....	128
Figura 65 Espectro FTIR de FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3 (Mezcla 2).....	129
Figura 66 Espectro FTIR de FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0 (Mezcla 3).....	130
Figura 67 Espectro FTIR de FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0 (Mezcla 4).....	131
Figura 68 Análisis DMA ( $E'$ , $E''$ y $\tan \delta$ ) de FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3 (Mezcla 1). .....	132
Figura 69 Análisis DMA ( $E'$ , $E''$ y $\tan \delta$ ) de FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3 (Mezcla 2). .....	132
Figura 70 Análisis DMA ( $E'$ , $E''$ y $\tan \delta$ ) de FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0 (Mezcla 3). .....	133
Figura 71 Análisis DMA ( $E'$ , $E''$ y $\tan \delta$ ) de FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0 (Mezcla 4). .....	133
Figura 72 Productividad académica, publicación de artículo de investigación.....	134
Figura 73 Productividad académica, participación en concurso SOLACYT.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción mundial de plásticos por región / país de 2006, 2014 y 2017. ....	33
Tabla 2 Tiempo estimado de degradación en el océano de desechos marinos. ....	35
Tabla 3 Producción de coco por país y continente, 2011 – 2015. ....	48
Tabla 4 Producción de coco por entidad federativa 2013. ....	49
Tabla 5 Propiedades físicas y mecánicas de la fibra del coco. ....	51
Tabla 6 Los 39 Parámetros de TRIZ. ....	65
Tabla 7 Los 40 principios de inventiva de TRIZ. ....	66
Tabla 8 Formato de bitácora para el registro de la prueba de intemperismo. ....	90
Tabla 9 Resultados de la pregunta 1. ....	91
Tabla 10 Resultados de la pregunta 2. ....	92
Tabla 11 Resultados de la pregunta 3. ....	93
Tabla 12 Resultados de la pregunta 4. ....	94
Tabla 13 Resultados de la pregunta 5. ....	95
Tabla 14 Resultados de la pregunta 6. ....	97
Tabla 15 Resultados de la pregunta 7. ....	98
Tabla 16 Categorización de los requerimientos técnicos de acuerdo a su ponderación conseguida en la HoQ. ....	106
Tabla 17 Definición del parámetro A y los parámetros B de acuerdo con la metodología TRIZ. ....	109
Tabla 18 Análisis TGA por intervalos de temperatura. ....	124
Tabla 19 Resultados prueba de intemperismo. ....	125

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Pregunta 1. ¿En qué sector ha tenido alguna experiencia (investigación, estudio, aplicación) con los usos de materiales biodegradables?. Fuente: Diseño propio.....	91
Gráfica 2 Pregunta 2. De acuerdo a su experiencia/conocimiento con materiales biodegradables ¿qué tipo de fibras naturales conoce?. Fuente: Diseño propio.....	92
Gráfica 3 Pregunta 3. Dentro de la clasificación de fibras naturales vegetales, ¿Cuáles conoce? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.....	93
Gráfica 4 Pregunta 4. De las fibras naturales vegetales anteriores, ¿en qué campo o sector ha escuchado, leído o visto aplicaciones?. Fuente: Diseño propio.....	94
Gráfica 5 Pregunta 5. ¿Qué esperaría de un producto que contiene materiales biodegradables? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.....	96
Gráfica 6 Pregunta 6. Si se sustituyeran los empaques y embalajes de plásticos convencionales con plásticos biodegradables, ¿qué factor cree usted que se afectaría? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.....	97
Gráfica 7 Pregunta 7. ¿Cuál cree que sea o haya sido el o los inconvenientes que han tenido algunas empresas por la sustitución de plásticos convencionales por plásticos biodegradables? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.....	99

**RESUMEN**

El objetivo de la investigación es obtener un material parcialmente biodegradable a base de fibra de coco, ATP – EVOH y SB, atendiendo el criterio/atributo más significativo que los usuarios finales determinan, a partir del uso de herramientas como el despliegue de la función de la calidad (QFD) y la teoría para la solución de problemas de inventiva (TRIZ). El resultado de la implementación de las metodologías determinó que el crítico de calidad y atributo más representativo para los usuarios es la toxicidad del material. Se elaboraron cuatro mezclas con distintos porcentajes de fibra de coco, ATP – EVOH y SB sometiéndolas a pruebas de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Análisis Mecánico Dinámico (DMA) y Análisis Termogravimétrico (TGA), teniendo como resultado que el material obtenido cumple con los requerimientos que estipula la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) en relación a la no toxicidad que representan los materiales sintéticos (EVOH y SB) para uso final en contacto con alimentos (empaque y embalaje), puesto que en los espectros IR no se detectó la presencia de monómeros como el ácido metacrílico, acrilato de 2-hidroxietilo, ácido itacónico, entre otros, debido a la humedad del material. Por otro lado, las gráficas de DMA mostraron que las mezclas perciben altos módulos de almacenamiento (de 1,500 MPa a 3,000 MPa) a temperaturas de  $-90^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ , y el termograma TGA mostró que el último material en degradarse a temperaturas entre los  $400^{\circ}\text{C}$  y  $500^{\circ}\text{C}$  es el SB.

**Palabras clave.** Despliegue de la función de la calidad (QFD), Teoría para la solución de problemas de inventiva (TRIZ), fibra de coco, ATP – EVOH y SB.

**ABSTRAC**

The aim of this research is to obtain a partially biodegradable material based in coconut fiber, thermoplastic starch (TPS), ethylene vinyl alcohol (EVOH) and styrene-butadiene copolymer (SB), meeting the most significant criteria/attribute that end-users determine, from the use of tools such as the deployment of the function of quality (QFD) and inventive problem solving theory (TRIZ). The result of the implementation of the methodologies determined that the quality critic and the most representative attribute for the users is the toxicity of the material. Four mixtures were made with different percentages of coconut fiber, ATP-EVOH, and SB, subjecting them to Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Dynamic Mechanical Analysis (DMA) and Thermogravimetric Analysis (TGA), resulting in the material obtained complies with the requirements of the Food and Drug Administration (FDA) regarding the non-toxicity of synthetic materials (EVOH and SB) for end use in contact with food (packaging and packaging), since in the spectra IR the presence of monomers such as methacrylic acid, 2-hydroxyethyl acrylate, itaconic acid, among others, was not detected due to the humidity of the material. On the other hand, the DMA graphs showed that the mixtures perceive high storage modules (from 1,500 MPa to 3,000 MPa) at temperatures from -90 ° C to -70 ° C, and the TGA thermogram showed that the last material to degrade to temperatures between 400 ° C and 500 ° C is the SB.

**Keywords.** Quality Function Deployment (QFD), Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), coconut fiber, TPS - EVOH and SB.

## INTRODUCCIÓN

La producción de plásticos convencionales está causando grandes estragos a nivel mundial, alrededor del 80 % del plástico que se fabrica se acumula como basura en vertederos y entornos naturales, lo que presenta un riesgo creciente (Karan, Funk, Grabert, Oey y Hankamer, 2019). De acuerdo con la OCDE (2018), Ashter (2016) y European Bioplastics (2019) la producción de plástico en 2015 a nivel mundial fue de 407 millones de toneladas, mientras que la producción de bioplásticos en el 2018 fue de 2.11 millones de toneladas, es decir, menos del 1 % de la producción total a nivel mundial (Verbeek y Uitto, 2016).

Derivado del aumento en el consumo de combustibles fósiles, la limitación de recursos, la fluctuación de precios y el impacto en el medio ambiente, ha surgido una tendencia hacia el uso de materiales biodegradables (Ashter, 2016), por lo que el interés por el cuidado del medio ambiente y el remplazo de plásticos convencionales es cada vez mayor.

Con el panorama mundial de producción de plásticos convencionales que existe y con las tendencias por la sustentabilidad que se presentan, es importante considerar metodologías que aportan al contexto de innovación, diseño y fabricación de materiales biodegradables, tales como QFD y TRIZ, que son un conjunto de técnicas que aportan ideas novedosas escuchando y atendiendo la voz de usuarios finales, las cuales permiten satisfacer ciertos requerimientos, criterios, características y atributos específicos que el usuario final considera relevantes o significativos.

Debido a las tendencias observadas a nivel mundial y de las múltiples aportaciones que científicos e investigadores realizan en materia de sustentabilidad referentes al uso de desechos orgánicos (fibras naturales) para la creación de materiales biodegradables, parcialmente biodegradables, compostables y/o biobasados, se identificó que el municipio de Tantoyuca, Veracruz (zona de estudio) se ve afectada por desechos de cáscara de coco que se disponen en terrenos y depósitos de basura, a los cuales no se les da ningún tratamiento ni procesamiento para aprovecharlos y generar alguna alternativa sustentable.

En la investigación se desarrolla un estudio para crear un material parcialmente biodegradable considerando la voz de especialistas y profesionistas en el área de materiales biodegradables y/o afines, con el uso de las metodologías QFD y TRIZ se escucha, analiza

y define los atributos significativos de un material parcialmente biodegradable así como los parámetros de diseño que repercuten para su procesamiento.

El material parcialmente biodegradable generado está constituido por fibra de coco (FC) obtenida de los desechos de cáscara de coco que afectan al municipio, por almidón termoplástico con matriz etileno vinil alcohol (ATP – EVOH) y copolímero estireno – butadieno (SB), estos materiales fueron mezclados con equipos especializados de laboratorio, obteniendo cuatro mezclas con diferentes proporciones de material. Las mezclas conseguidas permitieron confeccionar probetas que fueron sometidas a análisis de Espectroscopia Infrarroja (FTIR), Análisis Dinámico Mecánico (DMA), Análisis Termogravimétrico (TGA) y pruebas de intemperismo bajo condiciones climáticas naturales.

## CAPÍTULO I. GENERALIDADES

### 1. 1. Antecedentes

Los plásticos fueron inventados hace aproximadamente 110 años y son ahora las sustancias artificiales más utilizadas y se han vuelto omnipresentes en todos los aspectos de nuestras vidas (Worm, Lotze, Jubinville, Wilcox y Jambeck, 2017). A pesar de su versatilidad y maleabilidad física que lo caracteriza, se ha convertido gradualmente en una amenaza ambiental global con una distribución ubicua (Frias y Nash, 2019).

La producción comercial de plásticos comenzó alrededor de la década de 1950 y ha experimentado un crecimiento excepcional (Lebreton y Andrady, 2019), actualmente China es el principal país que genera la mayor producción de plásticos con aproximadamente 59.08 millones de toneladas y el embalaje es el sector industrial con mayor generación de residuos plásticos (Ritchie y Roser, 2018). En México la capacidad instalada de producción de plásticos es de 4, 415 unidades económicas dispersas geográficamente en 385 municipios, siendo el estado de México la entidad con el mayor número de municipios con producción, y el municipio de León, Guanajuato la entidad con mayor número de unidades dedicadas a la producción de plásticos (INEGI, 2017).

Con el crecimiento potencial en la producción de plástico y las secuelas ocasionados por la disposición final que generan, investigadores en todo el mundo han realizado estudios para contrarrestar los efectos contaminantes causados y a su vez aportar innovaciones sustentables en distintos ramos industriales.

Cubilla, González, Montezuma, Samudio y Gómez (2020) elaboraron un material a base de fibra de coco y cáscara de plátano para fabricar artículos biodegradables (platos, vasos, cubiertos, bolsas, entre otros), el prototipo obtenido del material biodegradable fue colocado a la intemperie para medir el tiempo de desintegración, observando una degradación en un tiempo de 35 a 40 días, lo cual es menor al tiempo que se tenía estipulado (3 meses), por lo tanto se comprueba que los materiales son una excelente alternativa para reemplazar el plástico.

Omoniyi y Abel (2019) investigaron el uso potencial de la fibra de cáscara de coco para el refuerzo del bioplástico producido con almidón de yuca, mediante la formulación de cinco composiciones bioplásticas (0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 %) de fibra de coco lograron analizar la resistencia a la tracción (0.36 y 0.68 MPa), el módulo de elasticidad ( $2.7 \times 10^6$  a  $4.9 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>), la energía de impacto (1.73 – 3.7 J), la absorción de agua (27.3 – 42.9%) y la biodegradabilidad (un mes después de la prueba en el patio de la tumba), determinando que el nivel óptimo de refuerzo de fibra de coco era del 10 %.

García, *et al.*, (2017) menciona sobre un proceso para obtener fibra de coco para fabricar colchones ecológicos hipoalergénicos, su problemática es que los colchones en su mayoría están fabricados por poliuretano y material inflamable, cuyas telas contienen sustancias químicas que provocan en la piel de quien lo usa determinados tipos de enfermedades. Es por ello que, el colchón ecológico hipoalergénico es fabricado con de fibra de coco y recubierto con capas de materiales secundarios que dan firmeza y resistencia al producto, además, se recubre con una capa de tela hipoalergénica que garantiza la efectividad del colchón.

Kaisone, Harnkarnsujarit, Leejarkpai y Nampitch (2016) prepararon espumas compuestas de ácido poliláctico (PLA), caucho natural y fibras de coco modificadas observando que la combinación de fibras de coco modificadas en espumas compuestas podría conducir a una mejor adhesión entre el área superficial de la matriz PLA y la fase de caucho natural, además, un aumento del 10 % en peso de la fibra de coco modificada añadida a las espumas compuestas dio como resultado un aumento de la tensión de compresión de 105,24 kN/m<sup>2</sup>.

Gomez y Reyes (2015) en su patente WO 2015/057045 A1, emplean el polvo de cáscara de coco, almidón de maíz y aditivos oxodegradativos para formular artículos de plástico espumado biodegradables, el producto espumoso es conseguido por medio de dos métodos y el material obtenido se degrada en un periodo de 2 a 3 años.

Ortega (2017) obtuvo una mezcla en fundido y moldeo compresión con materiales a base de almidón termoplástico (TPS), ácido poliláctico (PLA), cascarilla de arroz (RH) y aceite epoxídico de soya (ESO), donde sus resultados fueron: incremento de la rigidez – resistencia, disminución de la capacidad de deformación con la incorporación de PLA al

TPS, disminución de rigidez – resistencia al incorporar ESO a la mezcla de TPS/PLA y la adición de ESO a la mezcla de TPS/PLA/RH resultó un incremento en todas las propiedades mecánicas.

Montilla, Joaquín, Delgado y Villada (2016) obtuvieron películas de TPS y PLA, para evaluar el efecto de la relación de estiramiento y la temperatura, la mezcla de TPS/PLA se sometió a la prueba de temperatura del baño líquido y relación de estiramiento, originando una afectación en el termo-encogimiento de las películas, la mayor contracción de calor fue de 65.3 % y 52.0 %, en sentido longitudinal y transversal, por lo cual los resultados son cercanos al termo-encogimiento del policloruro de vinilo (PVC) que está alrededor del 60.0 %, mostrando que las películas de TPS/PLA pueden tener aplicación como empaque termoencogible.

Barrios, García, Manríquez González, Rivera y Lomelí (2015) elaboraron y describieron biocompuestos de almidón de maíz reforzado con partículas de madera de fresno, por el método de termo-compresión, observando que es posible elaborar almidón termoplástico por ese método, además, al incorporar las partículas de madera de fresno a la matriz termoplástica se mejora la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad, con una buena interfase (matriz-partícula).

Ruiloba, Li, Quintero y Correa (2018) aislaron el almidón de las semillas de mango verde para la elaboración de biomateriales, los resultados fueron que el rendimiento del almidón fue de 4.67 %, diez veces menor al obtenido por Nawab, *et al.* que obtuvo un rendimiento de 58 %, estos resultados pueden deberse al método de extracción utilizado y al estado de maduración de los mangos.

Lancarovici, Grande y Felix (2019) muestran un análisis del almidón termoplástico (TPS) que al poseer bajas propiedades mecánicas y alta sensibilidad a la humedad, es combinado con EVOH para mejorar sus propiedades, mezclando los materiales con dos contenidos diferentes de etileno, con 27 y 44 % mol, por medio de extrusión, realizaron diversas pruebas como TGA, DSC, SEM y absorción de agua, donde los resultados fueron que la adición del EVOH no cambió significativamente la estabilidad térmica, aumentó la

resistencia a la tracción en un 65 %, su morfología no presentó dos fases distintas y se obtuvo una disminución en la absorción en la humedad.

Heras Mozos, *et al.*, (2018) desarrollaron una película a base de LDPE revestido con copolímero EVOH que contiene extracto de ajo y aroma de pan para empacar panes en rodajas, realizaron un recubrimiento de 1  $\mu\text{m}$  de EVOH que contenía los agentes sobre la película de LDPE, con contenido optimizado de 8 % de extracto de ajo y 8 % de aroma de pan, se crearon bolsas y se utilizaron para empacar el pan, obteniendo que el moho se retrasó de 6 a 12 días por el uso de la bolsa activa, además el pan mantuvo sus características, el producto era aceptable y con buena intención de compra.

Santana, *et al.*, (2017) desarrollaron películas flexibles basadas en polietileno de alta densidad (HDPE) y etileno – alcohol (mezcla de HDPE / EVOH / EVA) reforzados con óxido de grafeno (GO), las películas flexibles de HDPE / EVOH / EVA / GO fueron preparadas mediante extrusión de doble tornillo y procesamiento por extrusión de película soplada, las películas se caracterizaron mediante pruebas de tracción, análisis de TG, DSC y FE – SEM. Los resultados mostraron que la incorporación de nanopartículas GO aumentó la resistencia a la tracción en la rotura y el módulo de Young sin una variación importante en la elongación en las propiedades de rotura. Las micrografías FE – SEM de nanocompuestos de HDPE / EVOH / EVA y HDPE / EVOH / EVA / GO irradiados mostraron una mejor compatibilidad entre los diferentes componentes en comparación con las muestras no irradiadas.

Yang, *et al.*, (2016) analizaron las propiedades de las películas de copolímero de etileno y alcohol vinílico (EVOH) con aceite esencial de clavo de olor (C) como prolongadores de vida útil, donde las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera mostraron que la adición de aceite esencial de clavo no disminuyó dichas propiedades y el clavo de olor como plastificante mejoró la fluidez del proceso de la resina EVOH, los resultados fueron que la película activa que contenía un 3 % de aceite esencial de clavo de olor podía mantener efectivamente la frescura de los peces y extender la vida útil a 7 – 8 días durante el almacenamiento en frío en comparación con el grupo de control, que fue solo 4 días.

Wu, JH., Wu CP., Kuo MC, y Tsai Y. (2016) incorporaron el etileno – alcohol vinílico (EVOH) en la matriz de PLA para mejorar la propiedad de barrera del PLA a través de la extrusión de doble tornillo en lugar del proceso de coextrusión típico, además de usar un extensor de cadena, poli [(etileno) – co – (acrilato de metilo) – co – (metacrilato de glicidilo)] (PEMG), donde por medio del estiramiento biaxial aumentó la resistencia a la tracción y disminuyó el valor del alargamiento a la rotura de la película PLA-PEMG / EVOH80, realizando una mezcla de fusión del EVOH se mejoró la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) del PLA.

Ge, Fortuna, Lei y Lu (2016) estudian varias combinaciones de EVOH puro y EVOH / LDPE para películas de tres capas sin capas de unión, obteniendo que las películas de EVOH puro al 5 y 15 % en peso no son adecuadas para el envasado de alimentos a pesar de sus excelentes propiedades de barrera, además la adición de 0.5 a 2 % en peso de anhídrido maleico injertado con polietileno lineal de baja densidad (LLDPE-g-MAh) en capas externas o capa central de la película de LDPE / EVOH / LDPE pura centrada en EVOH no logró mejorar la resistencia al desprendimiento entre las capas de una manera consistente y extensa.

## **1. 2. Problemática**

Alrededor de todo el mundo se presentan grandes problemas medio ambientales por la contaminación del suelo, agua y tierra que se derivan de diversos factores como los desechos plásticos, en México no es la excepción, la producción y contaminación de plásticos ha ocasionado grandes estragos en la población y en el ambiente. Es por esto que, los residuos sólidos plásticos crean desafíos y preocupaciones en el contexto medio ambiental, (Singh, *et al.*, 2017) debido a la continua demanda que generan, provocando la acumulación de desechos en vertederos y consumiendo espacios marítimos y terrestres que contribuyen a una problemática ambiental (Anuar, Abnisa, Ashri y Aroua, 2016). Actualmente los plásticos son omnipresentes en cualquier entorno y medio que se imagine y requieren medidas urgentes para mitigar esta tendencia al empeoramiento. (Xanthos y Walker, 2017).

En la actualidad el consumo y dependencia del plástico convencional es alarmante ya que en México se generan 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año, según la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) en el 2011. A escala nacional, cerca de 2.8 millones de toneladas al año se dejan de reciclar tanto en procesos mecánicos como energéticos y solo en la ciudad de México se dejan de reciclar 950 toneladas por día de basura plástica. Como dato adicional el 90 % de la basura que flota en el mar es material plástico de diversos tipos: polietileno (bolsas de plástico, botellas de refresco y agua), y polipropileno (plásticos duros como tapas de botella y artes de pesca). (Moreno Bustillos, Humarán Sarmiento, Báez Valdez, Báez Hernández y León Villanueva, 2017).

A pesar de las todas investigaciones e innovaciones que se realizan y efectúan en todo el mundo en relación a los plásticos biodegradables, se estimó que la participación de los bioplásticos en el mercado fue menor al 1 % en el 2010 (Vázquez, Espinosa, Beltrán y Velasco, 2016), además este sector presenta un crecimiento vigoroso, con tasas de crecimiento del 10 a 20 % por año (Satish y K. S., 2017).

### **1. 3. Planteamiento del problema**

La fibra de coco como un producto final se deshecha al medio ambiente y como tal se generan problemas de contaminación, en esta investigación se pretende utilizar de mejor manera este material, aprovechando sus propiedades como biomaterial en conjunto con el almidón termoplástico con matriz Etileno Vinil Alcohol (ATP – EVOH) y copolímero de estireno butadieno (SB).

¿A partir de estudios de laboratorio es posible obtener un material parcialmente biodegradable a base de una mezcla de fibra de coco, ATP – EVOH y SB que ofrezca una alternativa sustentable?

#### 1. 4. Justificación

Si bien hay información disponible sobre la cantidad de material plástico producido y liberado, aún existe una profunda ignorancia y una gran incertidumbre sobre las vías que el plástico realmente toma en el ambiente (Villarrubia Gómez, Cornell y Fabres, 2018), ya que los plásticos sean convertido en una parte indispensable de la vida cotidiana, pero las implicaciones medioambientales que causan en el mundo plantean grandes preocupaciones, es por ello que una alternativa para sustituir y contribuir con la mitigación de la contaminación causada por los plásticos es el uso de plásticos biodegradables, ya que son respetuosos con el medio ambiente, con un gran potencial de reciclaje, y se pueden producir a partir de recursos renovables como materiales de desecho (Chidambarampadmavathy, Parthiba y Heimann, 2017). Además, los bioplásticos son útiles en la industria por sus propiedades elásticas y su carácter sustentable en el reemplazo de polímeros no renovables (Baigts, Pérez, Sandoval, Sorroza y Metri, 2019).

Como se mencionó los plásticos biodegradables pueden producirse a partir de desechos orgánicos, tales como las cáscaras de frutas y verduras, cabellos de animales y hasta minerales. En México, existe una amplia variedad de frutas y verduras que después de su consumo generan una pérdida potencial de materia (cáscara) que no es aprovechada y finaliza convirtiéndose en una fuente contaminante para el ambiente. En la investigación se considera a la cáscara de coco como material contaminante, debido a que el municipio de Tantoyuca, Veracruz (zona de estudio) genera grandes índices de comercialización y distribución de coco, lo que termina ocasionando aglomeraciones de material de desecho en terrenos y vertederos de basura. Es por ello que, considerando las cifras de producción de coco nacional (189 mil 312.86 toneladas de producción registradas en el 2013) y estatal (233.8 toneladas registradas en Veracruz en 2013, datos concentrados en SAGARPA, 2015) se buscará analizar la fibra de coco en combinación con el ATP – EVOH y el SB para conseguir una alternativa sustentable de un biomaterial para diversos usos. Cabe destacar que Veracruz tiene una producción del 0.12 % a nivel nacional y ocupa el lugar número 9 en productores de coco.

## **1. 5. Objetivos**

### **1. 5. 1. Objetivo general**

Obtener una alternativa sustentable de un material parcialmente biodegradable a partir de fibra de coco (FC), almidón termoplástico con matriz Etileno Vinil Alcohol (ATP – EVOH) y copolimero estireno – butadieno (SB), cumpliendo con los requerimientos enfatizados por el cliente.

### **1. 5. 2. Objetivos específicos**

- Definir el requerimiento más significativo de los clientes mediante la utilización de las metodologías QFD y TRIZ.
- Realizar distintas mezclas/combinaciones de los materiales para someterlas a pruebas de laboratorio, permitiendo establecer si las mezclas cumplen o satisfacen el requerimiento demandando por los clientes.

## **1. 6. Hipótesis**

HT: De la combinación de la fibra de coco, el ATP – EVOH y el copolimero de SB, se obtiene un material parcialmente biodegradable que cumple con la característica más representativa del cliente.

## **1. 7. Alcances**

Analizar con distintas pruebas de laboratorio (FTIR, TGA, DMA) las propiedades y caracterizaciones que posee la fibra de coco, el ATP – EVOH y el SB, así mismo las propiedades que concentran ambos materiales en combinación para una posible sustitución de plástico convencional.

La investigación consta de dos fases, la primera, es el análisis mediante las pruebas de laboratorio y la segunda, es aplicar herramientas de calidad (QFD y TRIZ) que ayudarán a definir lo que los “clientes” esperan de un producto que contiene materiales biodegradables, permitiendo así perfilar el sector o segmento de mercado al que ira dirigido el producto, o bien, la materia prima obtenida, para alguna organización, empresa o industria interesada en utilizar dichos materiales.

### **1. 8. Limitaciones**

Como parte media y fundamental del proyecto recaen en realizar estudios que comprueben y validen ciertas características y/o propiedades de los materiales mencionados, se deberá recurrir a organizaciones externas para realizar y llevar a cabo pruebas de laboratorio convenientes para la obtención de los resultados, debido a que en la institución donde se efectúa el proyecto, no se cuenta con un equipo especializado para la realización del estudio y análisis de los materiales señalados.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2. 1. Plástico

#### 2. 1. 1. Definición

Los plásticos son materiales (a menudo sintéticos) formados a partir de sustancias poliméricas orgánicas de gran peso molecular, obtenidos de filiales de hidrocarburos y petróleo, son difíciles de degradar, representan una amplia gama de polímeros que incluyen materiales sintéticos, semisintéticos o naturales que son maleables, pueden moldearse en objetos sólidos [(Dilkes Hoffman, Pratt, Lant y Laycock, 2019), (Chen y Yan, 2020) y (Bano, Younas, Shoaib, Rashid y Jaffri, 2020)], tienen diversos tipos de aplicaciones y son muy fáciles de producir en masa, debido a sus propiedades como resistencia química, resistencia a la corrosión, estabilidad (baja densidad, baja conductividad térmica) y un precio relativamente bajo (Kwon, Lee, Rah, Paek y Kim, 2019).

#### 2. 1. 2. Composición

Los polímeros sintéticos están formados por largas cadenas de moléculas pequeñas conectadas por fuertes enlaces químicos y dispuestas en unidades repetitivas que proporcionan propiedades deseables. La longitud de la cadena de los polímeros y los patrones del ensamblaje polimérico proporcionan propiedades como resistencia, flexibilidad y una característica liviana que los identifica como plásticos (Glaser, 2019).

Usualmente se forman a través de un proceso conocido como polimerización, en el que las moléculas de monómero se unen mediante una reacción química que da como resultado una red tridimensional de largas cadenas de polímeros individuales que consisten en unidades repetidas más pequeñas (Jansen, 2016).

### **2. 1. 3. Historia**

El uso de polímeros naturales se remonta a la edad de piedra, donde se produjeron cuerdas y prendas a partir de hilos de lino y cáñamo, después comenzó la domesticación de los animales de granja. La humanidad utilizó polímeros durante siglos casi sin conocer ninguna información sobre sus estructuras, incluso en la revolución científica, la definición de polímero era muy diferente del concepto moderno (Kiskan y Yagci, 2019).

El primer polímero sintético creado fue la baquelita, sintetizado en una reacción entre formaldehído y fenol por un químico belga Leo Baekeland en 1907 en un pequeño laboratorio en Yonkers, Nueva York, que simbolizó el nacimiento de la moderna industria del plástico. En los primeros años, la baquelita encontró aplicaciones en las industrias eléctrica y automotriz, más tarde en innumerables productos como teléfonos y boquillas. [(Chen y Yan, 2020) y (Martin, 2019)]. Después de la invención de la baquelita, se crearon el celofán en 1913, el cloruro de polivinilo en 1927, el polietileno en 1933, el poliuretano en 1937, el nylon en 1938, el poliestireno en 1944 y el polipropileno en 1954 (Chalmin, 2019).

### **2. 1. 4. Evolución de la producción del plástico**

En las últimas décadas, la producción y el consumo de plásticos han aumentado debido al incremento de las aplicaciones que dependen de las buenas propiedades que poseen. La detonación de la producción mundial de plástico, se inició en la década de 1950, y desde entonces la producción anual de plásticos aumentó 200 veces en los próximos 65 años a más de 400 millones de toneladas anuales, se han producido cerca de 8,300 millones de toneladas (Mt) de plásticos vírgenes en todo el mundo, generando aproximadamente 6,300 Mt de desechos plásticos, de los cuales alrededor del 9 % han sido reciclados, 12 % incinerados y 79 % acumulados en vertederos [(Babayemi, Nnorom, Osibanjo y Weber, 2019) y (Amirkhanian, 2020)].

La producción actual de plásticos consume el 6 % de la producción mundial de petróleo y se registró una producción anual de 335 millones de toneladas en 2016, con una tasa de crecimiento anual de alrededor del 4 % (Wang, *et al.*, 2019).

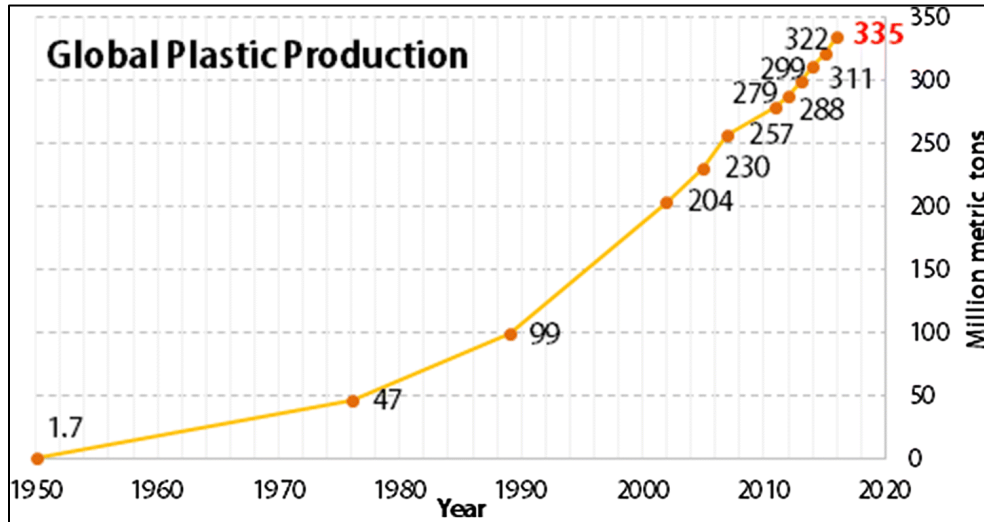


Figura 1 Producción global de plástico. Fuente: Wang, *et al.*, 2019.

En la Tabla 1 y en las Figuras 1 y 2 se visualiza y compara la distribución de la producción mundial de plástico de 2006, 2014 y 2017, observando que China actualmente es el principal productor de plástico a nivel mundial, como también es el país que ha incrementado su producción de plástico un 8.4 %, seguido del Resto de Asia que creció en producción un 2.8 %, África del Medio Oriente que aumentó su producción un 1.1 %, y por el contrario países del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (México, Estados Unidos y Canadá) por su siglas TLCAN (en inglés North American Free Trade Agreement – NAFTA) decremento su producción de 2006 a 2017 un 5.3 %, continuando con Europa que disminuyó un 4.5 %, Japón 2.6 % y América Latina 1.0 %. La región del mundo que incremento y disminuyo su producción fue la Comunidad de Estados Independientes (CIS): Rusia, Bielorrusia, Kazajistán, Azerbaiyán, Tayikistán, Armenia, Kirguistán, Uzbekistán, Moldavia, Ucrania y Turkmenistán, que en 2006 registro 2.0 %, en 2016 3.0 % y en 2017 2.6 %.

Tabla 1 Producción mundial de plásticos por región / país de 2006, 2014 y 2017.

País / Región	Año		
	2006	2014	2017
China	21.0%	26.0%	29.4%
Europa	23.0%	20.0%	18.5%
NAFTA	23.0%	19.0%	17.7%
Resto de Asia	14.0%	16.0%	16.8%
África del Medio Oriente	6.0%	7.0%	7.1%
América Latina	5.0%	5.0%	4.0%
Japón	6.0%	4.0%	3.9%
CIS	2.0%	3.0%	2.6%

Fuente: Diseño propio tomado de Gilbert, 2017, Horodytska, Cabanes y Fullana, 2019.

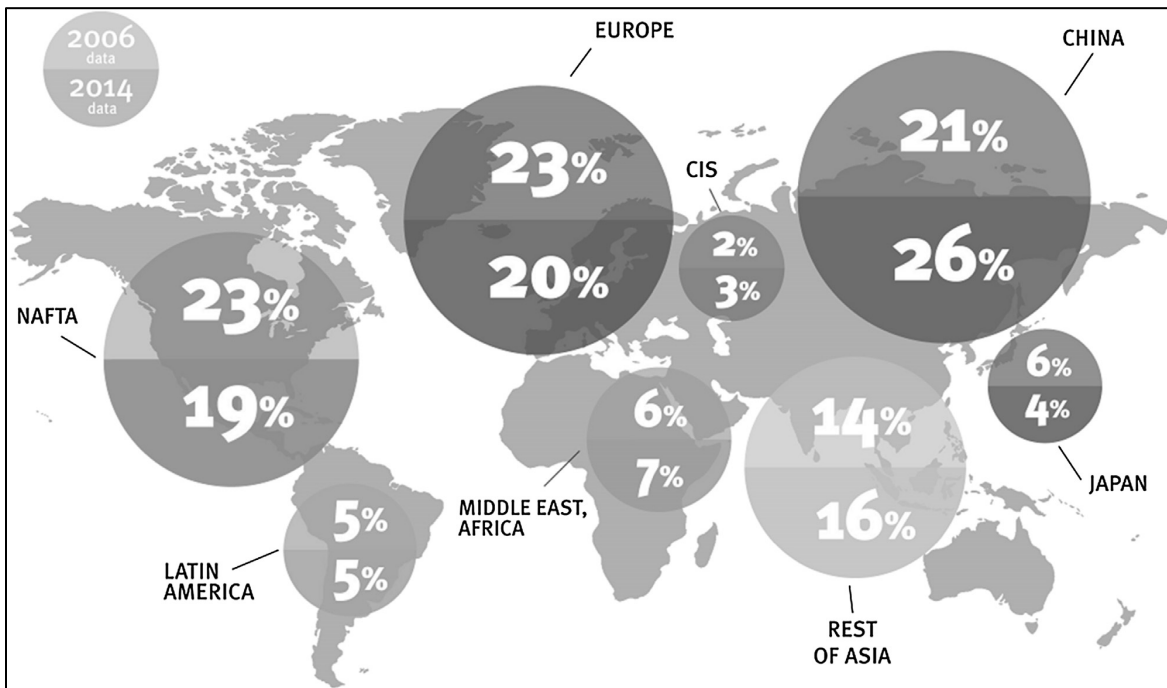


Figura 2 Comparativa de la producción mundial de plástico 2006 – 2014. Fuente: Plastics Europe, 2016, Tomado de Gilbert, 2017.

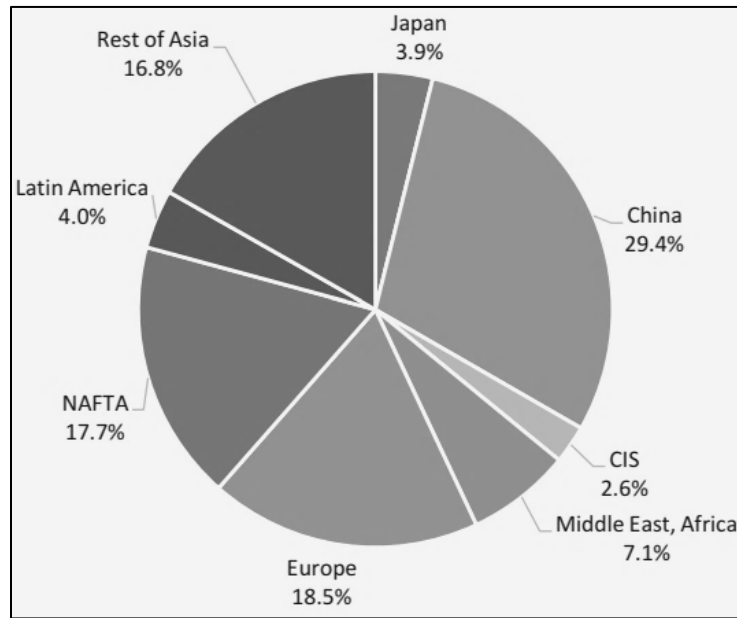


Figura 3 Distribución de la producción mundial de plástico en 2017. Fuente: Horodytska, Cabanes y Fullana, 2019.

### 2. 1. 5. Tiempo de vida

Los plásticos generalmente están diseñados para tener una vida útil de 1 a 50 años, y el sector más grande de producción de plásticos es el empaque de un solo uso para alimentos, bebidas, productos de tabaco y similares (Gibb, 2019). A menudo hay grandes diferencias entre las tasas de degradación de los plásticos, inclusive se ha llegado a pensar que los plásticos no se degradan en absoluto, por ejemplo, se estima que los vasos de plástico se degradan aproximadamente en 400 años, las bolsas de 10 a 20 años, los cartones de leche encerada tres meses y las botellas de 70 a 450 años, [(Chamas, *et al.*, 2020) y (Jefferson, 2019)], de hecho se ha informado que las botellas de PET pueden permanecer intactas en el fondo del mar durante 15 años (Fotopoulou y Karapanagioti, 2017). En la Tabla 2 se aprecia el tiempo estimado para que algunos desechos marinos se degraden en el océano.

Tabla 2 Tiempo estimado de degradación en el océano de desechos marinos.

<b>Artículo</b>	<b>Tiempo de degradación</b>
Toalla de papel	2 – 4 semanas
Periódico	6 semanas
Caja de cartón	2 meses
Corazón de manzana	2 meses
Guantes de algodón	1 – 5 meses
Anillo de seis paquetes fotodegradable	6 meses
Guantes de lana	1 año
Madera contrachapada	1 – 3 años
Bolsa de plástico	10 – 20 años
Lata	50 años
Pañales desechables	50 – 100 años
Botella de plástico	100 años
Portavasos de plástico	400 años
Línea de pesca	600 años
Botella de vidrio y frascos	indeterminado

Fuente: Niaounakis, 2017.

### 2. 1. 6. Contaminación

Las actividades humanas son capaces de cambiar el funcionamiento normal de los procesos del sistema terrestre de manera que amplifican los riesgos para las sociedades de todo el mundo. Una de las actividades antropogénicas más conspicuas es la fabricación, el uso y la eliminación del plástico (Villarrubia Gómez, Cornell y Fabres, 2018). La contaminación generada por estos materiales se compone de una variedad de diferentes polímeros orgánicos (por ejemplo, tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad, cloruro de polivinilo, polietileno, polipropileno y poliestireno) y se estima que el flujo anual de contaminación plástica a los océanos del mundo es de 4.8 a 12.7 TM, de las cuales proviene de fuentes terrestres (asociadas con actividades humanas) y se transporta por ríos o viento (Windsor, *et al.*, 2019), además el 50 % de la contaminación global estimada es originada por cinco naciones: China, Indonesia, Filipinas, Vietnam y Sri Lanka (Abbott y Rashid, 2019).

Los ambientes terrestres y adyacentes de agua dulce están sujetos a una gran contaminación por plásticos como resultado de grandes cantidades de basura humana, al igual que en los

sistemas marinos, las principales contribuciones a la contaminación plástica emanan de las ciudades, las prácticas de gestión de residuos deficientes, eliminación inadecuada o pérdida de productos de actividades industriales y agrícolas, escombros de la descarga de aguas residuales no tratadas y descargas de aguas pluviales (Blettler, Abrial, Khan, Sivri y Espinola, 2018).

### 2. 1. 7. Plásticos más seguros

Existe una creciente preocupación con respecto a los aditivos en los plásticos a los que la mayoría de las personas están expuestas, como los ftalatos (PAE), el bisfenol A (BPA) o los difenil éteres polibromados (PBDE), y su detección en humanos, lo que tiene un impacto nocivo para la salud. De acuerdo con la clasificación de los plásticos creada por la Sociedad para la industria del plástico en 1988, los plásticos más seguros para reutilizar son: 2 Polietileno de alta densidad (PEHD), 4 Polietileno de baja densidad (PELD) y 5 Polipropileno (PP) (Kumar, 2018).



Figura 4 Plásticos más seguros para reutilizar 2, 4 y 5. Fuente: Kumar, 2018.

Por el contrario, de acuerdo con Alabi, Ologbonjaye, Awosolu y Alalade (2019) los plásticos que deben evitarse son:

- El (1) Tereftalato de polietileno (PET). Es utilizado para el envasado de aderezos desechables para ensaladas, jugos, enjuagues bucales, aceites vegetales, cosméticos, refrescos, margarinas y botellas de agua. Debe evitarse a altas temperaturas para evadir la lixiviación de algunos aditivos tóxicos como el acetaldehído, el antimonio (posible carcinógeno humano) y los ftalatos.
- El (3) Cloruro de polivinilo (PVC). Utilizado para envasar jugo de frutas, aceite de cocina, entre otros, se considera altamente tóxico debido a la presencia de

componentes químicos como metales pesados, dioxinas, BPA y ftalatos. El PVC causa bronquitis crónica, defectos congénitos, cambios genéticos, cáncer, enfermedades de la piel, sordera, insuficiencia visual, úlceras, disfunción hepática e indigestión.

- El (6) Poliestireno (PS). Comúnmente usado en la producción de aislantes y materiales de embalaje, este tipo de plástico a base de petróleo, contiene benceno que es cancerígeno para los humanos, y se ha comprobado que es neurotóxico, ocasionando efectos citogenéticos, carcinogénicos y hematológicos.
- El (7) Policarbonato. Se utilizan para la fabricación de cascos de motocicleta o vidrio de seguridad y envasar bienes de consumo, como botellas reutilizables. Los policarbonatos contienen BPA y debido a la exposición a altas temperaturas, el BPA se puede lixiviar del recipiente de policarbonato a la bebida o al alimento almacenado en ellos.

### **2. 1. 7. 1. El BPA y los ftalatos**

El bisfenol A (BPA) es un compuesto sintético orgánico con la fórmula química  $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_2$  que pertenece al grupo de derivados de difenilmetano y bisfenoles, con dos grupos hidroxifenilo. El BPA es un componente plástico producido en grandes cantidades para su uso principalmente en la producción de plásticos de policarbonato y resinas epoxídicas (Ellahi y Rashid, 2017).

