



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA
COLEGIO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN
MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTAN:
KARINA BERENICE PALACIO GARCÍA
VIRGINIA MIRANDA PÉREZ**

**ASESOR:
M.C EVA AGUILA ALMANZA**

**COASESOR:
DR. HERIBERTO HERNÁNDEZ COCOLETZI**

PUEBLA, PUE.

FEBRERO DE 2014





C. VIRGINIA MIRANDA PÉREZ
PASANTE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE

Oficio No. FIQ/AC/993/2013
Asunto: Registro de Tema de Tesis
Fecha: 25 de Septiembre de 2013

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo título es el siguiente:

“ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: M.C. Eva Águila Almanza
Co-asesor de Tesis: Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO**.



ATENTAMENTE
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”

E. Vázquez
M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARÍA ACADÉMICA

C.c.p. Director de Tesis: M.C. Eva Águila Almanza
Co-asesor de Tesis: Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

C3

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Matricula: 200811564

- Ingeniería Química
- Ingeniería Ambiental ()
- Ingeniería en Alimentos ()
- Ingeniería en Materiales ()
- Ingeniería Agroindustrial ()

Al C. Sustentante Virginia Miranda Pérez

De acuerdo a la **presentación y revisión** de la tesis:

"Elaboración y caracterización de un material
compuesto a partir de residuos sólidos
urbanos"

se aprueba la impresión y empastado de la misma.

Jurado de examen profesional:

Presidente:	<u>M. I. José Blas Martín García Cuevas</u>	Firma	<u>José Blas Martín García Cuevas</u>
Secretario:	<u>M. C. José Andrés Rojas Aranda</u>		<u>José Andrés Rojas Aranda</u>
Vocal:	<u>M. C. Eva Aguila Almanza</u>		<u>Eva Aguila Almanza</u>

Fecha de examen: 28 febrero 2014

H. Puebla de Zaragoza a 05 de febrero de 2014.

Agradecimientos

A mis asesores la M.C Eva Aguila Almanza y el Dr. Heriberto Hernandez Cocolletzi gracias a todo su apoyo y guía desde el inicio de la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales M.I José Blas Martin García Cuevas y M.C José Andrés Reyes Avendaño gracias por sus consejos y recomendaciones en la preparación de la tesis.