El ftalato se deriva del ácido ftálico, que se refiere a tres isómeros: orto-isómero o ácido ftálico, ácido tere-ftálico y ácido isoftálico meta-isómero. Su estructura básica es un ácido benceno dicarboxílico con dos cadenas laterales, que pueden ser grupos alquilo, bencilo, fenilo, cicloalquilo o alcoxi (Pecht, Ali y Carlson, 2017).

El BPA y los ftalatos están presentes en productos como dispositivos médicos, envases de alimentos, perfumes, cosméticos, juguetes, materiales para pisos, computadoras, CD, teléfonos móviles, dispositivos electrónicos, entre otros [(Proshad, *et al.*, 2017) y (Spagnuolo, Marini, Sarabia y Ortiz, 2017)]. El BPA y los ftalatos son compuestos que

pueden ingresar al sistema vivo a través de la contaminación de alimentos y agua, generando riesgos para la salud (Ghosh, Singha, Begum y Ghosh, 2017).

## **2. 2. Bioplásticos**

Los bioplásticos son materiales que tiene una base biológica, son biodegradables o muestra ambas propiedades y son capaces de sufrir descomposición en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y compuestos inorgánicos o biomasa a través de la acción predominantemente enzimática de microorganismos [(Piergiovanni y Limbo, 2016), (Satish y K. S., 2017), (Rivero, *et al.*, 2017), (De Paula, De Paula y Contiero, 2018) y (Bátori, Åkesson, Zamani, Taherzadeh y Sárvári, 2018)].

De acuerdo con Endres (2017) el término "bioplástico" es un material polimérico que posee al menos una de las dos propiedades siguientes:

1. Está hecho de materias primas de base biológica (renovables),
2. Es biológicamente degradable.

Si se cumple esta definición, existen los siguientes tres grupos fundamentales de bioplásticos / biopolímeros:

1. Bioplásticos degradables a base de petroquímicos,
2. Bioplásticos biodegradables (principalmente) degradables,
3. Bioplásticos biodegradables no degradables.

Los bioplásticos exhiben las mismas propiedades o similares que los plásticos convencionales con beneficios ambientales adicionales, como la reducción de la huella de carbono, el reciclaje orgánico o ambos (De Paula, De Paula y Contiero, 2018).

### **2. 2. 1. Plásticos biobasados**

Los plásticos de base biológica se definen como productos comerciales o industriales provenientes de la biomasa, que contiene carbono orgánico de origen renovable y que están

compuestos en su totalidad o en parte significativa por productos biológicos, materiales agrícolas renovables o materiales forestales, como: almidón de maíz, papa, tapioca, arroz, trigo, aceites, semillas de palma, linaza, soja, hongos, microorganismos, productos de fermentación, como ácido poliláctico (PLA), polihidroxicanoato (PHA) y polihidroxibutirato (PHB) [(Greene, 2014), (Arrieta, Ferrándiz, López y Rayón, 2016) y (Narayan, 2017)].

Los productos de base biológica, incluidos los plásticos, pueden ser biodegradables en entornos específicos (por ejemplo, ácido poliláctico (PLA), compostables en condiciones de compostaje industrial pero no en el suelo) o no biodegradables (por ejemplo, biopolietileno) (Briassoulis, Pikasi y Hiskakis, 2019), dependiendo de los contenidos y el medio ambiente, en la Figura 5 muestra una clasificación general de polímeros de base biológica (Verma y Fortunati, 2018).

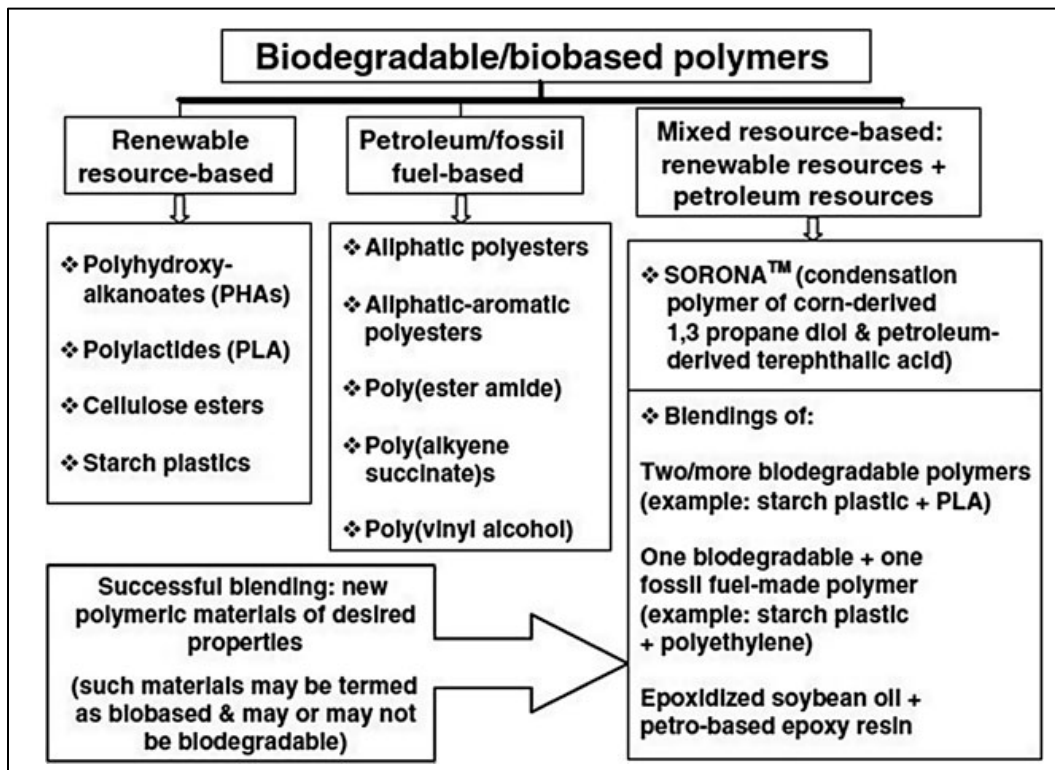


Figura 5 Clasificación de polímeros de base biológica. Fuente: Verma y Fortunati, 2018.

De acuerdo con Rujnić (2020) los plásticos biodegradables de base biológica más importantes son:

- Plásticos a base de almidón (polímeros de almidón termoplásticos [TPS]),
- Plásticos a base de ácido poliláctico (PLA),
- Plásticos a base de PHA (PHB, poli (hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) [PHBV]),
- Plásticos a base de celulosa (celofán),
- Plásticos a base de proteínas.

### 2. 2. 2. Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables se definen como aquellos materiales que se degradan completamente en elementos químicos naturales por la acción de microorganismos (bacterias, hongos y algas) en un entorno específico y dentro de un marco de tiempo determinado, además experimentan la conversión química del carbono en la muestra de polímero a dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa [(Greene, 2014), (Arrieta, Ferrándiz, López y Rayón, 2016), (Dilkes Hoffman, Pratt, Lant y Laycock, 2019), (Briassoulis, Pikasi y Hiskakis, 2019) y (Hatti Kaul, J. Nilsson, Zhang, Rehnberg y Lundmark, 2020)].

La degradación es un factor importante en los polímeros biodegradables, ya que es un proceso complejo que depende de la naturaleza de la cadena principal y los enlaces individuales, así como de los factores bióticos y abióticos en el medio ambiente. La biodegradación puede tener lugar en muchos entornos, incluidos suelos, sitios de compostaje, instalaciones de tratamiento de agua, digestores anaeróbicos y ambientes marinos (Hatti Kaul, J. Nilsson, Zhang, Rehnberg y Lundmark, 2020).

Según Imran Din, *et al.*, (2020) algunos requisitos generales que debe cumplir un material plástico biodegradable comercial son:

- El 50 % de la masa del producto generalmente debe ser orgánico,
- No debe exceder los límites de salud en términos de metales pesados,
- El producto debe biodegradarse hasta un 90 % dentro del período de 6 meses en un entorno controlado,

- El producto en la forma en que se distribuye en el mercado debe fragmentarse en 12 semanas en componentes indetectables (menos de 2 mm) bajo parámetros de compostaje optimizados,
- El compost adquirido debe ser ecológico.

### **2. 2. 3. Producción de bioplásticos**

En los últimos años, los bioplásticos han mostrado un crecimiento dinámico del mercado, aunque a pesar de su incremento todavía representan un nivel relativamente bajo en comparación con el volumen del mercado de plásticos en su conjunto (Endres, 2017). En 2014, la capacidad de producción mundial de plásticos de origen biológico constituyeron aproximadamente 1,48 millones de toneladas con una proporción de 70 % de materiales duraderos y 30 % degradables (Spierling, *et al.*, 2018) y en el 2018 se estimó en 2,11 millones de toneladas, de las cuales 1,2 millones de toneladas no eran biodegradables y el resto era biodegradable (Hatti Kaul, J. Nilsson, Zhang, Rehnberg y Lundmark, 2020).

Los polímeros comerciales biodegradables (y de base biológica) más influyentes en el 2012 fueron el PLA y los polímeros a base de almidón, debido a que representaron aproximadamente el 47 y 41 % del consumo total de polímeros biodegradables (Mostafa, Farag, Abo Dief y Tayeb, 2018), pero actualmente las mezclas de almidón (21.3 %), el PLA (13.9 %) y el Poli (Butilén Adipato-co-Tereftalato) (PBAT - 13.4 %) son los bioplásticos biodegradables más prominentes en el mercado (European Bioplastics, 2019).

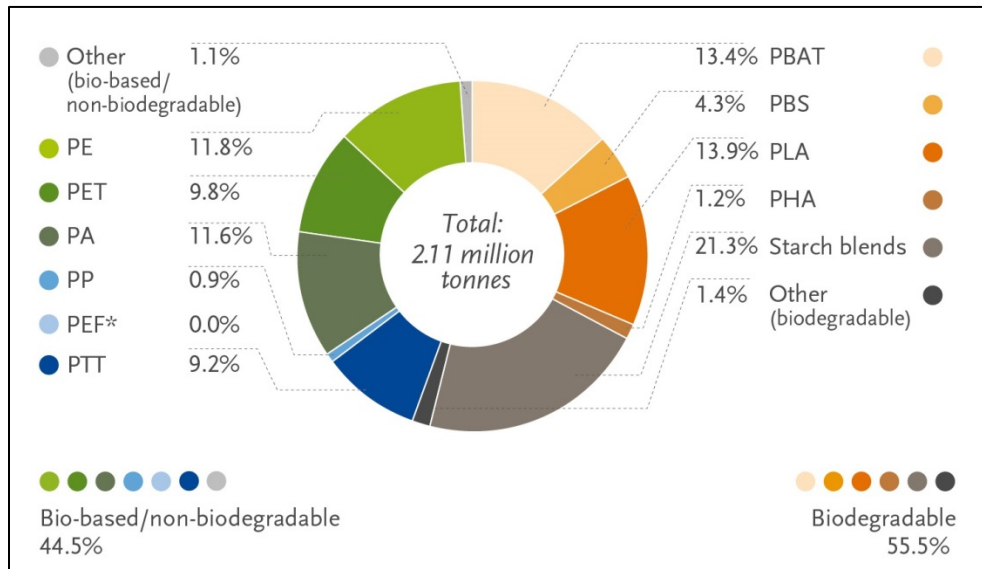


Figura 6 Capacidad de producción global de bioplásticos 2019. Fuente: European Bioplastics, 2019.

### 2. 3. Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales ecológicos provenientes de fuentes renovables, de bajo costo, tienen menor densidad, empleados como refuerzo para la fabricación de biocompuestos y son capaces de reemplazar los materiales sintéticos y sus productos relacionados para las aplicaciones de menor peso y conservación de energía. El uso de fibras naturales ha sido un tema sobresaliente recientemente debido a la creciente conciencia ambiental. Existen aplicaciones en muchos sectores, como automóviles, muebles, embalaje, construcción, entre otros [(Ali, *et al.*, 2016), (Sanjay, Arpitha, Laxmana, Gopalakrishna y Yogesha, 2016) y (Sanjay, *et al.*, 2019)].

Las fibras se obtienen de forma natural y artificial, sus características dependen de la preparación, el procesamiento y existen tres tipos: fibra vegetal, fibra animal y fibra mineral [(Ngo, 2017), (Lalit, Mayank y Ankur, 2018), (Sydow y Bieńczyk, 2018) y (Sanjay, *et al.*, 2019)].

- Fibra vegetal. Son materiales compuestos de forma natural y su componente principal es la celulosa, que también puede contener lignina, su clasificación es muy amplia pero generalmente se clasifican por hoja, fruto, tallo, hoja. Usualmente estas

fibras son explotadas para productos manufacturados como textiles, producción de cuerdas, muebles, redes, entre otras aplicaciones. Algunos ejemplos de fibras vegetales comunes son: lino, cáñamo, algodón, sisal, abacá, ramio, etc. [(Berthet, Angellier Coussy, Guillard y Gontard, 2015) y (Srivastava y Rastogi, 2018)].

- Fibra animal. Consisten en una fibra de proteína prácticamente pura que varían según la especie del animal (o insecto en el caso de la seda), con características de suavidad, higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) y transpirabilidad. [(Galaska, Horrocks y Morgan, 2016) y (Chen, Lin y Tan, 2019)].
- Fibra mineral. Son fibras inorgánicas no metálicas, que pueden ser naturales, como el asbesto, son un grupo de minerales que ocurre naturalmente en una forma y tamaño similar a la fibra y pueden ser fabricadas a partir de fuentes como rocas, minerales, aleaciones, escorias o vidrio (Mahltig y Pastore, 2018).

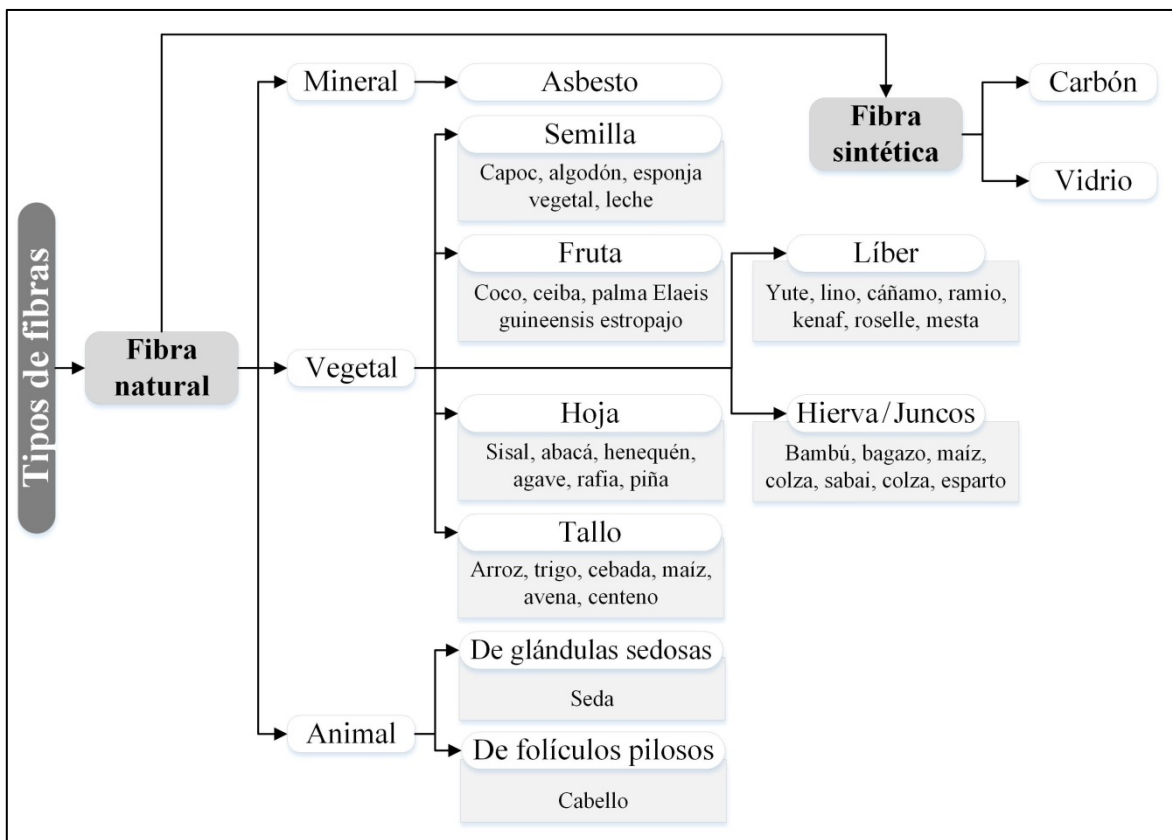


Figura 7 Clasificación de las fibras naturales y sintéticas. Fuente: Diseño propio tomado de Velásquez, Peláez y Giraldo, 2016, Lalit, Mayank y Ankur, 2018 y Preda, Popa, Mădălina, Șerbănescu y Holban, 2019.

### **2. 3. 1. Ventajas**

Las fibras naturales brindan ventajas y beneficios ya que son ecológicas, son seguras durante el procesamiento y la manipulación, son de costo relativamente bajo, son de recursos renovables, no son cancerígenas, tienen baja densidad, reciclabilidad, biodegradabilidad, buenas propiedades mecánicas relativas (módulo de tracción y el módulo de flexión), tienen una alta resistencia y rigidez específica. En promedio, la producción de fibra natural utiliza un 60% menos de energía que la producción de fibra de vidrio y da como resultado menores emisiones al aire. Además, los desechos son principalmente orgánicos y 100 % biodegradables. [(Rodríguez Castellanos y Rodrigue, 2016), (Sanjay, Arpitha, Laxmana, Gopalakrishna y Yogesha, 2016), (Ngo, 2017), (Sheng, Choo, Ing Doh y Gimhun, 2017), (Ravi, R. Dubey, Shome, Guha y Anil, 2018) y (Maniaia, Maniaia y Rodrigues, 2019)].

### **2. 3. 2. Desventajas**

De acuerdo con Zimmiewska y Wladyka Przybylak (2016) algunas de las desventajas de las fibras naturales son:

- Propiedades de menor resistencia, particularmente su resistencia al impacto,
- Calidad variable, dependiendo de influencias impredecibles como el clima,
- Absorción de humedad, que causa hinchazón de las fibras,
- Temperatura de procesamiento máxima restringida,
- Menor durabilidad, los tratamientos con fibra pueden mejorar esto considerablemente,
- Mala resistencia al fuego,
- El precio puede fluctuar debido a los resultados de la cosecha o la política agrícola.

**2. 3. 3. Producción de fibras naturales**

La producción mundial de fibra natural en 2013 se estima en 33 millones de toneladas, (Townsend y Sette, 2016), mientras que para el 2017, la producción mundial de fibra superó los 100 millones de toneladas, lo que resultó en el mayor volumen de producción de fibra de la historia. La producción mundial de fibra experimentó un aumento de 10 veces entre 1950 y 2017 de 10 millones de toneladas a más de 100 millones de toneladas (Singh, 2019).

Debido a la gran cantidad de plantas que proveen fibras naturales vegetales, representan el mercado con mayor producción a nivel mundial, en la Figura 8 se muestran las fibras vegetales naturales más comunes y comercialmente disponibles y su producción global (Ngo, 2017), observando que el bagazo de caña (75,000 ton), el bambú (30,000 ton), el algodón (25,000 ton) y el yute (2,300 ton) son las fibras naturales vegetales con mayor producción a nivel mundial.

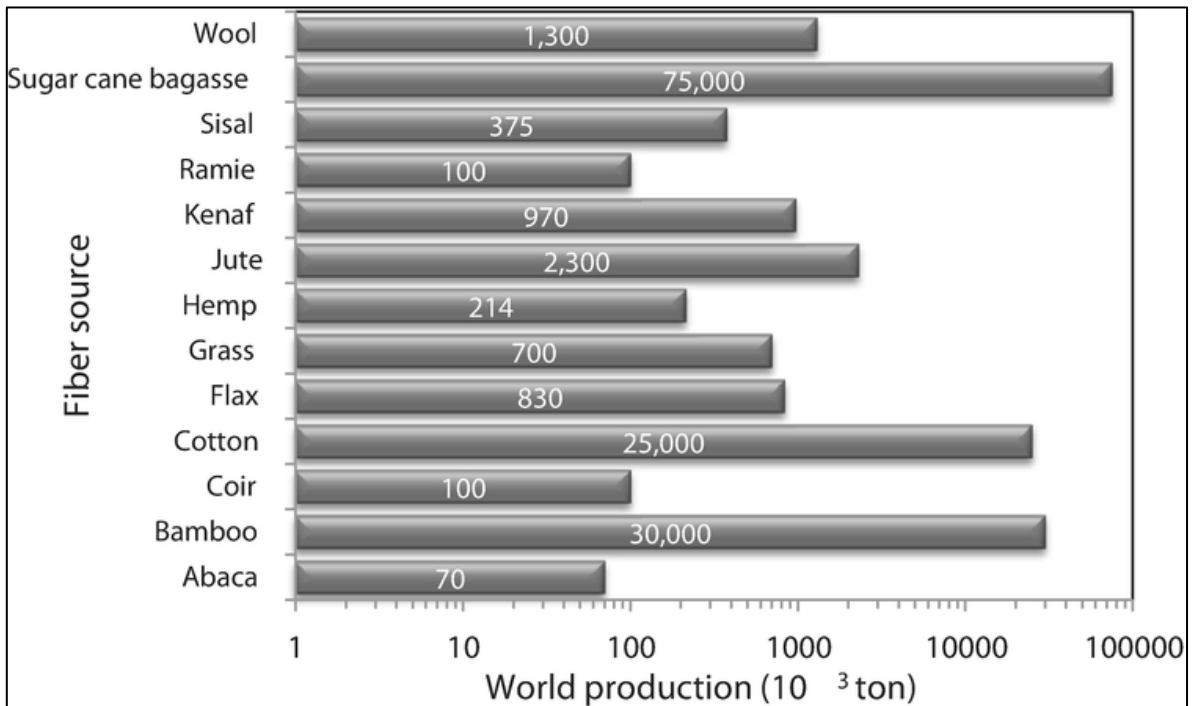


Figura 8 Producción mundial de fibras naturales vegetales. Fuente: Ngo, 2017.

## 2. 4. Coco (Cocos Nucifera)

La palma de coco pertenece a la familia de palmeras *Arecaceae* (*Palmaceae*), su nombre científico es *Cocos nucifera*, es nativa de los trópicos húmedos, es versátil y multipropósito con un tallo delgado y no ramificado coronado con un racimo de largas hojas verdes y pinnadas. La palma de coco crece hasta 30 m (100 pies) o más, tiene un ancho aproximado de 60 cm (2 pies), la parte superior del árbol está coronada con una paja de hojas (15 hojas abiertas y 15 hojas nuevas) en forma de pluma de 2.7 a 5.6 m (9 – 18 pies) de largo, pueden comenzar a florecer después de 3 años a una altura de solo 1 m y su vida útil es de 80 a 90 años aproximadamente [(Polk, Dinakarbandian, Nanda, Barnes y Dinakar, 2016), (Small, 2017), (Nayar, 2018), (Niral y Jerard, 2019) y (Kuttankulangara y Kannan, 2019)].

El coco tiene una forma ovoide o elipsoide, de 30 a 45 cm de largo y 15 a 20 cm de diámetro, tiene una cáscara gruesa y fibrosa que rodea la nuez de una sola semilla, pesa alrededor de 1 a 2 kg de peso y contiene aproximadamente 30 % de cáscara. La cáscara de coco representa todo el material fibroso que envuelve la fruta y constituye tanto el endocarpio interno (parte alimenticia líquida y sólida) como el mesocarpio externo (parte fibrosa) (Mishra y Basu, 2020), las fibras de coco se encuentran entre la cáscara y la cáscara externa del coco (Omriani, L. Menezes y K. Rohatgi, 2016).

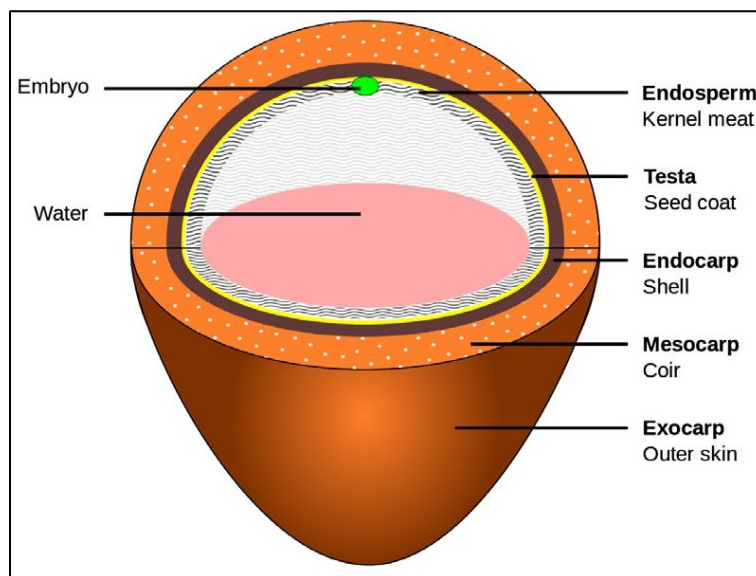


Figura 9 Partes del coco. Fuente: Small, 2017.

**2. 4. 1. Historia del coco**

El *cocos nucifera* ha sido explotado durante mucho tiempo por personas del Pacífico occidental, debido a que proporciona alimentos, aceites, medicamentos y materiales para fabricar casas, utensilios de alimentos, esteras, canoas, velas de barcos, cuerdas, ventiladores, cestas, entre otras, de hecho, en pequeños atolones e islas el coco fue quien mantuvo la vida en las poblaciones. Se data que el coco ha existido por mucho tiempo, ya que se han encontrado pequeños frutos secos tipo cocos en áreas de Nueva Zelanda en la era del Eoceno (hace 57 – 36 millones de años), Oligoceno (hace 36 – 23 millones de años) y Mioceno (hace 23.0 - 5.3 millones de años), también se informa de cocos fosilizados en el período del final del Cretáceo (hace 76 – 62 millones de años) [(Madhavan, 2017) y (Summerhayes, 2018)].

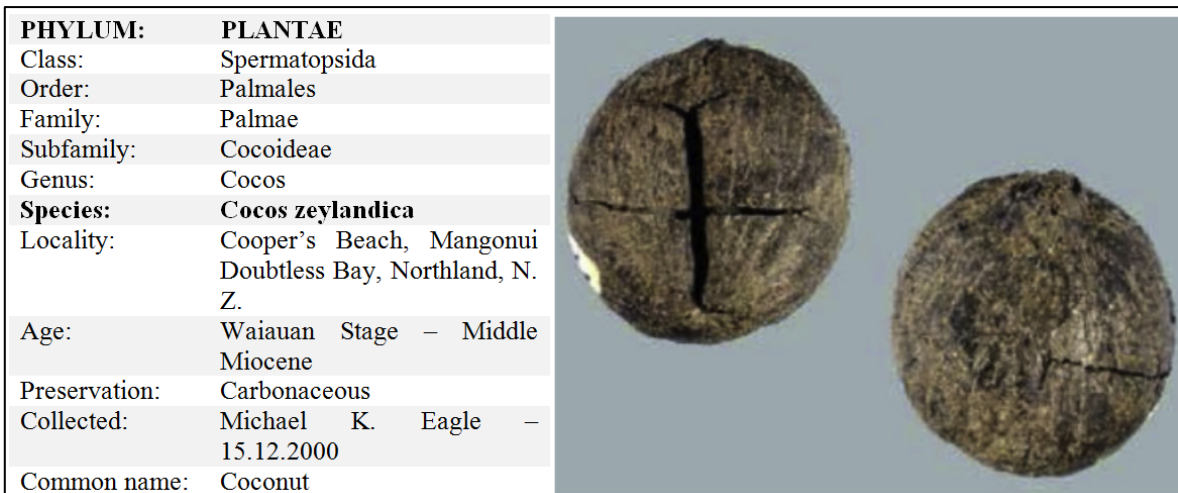


Figura 10 Fósiles de Cocos recuperado de Mangonui, norte de Auckland, Nueva Zelanda (tamaño real 3.5 x 1.3 – 2.5 cm). Fuente: Madhavan, 2017 reproducido y tomado de la Universidad de Waikato, Nueva Zelanda.

**2. 4. 2. Producción de coco**

Las palmas de coco crecen naturalmente en las costas tropicales de Asia, África, América Latina y la región del Pacífico (Small, 2017), su rendimiento anual de coco es de 50 a 100 frutos por árbol [(Kuttankulangara y Kannan, 2019) y (Mishra y Basu, 2020)]. El coco se cultiva en más de 94 países del mundo en 11.988 millones de hectáreas, produciendo 67.04 millones de cocos con una productividad de 5,592 cocos por hectárea, siendo Asia el

continente que domina el mercado con un 83 %, América (8,7 %), Oceanía (4,8 %) y África (3,4 %). Los principales países productores de coco son Indonesia como el principal productor (18 millones de toneladas), seguido de Filipinas (15 millones de toneladas), India (11 millones de toneladas) y Sri Lanka (2 millones de toneladas). Estos países producen alrededor de 55.585 millones de cocos, el 79.59 % de la producción mundial. La India aporta el 31,02 % de la producción total [(Gordon y Jackson, 2017), (Rethinam, 2019), (Sairam y Jayasekhar, 2019) y (Kuttankulangara y Kannan, 2019)].

Tabla 3 Producción de coco por país y continente, 2011 – 2015.

País	2011	2012	2013	2014	2015
<b>A. países del APCC</b>	56,307,021	63,835,154	61,736,420	60,180,632	58,783,273
India	16,943,000	23,351,000	22,680,000	21,665,000	20,440,000
Indonesia	16,189,000	16,060,000	15,563,000	15,330,000	14,804,000
Filipinas	15,245,000	15,864,000	15,354,000	14,696,000	14,735,000
Sri Lanka	2,707,000	2,927,000	2,513,320	2,870,000	3,056,000
Papúa Nueva Guinea	1,495,000	1,495,000	1,482,592	1,483,000	1,483,000
Vietnam	940,380	1,226,330	1,235,450	1,245,585	1,434,000
Tailandia	845,000	806,000	838,000	800,000	809,000
Malasia	563,000	624,000	501,000	528,000	538,000
Vanuatu	450,000	447,000	493,980	415,110	378,269
Samoa	180,000	262,000	267,000	267,000	267,000
Kenia	181,041	185,024	246,416	258,737	265,206
Fiyi	160,000	179,500	148,000	200,000	165,000
Islas Salomón	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
Jamaica	95,500	95,700	95,700	98,500	99,200
Tonga	86,100	81,600	81,762	75,100	71,698
F.S. Micronesia	40,000	40,000	45,000	59,000	59,000
Kiribati	57,500	58,000	56,200	54,600	43,900
Islas Marshall	29,500	33,000	35,000	35,000	35,000
<b>B. Otros países</b>	9,074,202	8,016,381	8,169,672	8,325,180	8,258,401
<b>Continentes</b>					
América	5,877,738	4,872,773	4,952,514	5,065,601	5,031,635
África	1,960,735	1,973,332	2,017,843	2,029,370	2,034,715
Asia	956,779	919,021	951,183	984,935	955,709
Pacífico	278,950	251,255	248,132	245,274	236,342
<b>Total mundial</b>	65,381,223	71,851,535	69,906,092	68,505,812	67,041,674

Fuente: Rethinam, 2019 tomado de Anuario estadístico de coco APCC, 2015.

En México los estados productores de coco son Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán. La superficie de coco hace 40 años era de 200,000 hectáreas, pero actualmente la superficie es de 80,000 hectáreas (CONACYT y FORDECYT, 2017).

De acuerdo con un estudio multidimensional realizado por SAGARPA (2015) la producción de México del 2013 fue de 189,312.86 toneladas, con un incremento absoluto de 87,072.93 toneladas, lo que equivale a 45.99 % de toneladas de aumento en la producción nacional. En la Tabla 4 se aprecia que, Jalisco ocupó el primer lugar con el 28.92 %, mientras que Veracruz se posicionó en el lugar nueve con un porcentaje de producción nacional del 0.12 %.

Tabla 4 Producción de coco por entidad federativa 2013.

<b>Ubicación</b>	<b>Producción (Total)</b>	<b>Part Por Prod Nac</b>	<b>Acumulado</b>
Jalisco	54,753.20	28.92	28.92
Sinaloa	49,955.00	26.39	55.31
Michoacán	25,269.50	13.35	68.66
Quintana Roo	17,916.93	9.46	78.12
Oaxaca	16,694.93	8.82	86.94
Nayarit	11,563.52	6.11	93.05
Yucatán	9,752.83	5.15	98.20
Guerrero	3,061.35	1.62	99.82
Veracruz	233.80	0.12	99.94
Colima	96.00	0.05	99.99
Morelos	16.00	0.01	100.00
	189,312.86		

Fuente: SAGARPA, SIAP, 2015.

En relación a la producción mundial de fibra natural de coco en 2013 se estimaron 900,000 toneladas de fibra (Townsend y Sette, 2016).

### 2. 4. 3. Tipos

Freitas, *et al.*, (2016), Madhavan, (2017), Nwite, Ikhajiagbe, Owoicho, (2017), Kamaral, Perera, Perera, Dassanayaka, (2017), Gordon, Jackson, (2017), Perera, Motha y Vidhanaarchchi, (2020) mencionan que los cocos comprenden dos tipos principales: altos y enanos, aunque también existe una variedad híbrida.

- Los cocos altos se caracterizan por alturas de hasta 30 m, son predominantemente alógamas con frutas de tamaño mediano a grande, producen de 60 a 80 frutos por árbol/año que se cosechan de 11 a 12 meses después de la floración y son las formas dominantes.
- Los cocos enanos son autógamas, su floración inicia después de un promedio de 3 años, viven aproximadamente de 30 a 40 años, el rendimiento promedio es de 150 a 200 frutos por árbol/año, la palma es más pequeña que los cocoteros altos, alcanzan una altura de 10 a 12 m, los frutos son más pequeños y se clasifican en tres grupos según el color de la fruta: verde, amarillo y rojo.
- Los coco híbridos son el resultado de una combinación de cocos altos y cocos enanos.

### 2. 4. 4. Propiedades

La fibra de coco es una fibra dura debido a su alta rigidez a la flexión (1100 mN-mm) y gran diámetro [320  $\mu\text{m}$  (100 – 795  $\mu\text{m}$ )], posee una longitud de fibra muy variable [183 mm (44 – 305 mm)], módulo inicial bajo (200 cN / tex-m), tenacidad (11.25 cN / tex), grado de cristalinidad (45%), extensibilidad relativamente alta (21.5 % – 35 %), trabajo de ruptura específico (12.2 – 13.4 mJ / tex-m), es capaz de tomar la tensión de 4 a 6 veces en comparación con otras fibras naturales. El módulo de alta flexión junto con una buena elasticidad indica su propiedad de alta resistencia a los golpes [(Sengupta y Basu, 2016), (Hwang, Tran, Hong y Hsieh, 2016) y (Mishra y Basu, 2020)]. Se deforma fácilmente debido a los altos valores de deformación y la disminución de la gran amplitud profunda (Devaraju, Babu y Gnanavelbabu, 2018).

Tabla 5 Propiedades físicas y mecánicas de la fibra del coco.

Propiedad / Parámetro	Fibra de coco
<i>Parámetros físicos</i>	
Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	320 <sup>a</sup> (50.5)
Longitud (mm)	183 <sup>b</sup>
Relación longitud-diámetro	750
Densidad lineal (tex)	59.2
Densidad real ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1.40
Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1.17
Densidad a Granel	0.43
<i>Comportamiento mecánico</i>	
Ruptura de tenacidad (cN / tex)	11.25
Extensión de ruptura (%)	(54) 21.5
Módulo inicial (cN / tex)	200
Trabajo específico de ruptura (mJ/tex-m)	13.4
Rigidez a la flexión (mN-mm <sup>2</sup> )	1100
Coefficiente de fricción	0.35
<i>Relación de humedad</i>	
Recuperación de humedad a 65% HR (%)	11.7
Hinchazón longitudinal (%)	0.6
Hinchazón transversal (%)	15
Imbibición de agua (%)	58
Longitud de absorción vertical después de 24 h (mm)	2
<i>Propiedades eléctricas</i>	
Resistencia específica de masa ( $\Omega\text{-kg m}^2$ )	4.0

<sup>a</sup> Rango 100 – 795  $\mu\text{m}$ ;

<sup>b</sup> Rango 44 – 305  $\mu\text{m}$ ;

La figura entre paréntesis indica el coeficiente de variación del parámetro correspondiente.

Fuente: Sengupta y Basu, 2016 tomado de Bhattacharya *et al.*, 2009.

## 2. 5. Almidón Termoplástico (ATP)

El almidón se ha convertido en una de las alternativas más prometedoras como reemplazo de los polímeros no biodegradables para minimizar los desechos plásticos (Esmaeili,

Pircheraghi y Bagheri, 2017). El almidón es exclusivo de las plantas, está presente como gránulos insolubles en las hojas, así como en órganos no fotosintéticos como tallos, raíces, tubérculos, semillas y está constituido por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina [(Ferri, Garcia Garcia, Sánchez Nacher, Fenollar y Balart, 2016) y (Roach y Zeeman, 2016)].

El almidón termoplástico es un polímero biodegradable debido a que se produce de una fuente natural, se obtiene a través de la plastificación de almidones (trigo, maíz, sorgo, yuca, papa, etc.) y plastificantes ricos en hidroxilo (glicerol, sorbitol, maltosa, glucosa, etc. o una composición de estos) o también polialcoholes (sorbitol), alcanolaminas (etanolamina, dietanolamina), amidas (urea, formamida) o ácidos carboxílicos (ácido cítrico y málico) mediante una combinación de temperatura y cizallamiento, donde los gránulos de almidón se desestructuran, plastifican y funden formando un material que tiene un comportamiento similar al de los termoplásticos. Durante el proceso de gelatinización que ocurre entre el almidón y los plastificantes, los plastificantes destruyen los enlaces de hidrógeno entre las macromoléculas de almidón, junto con una despolimerización parcial del esqueleto del almidón [(Akrami, Ghasemi, Azizi, Karrabi y Seyedabadi, 2016), (Montero, Rico, Rodríguez Llamazares, Barral y Bouza, 2017), (Abdollahi, Ali Razavi y Jahani, 2018), (Adamus, Spychaj, Zdanowicz y Jędrzejewski, 2018), (Ghanbari, Tabarsa, Ashori, Shakeri y Mashkour, 2018) y (Syed, Fazlina y Shamsudin, 2018)].

### **2. 5. 1. Propiedades**

Entre los polímeros naturales, el almidón termoplástico es un material muy atractivo debido a sus características y propiedades como: su disponibilidad, costo relativamente bajo, baja estabilidad térmica, alta sensibilidad al agua (Ghanbari, Tabarsa, Ashori, Shakeri y Mashkour, 2018), ductilidad, tenacidad (Ferri, Garcia Garcia, Sánchez Nacher, Fenollar y Balart, 2016), retrogradación (González, Iturriaga, González, Eceiza y Gabilondo, 2020), higroscópico, sus propiedades mecánicas y estabilidad dimensional son fuertemente afectadas por la humedad, ya que tiende a reformar sus enlaces de hidrógeno, lo que conduce a la recristalización y, a su vez, a la fragilidad del material (Gray, Hamzeh,

Kaboorani y Abdulkhani, 2018), además, su peso molecular puede cambiar fácilmente durante la extrusión (Oliveira, Oliveira, Barbosa, Azevedo y Alves, 2017).

## 2. 6. Etileno Vinil Alcohol (EVOH)

Los copolímeros de etileno vinil alcohol (EVOH) son una familia de polímeros semicristalinos aleatorios con estructuras altamente ordenadas intercaladas dentro de regiones amorfas desordenadas con caracteres hidrofílicos (debido al grupo – OH) e hidrofóbicos (debido al grupo etileno), la relación de estos factores determina el comportamiento de humectabilidad. El EVOH además de los grupos polares de oxígeno – hidrógeno (– OH) incluye unidades de monómero de etileno y alcohol vinílico, su formulación química es:  $(CH_2 - CH_2)_m (CH_2 - CH)_n - OH$  [(Maes, *et al.*, 2018), (El Saftawy, Ragheb y Zakhary, 2018), (Eun, Tinjum, Benso y Edil, 2018), (Lee, Tyler, Maia y Schiraldi, 2018) y (Mondragón, López Villegas, Sánchez Valdés y Rodríguez, 2020)].

La síntesis de EVOH ocurre en un proceso de dos pasos como se presenta en la Figura 11. El alcohol vinílico es inestable y no puede aislarse, por lo tanto, el primer paso es una reacción de copolimerización entre etileno y acetato de vinilo, que da como resultado el copolímero aleatorio etileno acetato de vinilo. En el segundo paso, el acetato de polietileno y vinilo se convierte en EVOH a través de una transesterificación con metanol y como producto secundario se produce acetato de metilo (Maes, *et al.*, 2018).

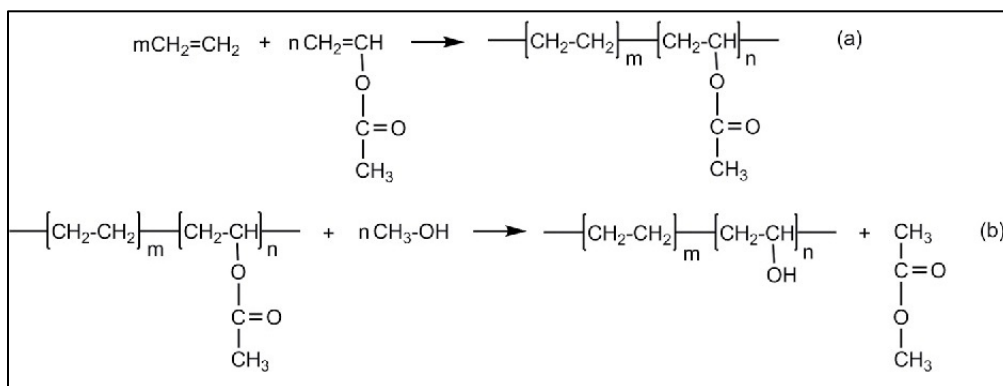


Figura 11 Síntesis del EVOH en dos pasos: (a) copolimerización de etileno y acetato de vinilo, resultado polietilenvinilacetato, (b) transesterificación con metanol, resultado EVOH y acetato de metilo como producto secundario. Fuente: Maes, *et al.*, 2018

### 2. 6. 1. Propiedades

El EVOH tiene una alta resistencia a la difusión de gases no polares como el oxígeno, nitrógeno, compuestos volátiles, helio (Eun, Tinjum, Benso y Edil, 2018), dióxido de carbono, vapor de agua (Cherpinski, *et al.*, 2019), vapores orgánicos, posee una resistencia química sobresaliente (Lee, Tyler, Maia y Schiraldi, 2018), permeabilidad contra el aroma, solventes [(Sadeghi y Shahedi, 2016) y (Rahnama, Oromiehie, Ahmadi y Ghasemi, 2016)], inocuo para la salud (no tóxico), biocompatible con alta resistencia mecánica (Mahdieh, *et al.*, 2016), es sensible a la humedad (propiedad hidrofílica) y su capacidad de barrera a los gases se deteriora en condiciones de alta humedad relativa [(Yang, *et al.*, 2016), (Santana, *et al.*, 2017)], debido a que la movilidad de las moléculas de gas en EVOH cambia y resulta en una permeabilidad inestable al oxígeno (Hoshina, Iwasaki, Katahira, Okamoto y Otani, 2018).

### 2. 7. Hule sintético (SB)

El estireno – butadieno (SB) es un elastómero no polar, (Zhang, *et al.*, 2017) producto de la polimerización de 1,3 – butadieno y estireno (Das, Bansod, Kapgate, Rajkumar y Das, 2019), que combina las propiedades del poliestireno termoplástico y el polibutadieno elastomérico, las unidades de butadieno de estos copolímeros contienen enlaces dobles altamente reactivos, mientras que las partes de poliestireno son químicamente inactivas (Wittenberg y Abetz, 2017).

El Solprene 1205 es un producto fabricado por Grupo Dynasol y es un copolímero de estireno – butadieno lineal con un contenido total de estireno del 25 %, del cual 17.5 % se encuentra presente como bloque de poliestireno y el resto se encuentra en forma aleatoria. Tiene un sistema antioxidante que no mancha, está aprobado por la FDA para su uso en aplicaciones de contacto con alimentos y es esencialmente libre de gel con un color muy claro (Grupo Dynasol, 2018). El Solprene 1205 es el copolímero (estireno – butadieno) utilizado en la investigación.

Dentro de las aplicaciones del SB se encuentra en juguetes, masillas, esponjas, baldosas, productos sanitarios, guantes quirúrgicos, gomas de mascar, correas transportadoras, de transmisión y artículos moldeados, perfiles, selladores, adhesivos, pavimentos, modificación de polímeros, bajo alfombras, calzado, entre otros [(Juárez, Balart, Ferrándiz y García, 2013) y (Grupo Dynasol, 2018)].

### **2. 7. 1. Propiedades**

El copolímero de estireno – butadieno es uno de los materiales de ingeniería más exitosos con excelentes propiedades mecánicas, fluyen fácilmente a temperaturas de procesamiento, sin embargo, a temperaturas más altas, sus propiedades mecánicas disminuyen, es pobre en resistencia al aceite, resistencia a solventes orgánicos, resistencia al calor [(Méndez Hernández, Salazar Cruz, Rivera Armenta, Estrada Moreno y Chavez Cinco, 2018) y (Yin y Zhang, 2020)], es de bajo costo de producción, no tóxico (Cheng, *et al.*, 2020) y posee una excelente resistencia a la tracción (Wang, Li y Yue, 2020). Las propiedades de este copolímero aleatorio están determinadas por la cantidad de estireno que tiene (James, Thomas, Pramoda y Thomas, 2017).

### **2. 8. Normatividad**

De acuerdo con el Diario Oficial de la Unión Europea (UE) (2011) en el reglamento N° 10/2011 de la comisión, numeral 25 las buenas prácticas de fabricación permiten fabricar materiales plásticos de manera que no liberen más de 10 mg de sustancias por 1 dm<sup>2</sup> de la superficie del material plástico.

#### **2. 8. 1. Etileno Vinil Alcohol (EVOH)**

De acuerdo con el título 21 parte 177 numeral 1 y 2 de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) (2019) el copolímero EVOH que contengan

un mínimo de 55 por ciento de etileno y un máximo de 15 por ciento de unidades de alcohol vinílico en peso pueden usarse en contacto con alimentos.

El EVOH utilizado en la mezcla con ATP contiene un porcentaje de etileno entre el 32 % y 38 %, es decir, se encuentra dentro de los límites permisibles por la normatividad FDA en su título 21.

### **2. 8. 2. Hule sintético (SB)**

De acuerdo con la Sección 409 (h) (1) (C) de la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (2019) los copolímeros de estireno / butadieno (Nº de reg. CAS, exclusivo de monómeros menores, es 9003-55-8), producidos copolimerizando estireno y butadieno con uno o más de los monómeros ácido metacrílico, acrilato de 2-hidroxietilo, ácido itacónico, ácido acrílico, ácido fumárico, N-metilol metacrilamida y metacrilamida, de modo que el total de ácido metacrílico, acrilato de 2-hidroxietilo, ácido itacónico, ácido acrílico y ácido fumárico no supere el 10 por ciento en peso, y la metacrilamida y N-metilol metacrilamida no exceda el 2 por ciento y el 3 por ciento en peso, respectivamente.

### **2. 9. Despliegue de la Función de la Calidad (QFD)**

El despliegue de la función de calidad (QFD) es un método japonés original que apunta al aseguramiento de la calidad desde la primera etapa del desarrollo de nuevos productos (Klochkov, Klochkova, Volgina y Dementiev, 2016) (investigación) hasta el diseño, desarrollo de la producción, fabricación, distribución, instalación, comercialización, ventas y servicios (Frizziero, Francia, Donnici, Liverani y Caligiana, 2018), definiendo y correlacionando requisitos de clientes (RC) entre requisitos de diseño (RD) mediante matrices (Efe, 2019), esta metodología ha demostrado ser una herramienta poderosa que se puede utilizar para traducir la voz de los clientes a idiomas técnicos (Sivasamy, Arumugam, Devadasan, Murugesh y Thilak, 2016).

### **2. 9. 1. Definición**

El QFD es una herramienta eficaz y multifuncional para maximizar la satisfacción del cliente (Jae, Jin y Kwak, 2016) traduciendo los requisitos del cliente a requisitos de diseño de un producto (Xingli y Huchang, 2018), está configurado para transformar "qué" en "cómo", específicamente de los deseos del cliente en sucesivas descripciones técnicas, características de los componentes, pasos del proceso y factores de control (Quan, Nan y Peña Mora, 2019), para realizar dicha traducción, se aplica la matriz de la casa de calidad (HoQ), la herramienta principal de QFD (Rajabi, 2017), que es la composición de cuatro matrices, en donde la voz del cliente se alimenta como entrada y los parámetros técnicos con valores se derivan como salida, además, se consideran la posición de la competencia y las interrelaciones entre los parámetros técnicos (Sivasamy, Arumugam, Devadasan, Muruges y Thilak, 2016).

La metodología QFD se emplea ampliamente para incluir las demandas de los clientes en el proceso de diseño, definiendo y priorizando sus interrelaciones con las especificaciones del producto (Popoff y Millet, 2017). La entrada principal al proceso del QFD son los requisitos del cliente que normalmente se basan en encuestas y cuestionarios, sin embargo, estos requisitos del cliente son dinámicos en el sentido de que, dependiendo del tiempo y el espacio, las expectativas podrían variar (Bolar, Tesfamariam y Sadiq, 2017).

### **2. 9. 2. Historia**

QFD es una técnica de calidad popular que se desarrolló en las décadas de 1960 y 1970 (Efe, 2019), en Japón por Yoji Akao, como una herramienta de desarrollo de productos orientada al cliente para mejorar el diseño al traducir las necesidades y requisitos del cliente en requisitos de diseño (Wood, Wang, Abdul Rahman y Abdul Nasir, 2016), se aplicó por primera vez en la industria de la construcción naval para mejorar el diseño de nuevos tanques de petróleo para Mitsubishi Heavy Industry (Lee y Bai, 2019).

Los primeros conceptos de QFD se formalizaron en empresas japonesas como Bridgestone y Matsushita en la década de 1960, se extendió a Occidente en 1972 por un documento

titulado Quality Deployment (hinshitsu tenkai) escrito por Akao, este trabajo propuso el uso de una tabla de calidad para analizar la correlación entre los requisitos del cliente y características de ingeniería de contraparte (Osiro, Lima Junior y Ribeiro, 2018), llegó a los Estados Unidos en 1986 por las empresas Ford y Xerox, y después fue adoptado en todo el mundo en los años siguientes (Chobisa, 2019).

### 2.9.3. Beneficios

De acuerdo con Esra Dolgun y Köksal (2018) algunos de los beneficios de utilizar la metodología QFD son:

- Mejora la satisfacción del cliente, al permitir la implementación de la Voz del Cliente (VoC) en cada fase del desarrollo del producto al traducir sistemáticamente el lenguaje de una fase al de la siguiente,
- Reemplaza los procesos informales e intuitivos de toma de decisiones por una metodología estructurada,
- Mejora la comunicación entre las divisiones de la empresa,
- Reduce el tiempo de comercialización y los costos al reducir la probabilidad de correcciones a mitad de curso y errores de implementación.

Más beneficios que citan otros autores son:

- Ayuda eficazmente a encontrar los requisitos hablados y no expresados de los clientes y luego traducirlos en características de diseño (Chin, Yang, Chan, Tsui y Li, 2019),
- Asegura cada nivel de calidad del producto en cada etapa del ciclo de vida que puede garantizar el resultado final conforme a los requisitos y expectativas de los clientes (Klochkov, Klochkova, Volgina y Dementiev, 2016),
- Es capaz de ayudar a los grupos de trabajo y departamentos de administración a tomar una decisión final en la planificación de productos nuevos o mejorados (Wu, You, Liu y Wang, 2017),

- Reduce los costos de ingeniería y mejora el rendimiento del proceso de fabricación (Huang, You, Liu y Si, 2019).
- Proporciona un marco de referencia para desglosar los objetivos y optimizar las compensaciones en todas las etapas del desarrollo, desde el diseño hasta las producciones (Dehe y Bamford, 2017).
- Optimiza las especificaciones de diseño y aumentar la calidad de los productos (Liu, Wu, Wang y Li, 2019).

#### **2. 9. 4. La Voz del Cliente (VoC)**

La Voz del Cliente (VoC) es un método inherente del QFD que representa la necesidad de los clientes necesitan con respecto a la calidad (Bae, Kim, Lee, Nguyen y Chung, 2017), y es un procedimiento de análisis crítico que proporciona información precisa sobre los requisitos de entrada del cliente para la salida de un producto / servicio (Aguwa, Monplaisir y Turgut, 2012). El VoC se puede adquirir a través de debates, encuestas, estudios de mercado (Liverani, *et al.*, 2019), discusiones o entrevistas, deliberaciones grupales, detalles del cliente, observación, información de garantía, proyectos de campo (Patil, Husain y Halegowda, 2018).

De acuerdo con Singh, Singh y Kumar (2018) algunas precauciones que se deben tomar al recoger la voz del cliente son:

- El proceso de preguntas estaba dirigido a los requisitos básicos de los clientes,
- Al final de cada entrevista, el equipo revisó las notas y debe registrar los comentarios literales reales de los clientes,
- Las voces necesitaban cierto nivel de brevedad para usarse como entrada a una matriz,
- Dado que demasiada condensación puede conducir a una aportación del cliente inferior a la real, las voces de un número adecuado de personas deben consolidarse.

### 2. 9. 5. Etapas para el desarrollo del QFD

Liu, Cheng (2016), Zawati y Dweiri (2016) mencionan que en general, hay cuatro etapas sucesivas en el proceso de análisis de QFD:

1. Planificación del producto (HoQ): Traducir los requisitos del cliente en requisitos técnicos del producto para cumplirlos,
2. Diseño del producto: Traducir los requisitos técnicos a las características o sistemas clave del producto o servicio,
3. Planificación del proceso: Identificar las operaciones clave del proceso necesarias para lograr las características clave del producto o servicio,
4. Planificación de la producción (control de procesos): Establecer planes de control de procesos, planes de mantenimiento, planes de capacitación para controlar las operaciones.

Cada fase, etapa, o matriz, representa un aspecto más específico de los requisitos. Las relaciones entre los elementos se evalúan para cada fase. Cada traducción (RC → RD) utiliza una matriz, llamada la casa de la calidad (HoQ) (ver Figura 12). El HoQ identifica los requisitos del cliente y luego establece las prioridades para los requisitos de diseño (Wood, Wang, Abdul Rahman y Abdul Nasir, 2016).

En el HoQ el campo denominado “Voz del cliente / Qué” también se conoce como requisitos del cliente (RC) y el campo “Cómo” se conoce como requisitos de diseño (RD) (Schillo, Isabelle y Shakiba, 2017). En la primera sección de la HoQ se escucha la voz del cliente, en la matriz de planificación se identifican las necesidades y expectativas de los clientes relativamente más importantes, en requisitos técnicos se determinan las características de diseño, es decir, la voz de la ingeniería, en la matriz de relación se indican las asociaciones entre los requisitos técnicos y las expectativas del cliente, mientras que la matriz de correlación técnica presenta las relaciones entre los requisitos técnicos en el techo de HoQ (Bahar y Pakdil, 2017).

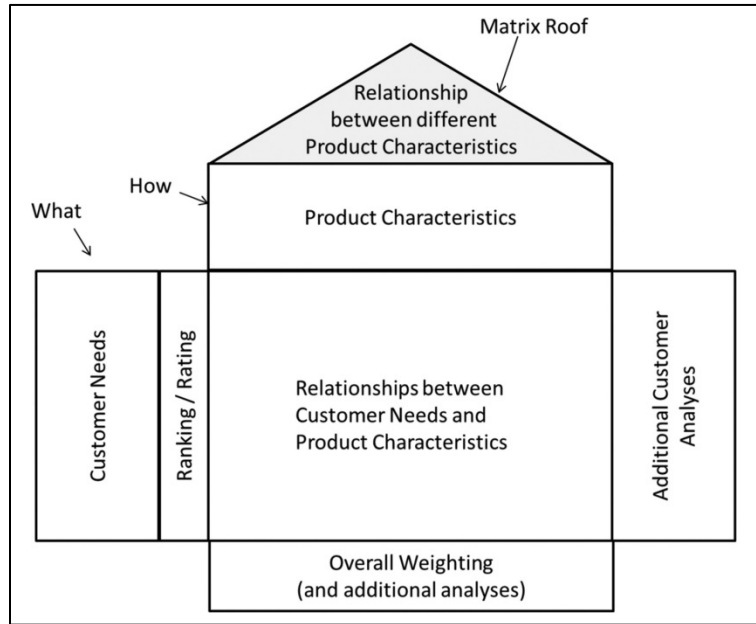


Figura 12 Etapas/Fases de la matriz HoQ de la metodología QFD. Fuente: Schillo, Isabelle y Shakiba, 2017.

## 2. 10. Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ)

La teoría para la solución de problemas de inventiva (TRIZ), desarrollada en la antigua URSS, es una técnica efectiva para apoyar las etapas iniciales del diseño de ingeniería (Chechurin y Borgianni, 2016), útil para generar ideas innovadoras y ofrecer soluciones (Wang, Lee y Trappey, 2017). TRIZ propone un marco de referencia para la construcción de métodos, permitiendo identificar y resolver problemas que surgen durante la evolución de los sistemas técnicos (Ben, Rasovska, Dubois, De Guio y Benmoussa, 2017).

De acuerdo con Orloff (2020) el proceso de generación de ideas para resolver cualquier problema puede representarse mediante un esquema constructivo de cuatro etapas (Ver Figura 13).

1. Tendencia. Análisis de la situación del problema, estableciendo el objetivo y la tendencia (dirección estratégica) del desarrollo,
2. Reducción. Construcción de un modelo de problema en forma de contradicción, definición de las Zonas Operativas (OZ), análisis de recursos, formulación de Resultado Final Ideal (IFR) y Modelos Ideales Funcionales (FIM),

3. Inventar. Creación de ideas utilizando modelos de transformación; en esta etapa, la técnica TRIZ "se encuentra" con el talento para resolver problemas: TRIZ no conoce el problema, solo el inventor, ¡pero TRIZ sabe cómo resolver problemas similares y da recomendaciones!.
4. Zoom. Consideración de ideas en una escala diferente desde diferentes niveles y con diferentes enfoques (desde muchas perspectivas y en diferentes aspectos) para evaluar la efectividad.

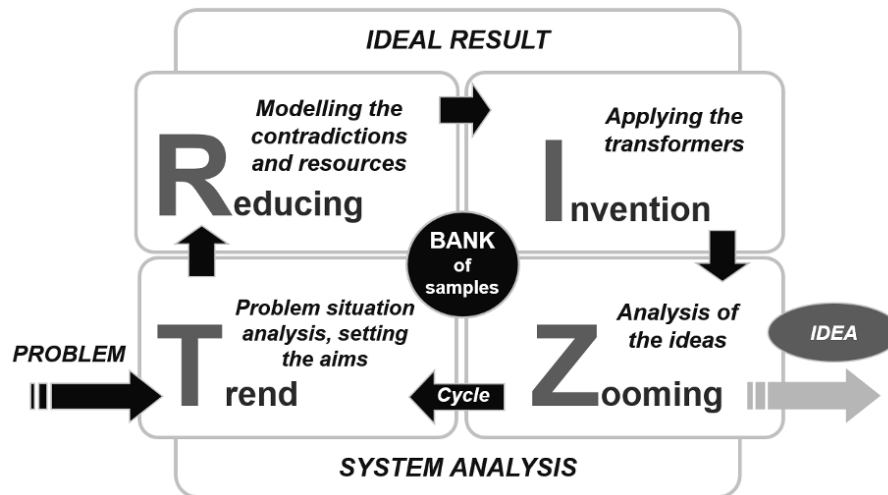


Figura 13 Meta-Algoritmo de Invención TRIZ Fuente: Orloff, 2020.

### 2. 10. 1. Definición

TRIZ es el acrónimo ruso “Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach” que traduce a “Teoría para la solución de problemas de inventiva” (Liskiewicz, Kubiak, Mann y Mathia, 2020), es una metodología constructiva de diseño para generar ideas, resolver problemas inventivos [(Orloff, 2017) y (Hmina, Sallaou, Ait y Lasri, 2019)], desarrollar habilidades y personalidades de pensamiento creativo (Wang, Yeh y Chu, 2016) e innovar sistemas de forma estructurada y metódica (Hammer y Kiese, 2019). Esta teoría explora sistemáticamente el campo de posibles soluciones a un problema dado (Hmina, Sallaou, Ait y Lasri, 2019), reformulando el problema específico en genérico (Li, Chen, Lee y Khoo, 2020). TRIZ ofrece un amplio conjunto de herramientas inventivas para la resolución de

problemas, que pueden utilizarse para la identificación de la solución y la comprensión de los problemas (Fiorineschi, Saverio, Rotini y Tomassini, 2018), basándose en cinco elementos clave: idealidad, funcionalidad, recursos, contradicción y evolución (Liu, Tan, Dong, Cao y Liu, 2018).

### **2. 10. 2. Historia**

TRIZ fue fundada en Rusia, en 1946, por el inventor, escritor y científico independiente Genrich Saulowitsch Altshuller [(Orloff, 2017) y (Noor, Sapuan, Ishak y Hameed Sultan, 2018)]. Altshuller trabajó en una oficina de patentes después de graduarse de una academia militar (Ekmekci y Elif, 2019). En 1945 observó que las solicitudes de patentes eran ineficaces y débiles, por lo tanto buscó soluciones que diferían de las técnicas tradicionales de creatividad estudiando cada una de las patentes para encontrar la resolución a los problemas (Abdala, Fernandes, Ogliari, Löwer y Feldhusen, 2017). Inicialmente Altshuller descubrió dos principios primordiales: (1) los humanos siguen un número finito de leyes para hacer cambios ingeniosos en los productos y (2) los diseñadores tienden a buscar las soluciones que más conocen (Lee, Chen, Li y Shie, 2020).

En 1948, se descubrieron 39 parámetros de ingeniería y 40 principios de invención, en 1956 se publicó el primer artículo sobre TRIZ y en 1961 se publicó el primer libro “Learning to Invent” (Lin, Lin y Huang, 2016), pero fue hasta 1980 que el método se convirtió en un conjunto de herramientas para la creatividad sistemática bajo el nombre de "Teoría para la solución de problemas de inventiva", luego Altshuller y sus seguidores desplegaron TRIZ a través de amplias actividades públicas, seminarios de capacitación, artículos y libros (Chechurin, 2016).

### **2. 10. 3. Beneficios**

TRIZ es beneficioso para lograr excelentes ideas de ingeniería y ciencia a partir del proceso raíz, encontrando alternativas y soluciones (Muhammad, Ridzwan, Sapuan y Yidris, 2019), algunos de los beneficios obtenidos con el uso TRIZ son:

- Ofrece un enfoque sistemático para encontrar soluciones técnicas y aumentar la innovación de los sistemas técnicos (Chang, Chien, Yu, Chu y Chen, 2016),
- Resuelve problemas analizando su repetibilidad, previsibilidad y confiabilidad confiando en el estudio de los patrones de problemas y soluciones (De Thongchai, Thawesaengskulthai y Sangsuwan, 2016),
- Permite a las personas adoptar un estilo de pensamiento dialéctico, que los guía a comprender los problemas como sistemas (Wang, Yeh y Chu, 2016),
- Define y supera problemas críticos que afectan el desarrollo del producto, a través de soluciones innovadoras (Frizziero, Francia, Donnici, Liverani y Caligiana, 2018),
- Ayuda a superar la inercia psicológica que bloquea la generación de ideas (Hmina, Sallaou, Ait y Lasri, 2019).
- Brinda capacidad para ver la esencia del problema y enseña las formas de desviación de las soluciones tradicionales (Petrov, 2019).
- Acelera el proceso de creación e invención para obtener productos innovadores de alta calidad (Li, 2019).
- Ayuda a los diseñadores a generar las ideas más flexibles e innovadoras, especialmente en diseño (Azwai, Ridzwan, Mustapha, Yidris y Hamat, 2019).

#### **2. 10. 4. Matriz de contradicciones**

La "contradicción" es el obstáculo más importante que limita la evolución de un sistema técnico (Donnici, Frizziero, Francia, Liverani y Caligiana, 2018), muestra los problemas creativos, que surgen de la obvia incompatibilidad de los factores deseados dentro de un sistema (Hsieh, Chen y Do, 2017). La matriz de contradicciones se aplica para transformar un problema específico en un problema general (Lim, Yun, Park y Yoon, 2018), en la matriz se pueden identificar dos tipos de contradicciones, física y técnica (Dave, 2017).

Es una matriz de 39 por 39, donde las filas y columnas contienen los 39 parámetros de ingeniería. El parámetro para mejorar (A) se localiza en la columna de la matriz, mientras que el parámetro que empeora (B) en la fila. La celda identificada por la intersección de la fila y la columna (A → B) seleccionadas contiene los Principios Inventivos recomendados

para superar la contradicción técnica [(Yan, Zhu y Ahmad, 2016), (Fiorineschi, Saverio y Rotini, 2018) y (Chiu, Chou, Li, Chen y Yang, 2018)].

**2. 10. 5. Los 39 parámetros**

Los 39 parámetros identificados mediante análisis de patentes (Chang, Chien, Yu, Chu y Chen, 2016), constituyen las 39 filas y 39 columnas de la matriz de contradicciones (Donnici, Frizziero, Francia, Liverani y Caligiana, 2019), e incluyen cuatro soluciones específicas (Şen y Baykal, 2019) capaces de ajustarse según el problema (Batemanazan, Jaafar, Kadir, y Nayan, 2017). Los 39 parámetros ayudan a determinar la causa raíz real del problema que necesita solución (Lim, 2016) y la combinación de dos parámetros forman la contradicción técnica (Mitić, Petković y Kocić, 2016).

Tabla 6 Los 39 Parámetros de TRIZ.

1. Peso del objeto móvil	14. Fortaleza	27. Confiabilidad
2. Peso del objeto inmóvil	15. Durabilidad del obj. móvil	28. Precisión de medida
3. Longitud del objeto móvil	16. Durabilidad del obj. inmóvil	29. Precisión de fabricación
4. Longitud del objeto inmóvil	17. Temperatura	30. Factores nocivos actuando sobre el objeto
5. Área del objeto móvil	18. Brillo	31. Efectos laterales perjudiciales
6. Área del objeto inmóvil	19. Gasto energético de objeto móvil	32. Manufacturabilidad
7. Volumen del objeto móvil	20. Gasto energético de objeto inmóvil	33. Conveniencia de uso
8. Volumen del objeto inmóvil	21. Potencia	34. Reparabilidad
9. Velocidad	22. Pérdida de energía	35. Adaptabilidad
10. Fuerza	23. Pérdida de sustancia	36. Complejidad del dispositivo
11. Tensión, presión	24. Pérdida de información	37. Complejidad del control
12. Forma	25. Pérdida de tiempo	38. Nivel de automatización
13. Estabilidad del objeto	26. Cantidad de sustancia	39. Productividad

Fuente: Zhang, Li, Yang, Yang y Wang, 2016, Mitić, Petković y Kocić, 2016, Dave, 2017 y Batemanazan, Jaafar, Kadir, y Nayan, 2017.

**2. 10. 6. Los 40 principios de inventiva**

Del análisis de cientos de miles de patentes, Altshuller extrajo una lista de 40 métodos para superar las contradicciones técnicas, llamados Principios Inventivos, estos principios son utilizados para generar ideas, independientemente del campo técnico del problema (Fiorineschi, Saverio y Rotini, 2018). Los principios inventivos son la síntesis de patentes, por lo tanto, son soluciones comprobadas (Lim, 2016), y proporcionan una guía genérica que indica cómo resolver el problema inventivo representado como una ingeniería o contradicción física (Souchkov, 2016).

Tabla 7 Los 40 principios de inventiva de TRIZ.

1. Segmentación	21. Apresurarse, aumentar velocidad
2. Separación	22. Convertir el perjuicio en beneficio
3. Calidad local	23. Realimentación
4. Asimetría	24. Intermediario
5. Combinación	25. Auto servicio
6. Multifuncionalidad	26. Utilizar copias
7. Anidación	27. Objetos desechables
8. Contrapesar	28. Reemplazar sistemas mecánicos
9. Reacción previa	29. Neumática e hidráulica
10. Acción previa	30. Membranas flexibles y películas
11. Compensar de antemano	31. Uso materiales porosos
12. Equipotencialidad	32. Cambios de color (propiedades ópticas)
13. Inversión	33. Homogeneidad
14. Incremento de curvatura	34. Rechazar y reponer
15. Dinamizar	35. Cambio de parámetros (estados físicos)
16. Acciones por exceso o defecto	36. Transiciones de fase
17. Cambio dimensional	37. Expansión térmica
18. Vibraciones mecánicas	38. Oxidantes fuertes
19. Acción periódica	39. Atmósfera inerte
20. Acción continua	40. Utilizar materiales compuestos

Fuente: Chang, Chien, Yu, Chu y Chen, 2016, Livotov, Chandra, Law, Mas’udah y Reay, 2019 y Al Betar, Ahmad y Abu Romman, 2020.

## 2. 11. Métodos de caracterización

### 2. 11. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR)

Los estudios de espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) son una herramienta útil para caracterizar, obtener e identificar compuestos, grupos funcionales y huellas dactilares de muestras biológicas (Dolete, *et al.*, 2019). Esta técnica se basa en la interacción de la radiación electromagnética en la región infrarroja térmica, mide diferentes tipos de vibraciones entre los átomos según sus enlaces atómicos y permite la distinción de las bandas asociadas con los grupos funcionales de interés en los espectros generados (Schneider, *et al.*, 2016).

Los análisis FTIR expuestos a continuación muestran resultados de caracterizaciones realizadas a los materiales de estudio como: fibra de coco, almidón termoplástico con matriz etileno vinil alcohol y estireno – butadieno.

La fibra de coco presenta en su espectro IR picos de absorción en  $1741\text{ cm}^{-1}$  y  $1511\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al estiramiento conjugado  $> \text{C}=\text{O}$  de éster y aldehído de hemicelulosa, absorción en  $1332\text{ cm}^{-1}$  de  $\text{C}-\text{H}$  en la deformación plana de anillos de celulosa, bandas en  $1038\text{ cm}^{-1}$  de grupos  $\text{C}-\text{O}$  de hemicelulosa, celulosa y  $\text{C}-\text{H}$  (deformación de la lignina) y estiramiento para la estructura del anillo de glucosa de la celulosa en  $897\text{ cm}^{-1}$  (Ashis, Gautam y Leena, 2018).

Hernández Vidal, López Bautista, Morales Morales, Méndez Ordoñez y Calderón Osorio (2018) obtienen en el espectro IR de la fibra de coco (perteneciente a la región de Acapulco, Guerrero), picos de absorción en  $3327.7\text{ cm}^{-1}$  y  $3320.9\text{ cm}^{-1}$  asignado a polisacáridos, un pico muy grande e intenso en  $1028.1\text{ cm}^{-1}$  y  $1023.9\text{ cm}^{-1}$  atribuido a enlaces  $\text{C}-\text{O}$  de alcoholes relacionados con la molécula de celulosa y una banda en  $2890.9\text{ cm}^{-1}$  y  $2881.8\text{ cm}^{-1}$  que representa el grupo alifático  $\text{C}-\text{H}$  conectado al anillo aromático, que confirma la presencia de lignina.

Podar, *et al.*, (2016) observan picos en el espectro IR de la fibra de coco en  $3435\text{ cm}^{-1}$  y  $2930\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a celulosa, bandas de absorción en  $1734\text{ cm}^{-1}$  y  $1248\text{ cm}^{-1}$  de

hemicelulosa y las bandas restantes pertenecían a lignina ( $1025\text{ cm}^{-1}$ ,  $799\text{ cm}^{-1}$ ,  $699\text{ cm}^{-1}$  y  $675\text{ cm}^{-1}$ ).

Mendes, *et al.*, (2016) descubren en el espectro IR de una mezcla de almidón de maíz y quitosano termoplástico bandas de absorción asociadas a los grupos funcionales de almidón y glicerol, estiramiento de CO en  $920\text{ cm}^{-1}$ ,  $1022\text{ cm}^{-1}$  y  $1148\text{ cm}^{-1}$ , agua en  $1648\text{ cm}^{-1}$ , grupos -OH en  $3277\text{ cm}^{-1}$ , estiramiento CH en  $2914\text{ cm}^{-1}$  y presencia de glicerol en  $1423\text{ cm}^{-1}$ .

Nevoralová, *et al.*, (2019) muestran en el espectro de IR de materiales biodegradables a base de almidón plastificado y modificado químicamente, bandas características del polisacárido, incluida una banda ancha entre  $3700\text{ cm}^{-1}$  y  $3000\text{ cm}^{-1}$  asignada a la vibración de estiramiento de los enlaces OeH de hidrógeno.

Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz y Chávez Cinco (2018) en compuestos creados a partir de estireno – butadieno, ATP – EVOH y pluma de pollo observan en el espectro IR señales de estireno – butadieno entre  $3000\text{ cm}^{-1}$  y  $3100\text{ cm}^{-1}$  asociadas con carbonos insaturados, estiramiento de los grupos metilo y metileno a  $2900\text{ cm}^{-1}$  y  $2850\text{ cm}^{-1}$ , señales de pluma de pollo a  $3300\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a las regiones ordenadas del grupo NH de amidas A conformación de hélice  $\alpha$ , señales a  $3330\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al estiramiento con hidroxilo de EVOH y picos de absorción de glicerol en  $1109\text{ cm}^{-1}$ ,  $1042\text{ cm}^{-1}$  y  $994\text{ cm}^{-1}$ .

Kaya, Topal, Gupta y McNally (2020) identifican que el espectro IR de una modificación del SBS con betún presenta bandas en  $1735\text{ cm}^{-1}$ ,  $1690\text{ cm}^{-1}$ ,  $1608\text{ cm}^{-1}$ ,  $1030\text{ cm}^{-1}$  y  $968\text{ cm}^{-1}$  asociadas a grupos butadieno, sulfónico, aromáticos, carbonilo conjugado y carbonilo.

Buitrago, Delgado y Monroy (2018) observan en una mezcla de estireno – butadieno y harina de retamo liso (SBR / HRL) que el SBR presenta bandas de absorción de butadieno en  $2915\text{ cm}^{-1}$  y  $2847\text{ cm}^{-1}$  propias a los estiramientos C-H (grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>), un pico en  $963\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento de grupos C=C del butadieno y picos en  $698\text{ cm}^{-1}$ ,  $913\text{ cm}^{-1}$  y  $760\text{ cm}^{-1}$  pertenecientes a la absorción del estireno (C-H, fuera del plano de flexión).

### 2. 11. 2. Análisis Dinámico Mecánico (DMA)

Los análisis mecánico dinámico (DMA) son una herramienta efectiva para determinar la morfología y las propiedades viscoelásticas de un polímero y/o materiales compuestos relacionados con relajaciones primarias y otros parámetros, a menudo este análisis se asocia con la “Rigidez” de un material y determina qué tan rígida o endeble es una muestra, obteniendo como resultado (parámetros) el módulo de almacenamiento ( $E'$ ), el módulo de pérdida ( $E''$ ) y el factor de pérdida ( $\tan \delta$ ) que dependen de la temperatura, proporcionando información sobre la unión interfacial entre el relleno reforzado y la matriz polimérica del material compuesto [(Saba, Jawaid, Alothman y Paridah, 2016) y (Zhang, *et al.*, 2017)].

Análisis DMA como los siguientes permiten observar resultados referentes a los materiales de estudio, como, Khuntia y Biswas (2020) que obtienen en mezclas a base de fibra de coco y polipropileno (PP) registros de módulos de almacenamiento ( $E'$ ) altos (entre 1,000 MPa y 1,500 MPa) a temperaturas de 45 ° C a 50 ° C y módulos bajos a temperaturas de 90 ° C a 100 ° C.

Ghanbari, Tabarsa, Ashori, Shakeri y Mashkour (2018) presenta en sus mezclas a base de almidón termoplástico con refuerzo de nanofibras de celulosa (TPS / CNF)  $E'$  entre 10,000 MPa y 12,000 MPa entre temperaturas de – 100 ° C a – 50 ° C.

Kahvand y Fasihi (2019) en una mezcla de almidón termoplástico y alcohol polivinílico (TPS / PVA) registran  $E'$  entre 1,100 MPa y 1,600 MPa a temperaturas de – 100 ° C a – 40 ° C, y módulos bajos entre intervalos de temperatura de 25 ° C a 100 ° C.

Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz y Chávez Cinco (2018) realizan tres mezclas a base estireno – butadieno, ATP – EVOH y plumas de pollo que muestran  $E'$  mayores a los 1,000 MPa entre temperaturas de – 90 ° C a – 65 ° C.

Zhang, Song, Liu, Zhang y Zhang (2017) crean un compuesto a base de caucho de caolinita y estireno – butadieno (SBS), observando que el  $E'$  registra 1,100 MPa al inicio del análisis y a medida que aumenta la temperatura (de – 60 ° C a 10 ° C) el módulo disminuye considerablemente (hasta 50 MPa aproximadamente) en todas las muestras.

Wang, *et al.*, (2016) registran en mezclas efectuadas con estireno – butadieno E' superiores a los 1,200 MPa entre temperaturas de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , y módulos bajos (entre 100 MPa y 10 MPa) en temperaturas superiores a los  $0^{\circ}\text{C}$ .

### 2. 11. 3. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica utilizada para investigar los procesos de descomposición de materiales, donde el cambio en la masa de un polímero se mide en función de la temperatura o el tiempo en una atmósfera controlada [(Fan, Chen, Huang, y Wang, 2016) y (Kodal, Karakaya, Alchekh Wis, y Ozkoc, 2019)]. Se ha informado que las fibras vegetales presentan cuatro etapas de descomposición: en la primera etapa se genera la pérdida de agua, la segunda la hemicelulosa, la tercera la celulosa, y la cuarta la lignina (Da Silva, *et al.*, 2017), usualmente están constituidas entre un 60 % - 80 % de celulosa, 10 % - 24 % hemicelulosa, un 3 % - 12 % de lignina y hasta un 5 % de pectina y agua, en particular, la fibra de coco concentra entre un 40 % - 45 % de celulosa, 24 % de hemicelulosa y 30 % - 40 % de lignina. La hemicelulosa comienza su proceso de degradación cerca de los  $180^{\circ}\text{C}$ , la celulosa alrededor de los  $240^{\circ}\text{C}$  y la lignina a los  $280^{\circ}\text{C}$  (Ashis, Gautam y Leena, 2018).

Las investigaciones realizadas por los autores siguientes exponen resultados de análisis TGA de materiales como: fibra de coco, almidón termoplástico con matriz etileno vinil alcohol y estireno – butadieno.

Da Silva, Demori, Miranda, Crescente y Campomanes (2019) muestran que la fibra de coco presenta dos etapas de descomposición correspondientes a la degradación de hemicelulosa y celulosa, seguido de la descomposición final de la lignina, aproximadamente a  $600^{\circ}\text{C}$ , además presenta pérdida de peso de 7 % a 8 % entre temperaturas que oscilan de  $60^{\circ}\text{C}$  a  $120^{\circ}\text{C}$ , derivado de la humedad que concentra.

Da Silva, *et al.*, (2017) identifican pérdidas de peso en la fibra de coco en un rango de  $25^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$ , relacionadas con el agua de impregnación, la hemicelulosa, el contenido de celulosa, y degradación de la lignina a temperaturas de  $400^{\circ}\text{C}$  a  $550^{\circ}\text{C}$ .

Fazeli, Florez y Antoun (2019) observan una descomposición significativa en un biocompuesto de almidón termoplástico y fibras de celulosa (TPS / CF) entre los 250 ° C a 300 ° C, asociada a la degradación de glicerol y celulosa.

Mendes, *et al.*, (2016) analizan una mezcla a base de almidón de maíz y quitosano termoplástico, observando que la mezcla presenta tres etapas de descomposición que va desde 25 ° C a 160 ° C, 160 ° C a 500 ° C y 500 ° C a 600 ° C, debido a la evaporación del agua libre, evaporación del agua, glicerol, volatilización y descomposición de almidón y quitosano.

Mahdieh, *et al.*, (2016) demuestran que el almidón termoplástico (ATP) presenta pérdida de agua por debajo de los 140 ° C, evaporación de agua y glicerol a los 200 ° C y carbonización del almidón a los 330 ° C.

Giuri, Colella, Listorti, Rizzo y Esposito (2018) realizan mezclas con almidón de maíz termoplástico con 50 %, 60 % y 70 % de glicerina, observando que presentan evaporación de agua a los 100 ° C, pérdida de plastificante entre los 100 ° C a 280 ° C y descomposición térmica de las cadenas de almidón en temperaturas superiores a los 280 ° C.

Azizi y Faghihi (2018) registran pérdidas significativas en el copolímero de estireno – butadieno entre 400 ° C a 500 ° C debido a la degradación de compuestos orgánicos químicos (grasas y aceites).

Colom, Sans, Norazman y Zailan (2017) analizan una mezcla de neumáticos fuera de uso (GTR) con estireno y butadieno (SBR o SB), registrando en el intervalo de temperatura de 436 ° C a 520 ° C la degradación del SBR.

Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz y Chávez Cinco (2018) realizan una combinación de estireno – butadieno con tres diferentes contenidos de estireno (45 %, 32 % y 25 %), ATP – EVOH y plumas de pollo, demostrando que el elastómero comienza a perder mayor peso en los intervalos de 400 ° C a 500 ° C.

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3. 1. Objeto de estudio

El estudio presentado está dirigido al área de materiales biodegradables para aportar una investigación relacionada con los usos y tendencias que existen a nivel mundial, especialmente en las aplicaciones, los procesos de fabricación y obtención de materiales biodegradables. La investigación tiene como objetivo principal el análisis de la fibra obtenida a partir de la cáscara de coco (*C. nucifera L. var. Typica*) y una mezcla con elementos parcialmente naturales como; el almidón termoplástico (ATP) con matriz de Etileno Vinil Alcohol (EVOH) y el estireno – butadieno (SB), con la finalidad de crear una mezcla homogénea de un material parcialmente biodegradable capaz de tener aplicaciones en sectores de la industria, basándose en requerimientos técnicos de usuarios/clientes finales.

### 3. 2. Tipo de investigación

De acuerdo al área de estudio que está orientado el proyecto, se determina que en función a las clases, tipos y enfoques de investigación existentes definidas por autores como Domínguez (2015), Hernández Sampieri, Mendoza (2018) y (Hernández Escobar, *et al.*, 2018) se establece que la presente investigación es de tipo:

- **Cualitativa.** La implementación de metodologías QFD y TRIZ en principio están orientadas a la identificación de requerimientos y parámetros técnicos, que describen la percepción de características de un producto o servicio por los clientes, categorizadas en un orden de relevancia máxima.
- **Cuantitativa.** Las variaciones de los gramos de los ingredientes que se mezclan para obtener el material parcialmente biodegradable deben concebir características y propiedades favorables para un uso alternativo.
- **Experimental.** Los análisis de laboratorio y pruebas experimentales que se realizan a las mezclas obtenidas, para observar y caracterizar cada una de las mismas.

### **3. 3. Despliegue de la Función de la Calidad (QFD)**

Para la aplicación de la metodología QFD, es importante conocer las opiniones de los clientes, para tal propósito se diseña un instrumento que capture los conceptos, opiniones y puntos de vista de cada uno de los clientes en función al producto o servicio de estudio. De entre los instrumentos que se utilizan para evaluar al mercado (clientes) se mencionan los cuestionarios, las entrevistas, las encuestas y todo aquel instrumento necesario que sirva para recopilar información del mercado objetivo.

### **3. 4. Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ)**

La aplicación de la metodología TRIZ sirve principalmente para la generación de ideas y soluciones creativas, es utilizada para formar un pensamiento creativo en cualquier problema que se identifique. TRIZ posee un conjunto de herramientas como: Matriz de contradicciones, Algoritmo de la solución de problemas de inventiva (ARIZ) (Cho, Lee, Kim, Jeong y Han, 2019), análisis función – costo, análisis campo – sustancia (Fiorineschi, Saverio, Rotini y Tomassini, 2018), análisis 9 ventanas, recorte de patentes, entre otros.

La herramienta de TRIZ que se utiliza es la matriz de contradicciones la cual permite estudiar a fondo dos parámetros que se relacionan en función al criterio de mejora o empeora, el principio de la herramienta estipula que por cada parámetro que se mejora, habrá uno o más parámetros que empeoren el producto o servicio, y por ende determinan el conjunto de principios inventivos que guían el desarrollo de la investigación.

#### **3. 4. 1. Parámetros y principios de inventiva**

Como se observa en el capítulo anterior, los parámetros y principios de la metodología TRIZ están orientados a la mejora y guía de un aspecto, característica o propiedad de algún producto o servicio en específico que se desea crear, mejorar o innovar, en el cual por medio de un estudio analítico minucioso se observa que elementos son los más predominantes por los clientes, para ello, es requerido conocer el mercado y así categorizar

las opiniones de los clientes en un orden de importancia, que una vez que son jerarquizados, conocidos e identificados se comparan y se determinan los pares en conflicto que originan a los principios de inventiva correspondientes.

Los pares en conflicto son los parámetros (A, B) que identifican los clientes como las características más sobresalientes que debe tener un producto o servicio, estos denotan en principio dos de los 39 parámetros que se encuentran inmersos en la matriz de contradicciones de la metodología TRIZ. El par en conflicto es el resultado de relacionar un parámetro A (mejora) y un parámetro B (empeora), aunque no necesariamente debe de ser así, para un estudio amplio o extenso, se pueden definir diversos pares en conflicto y al final seleccionar solamente uno de todos los posibles pares definidos, es decir, a todo parámetro A deberá de existir un parámetro B para que haya un par en conflicto y así generar un conjunto de principios de inventiva que darán la pauta para la invención o mejora del producto o servicio de estudio.

#### **3. 4. 2. Matriz de contradicciones**

La matriz de contradicciones se utiliza después de haber definido los pares en conflicto (parámetro A – parámetro B) y muestra el conjunto de principios de inventiva que son la guía para solucionar (crear, mejorar, innovar → producto, servicio) el problema planteado en el proyecto o estudio que se realiza. Existen diversos formatos, esquemas, imágenes de varios autores que muestran la matriz de contradicciones, para el proyecto que se desarrolla se ha conseguido un documento de Excel dinámico creado por Kevin Otto, en el archivo se perciben todos los parámetros y principios de inventiva, además de ejemplos claros y concisos de cada uno de los parámetros. En la Figura 14 se observa parte del archivo que contiene la matriz de contradicciones mencionada.

Parámetro A	Parámetro B														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1			15.8.29.34		29.17.38.34		29.2.40.28		2.8.15.38	8.10.18.37	10.36.37.40	10.14.35.40	1.35.19.39	28.27.18.40	5.34.31.35
2				10.1.29.35		35.30.13.2		5.35.14.2		8.10.19.35	13.29.10.18	13.10.29.14	26.39.1.40	28.2.10.27	
3	15.8.29.34				15.17.4		7.17.4.35		13.4.8	17.10.4	1.8.35	1.8.10.29	1.8.15.34	8.35.29.34	19
4		35.28.40.29				17.7.10.40		35.8.2.14		28.1	1.14.35	13.14.15.7	39.37.35	15.14.28.26	
5	2.17.29.4		14.15.18.4				7.14.17.4		29.30.4.34	19.30.35.2	10.15.36.28	5.34.29.4	11.2.13.39	3.15.40.14	6.3
6		30.2.14.18		26.7.9.39						1.18.35.36	10.15.36.37		2.38	40	
7	2.26.29.40		1.7.35.4		1.7.4.17				29.4.38.34	15.35.36.37	6.35.36.37	1.15.29.4	28.10.1.39	9.14.15.7	6.35.4
8		35.10.19.14	19.14		35.8.2.14					2.18.37	24.35	7.2.35	34.28.35.40	9.14.17.15	
9	2.28.13.38		13.14.8			29.30.34		7.29.34			13.28.15.19	6.18.38.40	35.15.18.34	28.33.1.18	8.3.26.14
10	8.1.37.18	18.12.1.28	17.19.9.36	28.1	19.10.15	1.18.36.37	15.9.12.37	2.26.18.37	13.28.15.12		18.21.11	10.35.40.34	35.10.21	10.10.14.27	19.2
11	10.36.37.40	13.29.10.18	35.10.36	35.1.14.16	10.15.36.28	10.15.36.37	6.35.10	35.34	6.35.36	36.35.21		35.4.15.10	35.33.2.40	9.18.3.40	19.3.27
12	8.10.29.40	15.10.26.3	29.34.5.4	13.14.10.7	5.34.4.10		14.4.15.22	7.2.35	35.15.34.18	35.10.37.40	34.15.10.14		35.1.18.4	30.14.10.40	14.26.9.25
13	21.35.2.39	26.39.1.40	18.15.1.28	37	2.11.13	39	28.10.19.39	34.28.35.40	33.15.28.18	10.35.21.16	2.35.40	22.1.18.4		17.9.15	13.27.10.35
14	1.8.40.15	40.26.27.1	1.15.8.35	15.14.28.26	3.34.40.29	9.40.28	10.15.14.7	9.14.17.15	8.13.26.14	10.18.3.14	10.3.18.40	10.30.35.40	13.17.35		27.3.26
15	19.4.34.31		2.19.9		3.17.19		10.2.19.30		3.35.5	19.2.16	19.3.27	14.26.28.25	13.3.35	27.3.10	
16		6.27.19.16		1.40.35				35.34.38					39.3.35.23		
17	36.22.6.38	22.35.32	15.19.9	15.19.9	3.35.39.18	35.38	34.39.40.18	35.6.4	2.28.36.30	35.10.3.21	35.39.19.2	14.22.19.32	1.35.32	10.30.22.40	19.13.39
18	19.1.32	2.35.32	19.32.16		19.32.26		2.13.10		10.13.19	26.19.6		32.30	32.3.27	35.19	2.19.6
19	12.18.28.31		12.28		15.19.25		35.13.18		8.15.35	16.26.21.2	23.14.25	12.2.29	19.13.17.24	3.19.9.35	28.35.6.18
20		19.9.6.27									36.37		27.4.29.18	35	
21	8.36.38.31	19.26.17.27	1.10.35.37		19.38	17.32.13.38	35.6.38	30.6.25	15.35.2	26.2.36.35	22.10.35	29.14.2.40	35.32.15.31	26.10.28	19.35.10.38
22	15.6.19.28	19.6.18.9	7.2.6.13	6.38.7	15.26.17.30	17.7.30.18	7.18.23	7	16.35.38	36.38			14.2.39.6	26	
23	35.6.23.40	35.6.22.32	14.29.10.39	10.28.24	35.2.10.31	10.18.39.31	1.29.30.36	3.39.18.31	10.13.28.38	14.15.18.40	3.36.37.10	29.35.3.5	2.14.30.40	35.28.31.40	28.27.3.18
24	10.24.35	10.35.5	1.26	26	30.26	30.16		2.22	26.32						10
25	10.20.37.35	10.20.26.5	15.2.29	30.24.14.5	26.4.5.16	10.35.17.4	2.5.34.10	35.16.32.18		10.37.36.5	37.36.4	4.10.34.17	35.3.22.5	29.3.28.18	20.10.28.18
26	35.6.18.31	27.26.18.35	29.14.35.18		15.14.29	2.18.40.4	15.20.29			35.29.34.28	35.14.3	10.36.14.3	35.14	15.2.17.40	14.35.34.10
27	3.8.10.40	3.10.8.28	15.9.14.4	15.29.28.11	17.10.14.16	32.35.40.4	3.10.14.24	2.35.24	21.35.11.28	8.28.10.3	10.24.35.19	35.1.16.11		11.28	2.35.3.25
28	32.35.26.28	28.35.25.26	28.26.5.16	32.28.3.16	26.28.32.3	26.28.32.3	32.13.6		28.13.32.24	32.2	6.28.32	6.28.32	32.35.13	28.6.32	28.6.32
29	28.32.13.18	28.35.27.9	10.28.29.37	7.32.10	28.33.29.32	2.29.18.36	32.28.2	25.10.35	10.28.32	28.19.34.36	3.35	32.30.40	30.18	3.27	3.27.40
30	22.21.27.39	2.22.13.24	17.1.39.4	1.18	22.1.33.28	27.2.39.35	22.23.37.35	34.39.19.27	21.22.35.28	13.35.39.18	22.2.37	22.1.3.35	35.24.30.18	18.35.37.1	22.15.33.28
31	19.22.15.39	35.22.1.39	17.15.16.22		17.2.18.39	22.1.40	17.2.40	30.18.35.4	35.28.3.23	35.28.1.40	2.33.27.18	35.1	35.40.27.39	15.35.22.2	15.22.33.31
32	28.29.15.16	1.27.36.13	1.29.13.17	15.17.27	13.1.26.12	16.4	13.29.1.40	35	35.13.8.1	35.12	35.19.1.37	1.28.13.27	11.13.1	1.3.10.32	27.1.4

Figura 14 Matriz de contradicciones. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Otto.

La matriz de contradicciones concentra los 40 principios de inventiva en pequeños conjuntos localizados en diferentes celdas, que determinan el resultado de la intersección de un parámetro A con un parámetro B. Los parámetros A como se observa en la Figura 14 son los que se enlistan en forma vertical, mientras que los parámetros B son los que se enlistan en forma horizontal, y el cruce que generan los parámetros A → B dan origen a una celda que contiene un conjunto de principios de inventiva que guían al usuario a resolver/solucionar su problema planteado.

### 3. 5. Encuesta

El instrumento que se utiliza en esta investigación, es la encuesta, facilitando al encuestado la selección de una opción (o varias dependiendo de la pregunta) de las múltiples respuestas concentradas en el instrumento. La encuesta se diseña con base en las metodologías de

QFD, TRIZ y el modelo Kano, y tiene como *grupo target* un conjunto de profesionistas y especialistas en el área de materiales biodegradables o afines. Este segmento es considerado debido a que uno de los alcances del proyecto, es obtener resultados de laboratorio en función a las materias primas seleccionadas (fibra de coco, ATP – EVOH y SB), es decir, se desea evaluar que la combinación (mezcla) de dichos materiales poseen ciertas características y propiedades que producen un material parcialmente biodegradable con posibles aplicaciones a distintos campos de las industrias.

El objetivo de desarrollar una encuesta piloto, es para conocer el punto de vista de cada uno de los profesionistas y/o especialistas, en base al material resultante de las mezclas elaboradas, identificando factores y parámetros relevantes de un conjunto de cualidades o características *ad hoc* al material obtenido.

<b>Encuesta</b>	
1.	¿En qué sector ha tenido alguna experiencia (investigación, estudio, aplicación) con los usos de materiales biodegradables? <input type="checkbox"/> Alimenticia <input type="checkbox"/> Automotriz <input type="checkbox"/> Eléctrico / Electrónico <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Construcción <input type="checkbox"/> Textil <input type="checkbox"/> Otros: _____
2.	De acuerdo a su experiencia/conocimiento con materiales biodegradables ¿qué tipo de fibras naturales conoce? <input type="checkbox"/> Vegetales <input type="checkbox"/> Animales <input type="checkbox"/> Minerales <input type="checkbox"/> Todos los anteriores
3.	Dentro de la clasificación de fibras naturales vegetales, ¿Cuáles conoce? (si es necesario, marque más de una). <input type="checkbox"/> Yute <input type="checkbox"/> Lino <input type="checkbox"/> Coco <input type="checkbox"/> Ixtle <input type="checkbox"/> Bagazo de caña <input type="checkbox"/> Piña <input type="checkbox"/> Bambú <input type="checkbox"/> Ceiba <input type="checkbox"/> Abacá <input type="checkbox"/> Cáñamo <input type="checkbox"/> Plátano <input type="checkbox"/> Otras: _____
4.	De las fibras naturales vegetales anteriores, ¿en qué campo o sector ha escuchado, leído o visto aplicaciones? <input type="checkbox"/> Alimenticia <input type="checkbox"/> Automotriz <input type="checkbox"/> Eléctrico / Electrónico <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Construcción <input type="checkbox"/> Textil <input type="checkbox"/> Otros: _____
5.	¿Qué esperaría de un producto que contiene materiales biodegradables? (si es necesario, marque más de una). <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> No tóxico <input type="checkbox"/> De bajo costo <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Buen diseño <input type="checkbox"/> Confiable <input type="checkbox"/> Normativo <input type="checkbox"/> Funcional <input type="checkbox"/> Degradación rápida <input type="checkbox"/> No contaminante <input type="checkbox"/> Manufacturable <input type="checkbox"/> Reciclable <input type="checkbox"/> Fácil de adquirir <input type="checkbox"/> Todas las anteriores
6.	Si se sustituyeran los empaques y embalajes de plásticos convencionales con plásticos biodegradables, ¿qué factor cree usted que se afectaría? (si es necesario, marque más de una). <input type="checkbox"/> Resistencia <input type="checkbox"/> Toxicidad <input type="checkbox"/> Costo <input type="checkbox"/> Peso <input type="checkbox"/> Diseño <input type="checkbox"/> Confiabilidad <input type="checkbox"/> Normatividad <input type="checkbox"/> Funcionalidad <input type="checkbox"/> Manufacturabilidad
7.	¿Cuál cree que sea o haya sido el o los inconvenientes que han tenido algunas empresas por la sustitución de plásticos convencionales por plásticos biodegradables? (si es necesario, marque más de una). <input type="checkbox"/> Resistencia <input type="checkbox"/> Toxicidad <input type="checkbox"/> Costo <input type="checkbox"/> Peso <input type="checkbox"/> Diseño <input type="checkbox"/> Confiabilidad <input type="checkbox"/> Normatividad <input type="checkbox"/> Funcionalidad <input type="checkbox"/> Manufacturabilidad

Figura 15 Encuesta. Fuente: Diseño propio.

La formulación y aplicación de la encuesta es utilizada para dar inicio con la implementación de las metodologías QFD y TRIZ, dado que recopila información considerable en relación a las características técnicas de la investigación. La recolección de datos sustenta las variables de entrada (los Qué's) de la primera etapa de la metodología del QFD y los (posibles) parámetros de la metodología TRIZ (parámetro que mejora "A" y parámetro que empeora "B").

### **3. 6. Obtención de la fibra de coco**

Se realiza una entrevista piloto a los comerciantes de coco del municipio de Tantoyuca, Veracruz (lugar de estudio) con el objetivo de identificar la procedencia, la cantidad de comerciantes, su adquisición de compra/venta y la cantidad de cáscaras de coco que se desechan en la zona, ya que se busca aprovechar los residuos del coco que se disponen en vertederos de basura en el municipio, para obtener un material parcialmente biodegradable para algún posible uso industrial.

La principal información conseguida, es que la mayoría de los comerciantes adquieren el coco por medio de dos camiones con origen de Acapulco, Guerrero, México, el cual distribuye y vende el coco en la zona cada 8 días, algunos otros comerciantes mencionan que los adquieren de la ciudad de Tuxpan, Veracruz, aunque son escasos. La cantidad de comerciantes de coco identificados en el municipio son alrededor de 15 personas y su adquisición de compra oscila entre 150 hasta 2,000 cocos por semana, equivalentes a la adquisición de un solo comerciante. En cuanto a la cantidad de desecho de coco que se dispone en vertederos de basura o en terrenos baldíos del municipio, se menciona que un camión se encarga de ir 3 veces por semana a recolectar toda la cáscara de coco vertida en los terrenos, cabe señalar que la cantidad de cáscara de coco desechada por día aproximadamente según los comerciantes del municipio de Tantoyuca, Veracruz fluctúa entre 2 a 8 costales por vendedor (ver Figura 16).

Con la información obtenida por medio de la entrevista piloto se localiza un punto del municipio para conseguir la cáscara de coco, el cual es un vertedero (terreno) donde la

mayoría de los comerciantes disponen el material de desecho. En el lugar de disposición temporal se logra recolectar entre 8 y 10 cáscaras de coco para dar comienzo con el proceso de obtención de la fibra.



Figura 16 Desechos de cáscara de coco. Fuente: El autor, Tantoyuca, Veracruz, 2019.

### 3. 7. Materiales

Se utilizan tres materiales para conformar cuatro mezclas con diferentes porciones de cada material, el material principal es la fibra de coco, seguido del ATP – EVOH y el hule sintético (SB), en la Figura 17 se aprecian los materiales a utilizar.

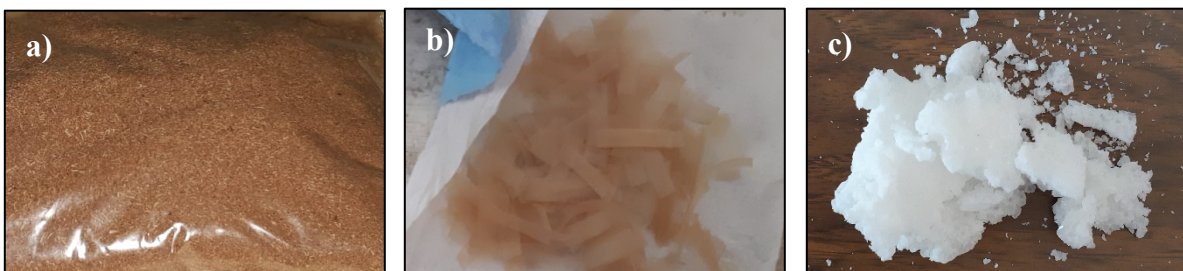


Figura 17 a) Fibra de coco, b) ATP – EVOH y c) Hule sintético (SB). Fuente: El autor, 2019.

### 3. 8. Proceso de preparación

#### 3. 8. 1. Fibra de coco

El proceso de obtención de la fibra de coco puede ser artesanal o con maquinaria especializada (ver capítulo IV, tema 4. 4.). Obtenida la fibra de coco, se procede a cortar la fibra de aproximadamente 1 cm de longitud o se muele la fibra de coco hasta obtener micropartículas, (Ver Figuras 18 y 19). De acuerdo con el sistema métrico expuesto por Piciu (2017) el prefijo micro ( $\mu$ ) equivale a  $1 \times 10^{-6} = 0.000001$ , por lo tanto las micropartículas deben comprender un tamaño entre 1 y 1000  $\mu\text{m}$ .



Figura 18 Fibra de coco de aproximadamente 1 cm de longitud. Fuente: El autor, 2019.

Para moler la fibra de coco, se usa un molino manual fabricado de hierro vaciado, con una tolva, disco moedor, manubrio con mango de madera, mariposa reforzada y un tornillo sin fin (husillo). La fibra se introduce al molino para comenzar a moler, hasta conseguir pequeños fragmentos de fibra, seguido se tamiza la fibra molida con una tamizadora N° 25 con apertura de 707 micrones, para separar las micropartículas de los pequeños fragmentos de fibra (ver Figura 19). Al tamizar la fibra molida se consiguen partículas de aproximadamente 707  $\mu\text{m}$ , por lo que se consideran micropartículas al “polvo” obtenido.



Figura 19 Fibra de coco en micropartículas. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 8. 2. ATP – EVOH

El ATP – EVOH es un material obtenido en una investigación realizada por la Dra. Sandoval (2012) quien combinó el almidón termoplástico (ATP) con el Etileno Vinil Alcohol (EVOH) para crear una película termoplástica, las diferentes proporciones utilizadas en el proyecto fueron 25 %, 50 % y 75 % de ATP. El material (película ATP – EVOH) que se utiliza en las mezclas es el que contiene 75 % de ATP.

Para la preparación del material, es requerido cortar con tijeras la película en tiras pequeñas, para que la mezcla de los materiales se realice en forma uniforme, como también, facilitar la incorporación del material a la cámara de mezclado del Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder.



Figura 20 ATP – EVOH en tiras pequeñas. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 8. 3. Hule sintético (SB)

El hule sintético (SB) es un copolímero de estireno – butadieno, para su preparación es necesario cortar con una espátula pequeños fragmentos de hule para incorporarlos a la cámara de mezclado del Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder, y así ayudar a que los materiales se integren de forma consistente.



Figura 21 Hule sintético (SB) en pequeños fragmentos. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 9. Proceso de mezclado

Se realizan mezclas con los materiales mencionados en el equipo Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder que cuenta con tres zonas de calentamiento encargadas de fundir el material, y dos husillos que giran en sentido opuesto para mezclar los materiales que se viertan. (Ver Figura 22).



Figura 22 Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

Antes de verter los materiales en la cámara de mezclado del Reómetro es necesario establecer la temperatura en las zonas de calentamiento y el tiempo necesario para realizar la mezcla en el equipo. Se debe esperar a que cada zona llegue aproximadamente a su temperatura ideal. Una vez que se tenga la temperatura adecuada en las zonas de calentamiento, se inicia el equipo para que comiencen a girar los husillos, seguido, se comienza a verter el material a la cámara de mezclado, es muy importante que se viertan los materiales con demasiado cuidado para evitar que los materiales se desborden o rieguen de la cámara. (Ver Figura 23).



Figura 23 Incorporación de los materiales al Reómetro, a) Zona de Calentamiento 1, b) Zona de Calentamiento 2, c) Zona de Calentamiento 3, d) Cámara de mezclado y e) Materiales. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

Al finalizar el tiempo programado de la mezcla, se retiran con mucho cuidado las zonas de calentamiento 1 y 2 para obtener la mezcla de los husillos. (Ver Figuras 24).

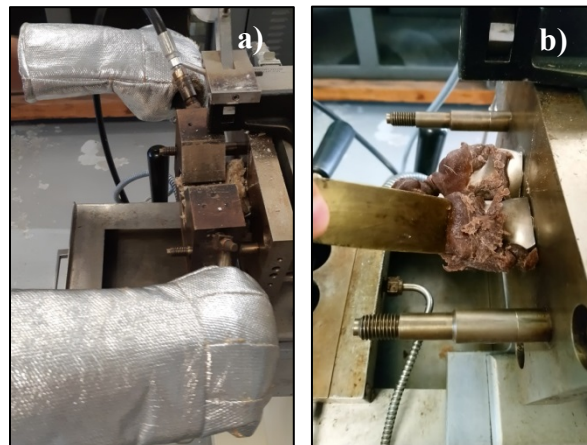


Figura 24 a) Retiro de las zonas de calentamiento 1 y 2, b) Retiro de la mezcla realizada. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

### 3. 9. 1. Mezclas preliminares

Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz, Chavez Cinco (2018), Da Costa, Ramos, Sirqueira (2017) y Ortega (2017) desarrollaron mezclas con distintos materiales como: ATP – EVOH, SB, plumas de pollo, PLA y cascarilla de arroz utilizando temperaturas de 185 ° C, 170 ° C, 160 ° C y 150 ° C.

Derivado del estudio previo, se considera realizar tres mezclas preliminares utilizando únicamente los materiales ATP – EVOH y hule sintético (SB) para definir la temperatura de las zonas de calentamiento, observar la apariencia, las condiciones de la mezcla y evitar que la fibra se degrade en altas temperaturas.

Las proporciones de las tres mezclas preliminares realizadas equivalen a 25 gr de ATP – EVOH y 30 gr de hule sintético (SB), con temperaturas de 170 ° C, 150 ° C y 100 ° C con una velocidad de 50 RPM. Es importante mencionar que la capacidad máxima de mezcla de la cámara de mezclado del Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder es 60 gr, pero para evitar que se desborde el material o se genere esfuerzo en el equipo se recomienda trabajar con el 90 % de su capacidad, que equivale aproximadamente a 55 gr de material por cada mezcla que se realice.

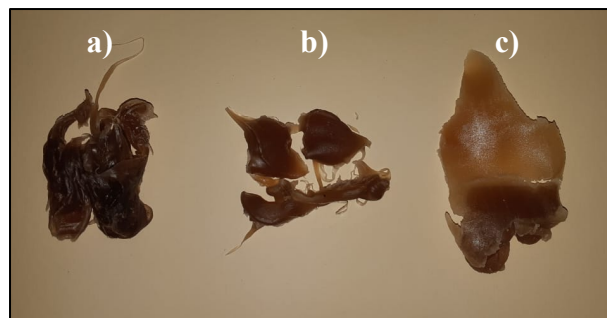


Figura 25 Mezclas preliminares, a) Mezcla a 170 ° C, b) Mezcla a 150 ° C y c) Mezcla a 100 ° C. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 9. 2. Primera mezcla

Después de haber determinado la temperatura en las zonas de calentamiento del Reómetro Intelli-Torque Plasti-Corder, se procede a crear las siguientes mezclas.

La primera mezcla consiste en combinar 5.00 gr de fibra de coco (1 cm aproximado de longitud), 25.00 gr de ATP – EVOH y 15.00 gr de hule sintético (SB) a una temperatura de 170 ° C con una velocidad de 50 RPM.



Figura 26 Primera mezcla. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 9. 3. Segunda mezcla

La segunda mezcla consiste en combinar 2.61 gr de fibra de coco (micropartículas), 23.59 gr de ATP – EVOH y 28.68 gr de hule sintético (SB) a una temperatura de 100 ° C con una velocidad de 50 RPM.



Figura 27 Segunda mezcla. Fuente: El autor, 2019.

#### 3. 9. 4. Tercera mezcla

La tercera mezcla consiste en combinar 5.00 gr de fibra de coco (micropartículas), 22.50 gr de ATP – EVOH y 27.50 gr de hule sintético (SB) a una temperatura de 100 ° C con una velocidad de 50 RPM.



Figura 28 Tercera mezcla. Fuente: El autor, 2019.

#### 3. 9. 5. Cuarta mezcla

La cuarta mezcla consiste en combinar 7.20 gr de fibra de coco (micropartículas), 21.60 gr de ATP – EVOH y 26.54 gr de hule sintético (SB) a una temperatura de 100 ° C con una velocidad de 50 RPM.



Figura 29 Cuarta mezcla. Fuente: El autor, 2019.

### 3. 10. Proceso de prensado

Barrios, García, Manríquez González, Rivera y Lomelí (2015) obtuvieron probetas de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno por medio de una prensa marca Schwabenthan, modelo Polystat 200 T, bajo condiciones de temperatura de 150 ° C, presión de 180 bar y tiempo de prensado de 50 minutos.

Las mezclas realizadas en el Reómetro son destinadas a la prensa mecánica Dake (ver Figura 30) que cuenta con dos placas metálicas de calentamiento que se encargan de fundir y comprimir el material para que tome la forma del molde que se ha introducido la mezcla. La temperatura utilizada en la prensa para todas las mezclas es de 248 ° F (120 ° C). El molde utilizado tiene una dimensión de 10 cm x 10 cm, que facilita la confección y corte de las probetas.



Figura 30 Prensa mecánica Dake. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

Para obtener las placas (muestras) de cada mezcla, primero se debe digitar la temperatura deseada en la prensa y esperar a que las placas metálicas alcancen la temperatura adecuada, después se coloca la mezcla en el molde y entre dos placas de aluminio (ver Figura 31), se introduce a la prensa y antes de ejercer presión se deja aproximadamente 5 minutos para que se funda (blanda) un poco la mezcla (ver Figura 32), seguido se comienza a subir la placa inferior de la prensa, y se ejerce una fuerza de 0, 5 y 10 toneladas a cada una de las mezclas para conseguir las muestras (placas) correspondientes.



Figura 31 Colocación de la mezcla en el molde. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.



Figura 32 Introducción de la mezcla a la prensa mecánica Dake. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

Al retirar la muestra de la prensa mecánica, se dispone en una mesa y se coloca peso, para evitar que el material se deforme (ínfle, hinche) mientras toma temperatura ambiente. Después de que el material se enfría, se despegan las placas de aluminio y se extrae la muestra del molde. (Ver Figura 33).



Figura 33 a) Retiro de la muestra, b) Colocación de peso, c) Separación de las placas de aluminio y d) Desmolde de la muestra. Fuente: El autor, Altamira, Tamaulipas, 2019.

### 3. 11. Preparación de las probetas

La preparación de las probetas de las muestras (placas) se realiza cortando pequeños rectángulos de dimensión de 4.5 cm x 1 cm, en la Figura 34 se aprecia el corte de cada muestra obtenida.



Figura 34 Corte para la obtención de las probetas. Fuente: El autor, 2019.

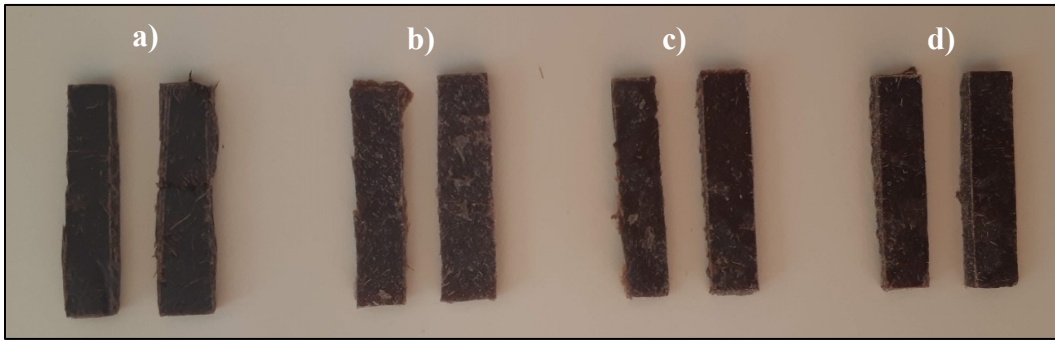


Figura 35 Probetas obtenidas de cada mezcla realizada, a) 1<sup>er</sup> mezcla, b) 2<sup>da</sup> mezcla, c) 3<sup>er</sup> mezcla y d) 4<sup>ta</sup> mezcla. Fuente: El autor, 2019.

Las probetas se destinan a cada uno de los equipos para comenzar a caracterizar las mezclas conseguidas.

### 3. 12. Métodos de caracterización

#### 3. 12. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR)

La técnica de espectroscopia de infrarrojo se utiliza para identificar los grupos funcionales de las muestras en el equipo Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR, la Reflectancia Total Atenuada (ATR), es una técnica de muestreo que se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR trasmisor y de alto índice de refracción, con el cual se obtienen espectros en la región del infrarrojo entre  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ . Se coloca una pequeña porción de cada muestra para obtener el espectro en modo de % Transmitancia.

#### 3. 12. 2. Análisis Dinámico Mecánico (DMA)

Se utiliza el equipo DMA-Q800 TA-Instrument para llevar a cabo el análisis mecánico dinámico, las dimensiones de las muestras son de  $20.00 \times 10.34 \times 4.54\text{ mm}$  (largo / ancho / grueso). El análisis se realiza con un barrido de temperatura desde los  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un incremento gradual de temperatura de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  y una frecuencia de  $1\text{ Hz}$ .

### 3. 12. 3. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se efectúa con el equipo SDT (DSC-TGA) Q600 TA-Instrument utilizando una muestra de  $10 \pm 2$  mg en una charola de platino con un flujo de nitrógeno (N) de 100 mL/min, una rampa gradual de  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  y un intervalo de temperatura de los  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta los  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3. 13. Prueba de intemperismo

La prueba de intemperismo se realiza en el municipio de Tempoal, Veracruz, con predominancia de clima cálido – húmedo y cálido – subhúmedo, con temperatura media anual de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura promedio máxima de  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  y precipitación media estatal de 1,500 mm anuales (INEGI, 2010).

Las probetas son colocadas a la intemperie bajo condiciones climáticas naturales, para identificar y registrar los cambios que se presenten en las probetas se lleva a cabo una bitácora, el formato de la bitácora se visualiza en la Tabla 8.

Tabla 8 Formato de bitácora para el registro de la prueba de intemperismo.

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Fotografía</b>
		1) Radiación Solar (UV):		
		2) Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ):		
		Sensación de ( $^\circ\text{C}$ ):		
		3) Humedad (%):		
		4) Viento (km/h):		
		5) Precipitación (%):		

Fuente: Diseño propio.

## CAPÍTULO IV. MARCO OPERATIVO

### 4. 1. Análisis de los resultados de la encuesta

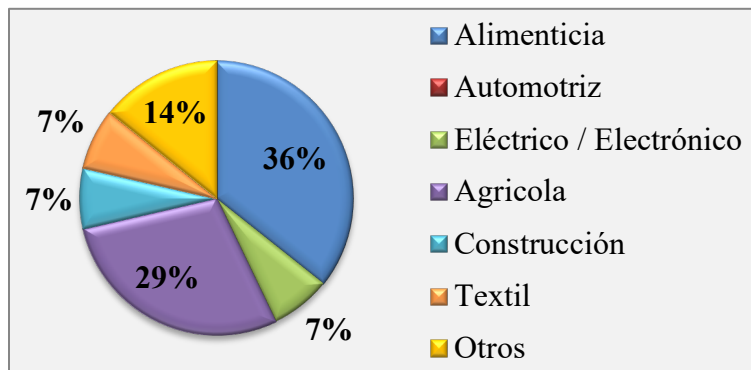
La encuesta piloto que se diseñó, fue aplicada en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA) a especialistas y profesionistas en materia de materiales biodegradables o áreas afines, con el objetivo de recoger información específica en base a características, atributos y cualidades técnicas de materiales sustentables. La recopilación de datos de la encuesta permitió dar inicio a la aplicación de las metodologías mencionadas anteriormente en el marco metodológico. A continuación se presentan los resultados obtenidos con la aplicación de la encuesta piloto.

1. ¿En qué sector ha tenido alguna experiencia (investigación, estudio, aplicación) con los usos de materiales biodegradables?

Tabla 9 Resultados de la pregunta 1.

Porcentaje	# de respuestas	Sector
36%	5	Alimenticia
0%	0	Automotriz
7%	1	Eléctrico / Electrónico
29%	4	Agrícola
7%	1	Construcción
7%	1	Textil
14%	2	Otros

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 1 Pregunta 1. ¿En qué sector ha tenido alguna experiencia (investigación, estudio, aplicación) con los usos de materiales biodegradables?. Fuente: Diseño propio.

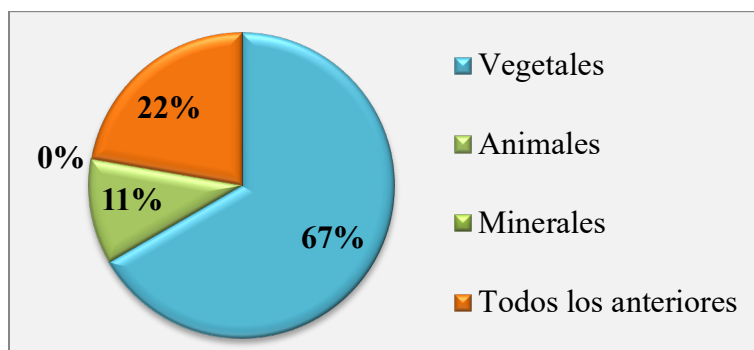
La Gráfica 1 y la Tabla 9 representa los datos concentrados de la pregunta 1, la pregunta hace mención a los sectores que han formado parte del desarrollo de alguna investigación, estudio o aplicación de los materiales biodegradables por alguno de los profesionistas encuestados. Cabe señalar que el 36 % de los encuestados respondieron que el sector alimenticio ha formado parte de su experiencia con los materiales biodegradables, mientras que el 29 % mencionó que el sector agrícola, siendo estos dos sectores los que mayor porcentaje de investigación han tenido de acuerdo a lo respondido por los encuestados. Los sectores que registraron menores porcentajes son; otros (tratamiento de aguas residuales y materiales de empaque) con 14 %, eléctrico / electrónico, construcción y textil 7 %, y ningún encuestado señaló el sector automotriz como parte de su experiencia.

2. De acuerdo a su experiencia/conocimiento con materiales biodegradables ¿qué tipo de fibras naturales conoce?

Tabla 10 Resultados de la pregunta 2.

Porcentaje	# de respuestas	Clasificación de las fibras
67%	6	Vegetales
11%	1	Animales
0%	0	Minerales
22%	2	Todos los anteriores

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 2 Pregunta 2. De acuerdo a su experiencia/conocimiento con materiales biodegradables ¿qué tipo de fibras naturales conoce?. Fuente: Diseño propio.

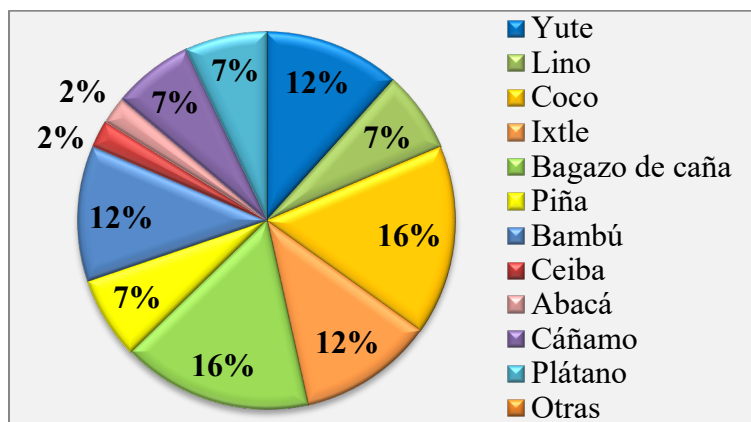
En la Gráfica 2 y en la Tabla 10 se muestran los resultados de la pregunta 2, en donde se cuestiona a los profesionistas sobre su conocimiento sobre la clasificación de las fibras naturales de los materiales biodegradables, siendo la fibra natural más conocida la vegetal con un 67 %, la fibra mineral un 11 % y un 22 % todos los anteriores.

3. Dentro de la clasificación de fibras naturales vegetales, ¿Cuáles conoce? (si es necesario, marque más de una).

Tabla 11 Resultados de la pregunta 3.

Porcentaje	# de respuestas	Fibras naturales vegetales
12%	5	Yute
7%	3	Lino
16%	7	Coco
12%	5	Ixtle
16%	7	Bagazo de caña
7%	3	Piña
12%	5	Bambú
2%	1	Ceiba
2%	1	Abacá
7%	3	Cáñamo
7%	3	Plátano
0%	0	Otras

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 3 Pregunta 3. Dentro de la clasificación de fibras naturales vegetales, ¿Cuáles conoce? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.

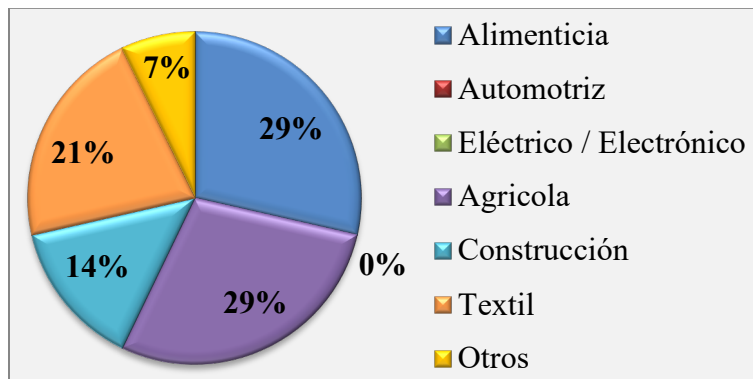
La Gráfica 3 y la Tabla 11 ilustran los resultados obtenidos de la pregunta 3, donde se presentan distintas fibras naturales vegetales que conocen los encuestados. Los resultados proyectaron que las fibras de coco y bagazo de caña son las fibras más conocidas, ya que obtuvieron un 16 %, mientras que las fibras de yute, ixtle y bambú consiguieron un 12 %, las fibras naturales vegetales que registraron menor índice de conocimiento fueron: el lino, la piña, el cáñamo y el plátano 7 %, además de las fibras de ceiba y abacá que alcanzaron un 2 %.

4. De las fibras naturales vegetales anteriores, ¿en qué campo o sector ha escuchado, leído o visto aplicaciones?

Tabla 12 Resultados de la pregunta 4.

Porcentaje	# de respuestas	Sector
29%	4	Alimenticia
0%	0	Automotriz
0%	0	Eléctrico / Electrónico
29%	4	Agrícola
14%	2	Construcción
21%	3	Textil
7%	1	Otros

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 4 Pregunta 4. De las fibras naturales vegetales anteriores, ¿en qué campo o sector ha escuchado, leído o visto aplicaciones?. Fuente: Diseño propio.

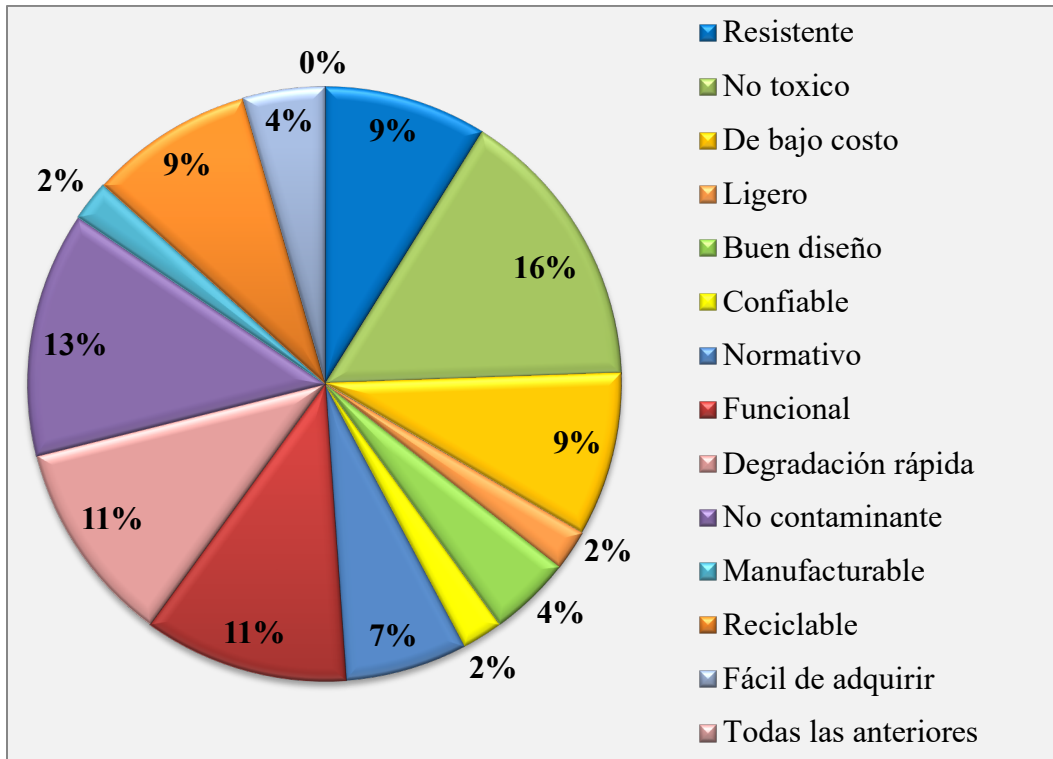
En la Gráfica 4 y en la Tabla 12 se observa que los encuestados han escuchado, leído o visto aplicaciones de las fibras naturales vegetales en distintos sectores, siendo los que mayor índice registraron, el sector alimenticio y el agrícola con un 29 %, seguido del textil con 21 %, construcción 14 % y otros (tratamiento de aguas residuales) 7 %, mientras que los sectores automotriz y eléctrico / electrónico no registraron ningún porcentaje.

5. ¿Qué esperaría de un producto que contiene materiales biodegradables? (si es necesario, marque más de una).

Tabla 13 Resultados de la pregunta 5.

Por ciento	# de respuestas	Factores
9%	4	Resistente
16%	7	No tóxico
9%	4	De bajo costo
2%	1	Ligero
4%	2	Buen diseño
2%	1	Confiable
7%	3	Normativo
11%	5	Funcional
11%	5	Degradación rápida
13%	6	No contaminante
2%	1	Manufacturable
9%	4	Reciclable
4%	2	Fácil de adquirir
0%	0	Todas las anteriores

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 5 Pregunta 5. ¿Qué esperarías de un producto que contiene materiales biodegradables? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.

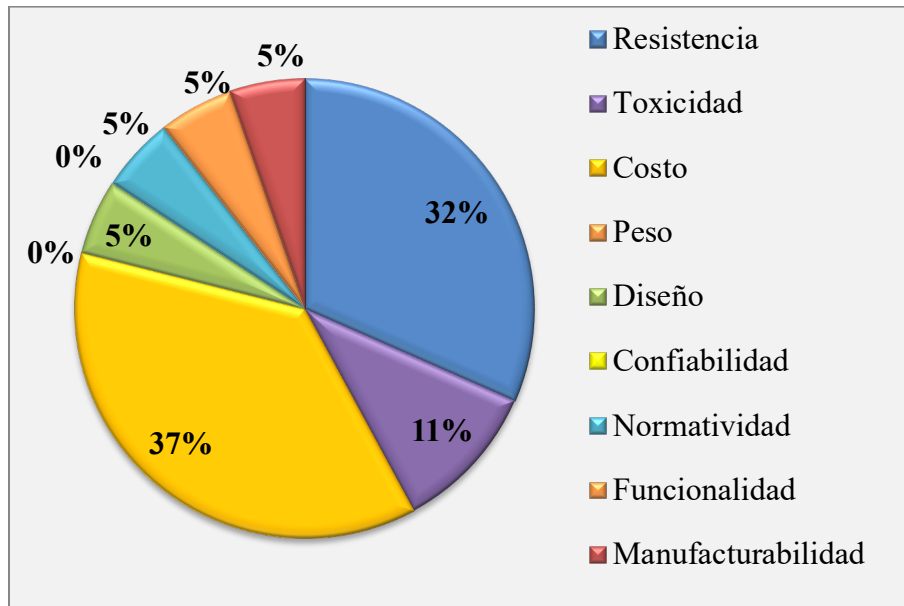
Los resultados obtenidos de la pregunta 5 son ilustrados en la Gráfica 5 y en la Tabla 13, donde se visualiza que los encuestados respondieron a las características esenciales que perciben o esperan percibir en un producto que contiene materiales biodegradables, las características más significativas son; no tóxico con 16 %, no contaminante 13 %, funcional y degradación rápida 11 %, resistente, de bajo costo y reciclable 9 %, mientras que las características que no fueron de mucho interés fueron; normativo con 7 %, buen diseño y fácil de adquirir 4 %, ligero, confiable y manufacturable 2 %.

6. Si se sustituyeran los empaques y embalajes de plásticos convencionales con plásticos biodegradables, ¿qué factor cree usted que se afectaría? (si es necesario, marque más de una).

Tabla 14 Resultados de la pregunta 6.

Por ciento	# de respuestas	Factores
32%	6	Resistencia
11%	2	Toxicidad
37%	7	Costo
0%	0	Peso
5%	1	Diseño
0%	0	Confiabilidad
5%	1	Normatividad
5%	1	Funcionalidad
5%	1	Manufacturabilidad

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 6 Pregunta 6. Si se sustituyeran los empaques y embalajes de plásticos convencionales con plásticos biodegradables, ¿qué factor cree usted que se afectaría? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.

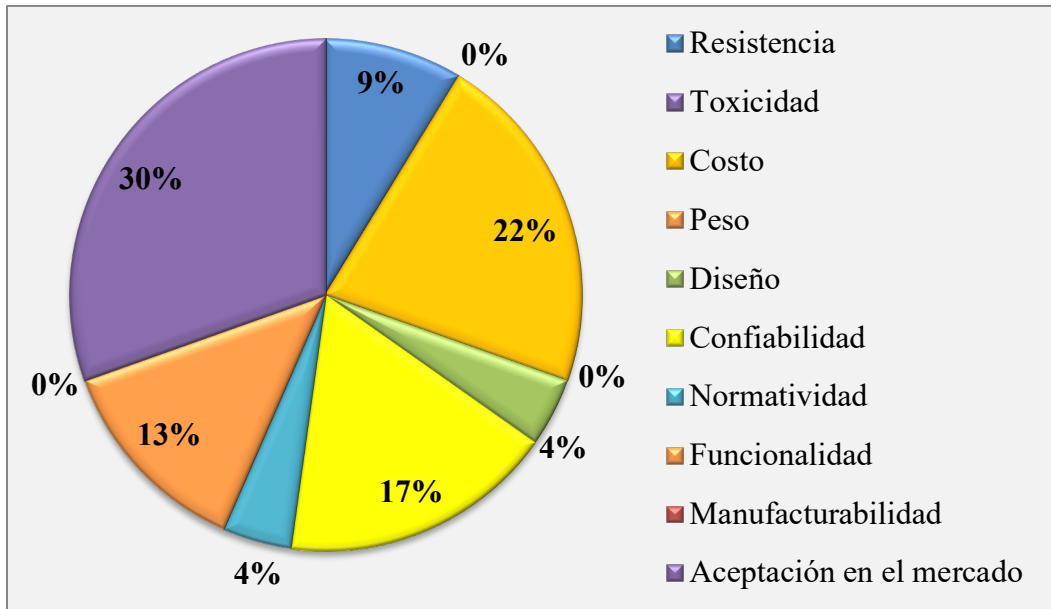
La Gráfica 6 y la Tabla 14 permite visualizar los resultados de la pregunta 6, en donde se muestra que los encuestados dieron su opinión en función a las características que se verían afectadas a la hora de sustituir o remplazar los plásticos convencionales en los empaques y embalajes por materiales biodegradables, siendo los factores que mayor estragos ocasionarían a los empaques y embalajes con la sustitución son; el costo con 37 % y la resistencia con 32 %, y los factores que menor afectarían son; la toxicidad 11 %, el diseño, la normatividad, la funcionalidad y la manufacturabilidad 5 %, el peso y la confiabilidad no registraron porcentaje alguno.

7. ¿Cuál cree que sea o haya sido el o los inconvenientes que han tenido algunas empresas por la sustitución de plásticos convencionales por plásticos biodegradables? (si es necesario, marque más de una).

Tabla 15 Resultados de la pregunta 7.

Por ciento	# de respuestas	Factores
9%	2	Resistencia
0%	0	Toxicidad
22%	5	Costo
0%	0	Peso
4%	1	Diseño
17%	4	Confiabilidad
4%	1	Normatividad
13%	3	Funcionalidad
0%	0	Manufacturabilidad
30%	7	Aceptación en el mercado

Fuente: Diseño propio.



Gráfica 7 Pregunta 7. ¿Cuál cree que sea o haya sido el o los inconvenientes que han tenido algunas empresas por la sustitución de plásticos convencionales por plásticos biodegradables? (si es necesario, marque más de una). Fuente: Diseño propio.

En la Gráfica 7 y en la Tabla 15 se presentan los resultados que se obtuvieron de la pregunta 7, en donde se cuestionó a los profesionistas sobre los inconvenientes que creen que hayan tenido algunas empresas por la sustitución de los plásticos convencionales a los plásticos biodegradables, dando como resultado que los criterios/factores más destacados son; la aceptación del mercado con 30 %, el costo 22 % y la confiabilidad 17 %, mientras que los factores menos relevantes son; funcionalidad 13 %, diseño y normatividad 4 %, toxicidad, peso y manufacturabilidad no registraron porcentaje alguno.

La información recolectada y expuesta en las preguntas 5, 6 y 7, son clave, debido a que conforman características, atributos y cualidades técnicas que representan la mayor atención de los profesionistas y especialistas encuestados, por lo tanto considerando los resultados presentados se determinaron los requerimientos técnicos (metodología QFD) y los parámetros (metodología TRIZ) que marcaron la pauta en la investigación.

## 4. 2. Desarrollo del Despliegue de la Función de la Calidad (QFD)

### 4. 2. 1. Construcción de la Casa de la Calidad (HoQ)

Una vez formulada y aplicada la encuesta al *grupo target* se procede a realizar la casa de la calidad, para ello se realizó una búsqueda de formatos que contuvieran los elementos básicos para posteriormente comenzar a construirla (llenarla), se encontró un archivo en Excel dinámico, realizado por Battles (2010) versión 0.9 en donde se visualiza el formato de la casa de la calidad, este formato representado en la Figura 36 se utilizó para la implementación de la metodología QFD.

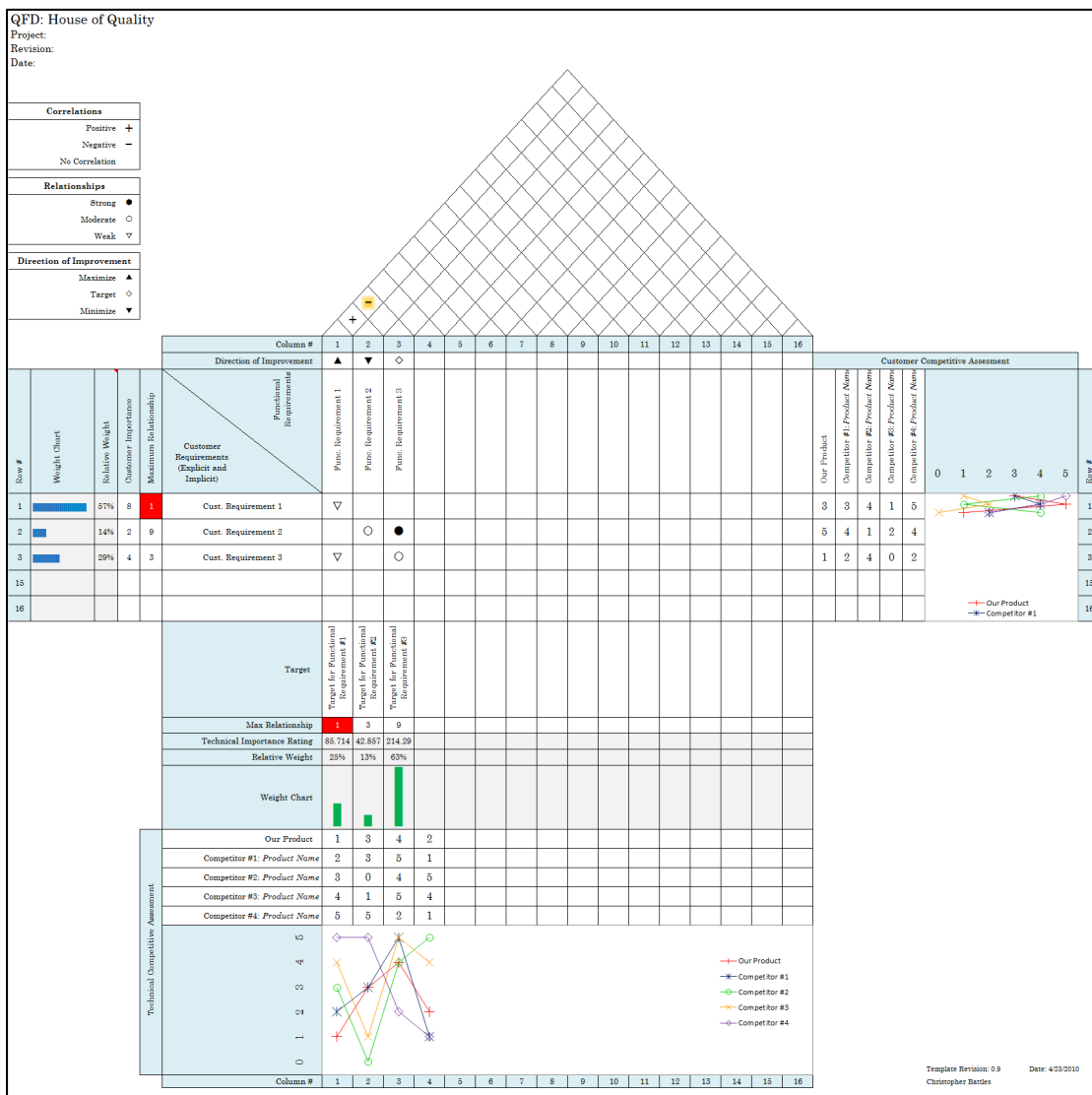


Figura 36 Formato de la casa de la calidad. Fuente: Battles, 2010.

Necesidad superior	Requisitos del cliente (explícito e implícito)	Requerimientos funcionales
Material	Resistente	
	No tóxico	
	Degradación rápida	
	No contaminante	
	Reciclable	
	Ligero	
	Manufacturable	
	Cumple con normatividad	
Diseño	Funcional	
	Cumple con estándar de diseño	
	Buen diseño	
Mercado	De bajo costo	
	Confiable	
	Fácil de adquirir	

Figura 37 Definición de los ¿Qué's? o requerimientos del cliente. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

De acuerdo a las etapas mencionadas en el subtema 2. 9. 5. del capítulo II, en la primera etapa se debe conocer al mercado (opiniones, puntos de vista, pensamientos) para definir los requerimientos técnicos del producto o servicio de estudio. En esta etapa se analizan minuciosamente los resultados obtenidos por medio de la aplicación de la encuesta, entrevista, cuestionario o cualquier otro método de recolección de datos seleccionado, estructurando e identificando los criterios, factores, características, atributos y/o cualidades técnicas que puntualiza el *grupo target*.

En la Figura 37 se visualiza y se definen los ¿Qué's? del producto (requerimientos técnicos) identificados con la aplicación de la encuesta al *grupo target*.

En la segunda etapa es necesario definir los ¿Cómo's? o requerimientos funcionales, en esta etapa se involucran los procedimientos operativos de la empresa para establecer las actividades, operaciones, tareas y procesos que son necesarios para conseguir los ¿Qué's? definidos en la etapa anterior, para este caso, se determinaron los siguientes requerimientos funcionales mostrados en la Figura 38.

Requisitos del cliente (explícito e implícito)	Requerimientos funcionales						
	Selección del Material	Proceso de obtención de la fibra	Proceso de formado	Condiciones ambientales	Composición de la mezcla	Dimensiones	Apariencia final del "producto"

Figura 38 Definición de los ¿Cómo's? o requerimientos funcionales. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

Una vez definidos los requerimientos de los clientes (¿Qué's?) y los requerimientos funcionales (¿Cómo's?) se procede a crear la relación que existe entre ambos, de acuerdo con el formato establecido por Battles (2010) refiere un círculo negro (●) a una relación fuerte, un círculo blanco (○) a una relación moderada, un triángulo (▽) a una relación débil y los cuadros o celdas vacías indican la falta de relación entre los requerimientos.

La manera de crear la relación es identificando que actividades, operaciones, tareas y procesos (requerimiento funcional) deriva un requerimiento del cliente, por ejemplo, en la Figura 39 se visualiza la relación que se generó en el proyecto, en donde se observa que la “Selección del material” (requerimiento funcional) con “No contaminante” (requerimiento del cliente) poseen una relación fuerte, debido a que el tipo de material que se seleccione definirá si el material será contaminante o no.

Necesidad superior	Requerimientos funcionales							
	Requisitos del cliente (explícito e implícito)	Selección del Material	Proceso de obtención de la fibra	Proceso de formado	Condiciones ambientales	Composición de la mezcla	Dimensiones	Apariencia final del "producto"
<b>Material</b>	Resistente	○				●		
	No tóxico	○				▽		
	Degradación rápida	○			●	▽		
	No contaminante	●			○	▽		
	Reciclable	○				▽		
	Ligero	○				▽	●	
	Manufacturable	○	▽	●				
	Cumple con normatividad						●	
<b>Diseño</b>	Funcional		●					○
	Cumple con estándar de diseño	▽		●				○
	Buen diseño			○				
<b>Mercado</b>	De bajo costo		●	○				
	Confiable	▽		○		●		
	Fácil de adquirir							○

Figura 39 Determinación de la relación entre los requerimientos de los clientes (¿Qué's?) y los requerimientos funcionales (¿Cómo's?). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

La determinación de la correlación sucede en el techo de la casa de la calidad y se realiza entre los requerimientos funcionales (¿Cómo's?), en la Figura 40 se observa cómo quedó definida la correlación de estos elementos. El formato establecido por Battles (2010) refiere un símbolo de más (+) a una correlación positiva, un símbolo de menos (-) a una correlación negativa y donde no existe correlación se deja el espacio en blanco (vacío).

N° de Columna		1	2	3	4	5	6	7
Requisitos del cliente (explícito e implícito)	Requerimientos funcionales	Selección del Material	Proceso de obtención de la fibra	Proceso de formado	Condiciones ambientales	Composición de la mezcla	Dimensiones	Apariencia final del "producto"

Figura 40 Determinación de la correlación entre los requerimientos funcionales (¿Cómo's?). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

Una vez definidas las relaciones y correlaciones es necesario comenzar a ponderar la relación máxima o el grado de importancia que presiden los “clientes” en los requerimientos técnicos (¿Qué's?) del producto, para ello se realizó la ponderación en escala del 1 al 5, donde 5 es muy importante y 1 poco importante, considerando estos índices se determinó la ponderación de los requerimientos del cliente ilustrada en la Figura 41.

Relación máxima	Necesidad superior	Requisitos del cliente (explícito e implícito)	Requerimientos funcionales
3	<b>Material</b>	Resistente	
5		No tóxico	
4		Degradación rápida	
4		No contaminante	
3		Reciclable	
1		Ligero	
1		Manufacturable	
2		Cumple con normatividad	
4	<b>Diseño</b>	Funcional	
2		Cumple con estándar de diseño	
2		Buen diseño	
3	<b>Mercado</b>	De bajo costo	
1		Confiable	
2		Fácil de adquirir	

Figura 41 Ponderación de los requerimientos del cliente. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

En la Figura 42 se observa la casa de la calidad obtenida con el desarrollo de las etapas y fases expuestas anteriormente, en ella se muestra el panorama total de la HoQ considerando las etapas 1 – 2, relaciones y correlaciones que existen entre los requerimientos técnicos y los requerimientos funcionales, así como el grado de importancia. Con el desarrollo de estas etapas es posible visualizar e identificar que requerimiento técnico es el **“Crítico de calidad”** que representa la característica, atributo y/o cualidad técnica más representativa o predominante por el *grupo target* analizado. Con el resultado obtenido es posible iniciar con la traducción (Crítico de calidad → parámetro) que con lleva a la metodología TRIZ.

		N° de Columna						
		1	2	3	4	5	6	7
Relación máxima	Necesidad superior	Requerimientos funcionales						
Requisitos del cliente (explícito e implícito)		Selección del Material	Proceso de obtención de la fibra	Proceso de formado	Condiciones ambientales	Composición de la mezcla	Dimensiones	Apariencia final del "producto"
3	<b>Material</b>	Resistente	○				●	
5		No tóxico	○				▽	
4		Degradación rápida	○			●	▽	
4		No contaminante	●			○	▽	
3		Reciclable	○				▽	
1		Ligero	○				▽	●
1		Manufacturable	○	▽	●			
2		Cumple con normatividad						●
4	<b>Diseño</b>	Funcional		●				○
2		Cumple con estándar de diseño	▽		●			○
2		Buen diseño			○			
3	<b>Mercado</b>	De bajo costo		●	○			
1		Confiable	▽		○		●	
2		Fácil de adquirir						○

Figura 42 Etapa 1 y 2 de la casa de la calidad. Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Battles, 2010.

#### 4. 2. 2. Crítico de calidad

El crítico de calidad es una parte esencial de la metodología QFD que da la pauta a la metodología TRIZ, puesto que al localizar e identificar el requerimiento técnico con mayor importancia, se puede encontrar, definir y/o traducir el parámetro que se espera mejorar

(parámetro A). De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta se asignaron las ponderaciones en escala del 1 al 5 en los requerimientos técnicos o requerimientos de los “clientes”, como se explicó anteriormente.

Realizando un *ranking* en los requerimientos técnicos se encontró el “*critico de calidad*” que representa la característica más importante y susceptible por los “clientes”, en la Tabla 16 se muestran jerarquizados los requerimientos técnicos en función a su ponderación (relación máxima) obtenida por medio de la encuesta aplicada.

Tabla 16 Categorización de los requerimientos técnicos de acuerdo a su ponderación conseguida en la HoQ.

<b>Requerimientos del cliente</b>	<b>Relación Máxima</b>
No tóxico	5
Degradación rápida	4
No contaminante	4
Funcional	4
Resistente	3
Reciclable	3
De bajo costo	3
Cumple con normatividad	2
Cumple con estándar de diseño	2
Buen diseño	2
Fácil de adquirir	2
Ligero	1
Manufacturable	1
Confiable	1

Fuente: Diseño propio.

En la Tabla 16 se muestra que el crítico de calidad resultante es “no tóxico” localizado en la necesidad superior de “material” de acuerdo con la HoQ observada en la Figura 42, por lo tanto, esta característica es considerada como el centro de atención del estudio realizado.

### 4. 3. Desarrollo de la Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva (TRIZ)

#### 4. 3. 1. Definición del parámetro A

La metodología QFD priorizó los requerimientos del cliente en un orden de relevancia, en donde de acuerdo a las ponderaciones otorgadas se determinó un crítico de calidad, el cual se transforma para la metodología TRIZ en un parámetro de mejora (parámetro A), que es verbalizado/traducido a uno de los 39 parámetros estipulados en esta metodología. El crítico de calidad definido por la metodología QFD es “no tóxico”, realizando un análisis y una búsqueda comparativa en relación a la traducción del crítico de calidad *versus* parámetro se consiguió establecer que el requerimiento del cliente denominado como “no tóxico” se verbaliza/traduce a “factores nocivos actuando sobre el objeto” que representa el parámetro número 30 de los 39 parámetros constituidos en la metodología TRIZ. En la Figura 43 se observa parte de la traducción de lo mencionado y la transferencia de la metodología QFD a la metodología TRIZ.

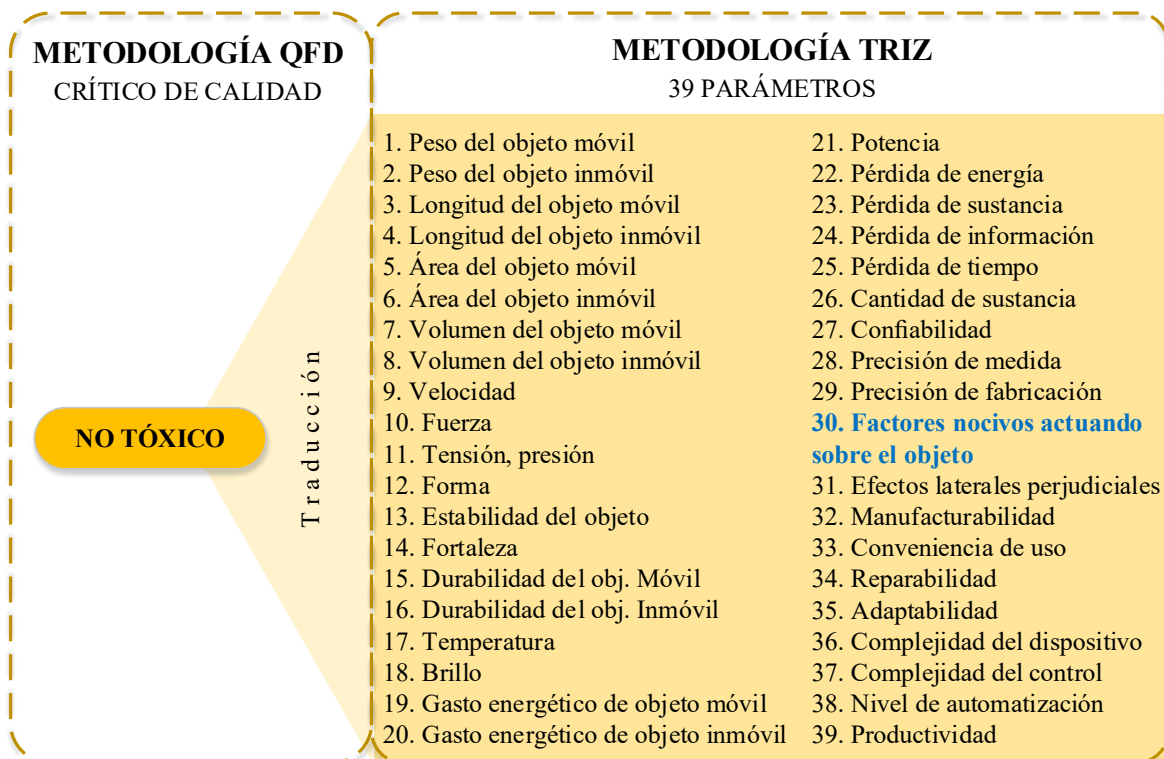


Figura 43 Traducción del crítico de calidad (QFD) a parámetro (TRIZ). Fuente: Diseño propio.

#### **4. 3. 2. Identificación de pares en conflicto**

Una vez definido el crítico de calidad mediante la metodología QFD e identificando el parámetro de mejora A equivalente en la metodología TRIZ, se procede a enlistar un conjunto de parámetros B, que constituye a una característica (parámetro) que podría verse afectada a la hora de mejorar el parámetro A, en la Tabla 17 se observan los pares en conflicto resultantes en función al parámetro 30, Factores nocivos actuando sobre el objeto y sus respectivos parámetros B, como;

- Parámetro 14. Fortaleza o resistencia,
- Parámetro 16. Durabilidad del objeto inmóvil y
- Parámetro 26. Cantidad de sustancia.

#### **4. 3. 3. Identificación de principios de inventiva**

Identificando los pares en conflicto se obtuvo una lista de principios de inventiva que forjarán una guía para la solución y/o mejora del parámetro A, considerando no perjudicar el parámetro B, es decir, al seleccionar un principio de inventiva y al desarrollarlo (implementarlo, aplicarlo) se deberá tener cuidado de no perjudicar algún otro parámetro mencionado en la lista de parámetros B, ya que uno de los objetivos de la metodología TRIZ es encontrar un principio de inventiva que mejore ambos parámetros en lugar de beneficiar a uno y perjudicar al otro.

En la Tabla 17 se observan los principios de inventiva resultantes del parámetro A con los respectivos parámetros B, que se encuentran concentrados en la matriz de contradicciones de la metodología TRIZ, para localizar los principios de inventiva correspondientes es necesario determinar una relación de un parámetro A y un parámetro B, los parámetros A se encuentran ubicados en la columna inicial de la matriz y los parámetros B en la fila inicial. Los principios de inventiva son el resultado de la intersección del cruce del parámetro A con el parámetro B, en la Figura 44 se observa ilustrativamente como se localizan los principios de inventiva del parámetro (A) 30 y del parámetro (B) 14.

Tabla 17 Definición del parámetro A y los parámetros B de acuerdo con la metodología TRIZ.

<b>Crítico de calidad</b>	<b>Parámetro A → Mejora</b> (Traducción a parámetro de TRIZ)	<b>Parámetro B → Empeora</b>	<b>Principios de inventiva</b>
No tóxico	30. Factores nocivos actuando sobre el objeto.	14. Fortaleza o Resistencia.	1. Segmentación. 18. Vibraciones mecánicas. 35. Cambio de parámetros (estados físicos). 37. Expansión térmica.
		16. Durabilidad del objeto inmóvil.	1. Segmentación. 17. Cambio dimensional. 33. Homogeneidad. 40. Utilizar materiales compuestos.
		26. Cantidad de sustancia.	29. Neumática e hidráulica. 31. Uso materiales porosos. 33. Homogeneidad. 35. Cambio de parámetros (estados físicos).

Fuente: Diseño propio.

Como se aprecia en la columna de principios de inventiva de la Tabla 17 existen principios de inventiva repetidos en los pares en conflicto (A → B), una forma de seleccionar el principio de inventiva a utilizar y desarrollar una vez establecido el parámetro B, es observar que principios de inventiva se repiten en los demás pares en conflicto puntualizados (siempre y cuando se hayan definido varios pares en conflicto), por ejemplo, se determinó como parámetro B el parámetro 14 Fortaleza o resistencia, y los principios de inventiva que agrupa este par en conflicto son los principios 1, 18, 35 y 37, pero observando los principios de inventiva que concentran los demás pares en conflicto se tiene que, el principio 1 y 35, están repetidos, ya que el principio 1 está en el par en conflicto 30 → 14 y en el 30 → 16, mientras que el principio 35 está en el par en conflicto 30 → 14 y 30 → 26, es decir, cualquiera de estos dos principios pueden ser utilizados para encontrar la solución (mejora) al problema planteado.

Parámetro A	Parámetro B															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1			15. 8. 29.34		29.17.38.34		29.2.40.28		2.8.15.38	8.10.18.37	10.36.37.40	10.14.35.40	1.35.19.39	28.27.18.40	5.34.31.35	
2				10.1.29.35		35.30.13.2		5.35.14.2		8.10.19.35	13.29.10.18	13.10.29.14	26.39.1.40	28.2.10.27		
3	15.8.29.34				15.17.4		7.17.4.35		13.4.8	17.10.4	1.8.35	1.8.10.29	1.8.15.34	8.35.29.34	19	
4		35.28.40.29				17.7.10.40		35.8.2.14		28.1	1.14.35	13.14.15.7	39.37.35	15.14.28.26		
5	2.17.29.4		14.15.18.4				7.14.17.4		29.30.4.34	19.30.35.2	10.15.36.28	5.34.29.4	11.2.13.39	3.15.40.14	6.3	
6		30.2.14.18		26.7.9.39						1.18.35.36	10.15.36.37		2.38	40		
7	2.26.29.40		1.7.35.4		1.7.4.17				29.4.38.34	15.35.36.37	6.35.36.37	1.15.29.4	28.10.1.39	9.14.15.7	6.35.4	
8		35.10.19.14	19.14	35.8.2.14						2.18.37	24.35	7.2.35	34.28.35.40	9.14.17.15		
9	2.28.13.38		13.14.8		29.30.34		7.29.34			13.28.15.19	6.18.38.40	35.15.18.34	28.39.1.18	8.3.26.14	3.19.35.5	
10	8.1.37.18	18.13.1.28	17.19.9.36	28.1	19.10.15	1.18.36.37	15.9.12.37	2.36.18.37	13.28.15.12		18.21.11	10.35.40.34	35.10.21	35.10.14.27	19.2	
11	10.36.37.40	13.29.10.18	35.10.36	35.1.14.16	10.15.36.28	10.15.36.37	6.35.10	35.34	6.35.36	36.35.21		35.4.15.10	35.33.2.40	9.18.3.40	19.3.27	
12	8.10.29.40	15.10.26.3	29.34.5.4	13.14.10.7	5.34.4.10		14.4.15.22	7.2.35	35.15.34.18	35.10.37.40	34.15.10.14		33.1.18.4	30.14.10.40	14.26.9.25	
13	21.35.2.39	26.39.1.40	13.15.1.28	37	2.11.13	39	28.10.19.39	34.28.35.40	33.15.28.18	10.35.21.16	2.35.40	22.1.18.4		17.9.15	13.27.10.35	
14	1.8.40.15	40.26.27.1	1.15.8.35	15.14.28.26	3.34.40.29	9.40.28	10.15.14.7	9.14.17.15	8.13.26.14	10.18.3.14	10.3.18.40	10.30.35.40	13.17.35		27.3.26	
15	19.5.34.31		2.19.9		3.17.19		10.2.19.30		3.35.5	18.35.37.1			11.26.28.25	13.3.35	27.3.10	
16		6.27.19.16		1.40.35				35.34.38						39.3.35.23		
17	36.22.6.38	22.35.32	15.19.9	15.19.9	3.35.39.18	35.38	34.39.40.18	35.6.4	2.28.36.10	35.10.3.21	35.39.19.2	14.22.9.32	1.35.32	10.30.22.40	19.13.39	
18	19.1.32	2.35.32	19.32.16		19.32.26			2.13.10	10.13.19	36.19.6		32.30	32.3.27	35.19	2.19.6	
19	12.18.28.31		12.28		15.19.25		35.13.18		8.15.35	16.21.21.2	23.14.25	12.2.29	19.13.17.24	5.19.9.35	28.35.6.18	
20		19.9.6.27								36.37			21.4.29.18	35		
21	8.36.38.31	19.26.17.27	1.10.35.37		19.38	17.32.13.38	35.6.38	30.6.25	15.35.2	26.2.36.35	22.10.35	29.14.2.40	35.15.15.31	26.10.28	19.35.10.38	
22	15.6.19.28	19.6.18.9	7.2.6.13	6.38.7	15.26.17.30	17.7.30.18	7.18.23	7	16.35.38	36.38			14.2.57.6	26		
23	35.6.23.40	35.6.22.32	14.29.10.39	10.28.24	35.2.10.31	10.18.39.31	1.29.30.36	3.39.18.31	10.13.28.38	14.15.18.40	3.36.37.10	29.35.3.5	2.14.30.40	35.28.31.40	28.27.3.18	
24	10.24.35	10.35.5	1.26	26	30.26	30.16		2.22	26.32						10	
25	10.20.37.35	10.20.26.5	15.2.29	30.24.14.5	26.4.5.16	10.35.17.4	2.5.34.10	35.16.32.18		10.37.36.5	37.36.4	4.10.34.17	35.3.22.5	27.3.28.18	20.10.28.18	
26	35.6.18.31	27.26.18.35	29.14.35.18		15.14.29	2.18.40.4	15.20.29		35.29.34.28	35.14.3	10.36.14.3	35.14	15.2.17.40	14.15.34.10	3.35.10.40	
27	3.8.10.40	3.10.8.28	15.9.14.4	15.29.28.11	17.10.14.16	32.35.40.4	3.10.14.24	2.35.24	21.35.11.28	8.28.10.3	10.24.35.19	35.1.16.11		11.28	2.35.3.25	
28	32.35.26.28	28.35.25.26	28.26.5.16	32.28.3.16	26.28.32.3	26.28.32.3	32.13.6		28.13.32.24	32.2	6.28.32	6.28.32	32.35.13	28.6.32	28.6.32	
29	28.32.13.18	28.35.27.9	10.28.29.37	2.32.10	28.33.29.32	2.29.18.36	32.28.2	25.10.35	10.28.32	28.19.34.36	3.35	32.30.40	30.18	3.27	3.27.40	
30	22.21.27.39	2.22.13.24	17.1.39.4	1.18	22.1.33.28	27.2.39.35	22.23.37.35	34.39.19.27	21.22.35.28	13.35.39.18	22.2.37	22.1.3.35	35.24.30.18	18.35.37.1	22.15.33.28	
31	19.22.15.39	35.22.1.39	17.15.16.22		17.2.18.39	22.1.40	17.2.40	30.18.35.4	35.28.3.23	35.28.1.40	2.33.27.18	35.1	35.40.27.39	15.35.22.2	15.22.33.31	

Figura 44 Identificación y localización de los principios de inventiva del parámetro 30 (parámetro A) y parámetro 14 (Parámetro B). Fuente: Diseño propio, tomado del formato de Otto.

El formato o esquema de la matriz de contradicciones utilizado para la identificación de los principios de inventiva fue creado por Kevin Otto, traducido por el Dr. Humberto Aguayo y mejorada por el M.C. Rogelio de la Garza.

#### 4.3.4. Implementación de los principios de inventiva

En función a los pares en conflicto mencionados en la Tabla 17, se determina que los principios de inventiva a utilizar son;

- Principio 1. Segmentación. Se presenta en función a los materiales utilizados, dado a que los materiales se disponen en forma separada y se mezclaron en diferentes proporciones.
- Principio 35. Cambio de parámetros (estados físicos). Se presenta en la fibra de coco, debido a que se requirió moler la fibra de coco para conseguir una mezcla más homogénea.
- Principio 37. Expansión térmica. Se presenta al realizar mezclas preliminares para definir las temperaturas de los equipo de laboratorio como el Reómetro y la prensa Dake.

#### **4. 4. Proceso de obtención de la fibra de coco**

El proceso de obtención para la fibra de coco se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 45, donde se visualizan los cuatro pasos (actividades/procesos) que se realizaron para adquirir la fibra de coco, como:

1. Recepción de la cáscara de coco. Se localizó un lugar de depósito temporal (vertedero) y se recolectó la cáscara de coco.
2. Remojado. Las cáscaras de coco se sumergen en agua durante dos días.
3. Secado. Las cáscaras de coco se colocaron al sol durante dos días para que perdieran la mayor cantidad de humedad posible.
4. Desfibrado. Una vez secas las cáscaras de coco, se comenzó a desfibrar manualmente la cáscara para conseguir la fibra correspondiente.

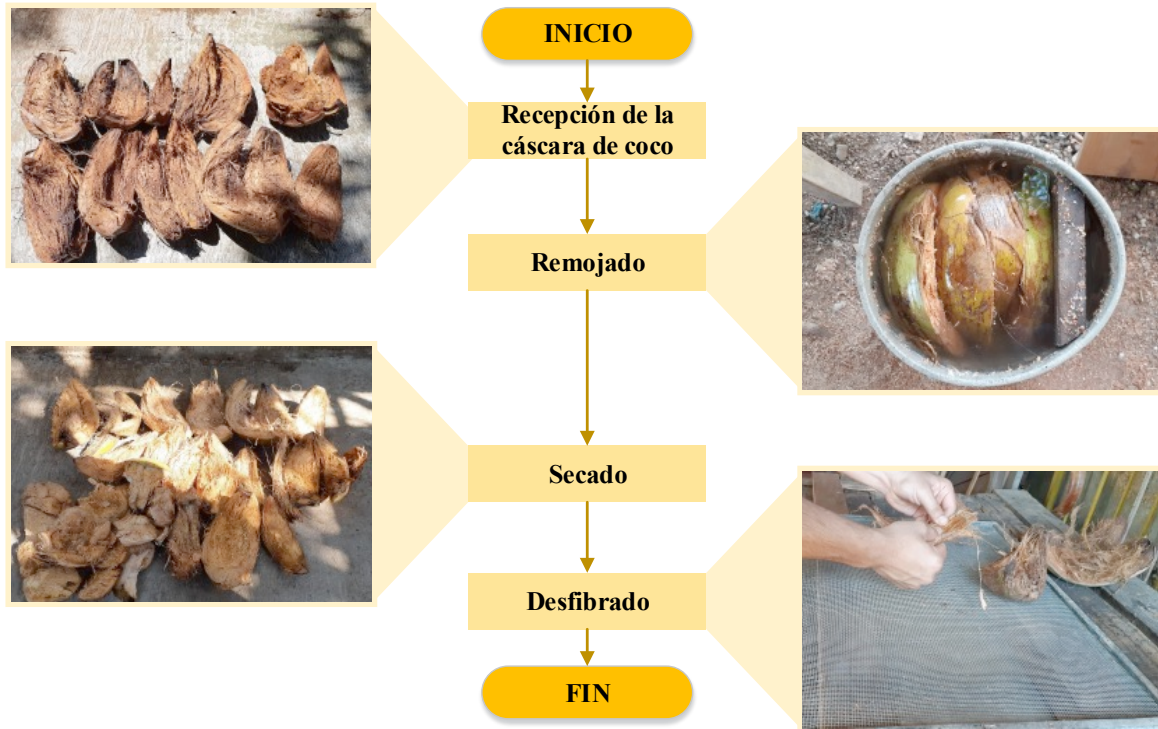


Figura 45 Diagrama de flujo para la obtención de la fibra de coco. Fuente: Diseño propio.

## 4. 5. Análisis experimental

### 4. 5. 1. Mezclas preliminares

Se realizaron tres mezclas preliminares con el objetivo de definir la temperatura de las zonas de calentamiento del Reómetro, el cual cumple la función de integrar los materiales (ingredientes) que se incorporen a la cámara de mezclado. Los resultados obtenidos en las tres mezclas se muestran en la Figura 46, en la cual se observa que, la mezcla a) sometida a 170 ° C presenta una coloración más oscura, mientras que la mezcla c) realizada a temperatura de 100 ° C mostró una tonalidad más clara, es por ello que, se establece que la temperatura para realizar las mezclas con la fibra de coco debe generarse a 100 ° C, para evitar que la fibra se queme y pierda sus propiedades.

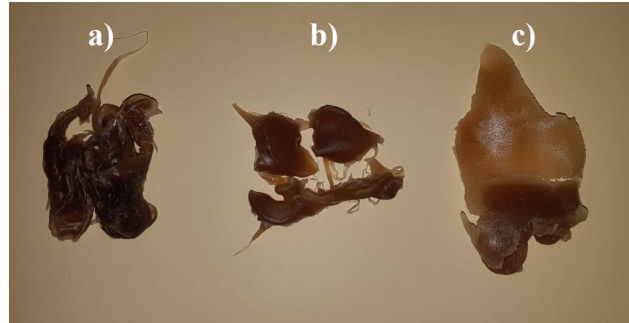


Figura 46 Apariencia de las mezclas preliminares. Fuente: El autor, 2019.

#### **4. 5. 1. 1. Principio 37. Expansión térmica**

Las mezclas preliminares se realizaron bajo el principio 37 Expansión térmica de la metodología TRIZ, puesto que se observó el comportamiento de los materiales en función a diferentes temperaturas en las zonas de calentamiento del Reómetro, así mismo para determinar las temperaturas de las mezclas se basaron en los estudios realizados por Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz, Chavez Cinco (2018), Da Costa, Ramos, Sirqueira (2017) y Ortega (2017) como se mencionó en el subtema 3. 9. 1. del capítulo III.

#### **4. 5. 2. Primera Mezcla**

Con la realización de la primera mezcla se observó lo siguiente:

La integración de la fibra de coco de 1 cm aproximado de longitud con los demás materiales no fue amena, ya que al generar la muestra (placa) en la prensa mecánica, el resultado observado fue que existían zonas con apiñamiento de fibra, como se presenta en la Figura 47.



Figura 47 Apiñamiento de fibra de coco en primera mezcla. Fuente: El autor, 2019.

La coloración de la muestra tomo una apariencia oscura y un aspecto como quemado, derivado de la temperatura con la que se realizó la mezcla (170 ° C). (Ver Figura 48).



Figura 48 Apariencia oscura en la primara mezcla. Fuente: El autor, 2019.

La fibra de coco de 1 cm aproximado de longitud, representa un mayor volumen en comparación de la fibra de coco en micropartículas. En la Figura 49 se observa la diferencia entre ambas presentaciones de fibra.

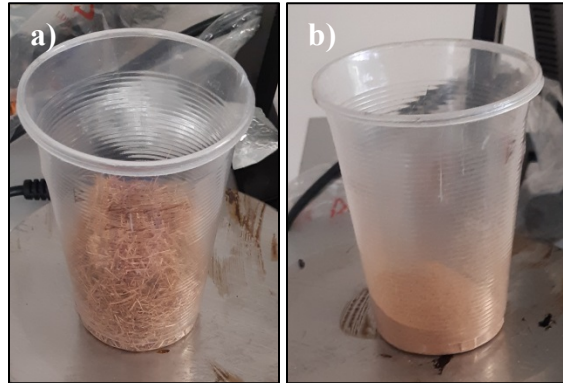


Figura 49 Comparativa entre a) 5 gr de Fibra de coco de 1 cm aproximado de longitud y b) 5 gr de Fibra de coco en micropartículas. Fuente: El autor, 2019.

El torque registrado en la primera mezcla, fue negativo, debido a que la cantidad de mezcla que se adicionó (45 gr) fue inferior a la requerida (55 gr), pero solo se consideraron 45 gr de material total, ya que la fibra de coco de aproximadamente 1 cm de longitud representaba mucho volumen, como se mencionó en el punto anterior, y al tratar de incorporar o adicionar más material podría causar que los materiales desbordaran de la cámara de mezclado.

La primera mezcla sirvió para comprobar ciertos aspectos que se buscaban analizar, como por ejemplo, ver la integración de la fibra de coco de 1 cm aproximado de longitud con los demás materiales, determinar con claridad la cantidad de mezcla total, comprobar que la temperatura de 170 ° C puede quemar la fibra de coco y hacer que pierda propiedades y características durante el mezclado.

#### **4. 5. 2. 1. Principio 35. Cambio de parámetros (estados físicos)**

En la primera mezcla se utilizó el principio 35 Cambio de parámetros de la metodología TRIZ, ya que al mezclar la fibra de coco en longitud aproximada de 1 cm, se observó que la mezcla mostraba menos homogeneidad de la esperada, además, representaba demasiado volumen en la cámara de mezclado del Reómetro, por lo tanto para las demás mezclas (mezclas dos, tres y cuatro) se implementó el principio 35 de TRIZ, en donde por medio de un molino convencional y una tamizadora, se molió y tamizó la fibra para conseguir

micropartículas permitiendo mejorar la homogeneidad y facilitar la incorporación de la fibra de coco al Reómetro.

### 4. 5. 3. Segunda Mezcla

La segunda mezcla efectuada presentó resultados más favorables en función a la integración de los materiales, debido a que la fibra de coco se encontraba en micropartículas, lo que benefició a que se mezclaran uniformemente todos los materiales. La apariencia visual observada en la muestra (placa) fue una coloración menos oscura que la primera mezcla, ya que la mezcla se sometió a una temperatura de 100 ° C.

El torque registrado por el Reómetro presentó estabilidad después de la marca de los 4 minutos, con un torque que oscilaba entre los 14.4 y 19.2 Nm.

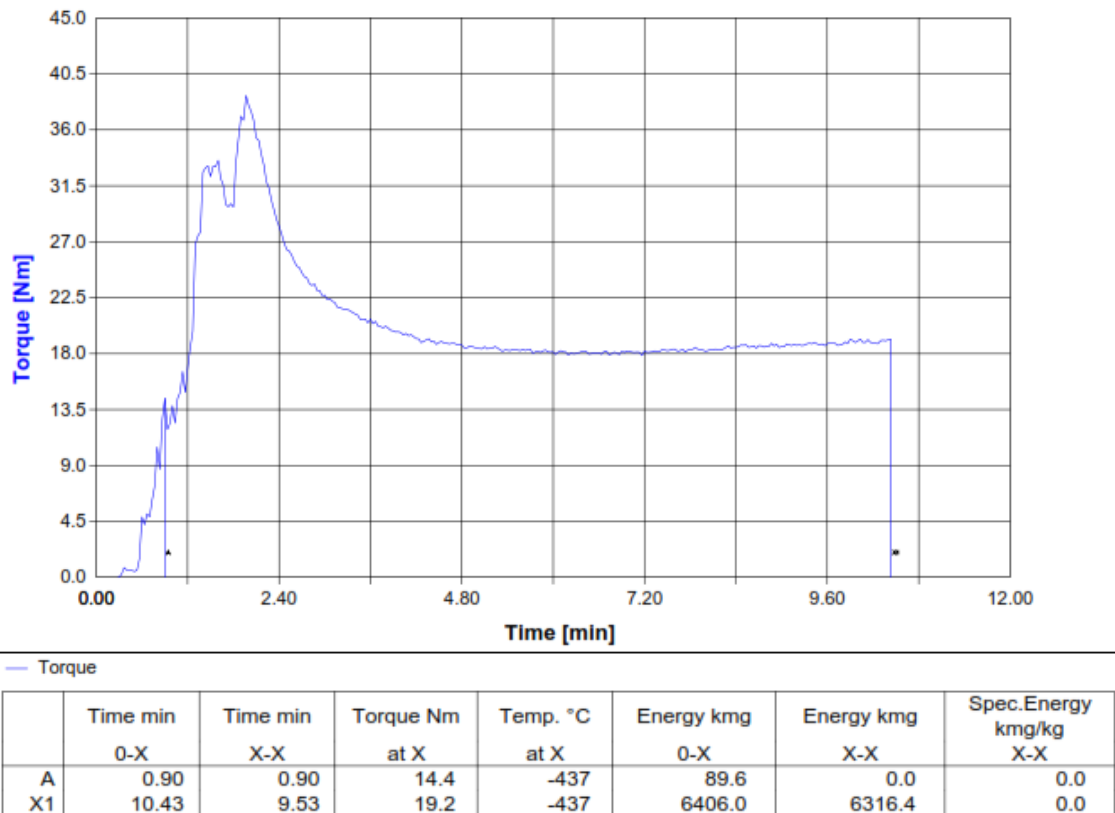


Figura 50 Torque registrado de la Segunda mezcla.

#### 4. 5. 4. Tercera Mezcla

La tercera mezcla efectuada mostró buena uniformidad con los materiales, pero mostró una coloración más oscura que la anterior, sin la apariencia de quemado como se visualizó en la primera mezcla.

El torque registrado por el Reómetro presentó estabilidad después de la marca de los 4 minutos, con un torque que oscilaba entre los 12.1 y 20.9 Nm.

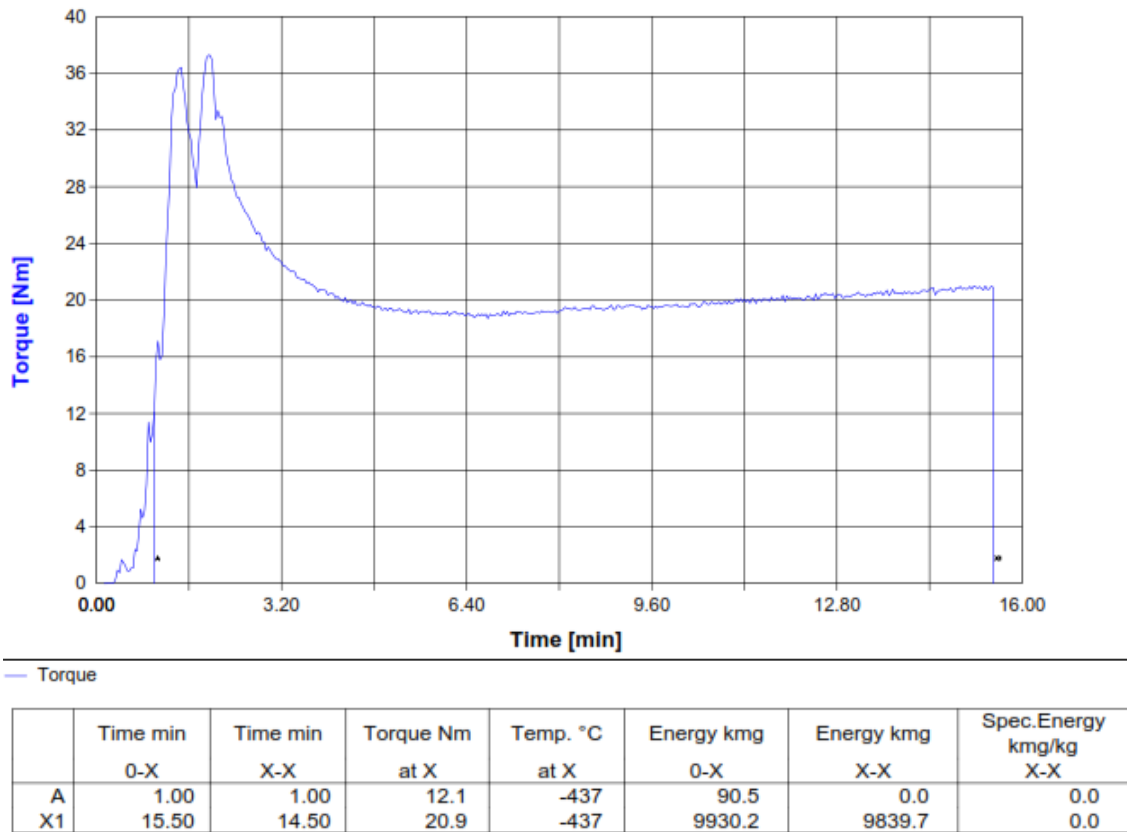


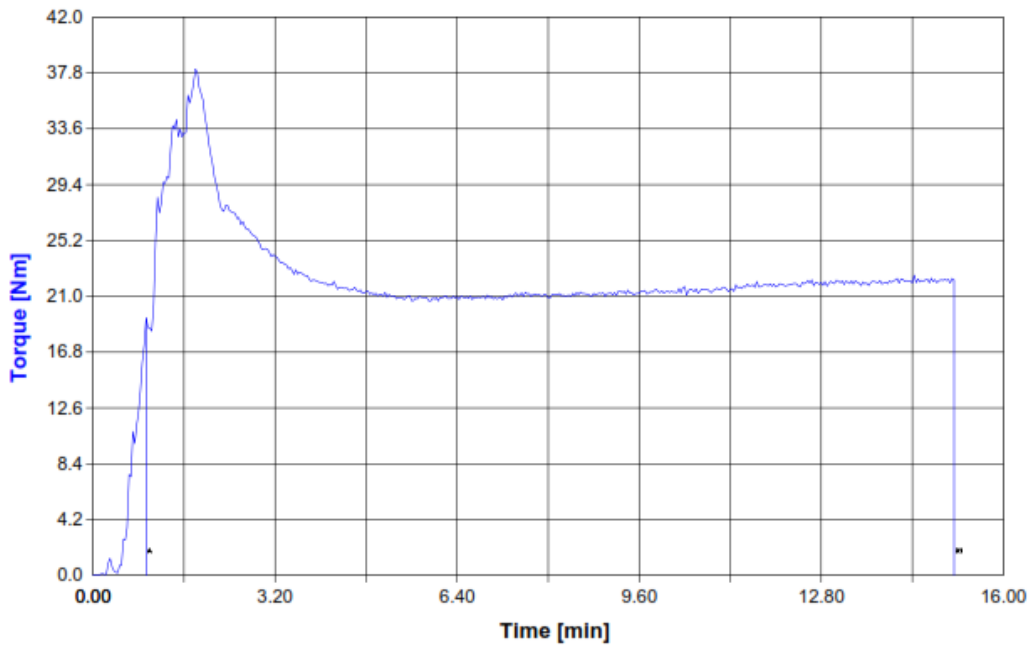
Figura 51 Torque registrado de la Tercera mezcla.

#### 4. 5. 5. Cuarta Mezcla

La cuarta mezcla realizada demostró al igual que la tercera y segunda mezcla buena uniformidad de la fibra con respecto a los demás materiales, visualizando una apariencia

más oscura que las demás, se determina que a mayor cantidad de fibra adicionada a la mezcla mayor la coloración oscura que adquiere.

El torque registrado por el Reómetro generó estabilidad después de la marca de los 4 minutos, con un torque que oscilaba entre los 19.4 y 22.2 Nm, se prueba que a mayor cantidad de fibra adicionada a la mezcla es mayor el esfuerzo de torsión realizado por el Reómetro.



	Time min	Time min	Torque Nm	Temp. °C	Energy kmg	Energy kmg	Spec. Energy
	0-X	X-X	at X	at X	0-X	X-X	kgm/kg
A	0.93	0.93	19.4	-437	150.3	0.0	0.0
X1	15.13	14.20	22.2	-437	10495.0	10344.7	0.0

Figura 52 Torque registrado de la Cuarta mezcla.

#### 4. 6. Resultados de los métodos de caracterización

##### 4. 6. 1. Espectroscopia Infrarroja (FTIR)

En la Figura 53 se observan los espectros IR de las cuatro mezclas realizadas a base de FC/ATP-EVOH/SB de 4000  $\text{cm}^{-1}$  y 600  $\text{cm}^{-1}$ . De acuerdo con los estudios analizados anteriormente (subtema 2. 11. 1. capítulo II) se visualiza una banda de absorción desde

3500  $\text{cm}^{-1}$  hasta 3100  $\text{cm}^{-1}$  asociadas al estireno y butadieno, un pico en 2900  $\text{cm}^{-1}$  relacionadas al estiramiento de los grupos metilo y metileno, vibración de alargamiento del hidrógeno y estiramiento alifático C-H derivado de la lignina, en el número de onda 1450  $\text{cm}^{-1}$  se aprecian vibraciones de estiramiento C=C y deformación simétrica de  $\text{CH}_2$  en grupos aromáticos de lignina, hemicelulosa y celulosa; C-C vibraciones de estiramiento de grupos metoxi ( $\text{O-CH}_3$ ) del fenol de lignina, OH flexión de ácidos en hemicelulosa y lignina, las vibraciones en 965  $\text{cm}^{-1}$ , 910  $\text{cm}^{-1}$  y 897  $\text{cm}^{-1}$  muestran la evidencia de deformaciones de carbono aromático insaturado.

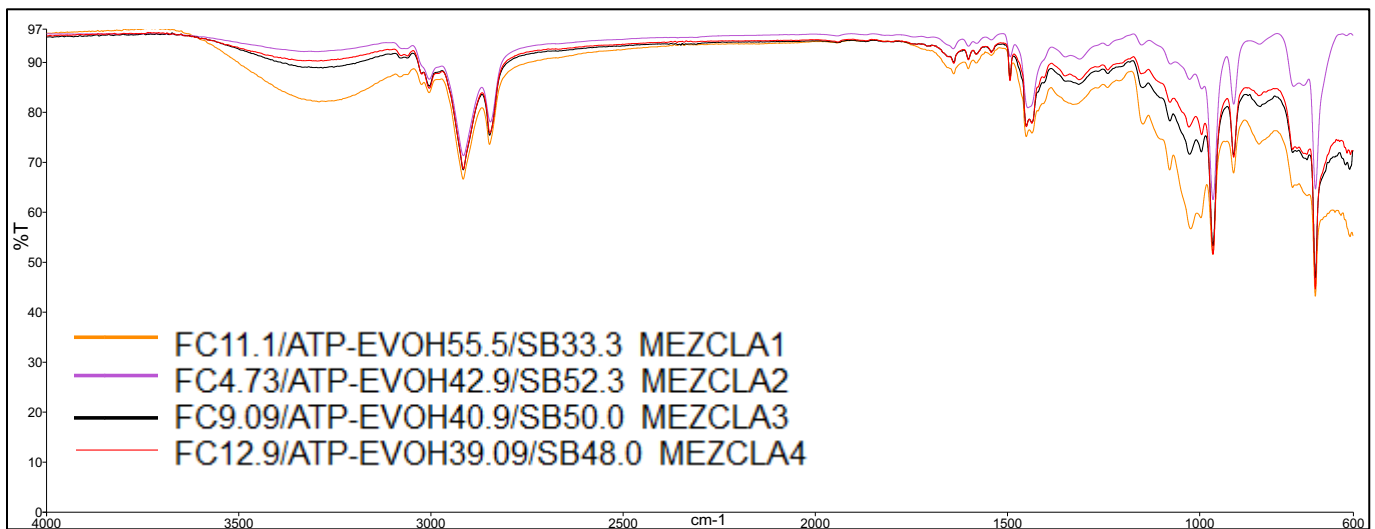


Figura 53 Espectros FTIR de FC/ATP-EVOH/SB.

#### 4. 6. 2. Análisis mecánico dinámico (DMA)

El DMA se realizó para evaluar las propiedades viscoelásticas de las mezclas efectuadas a base de FC/ATP-EVOH/SB. La Figura 54 presenta el Módulo de almacenamiento ( $E'$ ) en relación con la temperatura para las mezclas FC/ATP-EVOH/SB con diferentes % de participación de los materiales, se observa que las mezclas presentan un  $E'$  mayor (entre un rango de 1,500 MPa a 3,000 MPa) a temperaturas de  $-90^\circ\text{C}$  a  $-70^\circ\text{C}$ , la mezcla (1) FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3 presentó el menor registro de  $E'$  al inicio del análisis (entre temperaturas de  $-90^\circ\text{C}$  a  $-80^\circ\text{C}$ ) pero generó una menor pérdida gradual del  $E'$  a medida que aumentaba la temperatura, a diferencia de las demás mezclas que presentaron

una pérdida mayor durante el barrido de temperatura en el análisis. El cambio de parámetro utilizado por TRIZ en la fibra de coco, ocasionó que las mezclas 2, 3 y 4 registraran un incremento del  $E'$  (de 2000 MPa a 2800 MPa) entre temperaturas de  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La Figura 55 muestra la  $\text{Tan } \delta$  de las mezclas, en donde se observa la interacción (adhesión) de la matriz polimérica con la fibra añadida al compuesto, de acuerdo con Saucedo Rivalcoba, *et al.* (2011) cuando el valor de la tangente delta es bajo, indica que hay una buena adhesión entre fibra y la matriz polimérica. La  $\text{Tan } \delta$  de los compuestos de FC/ATP-EVOH/SB presenta valores altos, por lo tanto, la adhesión e interacción de la matriz polimérica con la fibra de coco no es buena, Méndez Hernández, Rivera Armenta, Sandoval Arellano, Salazar Cruz y Chávez Cinco (2018) analizaron comportamientos semejantes, en su mezcla a base de queratina, estireno – butadieno y ATP – EVOH, quienes identificaron que la interacción de los materiales se veía afectado con la adición de la pluma de pollo.

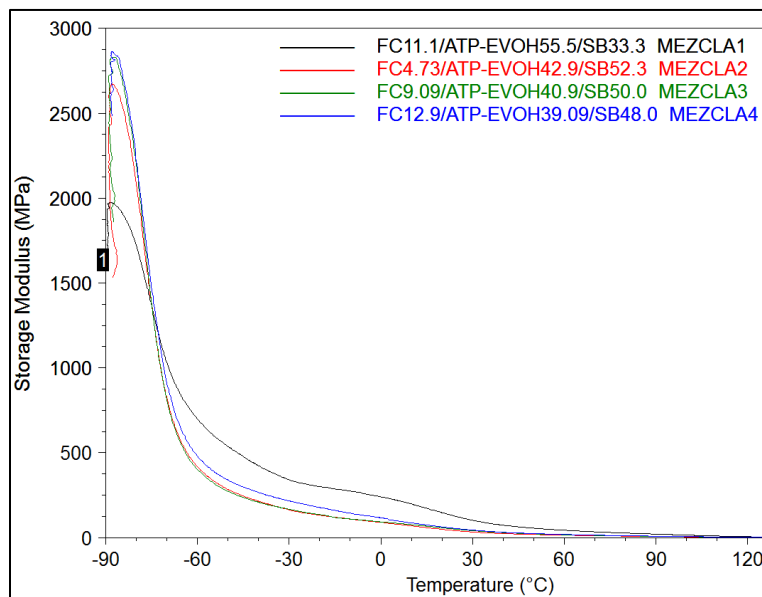


Figura 54 Módulo de almacenamiento ( $E'$ ) de DMA para mezclas FC/ATP-EVOH/SB.

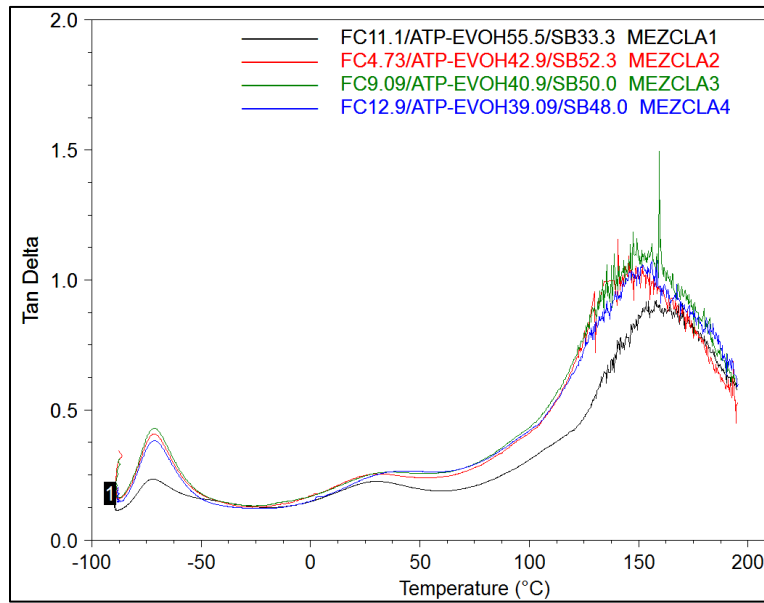


Figura 55 Tangente de delta ( $\text{Tan } \delta$ ) de DMA para mezclas FC/ATP-EVOH/SB.

#### 4. 6. 3. Análisis termogravimétrico (TGA)

Las Figuras 56 – 59 presentan los termogramas de las cuatro mezclas realizadas, en donde se visualizan cuatro pérdidas significativas de peso, asociadas a la evaporación de humedad del almidón termoplástico (ATP – EVOH) en intervalos de temperatura de 30 ° C a 100 ° C, degradación de la hemicelulosa entre los 100 ° C a 200 ° C, descomposición de celulosa y lignina presente en la fibra de coco entre los 200 ° C a 300 ° C y la pérdida mayor de peso entre los intervalos de 300 ° C a 500 ° C debido al estireno y butadieno presentes en la mezcla (SB).

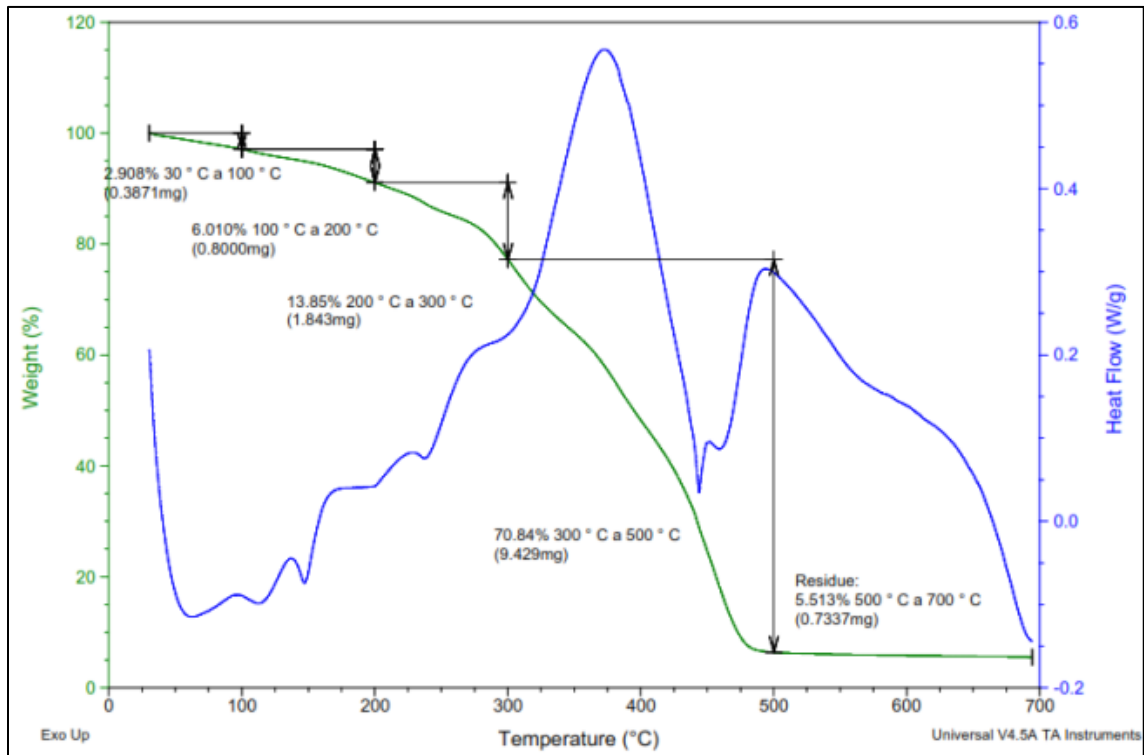


Figura 56 Termograma TGA para mezcla (1) FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3.

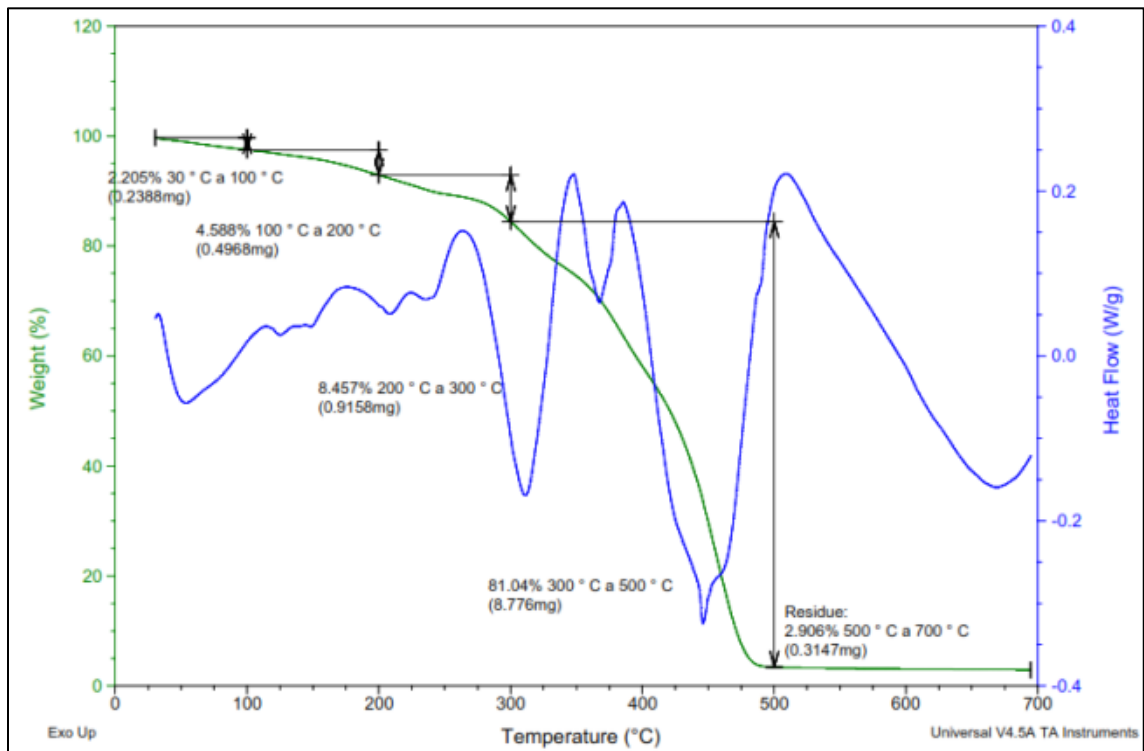


Figura 57 Termograma TGA para mezcla (2) FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3.

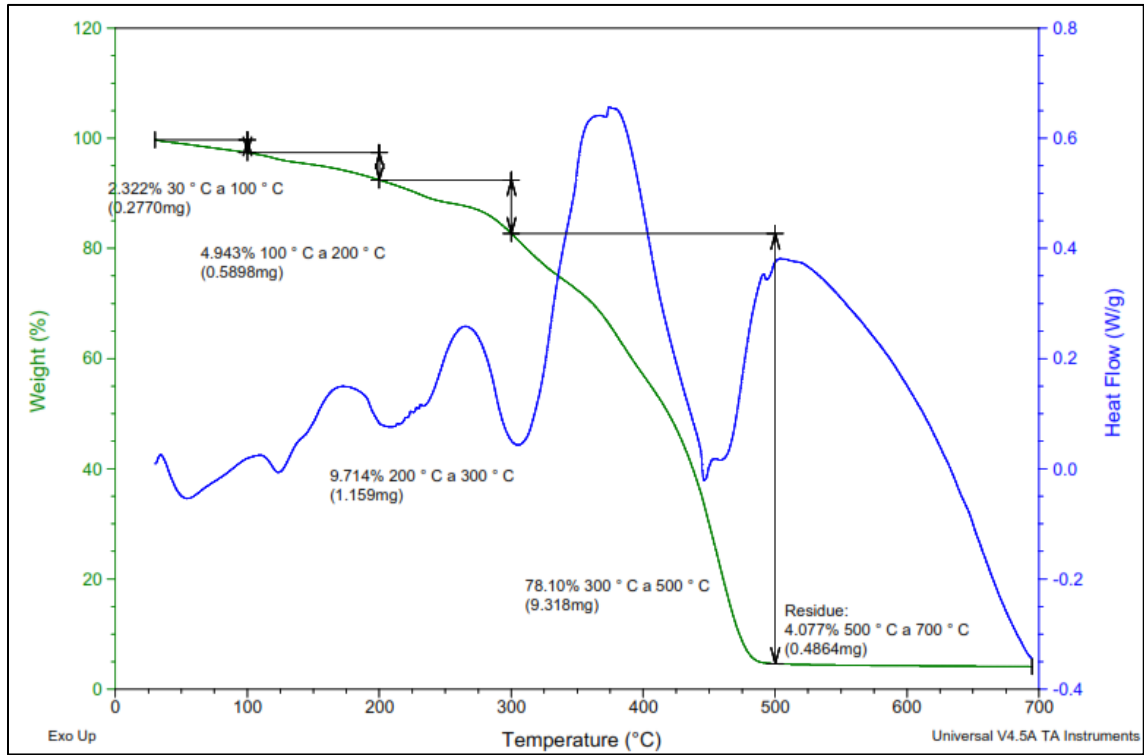


Figura 58 Termograma TGA para mezcla (3) FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0.

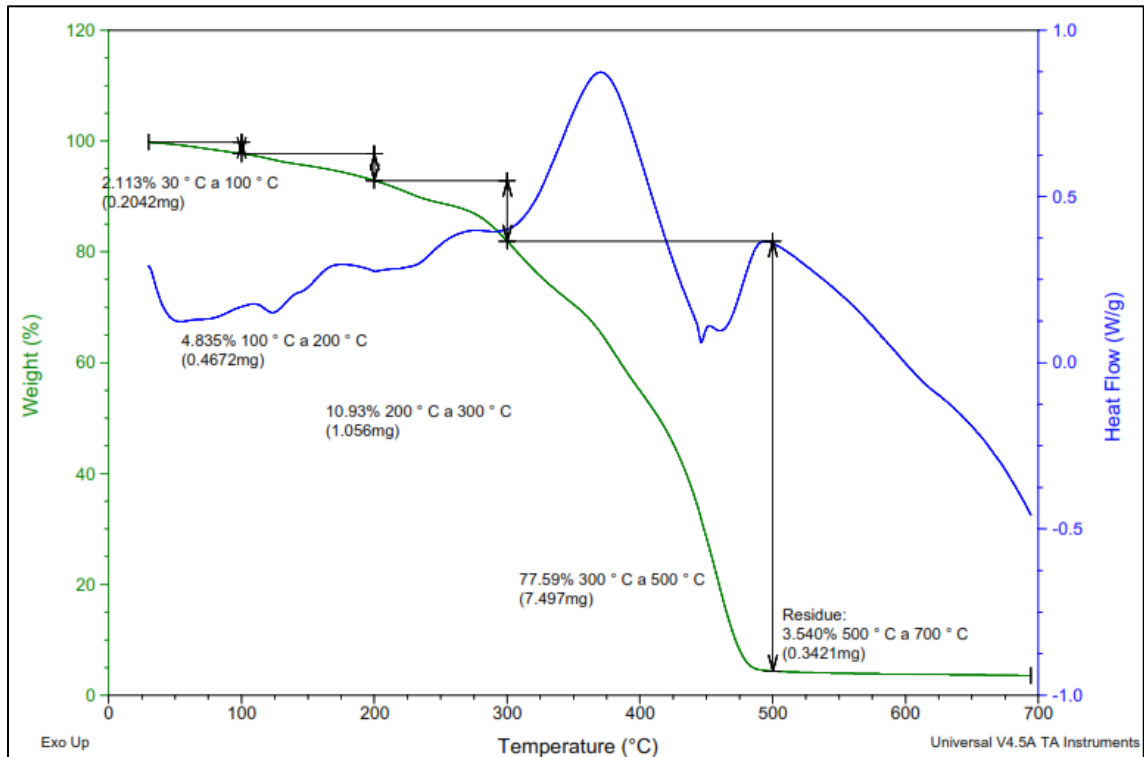


Figura 59 Termograma TGA para mezcla (4) FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0.

Tabla 18 Análisis TGA por intervalos de temperatura.

N° Mezcla	INTERVALOS DE TEMPERATURA						RESIDUO			
	30 ° C a 100 ° C		100 ° C a 200 ° C		200 ° C a 300 ° C		300 ° C a 500 ° C		500 ° C a 700 ° C	
	Peso (%)	Peso (mg)	Peso (%)	Peso (mg)	Peso (%)	Peso (mg)	Peso (%)	Peso (mg)	Peso (%)	Peso (mg)
1	2.908%	0.3871	6.010%	0.8000	13.850%	1.8430	70.840%	9.4290	5.513%	0.7337
2	2.205%	0.2388	4.588%	0.4968	8.457%	0.9158	81.040%	8.7760	2.906%	0.3147
3	2.322%	0.2770	4.943%	0.5898	9.714%	1.1590	78.100%	9.3180	4.077%	0.4864
4	2.113%	0.2042	4.835%	0.4672	10.930%	1.0560	77.590%	7.4970	3.540%	0.3421
	Mezcla 1 FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3					Mezcla 2 FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3				
	Mezcla 3 FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0					Mezcla 4 FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0				

Fuente: Diseño propio.

#### 4. 7. Resultados de la prueba de intemperismo

Después de 303 días (10 meses) de someter las probetas a condiciones climáticas naturales en un ambiente cálido – húmedo y cálido subhúmedo, con temperaturas que oscilaron entre los 10 ° C hasta los 41 ° C, con lluvias intensas, moderadas y ligeras, se registró que todas las probetas presentan rigidez, nula flexibilidad, apariencia oscura (coloración) en un ambiente soleado (sin presencia de agua), pero al tener contacto directo con lluvia (agua) las probetas comienzan a manifestar cambios significativos como ganancia de flexibilidad, absorción de humedad, aroma dulce – húmedo, textura suave – gomosa y pérdida de coloración oscura, además durante el tiempo de exposición se generaron ligeras rupturas en la parte media y baja de todas las probetas, se observó una apariencia opaca y se percibió una disminución en las dimensiones de las probetas (Ver Figura 60).

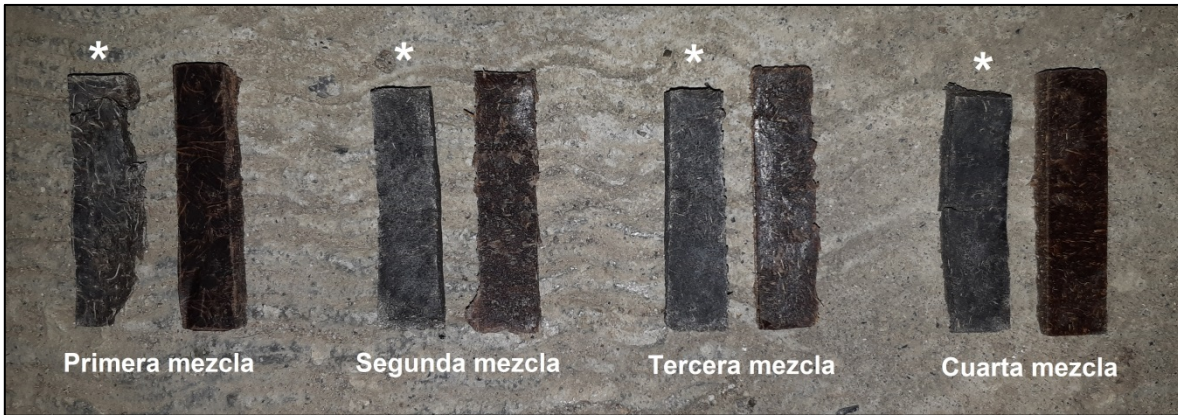


Figura 60 Comparativa de probetas expuestas a condiciones climáticas naturales vs probetas resguardadas.  
 \* Probetas expuestas a condiciones climáticas naturales. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2020.

En la tabla 19 se aprecia la relación de las propiedades analizadas con la prueba y el material que ocasionó la manifestación de la propiedad.

Tabla 19 Resultados prueba de intemperismo

<b>Propiedad</b>	<b>Material</b>
Perdida de coloración oscura	ATP – EVOH
Ganancia de textura suave - gomosa	Hule sintético SB
Flexibilidad	ATP – EVOH y Hule sintético SB
Aroma dulce – húmedo	ATP – EVOH
Absorción de humeado	Fibra de coco

Fuente: Diseño propio.



Figura 61 Día 1 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2019.



Figura 62 Día 150 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2020.



Figura 63 Día 300 de exposición, prueba de intemperismo. Fuente: El autor, Tempoal, Veracruz, 2020.

## CONCLUSIONES

El crítico de calidad y el parámetro de diseño obtenido por las metodologías QFD y TRIZ, mostraron que los especialistas están interesados en la toxicidad que generan los materiales biodegradables en los empaques y embalajes de los alimentos, es por ello que, los estudios de laboratorio realizados a las mezclas de fibra de coco, ATP – EVOH y SB, determinaron que el material parcialmente biodegradable obtenido es tóxico bajo ciertas condiciones, debido a que el hule sintético “SB” posee propiedades que podrían causar daño a la salud, aunque en la ficha técnica de Grupo Dynasol (2018) y una investigación realizada por Juárez, Balart, Ferrándiz y García (2013) mencionan diversas aplicaciones del hule SB en juguetes, productos sanitarios, guantes quirúrgicos y gomas de mascar, así mismo, la FDA (2019) en su título 21, parte 177, numeral 1 – 2, sección 409 (h) (1) (C) menciona las condiciones en las que puede utilizarse el EVOH y SB en contacto con alimentos (como se mencionó en el capítulo II subtema 2. 8.), por lo tanto, en consideración a lo citado, se comprueba que la toxicidad de los materiales sintéticos (EVOH y SB) en combinación con los naturales (FC y ATP) no generan contaminación al alimento que lo contenga, por consiguiente, se consideran las mezclas efectuadas como aptas para la industria de empaque y embalaje en contacto con alimentos.

Mediante las pruebas de laboratorio que se realizaron a las probetas de las cuatro mezclas, se identificó que los principales elementos que se degradan entre temperaturas de 30 ° C a 300 ° C son el almidón termoplástico y la fibra de coco, mientras que el estireno – butadieno son el último elemento en degradarse entre temperaturas de 300 ° C a 500 ° C, además, las mezclas presentan E' altos (entre un rango de 1,500 MPa y 3,000 MPa) a temperaturas de – 90 ° C y – 70 ° C y la Tan  $\delta$  no muestra una interacción buena entre la matriz polimérica y la fibra de coco, además en el espectro IR se aprecian bandas asociadas al estireno – butadieno (entre 3500  $\text{cm}^{-1}$  y 3100  $\text{cm}^{-1}$ ), grupos metilo, metileno y alargamiento del hidrógeno y estiramiento alifático C-H derivado de la lignina (2900  $\text{cm}^{-1}$ ), vibraciones de estiramiento C=C y deformación simétrica de CH<sub>2</sub> en grupos aromáticos de lignina, hemicelulosa y celulosa (1450  $\text{cm}^{-1}$ ) y deformaciones de carbono aromático insaturado (965  $\text{cm}^{-1}$ , 910  $\text{cm}^{-1}$  y 897  $\text{cm}^{-1}$ ).

La prueba de intemperismo realizada, demostró que las probetas al ser expuestas al sol no presentan cambios significativos, pero al estar en contacto con la lluvia (agua) generan pérdida de coloración oscura, ganancia de textura suave – gomosa, flexibilidad, aroma dulce – húmedo y absorción de humedad, además, todas las probetas presentaron ligeras rupturas en la parte media y baja, apariencia opaca y disminución en sus dimensiones.

Como conclusión general, la investigación tiene dos aportes significativos:

1. La utilización de las metodologías QFD y TRIZ para crear el material parcialmente biodegradable basado en la voz del cliente, y
2. La realización de las pruebas de laboratorio al material, comprobando que es posible obtener un material parcialmente biodegradable para empaque y embalaje a base de fibra de coco, ATP – EVOH y SB sin causar daños a la salud.

## **RECOMENDACIONES**

Debido a que la disponibilidad de los equipos de laboratorio era escasa en función a tiempo y a recurso, se recomienda que se generen más de cuatro mezclas para precisar la investigación presentada, además de utilizar un diseño de experimentos para sustentar los resultados en base a estadísticas y datos cuantificables.

La prueba de intemperismo se realizó en un ambiente no controlable, por lo tanto se sugiere que estas mezclas se sometan a condiciones controlables, para variar y manipular el ambiente – entorno, pudiéndose observar cambios significativos en las probetas aparte de los visualizados en la investigación.

## ANEXOS

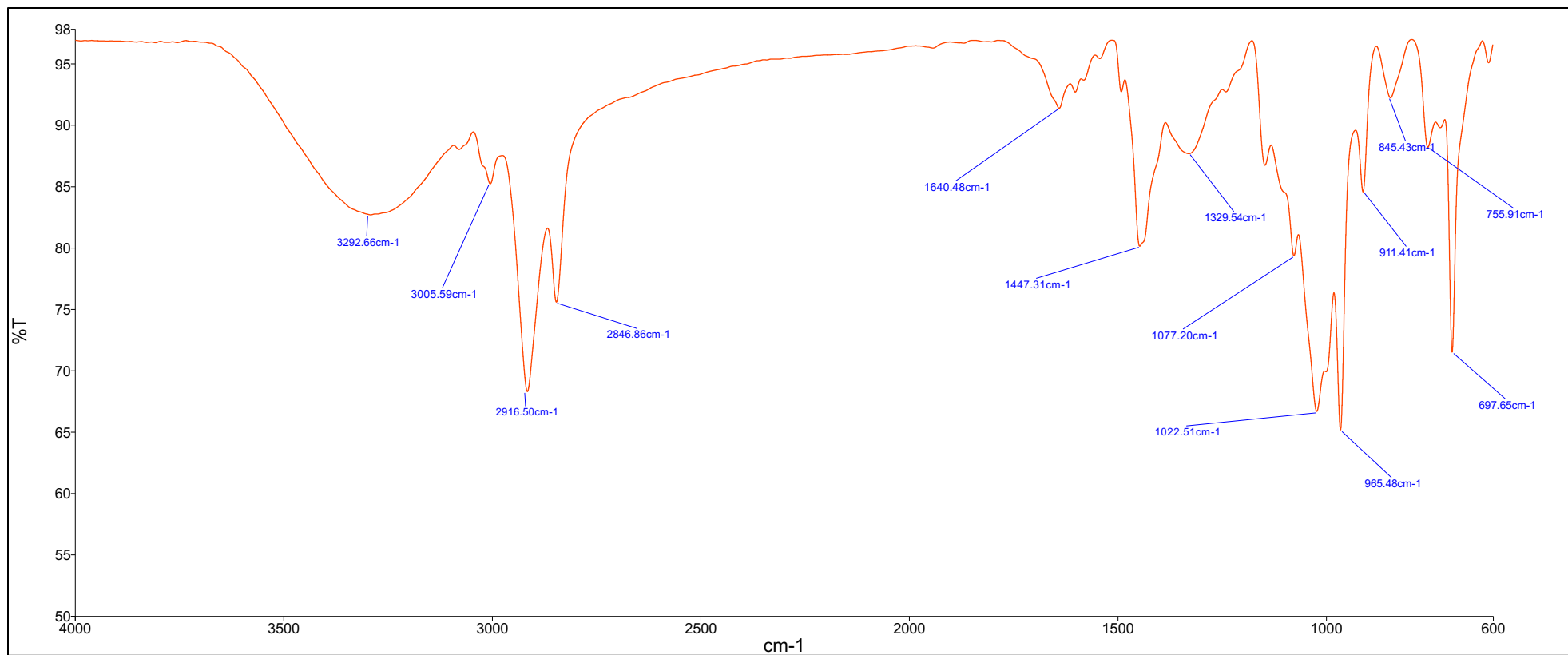


Figura 64 Espectro FTIR de FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3 (Mezcla 1).

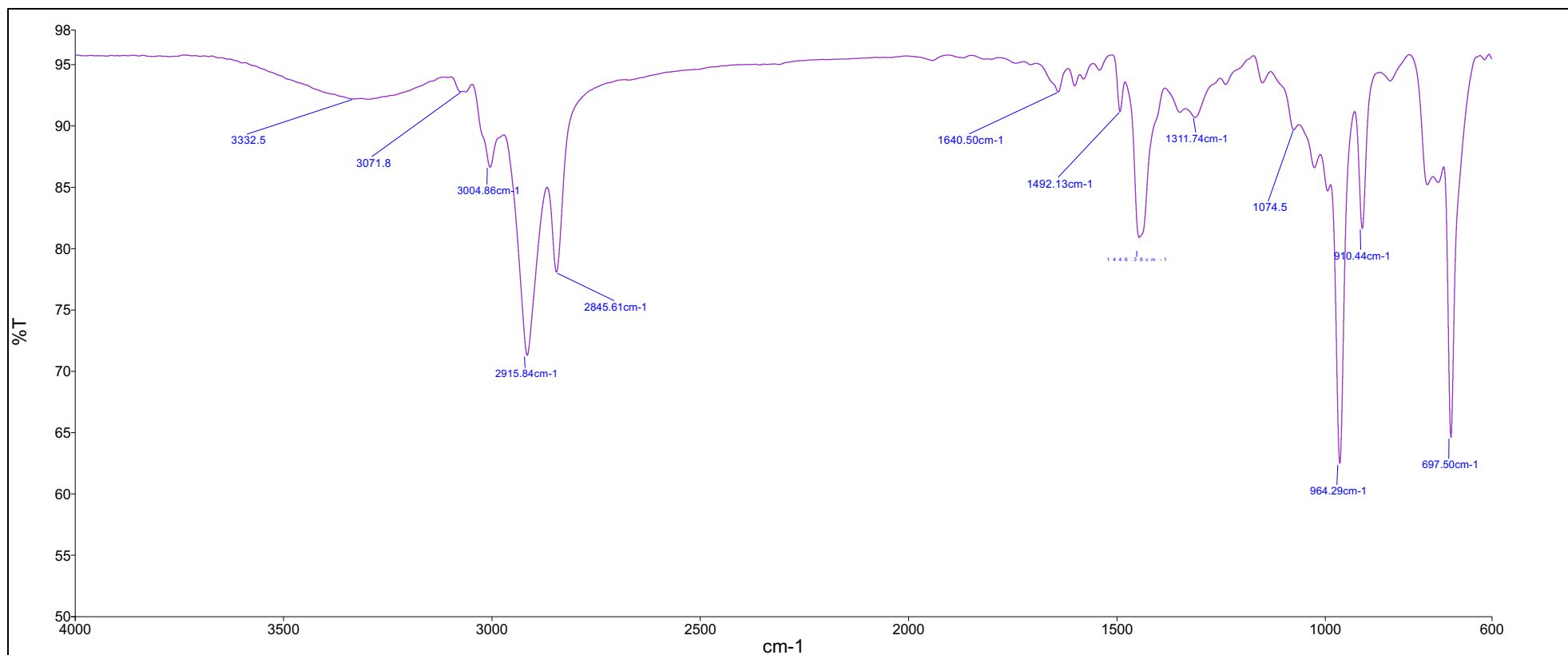


Figura 65 Espectro FTIR de FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3 (Mezcla 2).

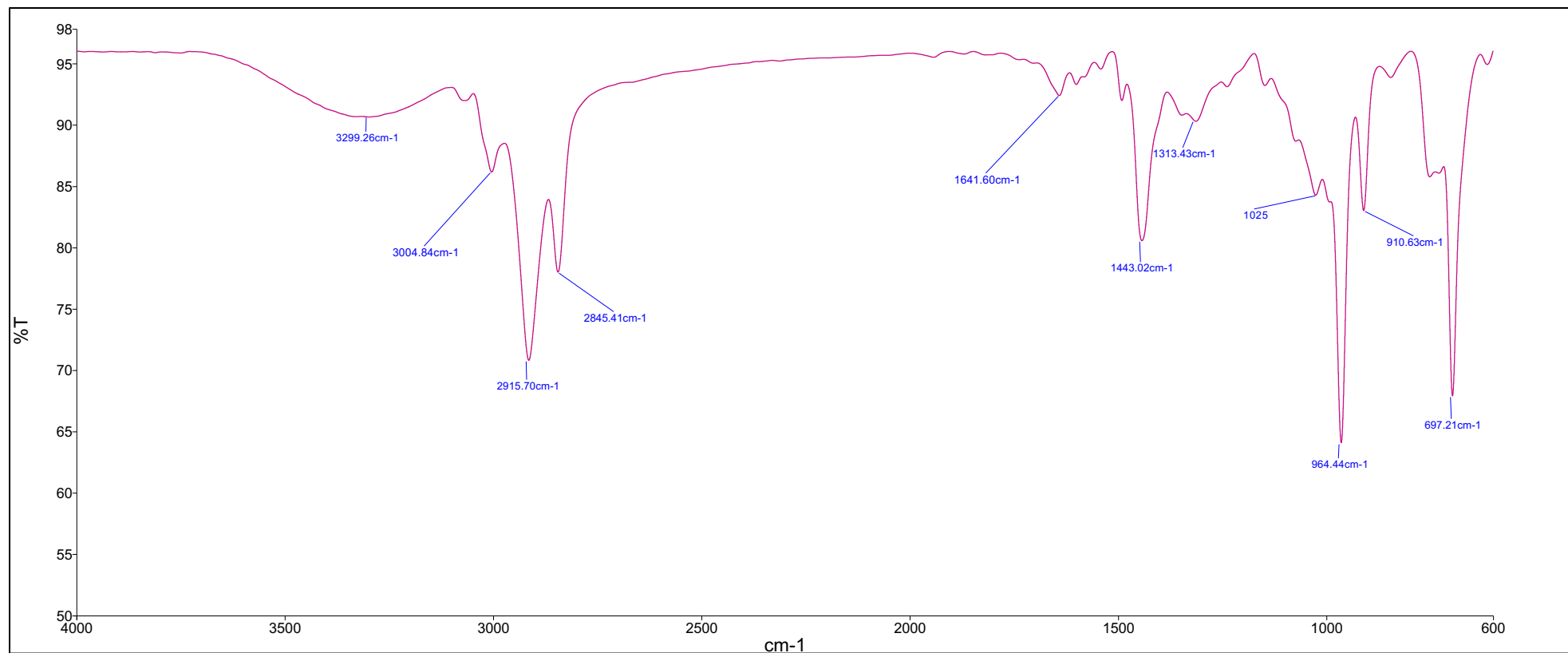


Figura 66 Espectro FTIR de FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0 (Mezcla 3).

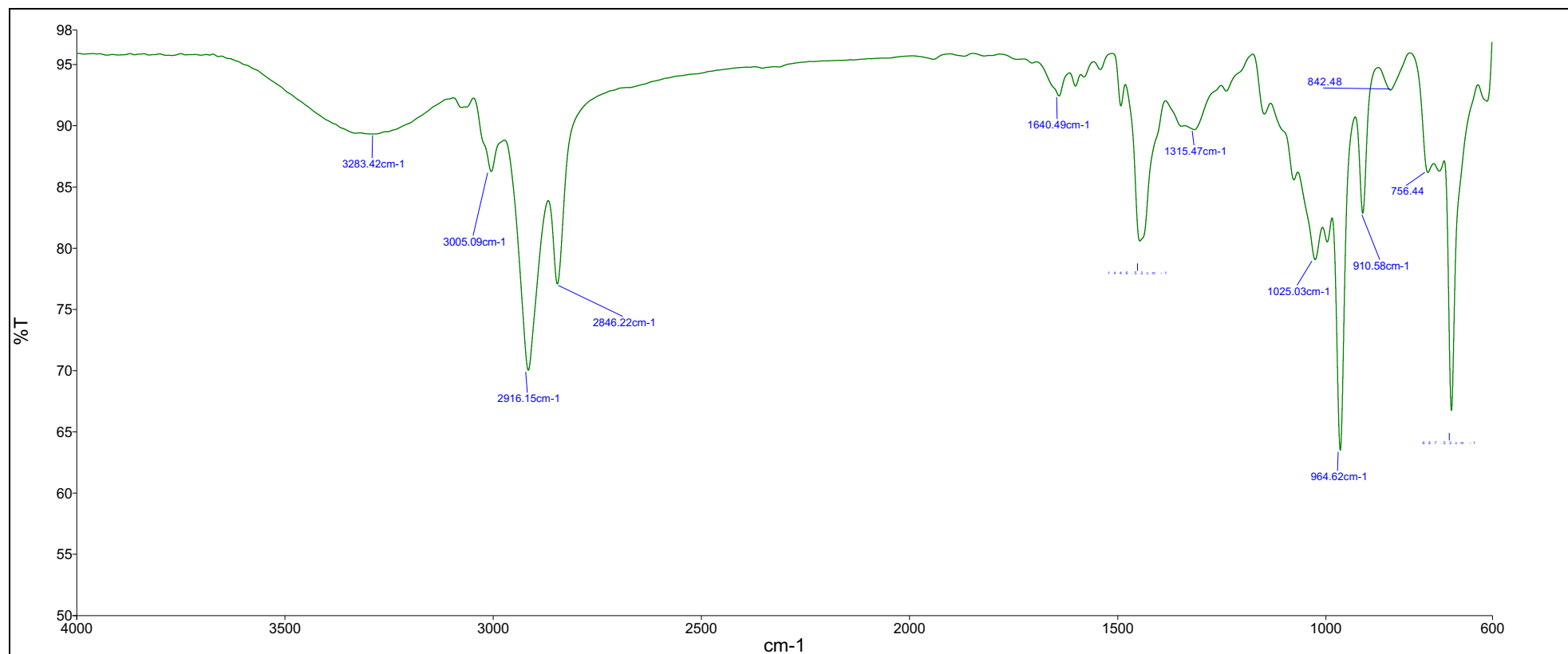


Figura 67 Espectro FTIR de FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0 (Mezcla 4).

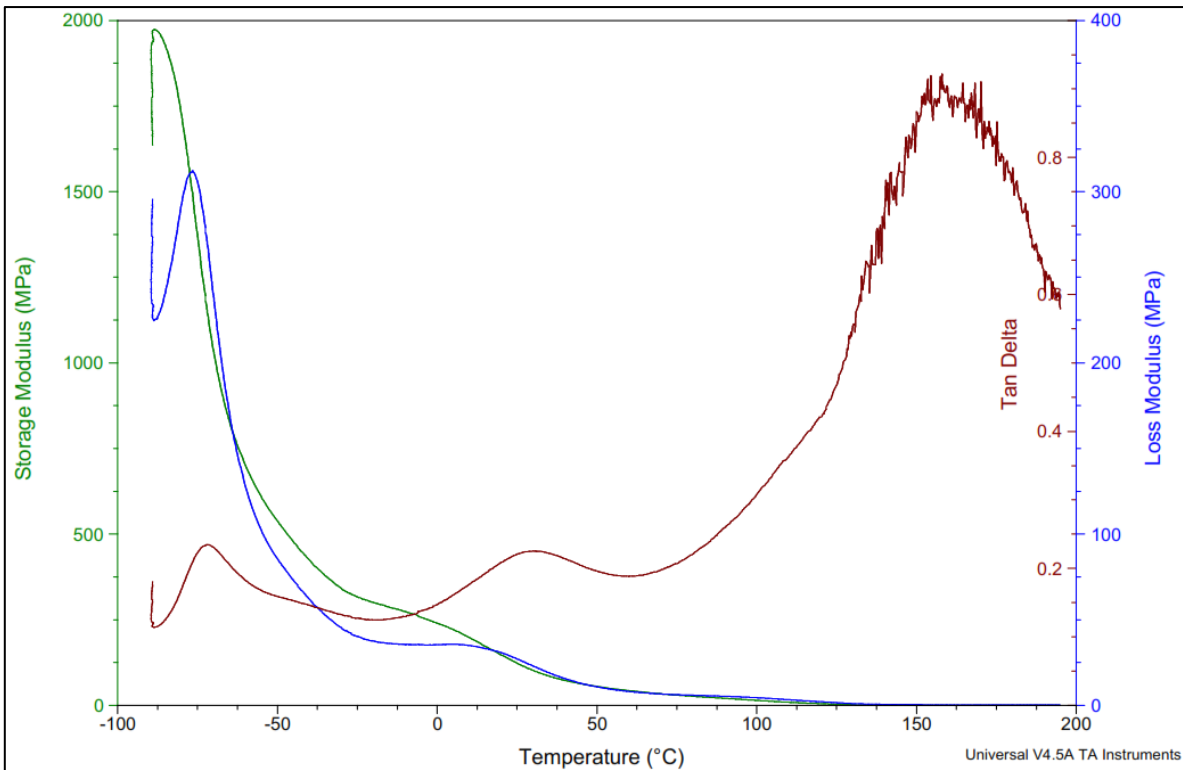


Figura 68 Análisis DMA ( $E'$ ,  $E''$  y  $\tan \delta$ ) de FC11.1/ATP-EVOH55.5/SB33.3 (Mezcla 1).

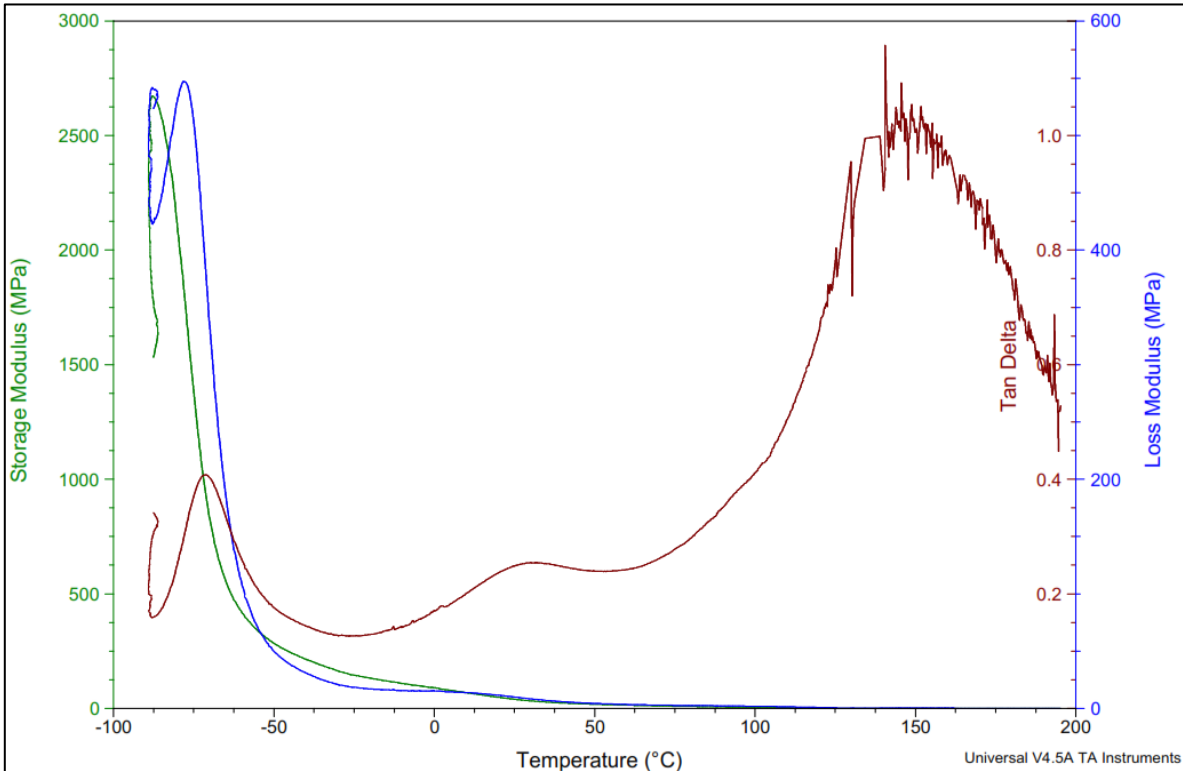


Figura 69 Análisis DMA ( $E'$ ,  $E''$  y  $\tan \delta$ ) de FC4.73/ATP-EVOH42.9/SB52.3 (Mezcla 2).

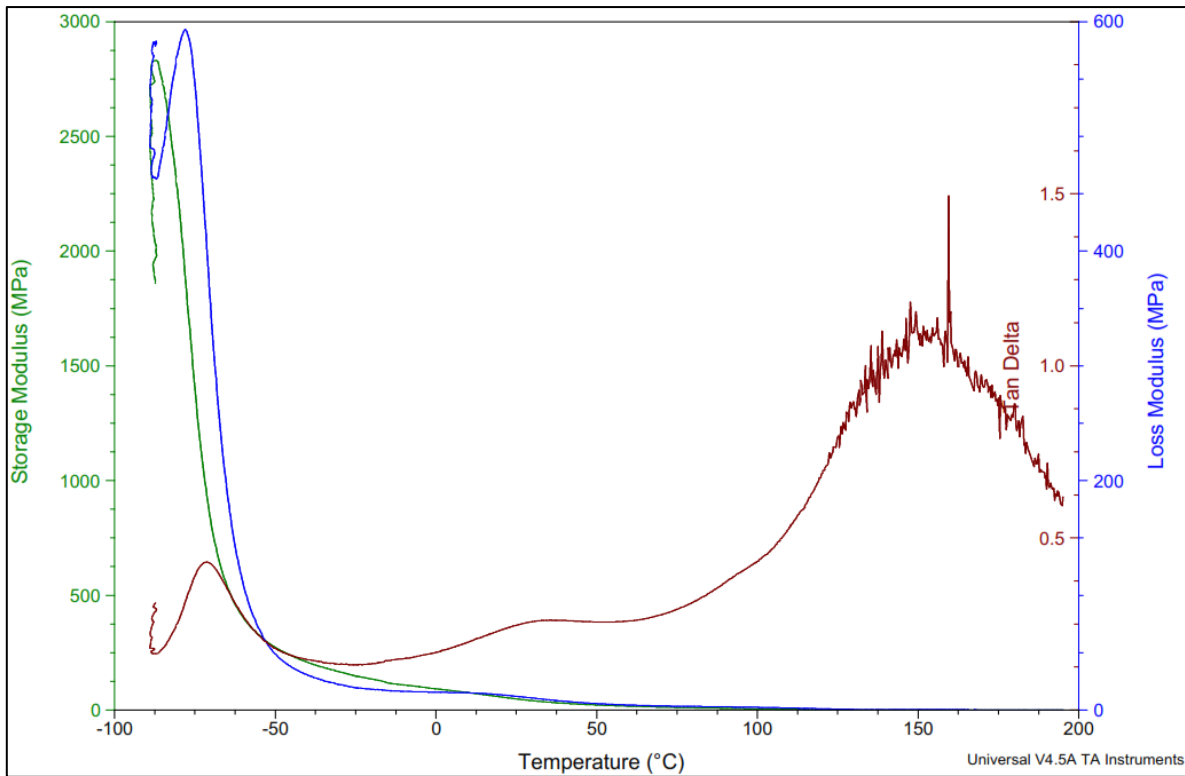


Figura 70 Análisis DMA ( $E'$ ,  $E''$  y  $\text{Tan } \delta$ ) de FC9.09/ATP-EVOH40.9/SB50.0 (Mezcla 3).

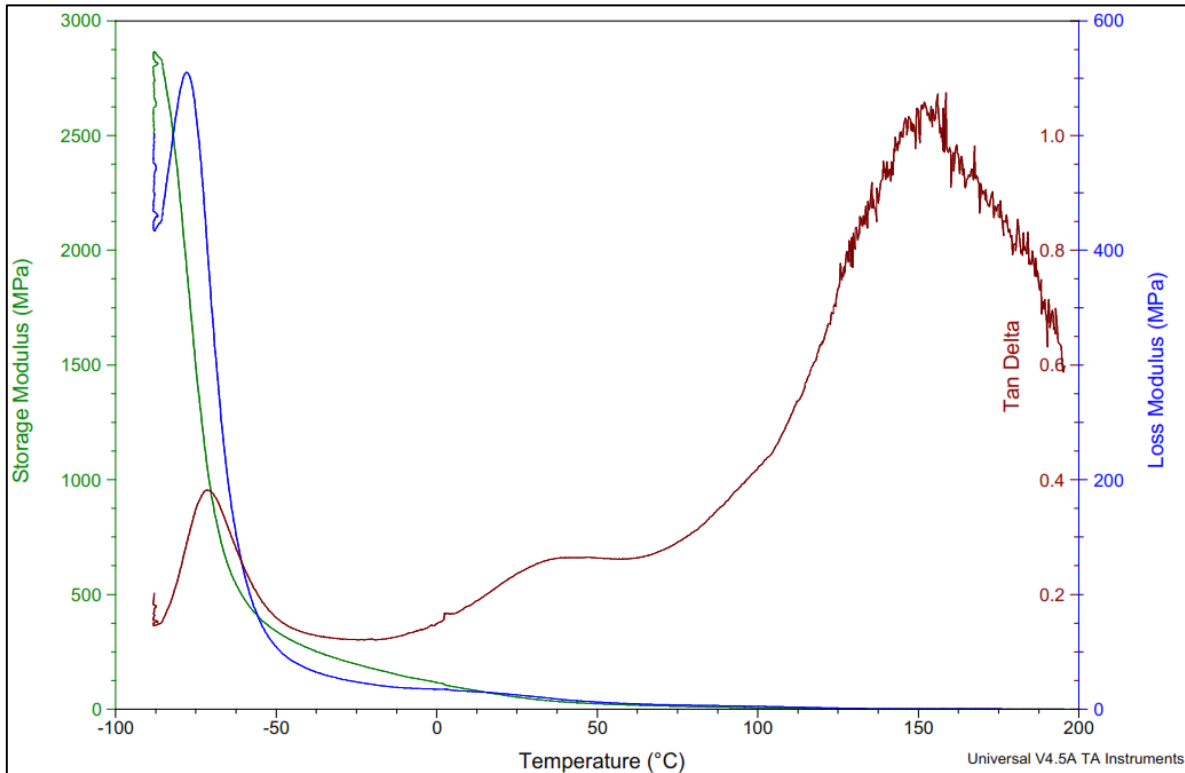


Figura 71 Análisis DMA ( $E'$ ,  $E''$  y  $\text{Tan } \delta$ ) de FC12.9/ATP-EVOH39.09/SB48.0 (Mezcla 4).

REVISTA DIGITAL



ISSN 2448-8003

**La voz del cliente (VoC) como herramienta para el desarrollo de materiales parcialmente biodegradables**

**The voice of the client (VoC) as a tool for the development of partially biodegradable materials**

Jonathan Meraz-Rivera<sup>1</sup>, Zayda Camargo-Guzmán<sup>1</sup>, Lidilia Cruz-Rivero<sup>1</sup>, Guadalupe Aranzazú Estévez-Gutiérrez<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México.

---

Recibido: 06-11-2019  
Aceptado: 09-12-2019

Autor correspondiente: [lilirivero@gmail.com](mailto:lilirivero@gmail.com)

Figura 72 Productividad académica, publicación de artículo de investigación.



Figura 73 Productividad académica, participación en concurso SOLACYT.

**BIBLIOGRAFÍA**

Abbott, J. K., & Rashid Sumaila, U. (25 de Junio de 2019). Reducing Marine Plastic Pollution: Policy Insights from Economics. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 327 - 336, <https://doi.org/10.1093/reep/rez007>.

Abdala, L. N., Fernandes, R. B., Ogliari, A., Löwer, M., & Feldhusen, J. (01 de Agosto de 2017). Creative Contributions of the Methods of Inventive Principles of TRIZ and BioTRIZ to Problem Solving. *Journal of Mechanical Design*, 139(8), 082001, <https://doi.org/10.1115/1.4036566>.

Abdollahi Moghaddam, M. R., Ali Razavi, S. M., & Jahani, Y. (17 de Febrero de 2018). Effects of Compatibilizer and Thermoplastic Starch (TPS) Concentration on Morphological, Rheological, Tensile, Thermal and Moisture Sorption Properties of Plasticized Polylactic Acid/TPS Blends. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3202 - 3215, <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1206-7>.

Adamus, J., Spychaj, T., Zdanowicz, M., & Jędrzejewski, R. (2018 de Noviembre de 2018). Thermoplastic starch with deep eutectic solvents and montmorillonite as a base for composite materials. *Industrial Crops and Products*, 123, 278 - 284, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.069>.

Aguwa, C. C., Monplaisir, L., & Turgut, O. (01 de Septiembre de 2012). Voice of the customer: Customer satisfaction ratio based analysis. *Expert Systems with Applications*, 39(11), 10112 - 10119, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.071>.

Akrami, M., Ghasemi, I., Azizi, H., Karrabi, M., & Seyedabadi, M. (25 de Junio de 2016). A new approach in compatibilization of the poly (lactic acid)/thermoplastic starch (PLA/TPS) blends. *Carbohydrate Polymers*, 144, 254 - 262, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.035>.

Al Betar, M. A., Ahmad Alomari, O., & Abu Romman, S. M. (Enero de 2020). A TRIZ-inspired bat algorithm for gene selection in cancer classification. *Genomics*, 112(1), 114 - 126, <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2019.09.015>.

- Alabi, O. A., Ologbonjaye, K. I., Awosolu, O., & Alalade, O. E. (12 de Abril de 2019). Public and environmental health effects of plastic wastes disposal: A review. *Journal of Toxicology and Risk Assessment*, 5(2), <https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510021> .
- Ali, A., Shaker, K., Nawab, Y., Jabbar, M., Hussain, T., Militky, J., & Baheti, V. (14 de Junio de 2016). Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review. *Journal of Industrial Textiles*, 47(8), 1 - 31, <https://doi.org/10.1177/1528083716654468>.
- Amirkhanian, S. (2020). Utilization of scrap plastics in asphalt binders. En *Eco-Efficient Pavement Construction Materials* (págs. 13 - 32). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818981-8.00002-3>.
- Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Ashri Wan Daud, W. M., & Aroua, M. K. (Mayo de 2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308 - 326, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>.
- Arrieta, M. P., Ferrándiz, S., López Martínez, J., & Rayón Encinas, E. (24 de Julio de 2016). Correlación entre las propiedades macro, micro y nanomecánicas en polímeros termoplásticos biodegradables. *Modelling in Science Education and Learning*, 9(2), 25 - 39, <https://doi.org/10.4995/msel.2016.4581>.
- Ashis Kumar, S., Gautam, B., & Leena, M. (Julio de 2018). Role of major constituents of coconut fibres on absorption of ionic dyes. *Industrial Crops & Products*, 117, 20 - 27, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.080>.
- Ashter, S. A. (2016). Commercial Applications of Bioplastics. *Introduction to Bioplastics Engineering*, 227 - 249, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39396-6.00009-9>.
- Ashter, S. A. (28 de Mayo de 2016). Overview of Biodegradable Polymers. *Introduction to Bioplastics Engineering*, 19 - 30, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39396-6.00002-6>.
- Azizi, H., & Faghihi, J. (26 de Noviembre de 2018). Effect of nanoclay on mechanical and thermal properties of triblock SBS (styrene–butadiene–styrene) and its binary blend nanocomposites: comparison between polyethylene and polystyrene. *Plastics, Rubber and*

*Composites, Macromolecular Engineering*, 47(10), 429 - 437, <https://doi.org/10.1080/14658011.2018.1515286>.

Azwa Sauli, S., Ridzwan Ishak, M., Mustapha, F., Yidris, N., & Hamat, S. (02 de Septiembre de 2019). Hybridization of TRIZ and CAD-analysis at the conceptual design stage. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(9), 890 - 899, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1644536>.

Babayemi, J. O., Nnorom, I. C., Osibanjo, O., & Weber, R. (28 de Septiembre de 2019). Ensuring sustainability in plastics use in Africa: consumption, waste generation, and projections. *Environmental Sciences Europe*, 31(1), <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0254-5>.

Bae, B. Y., Kim, S., Lee, J. W., Nguyen, N. V., & Chung, B. C. (Abril de 2017). Process of establishing design requirements and selecting alternative configurations for conceptual design of a VLA. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 738 - 751, <https://doi.org/10.1016/j.cja.2017.02.018>.

Bahar Kurtulmuşoğlu, F., & Pakdil, F. (19 de Septiembre de 2017). Combined analysis of service expectations and perceptions in lodging industry through quality function deployment. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(11 - 12), 1393 - 1413, <https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1147945>.

Baigts Allende, D., Pérez Alva, A., Sandoval Haro, M., Sorroza Martínez, A., & Metri Ojeda, J. (Diciembre de 2019). Bio-plastic polymers from renewable sources. *INNOTECH*(19), 97 - 108, <https://doi.org/10.26461/19.09>.

Bano, N., Younas, T., Shoaib, F., Rashid, D., & Jaffri, N. (2020). Plastic: Reduce, Recycle, and Environment. En I. Dincer, C. Colpan, & M. Ezan, *Environmentally-Benign Energy Solutions, Green Energy and Technology* (págs. 191 - 208). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20637-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20637-6_10).

Barrios Guzmán, A. J., García Enríquez, S., Manríquez González, R., Rivera Prado, J. D., & Lomelí Ramírez, M. G. (15 de Enero de 2015). Compósitos biodegradables elaborados a

partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 26 - 41, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.258> .

Batemanazan, V., Jaafar, A., Kadir, R. A., & Nayan, N. M. (2017). Improving Usability with TRIZ: A Review. En H. Badioze Zaman, P. Robinson, A. F. Smeaton, T. K. Shih, S. Velastin, T. Terutoshi, . . . N. Mohamad Ali, *Advances in Visual Informatics. IVIC 2017. Lecture Notes in Computer Science* (págs. 625 - 635). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70010-6\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70010-6_58).

Bátori, V., Åkesson, D., Zamani, A., Taherzadeh, M. J., & Sárvári Horváth, I. (Octubre de 2018). Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste Management*, 80, 406 - 413, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>.

Battles, C. (23 de Abril de 2010). *House of Quality Template (Excel) - ME 2110*. Obtenido de [https://2110.me.gatech.edu/sites/default/files/documents/Resources/hoq\\_full\\_template.xlsx](https://2110.me.gatech.edu/sites/default/files/documents/Resources/hoq_full_template.xlsx)

Ben Moussa, F. Z., Rasovska, I., Dubois, S., De Guio, R., & Benmoussa, R. (20 de Enero de 2017). Reviewing the use of the theory of inventive problem solving (TRIZ) in green supply chain problems. *Journal of Cleaner Production*, 142, Parte 4, 2677 - 2692, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.008>.

Berthet, M. A., Angellier Coussy, H., Guillard, V., & Gontard, N. (2015). Vegetal fiber-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), 1 - 18, <https://doi.org/10.1002/app.42528>.

Blettler, M. C., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N., & Espinola, L. A. (15 de Octubre de 2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Research*, 143, 416 - 424, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.015>.

Bolar, A. A., Tesfamariam, S., & Sadiq, R. (Junio de 2017). Framework for prioritizing infrastructure user expectations using Quality Function Deployment (QFD). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 16 - 29, <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.02.002>.

- Briassoulis, D., Pikasi, A., & Hiskakis, M. (27 de Marzo de 2019). End-of-waste life: Inventory of alternative end-of-use recirculation routes of bio-based plastics in the European Union context. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(20), 1835 - 1892, <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1591867>.
- Buitrago Suescún, O., Delgado Tobón, E., & Monroy Ramírez, M. (2018). Empleo de poliuretano base agua en la junta de SBR 1502/harina natural con silanos como primers. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(3), 459 - 465, <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000300459>.
- Chalmin, P. (01 de Mayo de 2019). The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock. *Field Actions Science Reports, The journal of field actions*(19), 6 - 11, <http://journals.openedition.org/factsreports/5071>.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Hee Jang, J., . . . Suh, S. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494 - 3511, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>.
- Chang, Y. S., Chien, Y. H., Yu, K. C., Chu, Y. H., & Chen, M. Y. (Marzo de 2016). Effect of TRIZ on the creativity of engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 19, 112 - 122, <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2015.10.003>.
- Chechurin, L. (2016). Introduction. En L. Chechurin, *Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)* (págs. 1 - 11). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3_1).
- Chechurin, L., & Borgianni, Y. (Octubre de 2016). Understanding TRIZ through the review of top cited publications. *Computers in Industry*, 82, 119 - 134, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.06.002>.
- Chen, H., Lin, Z., & Tan, C. (Enero de 2019). Classification of different animal fibers by near infrared spectroscopy and chemometric models. *Microchemical Journal*, 144, 489 - 494, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.011>.

Chen, X., & Yan, N. (2020). A brief overview of renewable plastics. *Materials Today Sustainability*, 7 - 8, <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100031>.

Cheng, H., Jin, W., Huang, X., Liu, X., Wang, F., Guo, X., . . . Yang, H. (03 de Enero de 2020). A flexible carbon nanotube-modified poly(styrene-butadiene)-based dopamine sensor. *Nanotechnology*, 31(1), 015505, <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab4373>.

Cherpinski, A., Biswas, A., Lagaron, J. M., Dufresne, A., Kim, S., Buttrum, M., . . . Cheng, H. N. (05 de Julio de 2019). Preparation and evaluation of oxygen scavenging nanocomposite films incorporating cellulose nanocrystals and Pd nanoparticles in poly(ethylene-co-vinyl alcohol). *Cellulose*, 26(12), 7237 - 7251, <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02613-8>.

Chidambarampadmavathy, K., Parthiba Karthikeyan, O., & Heimann, K. (Mayo de 2017). Sustainable bio-plastic production through landfill methane recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 555 - 562, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.083>.

Chin, K. S., Yang, Q., Chan, C. Y., Tsui, K. L., & Li, Y. (Enero de 2019). Identifying passengers' needs in cabin interiors of high-speed rails in China using quality function deployment for improving passenger satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 326 - 342, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.004>.

Chiu, R. S., Chou, Y. K., Li, P. Y., Chen, Y. J., & Yang, C. W. (23 de Julio de 2018). Experiment and Analysis of TRIZ Application to Heat Insulation of Paint on the Steel Deck Roofs. *2018 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)*, 254 - 257, <https://doi.org/10.1109/ickii.2018.8569074>.

Cho, G., Lee, A., Kim, J., Jeong, W., & Han, Y. (2019). Technology Strategy by TRIZ Tools for Eco-Aircare Solution. En R. Benmoussa, R. De Guio, S. Dubois, & S. Koziółek, *New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies. TFC 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology* (págs. 340 - 349). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1_28).

Chobisa, D. (2019). QbD-Based Development of Pharmaceutical Parenteral Drug Products: An Overview. En S. Beg, & M. D. Saquib Hasnain, *Pharmaceutical Quality by Design*,

*Principles and Applications* (págs. 151 - 172). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815799-2.00009-5>.

Colom, X., Sans, J., Norazman, A. S., & Zailan, N. I. (2017). Procesado y caracterización de nuevos materiales elastoméricos estireno-butadieno mezclados con neumáticos fuera de uso (GTR) desvulcanizados mediante microondas. *Afinidad*, 74(577), 9 - 17, <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320728>.

CONACYT, & FORDECYT. (2017). *Impulso a la cadena de valor del cocotero para incrementar su competitividad y contribuir al desarrollo socioeconómico en la región Pacífico Sur y otros estados productores*. Informe de demanda 2017-07, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo.

Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., Samudio, M., & Gómez, E. (23 de Marzo de 2020). Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable. *Revista de Iniciación Científica*, 5(2), 15 - 20, <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.2.2496>.

Da Costa, H. M., Ramos, V. D., & Sirqueira, A. S. (2017). Influência dos óleos vegetais e da cera de abelha sobre a vulcanização do copolímero de estireno - butadieno (SBR). *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 3(7), 955 - 974, <https://doi.org/10.18540/jcecvl3iss7pp0955-0974>.

Da Silva Moura, A., Demori, R., Miranda Leão, R., Crescente Frankenberg, C. L., & Campomanes Santana, R. M. (Marzo de 2019). The influence of the coconut fiber treated as reinforcement in PHB (polyhydroxybutyrate) composites. *Materials Today Communications*, 18, 191 - 198, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.12.006>.

Da Silva, E. J., Marques, M. L., Garcia Velasco, F., Fornari Junior, C., Martínez Luzardo, F., & Mitsuuchi Tashima, M. (Julio de 2017). A new treatment for coconut fibers to improve the properties of cement-based composites – Combined effect of natural latex/pozzolanic materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 12, 44 - 51, <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.04.003>.

Das, C., Bansod, N. D., Kapgate, B. P., Rajkumar, K., & Das, A. (24 de Enero de 2019). Incorporation of titania nanoparticles in elastomer matrix to develop highly reinforced multifunctional solution styrene butadiene rubber composites. *Polymer*, *162*, 1 - 10, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.12.022>.

Dave, H. P. (07 de Abril de 2017). TRIZ: 40 principles and their ranking by contradiction matrix. *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1258 - 1261, <https://doi.org/10.1109/i2ct.2017.8226329>.

De Paula, F. C., De Paula, C. B., & Contiero, J. (2018). Prospective Biodegradable Plastics from Biomass Conversion Processes. En K. Biernat, *Biofuels - State of Development* (págs. 245 - 271). IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.75111>.

De Thongchai, J., Thawesaengskulthai, N., & Sangsuwan, T. (Junio de 2016). Using TRIZ to enhance passengers' perceptions of an airline's image through service quality and safety. *Journal of Air Transport Management*, *53*, 131 - 139, <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.02.011>.

Dehe, B., & Bamford, D. (26 de Octubre de 2017). Quality Function Deployment and operational design decisions – a healthcare infrastructure development case study. *Production Planning & Control, The Management of Operations*, *28*(14), 1177 - 1192, <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1350767>.

Devaraju, A., Babu, K., & Gnanavelbabu, A. (2018). Investigation on the Mechanical properties of Coconut Bunch fiber Reinforced Epoxy with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano particles Composites for Structural Application. *Materials Today: Proceedings*, *5*(6, parte 2), 14252 - 14257, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.03.006>.

Diario Oficial de la Unión Europea. (2011). *Reglamento (UE) N° 10/2011 de la comisión*. Reglamento, boletín, Comisión Europea, Bruselas, Bélgica.

Dilkes Hoffman, L. S., Pratt, S., Lant, P. A., & Laycock, B. (2019). The Role of Biodegradable Plastic in Solving Plastic Solid Waste Accumulation. En S. M. Al Salem, *Plastics to Energy. Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications* (págs. 469 - 505). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00019-4>.

- Dolete, G., Tihăuan, B. M., Kamerzan, C. M., Balaş, C., Ardelean, I. L., Maier, S. S., & Mocanu, I. C. (28 de Febrero de 2019). Development and sequential analysis of a collagen-chitosan wound management biomaterial. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(1), 108 - 117, <https://doi.org/10.25083/rbl/24.1/108.117>.
- Domínguez Granda, J. B. (2015). *Manual de metodología de la investigación científica* (3 ed.). Chimbote, Perú: Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote.
- Donnici, G., Frizziero, L., Francia, D., Liverani, A., & Caligiana, G. (17 de Septiembre de 2018). TRIZ method for innovation applied to an hoverboard. *Cogent Engineering*, 5(1), 1524537, <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1524537>.
- Donnici, G., Frizziero, L., Francia, D., Liverani, A., & Caligiana, G. (15 de Mayo de 2019). Innovation design driven by QFD and TRIZ to develop new urban transportation means. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 1 - 17, <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1615259>.
- Efe, B. (Octubre de 2019). Fuzzy cognitive map based quality function deployment approach for dishwasher machine selection. *Applied Soft Computing*, 83, 105660, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105660>.
- Ekmekci, I., & Elif Nebati, E. (2019). Triz Methodology and Applications. *Procedia Computer Science*, 158, 303 - 315, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.056>.
- Ellahi, M., & Rashid, M. (2017). The toxic effects BPA on fetuses, infants, and children. En P. Erkekoglu, & B. Koçer Gümüşel, *Bisphenol A Exposure and Health Risks*. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.68896>.
- El-Saftawy, A. A., Ragheb, M. S., & Zakhary, S. G. (Junio de 2018). Electron beam irradiation impact on surface structure and wettability of ethylene-vinyl alcohol copolymer. *Radiation Physics and Chemistry*, 147, 106 - 113, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.02.001>.

Endres, H. J. (2017). Bioplastics. En K. Wagemann, & N. Tippkötter, *Biorefineries. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* (Vol. 166, págs. 427 - 468). Springer, [https://doi.org/10.1007/10\\_2016\\_75](https://doi.org/10.1007/10_2016_75).

Esmaeili, M., Pircheraghi, G., & Bagheri, R. (05 de Enero de 2017). Optimizing the mechanical and physical properties of thermoplastic starch via tuning the molecular microstructure through co-plasticization by sorbitol and glycerol. *Polymer International*, 66(6), 809 - 819, <https://doi.org/10.1002/pi.5319>.

Esra Dolgun, L., & Köksal, G. (02 de Octubre de 2018). Effective use of quality function deployment and Kansei engineering for product planning with sensory customer requirements: A plain yogurt case. *Quality Engineering*, 30(4), 569 - 582, <https://doi.org/10.1080/08982112.2017.1366511>.

Eun, J., Tinjum, J. M., Benso, C. H., & Edil, T. B. (Julio de 2018). Equivalent Transport Parameters for Volatile Organic Compounds in Coextruded Geomembrane-Containing Ethylene-Vinyl Alcohol. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(7), 04018040, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001888](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001888).

European Bioplastics. (2019). *Bioplastics market data*. Obtenido de European Bioplastics: <https://www.european-bioplastics.org/market/>

Fan, H., Chen, Y., Huang, D., & Wang, G. (26 de Diciembre de 2016). Kinetic Analysis of the Thermal Decomposition of Latex Foam according to Thermogravimetric Analysis. *International Journal of Polymer Science*, 2016, 1 - 7, <https://doi.org/10.1155/2016/8620879>.

Fazeli, M., Florez, J. P., & Antoun Simão, R. (15 de Abril de 2019). Improvement in adhesion of cellulose fibers to the thermoplastic starch matrix by plasma treatment modification. *Composites Part B: Engineering*, 163, 207 - 216, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.048>.

FDA. (2019). *CFR - Code of Federal Regulations Title 21*. Code of Federal Regulations, Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services.

FDA. (2019). *Inventory of Effective Food Contact Substance (FCS) Notifications*. Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services.

Ferri, J. M., Garcia Garcia, D., Sánchez Nacher, L., Fenollar, O., & Balart, R. (20 de Agosto de 2016). The effect of maleinized linseed oil (MLO) on mechanical performance of poly (lactic acid)-thermoplastic starch (PLA-TPS) blends. *Carbohydrate Polymers*, *147*, 60 - 68, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.082>.

Fiorineschi, L., Saverio Frillici, F., & Rotini, F. (Enero de 2018). Enhancing functional decomposition and morphology with TRIZ: Literature review. *Computers in Industry*, *94*, 1 - 15, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.09.004>.

Fiorineschi, L., Saverio Frillici, F., Rotini, F., & Tomassini, M. (03 de Junio de 2018). Exploiting TRIZ Tools for enhancing systematic conceptual design activities. *Journal of Engineering Design*, *29*(6), 259 - 290, <https://doi.org/10.1080/09544828.2018.1473558>.

Fotopoulou, K. N., & Karapanagioti, H. K. (2017). Degradation of various plastics in the environment. En Takada H., & Karapanagioti H., *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment, The handbook of environmental chemistry* (Vol. 78, págs. 71 - 92). Springer, [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_11](https://doi.org/10.1007/698_2017_11).

Freitas Neto, M., Pereira, T. N., Geronimo, I. G., Azevedo, A. O., Ramos, S. R., & Pereira, M. G. (2016). Coconut genome size determined by flow cytometry: Tall versus Dwarf types. *Genetics and Molecular Research*, *15*(1), 1 - 9, <https://doi.org/10.4238/gmr.15017470>.

Frias, J., & Nash, R. (Enero de 2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, *138*, 145 - 147, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>.

Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., Liverani, A., & Caligiana, G. (02 de Enero de 2018). Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination. *Journal of Industrial and Production Engineering*, *35*(1), 21 - 31, <https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1385543>.

Galaska, M. L., Horrocks, A. R., & Morgan, A. B. (27 de Julio de 2016). Flammability of natural plant and animal fibers: a heat release survey. *Fire and Materials*, 41(3), 275 - 288, <https://doi.org/10.1002/fam.2386>.

García García, R. M., López Fernández, J. F., Muzha Chávez, M. A., Villafuerte Rodríguez, D. K., Mantuano Balladares, V. E., & Pincay Villafuerte, E. J. (15 de Diciembre de 2017). Proceso de obtención de fibra de coco para fabricar colchones ecológicos hipoalergénicos en la comuna “Sacachún”. *Revista Empresarial, ICE - FEE - UCSG*, 11(4), 14 - 19, <https://doi.org/10.23878/empr.v11i44.107>.

Ge, C., Fortuna, C., Lei, K., & Lu, L. X. (Junio de 2016). Neat EVOH and EVOH/LDPE blend centered three-layer co-extruded blown film without tie layers. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 33 - 40, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.03.001>.

Ghanbari, A., Tabarsa, T., Ashori, A., Shakeri, A., & Mashkour, M. (Junio de 2018). Preparation and characterization of thermoplastic starch and cellulose nanofibers as green nanocomposites: Extrusion processing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 442 - 447, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.007>.

Ghanbari, A., Tabarsa, T., Ashori, A., Shakeri, A., & Mashkour, M. (01 de Octubre de 2018). Thermoplastic starch foamed composites reinforced with cellulose nanofibers: Thermal and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 197, 305 - 311, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.017>.

Ghosh, P., Singha Roy, S., Begum, M., & Ghosh, S. (2017). Bisphenol A: Understanding its health effects from the studies performed on model organisms. En P. Erkekoglu, & B. Koçer Gümüsel, *Bisphenol A Exposure and Health Risks*. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.68971>.

Gibb, B. C. (24 de Abril de 2019). Plastics are forever. *Nature Chemistry*, 11, 394 - 395, <https://doi.org/10.1038/s41557-019-0260-7>.

Gilbert, M. (2017). Plastics Materials: Introduction and Historical Development. En M. Gilbert, *Brydson's Plastics Materials* (8 ed., págs. 1 - 18). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00001-3>.

- Giuri, A., Colella, S., Listorti, A., Rizzo, A., & Esposito Corcione, C. (Octubre de 2018). Biodegradable extruded thermoplastic maize starch for outdoor applications. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(1), 549 – 558, <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7404-7>.
- Glaser, J. A. (2019). Biological degradation of polymers in the environment. En A. Gomiero, *Plastics in the Environment*. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.85124>.
- Gomez Flores, J. A., & Reyes Gonzalez, I. (23 de Abril de 2015). *Patente n° WO 2015/057045 Al*. Guadalajara, Jalisco, <https://patents.google.com/patent/WO2015057045A1/es?q=WO+2015%2f057045+A1>.
- González, K., Iturriaga, L., González, A., Eceiza, A., & Gabilondo, N. (15 de Enero de 2020). Improving mechanical and barrier properties of thermoplastic starch and polysaccharide nanocrystals nanocomposites. *European Polymer Journal*, 123, 109415, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109415>.
- Gordon, A., & Jackson, J. (2017). Case study: application of appropriate technologies to improve the quality and safety of coconut water. En A. Gordon, *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries. Case Studies of Effective Implementation* (Vol. 2, págs. 185 - 216). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801226-0.00007-4>.
- Gray, N., Hamzeh, Y., Kaboorani, A., & Abdulkhani, A. (Mayo de 2018). Influence of cellulose nanocrystal on strength and properties of low density polyethylene and thermoplastic starch composites. *Industrial Crops and Products*, 115, 298 - 305, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.017>.
- Greene, J. P. (2014). Biobased and Biodegradable Polymers. En J. P. Greene, *Sustainable Plastics: Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics* (1 ed., págs. 71 - 106). John Wiley & Sons, <https://doi.org/10.1002/9781118899595.ch4>.
- Grupo Dynasol. (2018). *Solprene 1205 Solución*. Hoja Técnica, Grupo Dynasol.

Hammer, J., & Kiese, M. (2019). A TRIZ and Lean-Based Approach for Improving Development Processes. En L. Chechurin, M. Collan, & P. M. Cham (Ed.), *Advances in Systematic Creativity* (págs. 101 - 114). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7_7).

Hatti Kaul, R., J. Nilsson, L., Zhang, B., Rehnberg, N., & Lundmark, S. (Enero de 2020). Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics. *Trends in Biotechnology*, 38(1), 50 - 67, <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.04.011>.

Heras Mozos, R., Muriel Galet, V., López Carballo, G., Catalá, R., Hernández Muñoz, P., & Gavara, R. (Diciembre de 2018). Active EVOH/PE bag for sliced pan loaf based on garlic as antifungal agent and bread aroma as aroma corrector. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 125 - 130, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.007>.

Hernández Escobar, A. A., Ramos Rodríguez, M. P., Placencia López, B. M., Indacochea Ganchozo, B., Quimis Gómez, A. J., & Moreno Ponce, L. A. (2018). *Metodología de la investigación científica* (1 ed.). 3 Ciencias, Área de innovación y Desarrollo, S. L., <https://doi.org/10.17993/ccyll.2018.15>.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1 ed.). Ciudad de México: McGraw Hill.

Hernández Vidal, N. E., López Bautista, V., Morales Morales, V., Méndez Ordóñez, W., & Calderón Osorio, E. S. (28 de Diciembre de 2018). Caracterización química de la Fibra de Coco (*Cocus nucifera* L.) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR). *Ingeniería y Región*, 20(1), 67 - 71, <https://doi.org/10.25054/22161325.1914>.

Hmina, K., Sallaou, M., Ait Taleb, A., & Lasri, L. (25 de Abril de 2019). TRIZ The theory of Inventif Problem Solving State of the art. *2019 5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, 62 - 68, <https://doi.org/10.1109/icoa.2019.8727620>.

Horodytska, O., Cabanes, A., & Fullana, A. (2019). Plastic waste management: Current status and weaknesses. En *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, [https://doi.org/10.1007/698\\_2019\\_408](https://doi.org/10.1007/698_2019_408).

Hoshina, H., Iwasaki, Y., Katahira, E., Okamoto, M., & Otani, C. (18 de Julio de 2018). Structure and dynamics of bound water in poly(ethylene-vinylalcohol) copolymers studied by terahertz spectroscopy. *Polymer*, *148*, 49 - 60, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.06.020>.

Hsieh, H. N., Chen, J. F., & Do, Q. H. (Febrero de 2017). A creative research based on DANP and TRIZ for an innovative cover shape design of machine tools. *Journal of Engineering Design*, *28*(2), 77 - 99, <https://doi.org/10.1080/09544828.2016.1272100>.

Huang, J., You, X. Y., Liu, H. C., & Si, S. L. (04 de Marzo de 2019). New approach for quality function deployment based on proportional hesitant fuzzy linguistic term sets and prospect theory. *International Journal of Production Research*, *57*(5), 1283 - 1299, <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1470343>.

Hwang, C. L., Tran, V. A., Hong, J. W., & Hsieh, Y. C. (2016). Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. *Construction and Building Materials*, *127*, 984 - 992, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118>.

Imran Din, M., Ghaffar, T., Najeeb, J., Hussain, Z., Khalid, R., & Zahid, H. (12 de Febrero de 2020). Potential perspectives of biodegradable plastics for food packaging application-review of properties and recent developments. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *37*(4), 665 - 680, <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1718219>.

INEGI. (2010). *Información por entidad Temporal, Veracruz*. Obtenido de Cuéntame, Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/clima.aspx?tema=me&e=30>

INEGI. (2017). *Perfil de la fabricación de productos de plástico*. Censos Económicos, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

Jae Cho, I., Jin Kim, Y., & Kwak, C. (2016). Application of SERVQUAL and fuzzy quality function deployment to service improvement in service centres of electronics companies.

*Total Quality Management & Business Excellence*, 27(3 - 4), 368 - 381, <https://doi.org/10.1080/14783363.2014.997111>.

James, J., Thomas, G. V., Pramoda, K. P., & Thomas, S. (05 de Mayo de 2017). Transport behaviour of aromatic solvents through styrene butadiene rubber/poly [methyl methacrylate] (SBR/PMMMA) interpenetrating polymer network (IPN) membranes. *Polymer*, 116, 76 - 88, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.03.063>.

Jansen, J. A. (01 de Septiembre de 2016). Plastics – It's All About Molecular Structure. *Plastics Engineering*, 72(8), 44 - 49, <https://doi.org/10.1002/j.1941-9635.2016.tb01587.x>.

Jefferson, M. (Octubre de 2019). Whither Plastics? — Petrochemicals, plastics and sustainability in a garbage-riddled world. *Energy Research & Social Science*, 56, 101229, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101229>.

Juárez, D., Balart, R., Ferrándiz, S., & García, D. (2013). Estudio y análisis de los polímeros derivados del butadieno-estireno. *Revista de investigación, 3C Tecnología*(4), 26 - 42, <https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/estudio-y-analisis-de-los-polimeros-derivados-del-estireno-butadieno/>.

Kahvand, F., & Fasihi, M. (01 de Noviembre de 2019). Plasticizing and anti-plasticizing effects of polyvinyl alcohol in blend with thermoplastic starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 775 - 781, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.185>.

Kaisone, T., Harnkarnsujarit, N., Leejarkpai, T., & Nampitch, T. (Agosto de 2016). Mechanical and Thermal Properties of Toughened PLA Composite Foams with Modified Coconut Fiber. *Applied Mechanics and Materials*, 851, 179 - 185, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.851.179>.

Kamaral, L. C., Perera, S. A., Perera, K. L., & Dassanayaka, P. N. (2017). Characterisation of Sri Lanka Yellow Dwarf Coconut (*Cocos nucifera* L.) by DNA fingerprinting with SSR markers. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 45(4), 405 - 412, <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v45i4.8234>.

Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., & Hankamer, B. (Julio de 2019). Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237 - 249, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>.

Kaya, D., Topal, A., Gupta, J., & McNally, T. (28 de Febrero de 2020). Aging effects on the composition and thermal properties of styrene-butadiene-styrene (SBS) modified bitumen. *Construction and Building Materials*, 235, 117450, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117450>.

Khuntia, T., & Biswas, S. (13 de Febrero de 2020). An investigation on the flammability and dynamic mechanical behavior of coir fibers reinforced polymer composites. *Journal of Industrial Textiles*, 1 - 25, <https://doi.org/10.1177/1528083720905031>.

Kiskan, B., & Yagci, Y. (06 de Septiembre de 2019). The journey of phenolics from the first spark to advanced materials. *Israel Journal of Chemistry*, 60(1 - 2), 20 - 32, <https://doi.org/10.1002/ijch.201900086>.

Klochkov, Y., Klochkova, E., Volgina, A., & Dementiev, S. (Febrero de 2016). Human Factor in Quality Function Deployment. *2016 Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO)*, 466 - 468, <https://doi.org/10.1109/smrlo.2016.81>.

Kodal, M., Karakaya, N., Alchekh Wis, A., & Ozkoc, G. (31 de Octubre de 2019). Thermal Properties (DSC, TMA, TGA, DTA) of Rubber Nanocomposites Containing Carbon Nanofillers, Fundamentals and Applications. En Y. Srinivasarao, M. Raghvendra Kumar, S. Thomas, K. Nandakumar, & M. Hanna J., *Carbon-Based Nanofiller and Their Rubber Nanocomposites* (págs. 325 - 366). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817342-8.00011-1>.

Kumar, P. (23 de Enero de 2018). Role of plastics on human health. *The Indian Journal of Pediatrics*, 85(5), 384 - 389, <https://doi.org/10.1007/s12098-017-2595-7>.

Kuttankulangara Manoharan, S., & Kannan Megalingam, R. (2019). Coconut Tree Structure Analysis - Background Work for an Unmanned Coconut Harvesting Robot Design. En S. Minz, S. Karmakar, & L. Kharb, *Information, Communication and*

*Computing Technology. ICICCT 2018. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 835, págs. 207 - 222). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5992-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5992-7_18).

Kwon, B., Lee, S., Rah, H., Paek, J., & Kim, K. (31 de Diciembre de 2019). Categorization and definition of microplastics in the water environment. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 33(6), 429 - 436, <https://doi.org/10.11001/jksww.2019.33.6.429>.

Lalit, R., Mayank , P., & Ankur, K. (01 de Abril de 2018). Natural Fibers and Biopolymers Characterization: A Future Potential Composite Material. *Strojnícky casopis – Journal of Mechanical Engineerin*, 68(1), 33 - 50, <https://doi.org/10.2478/scjme-2018-0004>.

Lancarovici Alves, A. C., Grande , R., & Felix Carvalho, A. J. (01 de Marzo de 2019). Thermal and mechanical properties of thermoplastic starch and poly (Vinyl Alcohol-Co-Ethylene) blends. *Journal of Renewable Materials*, 7(3), 245 - 252, <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.00833>.

Lebreton, L., & Andrady, A. (29 de Enero de 2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5(1), <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>.

Lee Lam, J. S., & Bai, X. (Agosto de 2019). A quality function deployment approach to improve maritime supply chain resilience. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 92, 16 - 27, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.012>.

Lee, C. H., Chen, C. H., Li, F., & Shie, A. J. (01 de Abril de 2020). Customized and knowledge-centric service design model integrating case-based reasoning and TRIZ. *Expert Systems with Applications*, 143, 113062, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113062>.

Lee, S., Tyler, R., Maia, J., & Schiraldi, D. A. (01 de Julio de 2018). Structural interaction and gas barrier properties of ethylene-vinyl alcohol/tin phosphate glass composites. *Journal of Polymer Science Parte B: Polymer Physics*, 56(13), 989 - 998, <https://doi.org/10.1002/polb.24614> .

- Li, F. (2019). A Study on Innovative Design of Rotary Pile Foundation Drilling Machine Based on TRIZ Theory. En J. Tan, *Advances in Mechanical Design. ICMD 2019. Mechanisms and Machine Science* (págs. 302 - 309). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9941-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9941-2_26).
- Li, F., Chen, C. H., Lee, C. H., & Khoo, L. P. (enero de 2020). A User Requirement-driven Approach Incorporating TRIZ and QFD for Designing a Smart Vessel Alarm System to Reduce Alarm Fatigue. *Journal of Navigation*, 73(1), 212 - 232, <https://doi.org/10.1017/s0373463319000547> .
- Lim, C., Yun, D., Park, I., & Yoon, B. (Diciembre de 2018). A systematic approach for new technology development by using a biomimicry-based TRIZ contradiction matrix. *Creativity and Innovation Management*, 27(4), 414 - 430, <https://doi.org/10.1111/caim.12273> .
- Lim, I. S. (2016). The Effectiveness of TRIZ Tools for Eco-Efficient Product Design. En L. Chechurin, *Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)* (págs. 35 - 53). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3_3).
- Lin, C. C., Lin, H. H., & Huang, K. C. (Noviembre de 2016). TRIZ retrospect and prospect. *2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, 1072 - 1076, <https://doi.org/10.1109/icsai.2016.7811110>.
- Liskiewicz, T. W., Kubiak, K. J., Mann, D. L., & Mathia, T. G. (Marzo de 2020). Analysis of surface roughness morphology with TRIZ methodology in automotive electrical contacts: Design against third body fretting-corrosion. *Tribology International*, 143, 106019, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106019>.
- Liu, H. C., Wu, S. M., Wang, Z. L., & Li, X. Y. (02 de Mayo de 2019). A New Method for Quality Function Deployment With Extended Prospect Theory Under Hesitant Linguistic Environment. *IEEE Transactions on Engineering Management* , 1 - 10, <https://doi.org/10.1109/tem.2018.2864103> .

Liu, H. T., & Cheng, H. S. (Febrero de 2016). An improved grey quality function deployment approach using the grey TRIZ technique. *Computers & Industrial Engineering*, 92, 57 - 71, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.11.003>.

Liu, W., Tan, R. u., Dong, Y. F., Cao, G., & Liu, L. (2018). A Creative Design Approach Based on TRIZ and Knowledge Fusion. En D. Cavallucci, R. De Guio, & S. Koziółek, *International TRIZ Future Conference. TFC 2018: Automated Invention for Smart Industries* (Vol. 541, págs. 167 - 179). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02456-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02456-7_14).

Liverani, A., Caligiana, G., Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., & Dhaimini, K. (Marzo de 2019). Design for Six Sigma (DFSS) for additive manufacturing applied to an innovative multifunctional fan. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(1), 309 - 330, <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00548-9>.

Livotov, P., Chandra Sekaran, A. P., Law, R., Mas'udah, & Reay, D. (2019). Systematic Innovation in Process Engineering: Linking TRIZ and Process Intensification. En L. Chechurin, M. Collan, & P. M. Cham (Ed.), *Advances in Systematic Creativity* (págs. 27 - 44). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78075-7_3).

Madhavan Nayar, N. (2017). Paleobotany and Archeobotany. En N. MadhavanNayar, *The Coconut. Phylogeny, Origins, and Spread* (págs. 51 - 65). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809778-6.00004-8>.

Madhavan Nayar, N. (2017). Taxonomy and Intraspecific Classification. En N. Madhavan Nayar, *The Coconut. Phylogeny, Origins, and Spread* (págs. 25-50). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809778-6.00003-6>.

Maes, C., Luyten, W., Herremans, G., Peeters, R., Carleer, R., & Buntinx, M. (18 de Enero de 2018). Recent Updates on the Barrier Properties of Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer (EVOH): A Review. *Polymer Reviews*, 58(2), 209 - 246, <https://doi.org/10.1080/15583724.2017.1394323>.

Mahdieh, Z., Bagheri, R., Eslami, M., Amiri, M., Ali Shokrgozar, M., & Mehrjoo, M. (01 de Diciembre de 2016). Thermoplastic starch/ethylene vinyl alcohol/forsterite

nanocomposite as a candidate material for bone tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 69, 301 - 310, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.06.043>.

Mahltig, B., & Pastore, C. (2018). Mineral and Ceramic Fibers. En B. Mahltig, & Y. Kyosev, *Inorganic and Composite Fibers. Production, Properties, and Applications* (págs. 165 - 193). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102228-3.00008-6>.

Manaia, J. P., Manaia, A. T., & Rodrigues, L. (02 de Diciembre de 2019). Industrial Hemp Fibers: An Overview. *Fibers*, 7(12), 106, <https://doi.org/10.3390/fib7120106>.

Martin, C. (07 de Octubre de 2019). Plastic world. *Current Biology*, 29(19), 950 - 953, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.019>.

Mendes, J. F., Paschoalin, R. T., Carmona, V. B., Sena Neto, A. R., P. Marques, A. C., Marconcini, J. M., . . . Oliveira, J. E. (10 de Febrero de 2016). Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 137, 452 - 458, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.093>.

Méndez Hernández, M. L., Rivera Armenta, J. L., Sandoval Arellano, Z., Salazar Cruz, B. A., & Chavez Cinco, M. Y. (2018). Evaluation of styrene content over physical and chemical properties of elastomer/TPS-EVOH/Chicken feather composites. En E. Flores Huicochea, & R. Rendon, *Applications of Modified Starches* (págs. 1 - 19). Intech, <https://doi.org/10.5772/intechopen.72969>.

Méndez Hernández, M. L., Salazar Cruz, B. A., Rivera Armenta, J. L., Estrada Moreno, I. A., & Chavez Cinco, M. Y. (Agosto / Septiembre de 2018). Preparation and characterization of composites from copolymer styrene-butadiene and chicken feathers. *Polímeros*, 28(4), 368 - 372, <https://doi.org/10.1590/0104-1428.08217>.

Mishra, L., & Basu, G. (2020). Coconut fibre: its structure, properties and applications. En R. M. Kozłowski , & M. Mackiewicz Talarczyk, *Handbook of Natural Fibres. Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation* (2 ed., Vol. 1, págs. 231 - 255). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00010-4>.

Mitić, V. V., Petković, D., & Kocić, L. (2016). TRIZ Creativity Approach to the Design of an Innovative Wind Turbine System. En W. E. Lee, R. Gadov, V. Mitic, & N. Obradovic, *Proceedings of the III Advanced Ceramics and Applications Conference* (págs. 283 - 305). Springer, [https://doi.org/10.2991/978-94-6239-157-4\\_20](https://doi.org/10.2991/978-94-6239-157-4_20).

Mondragón, M., López Villegas, O., Sánchez Valdés, S., & Rodríguez González, F. J. (Marzo de 2020). Effect of Thermoplastic Starch and Photocrosslinking on the Properties and Morphology of Electrospun Poly(ethylene-co-vinyl alcohol) Mats. *Polymer Engineering & Science*, 60(3), 474 - 480, <https://doi.org/10.1002/pen.25302>.

Montero, B., Rico, M., Rodríguez Llamazares, S., Barral Losada, L. F., & Bouza, R. (10 de Febrero de 2017). Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1094 - 1104, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.073>.

Montilla B., C., Joaquín D., D., Delgado M., K., & Villada C., H. (21 de Septiembre de 2016). Efecto de la relación de estiramiento en el termoencogimiento de películas flexibles de almidón termoplástico. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl.), 161 - 163, <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58226>.

Moreno Bustillos, Á. I., Humarán Sarmiento, V., Báez Valdez, E. P., Báez Hernández, G. E., & León Villanueva, A. (Julio - Diciembre de 2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. *Ra Ximhai*, 13(3), 365 - 382, <https://doi.org/10.35197/rx.13.03.2017.21.am>.

Mostafa, N. A., Farag, A. A., Abo Dief, H. M., & Tayeb, A. M. (Mayo de 2018). Production of biodegradable plastic from agricultural wastes. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(4), 546 - 553, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.04.008>.

Muhammad Rizal, M. A., Ridzwan Ishak, M., Sapuan, S. M., & Yidris, N. (Noviembre - Diciembre de 2019). Conceptual design of creep testing rig for full-scale cross arm using TRIZ-Morphological chart-analytic network process technique. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 5647 - 5658, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.033>.

Narayan, R. (2017). Biodegradable and Biobased Plastics: An Overview. En M. Malinconico, *Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture. Green Chemistry and Sustainable Technology* (págs. 23 - 34). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-662-54130-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54130-2_2).

Nayar, N. M. (Enero de 2018). Opportunistic flowering and pollinating system as a survival strategy of the coconut (*Cocos nucifera* L.), a monotypic species of the Arecaceae family. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(1), 333 - 342, <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0537-x>.

Nevoralová, M., Koutný, M., Ujčič, A., Horák, P., Kredatusová, J., Šerá, J., . . . Kruliš, Z. (Diciembre de 2019). Controlled biodegradability of functionalized thermoplastic starch based materials. *Polymer Degradation and Stability*, 170, 1 - 14, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.108995>.

Ngo, T. D. (2017). Natural Fibers for Sustainable Bio-Composites. En E. Günay, *Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources* (págs. 107 - 126). IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.71012>.

Niaounakis, M. (2017). Degradation of Plastics in the Marine Environment. En *Management of marine plastic debris, prevention, recycling, and waste management* (págs. 127 - 142). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44354-8.00003-3>.

Niral, V., & Jerard, B. A. (2019). Botany, Origin and Genetic Resources of Coconut. En K. U. Nampoothiri , V. Krishnakumar, P. K. Thampan, & M. Achuthan Nair, *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives*. (págs. 57 - 111). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4_3).

Noor Azammi, A. M., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., & Hameed Sultan, M. T. (Agosto de 2018). Conceptual design of automobile engine rubber mounting composite using TRIZ-Morphological chart-analytic network process technique. *Defence Technology*, 14(4), 268 - 277, <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.05.009>.

Nwite, P. A., Ikhajiagbe, B., & Owoicho, I. (2017). Germination response of coconut (*Cocos nucifera* L.) zygotic embryo. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 21(6), 1019, <https://doi.org/10.4314/jasem.v21i6.3>.

OCDE. (2018). Plastics production. En *Improving Markets for Recycled Plastics. Trends, Prospects and Policy Responses* (págs. 27 - 38). París, Francia: OECD Publishing, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264301016-en>.

Oliveira, T. A., Oliveira, R. R., Barbosa, R., Azevedo, J. B., & Alves, T. S. (15 de Julio de 2017). Effect of reprocessing cycles on the degradation of PP/PBAT-thermoplastic starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 168, 52 - 60, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.054>.

Omoniyi, A. B., & Abel, O. O. (20 de Abril de 2019). Evaluation of coconut (*cocos nucifera*) husk fibre as a potential reinforcing material for bioplastic production. *Materials Research Proceedings*, 11, 195 - 200, <https://doi.org/10.21741/9781644900178-14>.

Omrani, E., L. Menezes, P., & K. Rohatgi, P. (Junio de 2016). State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2), 717 - 736, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.10.007>.

Orloff, M. A. (2017). Toward the Modern TRIZ. En M. A. Orloff, *ABC - TRIZ* (págs. 19 - 30). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29436-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29436-0_2).

Orloff, M. A. (2020). Basic Models and Methods of MTRIZ . En M. A. Orloff, *Modern TRIZ Modeling in Master Programs* (págs. 7 - 49). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37417-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37417-4_9).

Ortega Toro, R. (09 de Enero de 2017). Biocompuestos a Base de almidón termoplástico, ácido poliláctico y cascarilla de arroz: efecto del aceite epoxidado de soya. *Revista Publicaciones e Investigación*, 11(1), 49 - 55, <https://doi.org/10.22490/25394088.2249>.

Osiro, L., Lima Junior, F. R., & Ribeiro Carpinetti, L. C. (10 de Mayo de 2018). A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting

supply chain sustainability metrics. *Journal of Cleaner Production*, 183, 964 - 978, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.197>.

Patil, C. K., Husain, M., & Halegowda, N. V. (Marzo de 2018). Study of Quality Function Deployment Model Based on Artificial Neural Network with Optimization Techniques. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 17(1), 119 - 136, <https://doi.org/10.1142/s0219686718500087>.

Pecht, M. G., Ali, I., & Carlson, A. (04 de Diciembre de 2017). Phthalates in electronics: The risks and the alternatives. *IEEE Access*, 6, 6232 - 6242, <https://doi.org/10.1109/access.2017.2778950>.

Perera, P. I., Motha, K. F., & Vidhanaarchchi, V. R. (09 de Enero de 2020). Morphological and histological analysis of anther-derived embryos of coconut (*Cocos nucifera* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 140(3), 685 - 689, <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01762-9>.

Petrov, V. (2019). Review of TRIZ. En V. Petrov, *TRIZ. Theory of Inventive Problem Solving* (págs. 13 - 33). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04254-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04254-7_2).

Piciu, D. (2017). Specific Measurements, Units, and Terms. En D. Piciu, *Nuclear Endocrinology* (2 ed., págs. 9 - 11). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56582-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56582-8_2).

Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2016). Plastic Packaging Materials. En L. Piergiovanni, & S. Limbo, *Food Packaging Materials. SpringerBriefs in Molecular Science* (págs. 33 - 49). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24732-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24732-8_5).

Poddar, P., Asadulah Asad, M., Saiful Islam, M., Sultana, S., Parvin Nur, H., & Sarwaruddin Chowdhury, A. M. (2016). Mechanical and Morphological Study of Arecanut Leaf Sheath (ALS), Coconut Leaf Sheath (CLS) and Coconut Stem Fiber (CSF). *Advanced Materials Science*, 1(2), 1 - 4, <https://doi.org/10.15761/ams.1000112>.

- Polk, B. I., Dinakarbandian, D., Nanda, M., Barnes, C., & Dinakar, C. (Octubre de 2016). Association of tree nut and coconut sensitizations. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 117(4), 412 - 416, <https://doi.org/10.1016/j.anai.2016.07.023>.
- Popoff, A., & Millet, D. (2017). Sustainable Life Cycle Design Using Constraint Satisfaction Problems and Quality Function Deploymen. *Procedia CIRP*, 61, 75 - 80, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.147>.
- Preda, M., Popa, M. I., Mădălina Mihai, M., Șerbănescu, A. A., & Holban, A. M. (2019). Natural Fibers in Beverages Packaging. En A. Mihai Grumezescu, & A. M. Holban, *Trends in Beverage Packaging* (Vol. 16, págs. 409 - 424). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816683-3.00014-1>.
- Proshad, R., Kormoker, T., Saiful Islam , M., A. Haque, M., Mahfuzur Rahman, M., & Rahman Mithu, M. M. (18 de Diciembre de 2017). Toxic effects of plastic on human health and environment : A consequences of health risk assessment in Bangladesh. *International Journal of Health*, 6(1), 1 - 5, <https://doi.org/10.14419/ijh.v6i1.8655>.
- Quan, M., Nan, L., & Peña Mora, F. (Septiembre de 2019). Quality function deployment-based framework for improving the resilience of critical infrastructure systems. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 26, 100304, <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2019.100304>.
- Rahnama, M., Oromiehie, A., Ahmadi, S., & Ghasemi, I. (07 de Septiembre de 2016). Investigation of polyethylene-grafted-maleic anhydride presence as a compatibilizer on various properties of nanocomposite films based on polyethylene/ethylene vinyl alcohol/nanoclay. *Polymers for Advanced Technologie*, 28(4), 449 - 462, <https://doi.org/10.1002/pat.3905>.
- Rajabi Asadabadi, M. (16 de Diciembre de 2017). A customer based supplier selection process that combines quality function deployment, the analytic network process and a Markov chain. *European Journal of Operational Research*, 263(3), 1049 - 1062, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.006>.

- Ravi, M., R. Dubey, R., Shome, A., Guha, S., & Anil Kumar, C. (2018). Effect of surface treatment on Natural fibers composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 376, 012053, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/376/1/012053>.
- Rethinam, P. (2019). International Scenario of Coconut Sector. En K. K. Nampoothiri, V. Krishnakumar, P. K. Thampan, & M. Achuthan Nair, *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives* (págs. 21 - 56). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4_2).
- Ritchie, H., & Roser, M. (Septiembre de 2018). Plastic Pollution. *Our World in date*, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.
- Rivero, C. P., Hu, Y., Kwan, T. H., Webb, C., Theodoropoulos, C., Daoud, W. A., & Ki Lin, C. S. (2017). Bioplastics From Solid Waste. En J. W. C. Wong, R. D. Tyagi, & A. Pandey, *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Solid Waste Management* (págs. 1 - 26). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00001-0>.
- Roach, P. J., & Zeeman, S. C. (2016). Glycogen and Starch. En R. A. Bradshaw, & P. D. Stahl, *Encyclopedia of Cell Biology* (Vol. 1, págs. 263 - 270). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394447-4.10031-8>.
- Rodríguez Castellanos, W., & Rodrigue, D. (2016). Production and Characterization of Hybrid Polymer Composites Based on Natural Fibers. En M. Poletto, *Composites from Renewable and Sustainable Materials* (págs. 273 - 302). IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/64995>.
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (23 de Junio de 2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 28 - 32, <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1815>.
- Rujnić Havstad, M. (2020). Biodegradable plastics. En T. M. Letcher, *Plastic Waste and Recycling, Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions* (págs. 97 - 129). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00005-0>.

Saba, N., Jawaid, M., Alothman, O. Y., & Paridah, M. T. (01 de Marzo de 2016). A review on dynamic mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites. *Construction and Building Materials*, 106, 149 - 159, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.075>.

Sadeghi, K., & Shahedi, M. (Marzo de 2016). Physical, mechanical, and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer/chitosan/nano-ZnO (ECNZn) nanocomposite films incorporating glycerol plasticizer. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(1), 137 - 147, <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9287-7>.

SAGARPA. (2015). *Estudio multidimensional para el aprovechamiento del producto de la Palma de Coco a través del proceso de deshidratado como soporte tecnológico para los cultivos ubicados en la Costa del Pacífico*. Reporte Detallado, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Sairam, C. V., & Jayasekhar, S. (2019). World Coconut Economy: Sectoral Issues, Markets and Trade. En K. U. Nampoothiri, V. Krishnakumar, P. K. Thampan, & M. Achuthan Nair, *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives* (págs. 801 - 820). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2754-4_17).

Sandoval Arellano, Z. (2012). *Estudio del efecto del contenido de EVOH y el contenido de plastificante en el ATP, sobre la morfología y las propiedades de barrera de mezclas de EVOH/ATP*. Tesis de grado doctoral, Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila.

Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Laxmana Naik, L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (11 de Marzo de 2016). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resources*, 7(3), 108 - 114, <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73011>.

Sanjay, M. R., Siengchin, S., Parameswaranpillai, J., Jawaid, M., Pruncu, C. I., & Khan, A. (01 de Marzo de 2019). A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 207, 108 - 121, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.083>.

Santana, J. G., Ortiz, A., Oliveira, R. R., Rangari, V. K., Güven, O., & Moura, E. A. (2017). Mechanical, Thermal, Morphology and Barrier Properties of Flexible Film Based on Polyethylene-Ethylene Vinyl Alcohol Blend Reinforced with Graphene Oxide. En S. Ikhmayies, B. Li, J. S. Carpenter, J. Li, J. Y. Hwang, S. Neves Monteiro, . . . J. Kim, *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2017. The Minerals, Metals & Materials Series* (págs. 49 - 57). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51382-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51382-9_7).

Santana, J. G., Ortiz, A., Oliveira, R. R., Rangari, V. K., Güven, O., & Moura, E. B. (2017). Mechanical, Thermal, Morphology and Barrier Properties of Flexible Film Based on Polyethylene-Ethylene Vinyl Alcohol Blend Reinforced with Graphene Oxide. *The Minerals, Metals & Materials Society*, 49 - 57, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51382-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51382-9_7).

Satish, K., & K. S., T. (17 de Julio de 2017). Bioplastics - classification, production and their potential food applications. *Journal of Hill Agriculture*, 8(2), 118 - 129, <https://doi.org/10.5958/2230-7338.2017.00024.6>.

Saucedo Rivalcoba, V., Martínez-Hernández, A. L., Martínez-Barrera, G., Velasco Santos, C., Rivera Armenta, J. L., & Castaño, V. M. (Junio de 2011). Removal of Hexavalent Chromium from Water by Polyurethane–Keratin Hybrid Membranes. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218(1 - 4), 557 – 571, <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0668-6>.

Schillo, R. S., Isabelle, D. A., & Shakiba, A. (Enero de 2017). Linking advanced biofuels policies with stakeholder interests: A method building on Quality Function Deployment. *Energy Policy*, 100, 126 - 137, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.056>.

Schneider, I. L., Teixeira, E. C., Agudelo Castañeda, D. M., Silva e Silva, G., Ferreira Braga, M., & Silva Oliveira, L. F. (15 de Enero de 2016). FTIR analysis and evaluation of carcinogenic and mutagenic risks of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in PM1.0. *Science of The Total Environment*, 541, 1151 - 1160, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.142>.

Şen, N., & Baykal, Y. (Octubre de 2019). Development of car wishbone using sheet metal tearing process via the theory of inventive problem-solving (TRIZ) method. *Journal of the*

*Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(10), 390, <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1884-7>.

Sengupta, S., & Basu, G. (2016). Properties of Coconut Fiber. En S. Hashmi, & I. Ahmed Choudhury, *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (Vol. 2, págs. 263 - 281). Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04122-9>.

Sheng Tong, F., Choo Chin, S., Ing Doh, S., & Gimhun, J. (20 de Enero de 2017). Natural Fiber Composites as Potential External Strengthening Material – A Review. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(2), <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i2/110368>.

Singh Dhaliwal, J. (2019). Natural Fibers: Applications. En M. Abbas, & H. Y. Jeon, *Generation, Development and Modifications of Natural Fibers*. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.86884>.

Singh, J., Singh, H., & Kumar Gandhi, S. (27 de Julio de 2018). Application of quality function deployment for the design and development of a lathe machine. *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, 11(3), 239 - 269, <https://doi.org/10.1504/ijmcp.2018.093494>.

Singh, N., Hui, D., Singh, R., S. Ahuja, I. P., Feo, L., & Fraternali, F. (15 de Abril de 2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409 - 422, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>.

Sivasamy, K., Arumugam, C., Devadasan, S. R., Muruges, R., & Thilak, V. M. (Mayo de 2016). Advanced models of quality function deployment: a literature review. *Quality & Quantity*, 50(3), 1399 - 1414, <https://doi.org/10.1007/s11135-015-0212-2>.

Small, E. (07 de Marzo de 2017). Coconut Palm – the superstar partner of coral reefs. *Biodiversity*, 18(1), 26 - 34, <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1298468>.

Souchkov, V. (2016). A Glossary of Essential TRIZ Terms. En L. Chechurin, *Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)* (págs. 265 - 281). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3_17).

Spagnuolo, M. L., Marini, F., Sarabia Peinador, L. A., & Ortiz, M. C. (15 de Mayo de 2017). Migration test of Bisphenol A from polycarbonate cups using excitation-emission fluorescence data with parallel factor analysis. *Talanta*, *167*, 367 - 378, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.02.033>.

Spierling, S., Knüpfner, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., . . . Endres, H. J. (01 de Junio de 2018). Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*, *185*, 476 - 491, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.014>.

Srivastava, N., & Rastogi, D. (25 de Octubre de 2018). Uttarakhand: A State Rich in Plant Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 1 - 16, <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534193>.

Summerhayes, G. R. (08 de Octubre de 2018). Coconuts on the Move: Archaeology of Western Pacific. *The Journal of Pacific History*, *53*(4), 375 - 396, <https://doi.org/10.1080/00223344.2018.1520082>.

Sydow, Z., & Bińczak, K. (03 de Abril de 2018). The overview on the use of natural fibers reinforced composites for food packaging. *Journal of Natural Fibers*, *16*(8), 1189 - 1200, <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1455621>.

Syed Adam, S. N., Fazlina Osman, A., & Shamsudin, R. (30 de Junio de 2018). Tensile Properties, Biodegradability and Bioactivity of Thermoplastic Starch (TPS) / Bioglass Composites for Bone Tissue Engineering. *Sains Malaysiana*, *47*(6), 1303 - 1310, <https://doi.org/10.17576/jsm-2018-4706-27>.

Townsend, T., & Sette, J. (2016). Natural Fibres and the World Economy. En R. Figueiro, & S. Rana, *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*. *RILEM Bookseries* (Vol. 12, págs. 381 - 390). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1\\_30](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1_30).

Vázquez Morillas, A., Espinosa Valdemar, R., Beltrán Villavicencio, M., & Velasco Pérez, M. (13 de Mayo de 2016). Bioplásticos y plásticos degradables. *Universidad Autónoma Metropolitana, Casa abierta al tiempo*, 1 - 11, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1294.4241>.

- Velásquez Restrepo, S. M., Peláez Arroyave, G. J., & Giraldo Vásquez, D. H. (Enero - Junio de 2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 80(1), 77 - 86, <https://doi.org/10.23850/22565035.324>.
- Verbeek C., J. R., & Uitto, J. M. (2016). Bioplastics. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, , 1 - 37, <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst654>.
- Verma, D., & Fortunati, E. (2018). Biobased and Biodegradable Plastics. En L. M. Torres Martínez, O. Vasilievna Kharissova, & B. Ildusovich Kharisov, *Handbook of Ecomaterials* (págs. 1 - 23). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1\\_103-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_103-1).
- Villarrubia Gómez, P., E. Cornell, S., & Fabres, J. (Octubre de 2018). Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine Policy*, 96, 213 - 220, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>.
- Wang, F. K., Yeh, C. T., & Chu, T. P. (Agosto de 2016). Using the design for Six Sigma approach with TRIZ for new product development. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 522 - 530, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.06.014>.
- Wang, J., Shan, D., Iango, Y., Liu, W., Chen, B., & Zheng, A. (Marzo de 2016). Styrene/Butadiene Rubber Prepared by Anionic Bulk Polymerization in a Twin-Screw Extruder. *Advances in polymer technology*, 35(1), <https://doi.org/10.1002/adv.21529>.
- Wang, R., Li, J., & Yue, X. (Enero de 2020). Influence of carboxylated styrene–butadiene copolymer on tetracalcium aluminoferrite hydration in the presence of gypsum. *Advances in Cement Research*, 32(1), 30 - 42, <https://doi.org/10.1680/jadcr.18.00048>.
- Wang, W., J. Themelis, N., Sun, K., C. Bourtsalas, A., Huang, Q., Zhang, Y., & Wu , Z. (23 de Abril de 2019). Current influence of China’s ban on plastic waste imports. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 1(1), 67 - 78. <https://doi.org/10.1007/s42768-019-00005-z>.
- Wang, Y. H., Lee, C. H., & Trappey, A. J. (Mayo de 2017). Service design blueprint approach incorporating TRIZ and service QFD for a meal ordering system: A case study.

*Computers & Industrial Engineering*, 107, 388 - 400, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.013>.

Windsor, F. M., Durance, I., Horton, A. A., Thompson, R. C., Tyler, C. R., & Ormerod, S. J. (21 de Enero de 2019). A catchment-scale perspective of plastic pollution. *Global Change Biology*, 25(4), 1207 - 1221, <https://doi.org/10.1111/gcb.14572>.

Wittenberg, E., & Abetz, V. (14 de Julio de 2017). New post modification route for styrene butadiene copolymers leading to supramolecular hydrogen bonded networks - Synthesis and thermodynamic analysis of complexation. *Polymer*, 121, 304 - 311, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.06.001>.

Wood, L. C., Wang, C., Abdul Rahman, H., & Abdul Nasir, N. S. (20 de Enero de 2016). Green hospital design: integrating quality function deployment and end-user demands. *Journal of Cleaner Production*, 112, Parte 1, 903 - 913, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.101>.

Worm, B., Lotze, H. K., Jubinville, I., Wilcox, C., & Jambeck, J. (Octubre de 2017). Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, 42(1), 1 - 26, <https://doi.org/10.1146/annurev-enviro-102016-060700>.

Wu, J. H., Wu, C. P., Kuo, M. C., & Tsai, Y. (2016). Characterization and Properties of Reactive Poly (Lactic Acid)/Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymer Blends with Chain-Extender. *Journal of Polymers and the Environment*, 24(2), 129 - 138, <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0755-x>.

Wu, S. M., You, X. Y., Liu, H. C., & Wang, L. E. (01 de Diciembre de 2017). Improving quality function deployment analysis with the cloud MULTIMOORA method. *International Transactions in Operational Research*, 27(3), 1600 - 1621, <https://doi.org/10.1111/itor.12484>.

Xanthos, D., & Walker, T. R. (15 de Mayo de 2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1 - 2), 17 - 26, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>.

Xingli, W., & Huchang, L. (Septiembre de 2018). An approach to quality function deployment based on probabilistic linguistic term sets and ORESTE method for multi-expert multi-criteria decision making. *Information Fusion*, 43, 13 - 26, <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.11.008>.

Yan, W. Q., Zhu, Y. M., & Ahmad, N. (Diciembre de 2016). Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) based contradiction resolution strategies for Shaanxi Aviation Industrial Upgrading. *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1111 - 1115, <https://doi.org/10.1109/ieem.2016.7798050>.

Yang, H., Wang, J., Yang, F., Chen, M., Zhou, D., & Li, L. (Julio de 2016). Active Packaging Films from Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer and Clove Essential Oil as Shelf Life Extenders for Grass Carp Slic. *Packaging Technology and Science*, 29(7), 383 - 396, <https://doi.org/10.1002/pts.2215>.

Yin, C., & Zhang, Q. (2020). Studies and properties of styrene/butadiene/ $\gamma$ -(methacryloxypropyl) trimethoxy silane copolymer emulsion at room temperature. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 57(5), 319 - 325, <https://doi.org/10.1080/10601325.2019.1698961>.

Zawati, O. A., & Dweiri, F. (2016). Application of Quality Function Deployment to improve smart services applications, Dubai public entity as a case study. *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 881 - 885, <https://doi.org/10.1109/ieem.2016.7798003>.

Zhang, L., Li, K., Yang, Z., Yang, Z., & Wang, Q. (Agosto de 2016). TRIZ based teaching strategy for wind turbine control. *2016 UKACC 11th International Conference on Control (CONTROL)*, 1 - 6, <https://doi.org/10.1109/control.2016.7737586>.

Zhang, Q., Cai, H., Ren, X., Kong, L., Liu, J., & Jiang, X. (17 de Noviembre de 2017). The Dynamic Mechanical Analysis of Highly Filled Rice Husk Biochar/High-Density Polyethylene Composites. *Polymers*, 9(11), 628, <https://doi.org/10.3390/polym9110628>.

Zhang, X., Xue, X., Yin, Q., Jia, H., Wang, J., Ji, Q., & Xu, Z. (15 de Febrero de 2017). Enhanced compatibility and mechanical properties of carboxylated acrylonitrile butadiene rubber/styrene butadiene rubber by using graphene oxide as reinforcing filler. *Composites Part B: Engineering*, *111*, 243 - 250, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.003>.

Zhang, Y., Song, H., Liu, Q., Zhang, S., & Zhang, Y. (3 de Abril de 2017). Dynamic Mechanical Property of Kaolinite/Styrene-Butadiene Rubber Composites. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, *8*, 1 - 12, <https://doi.org/10.2412/mmse.61.54.732>.

Zimniewska, M., & Wladyka Przybylak, M. (2016). Natural Fibers for Composite Applications. En S. Rana, & R. Figueiro, *Fibrous and Textile Materials for Composite Applications. Textile Science and Clothing Technology* (págs. 171 - 204). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0234-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0234-2_5).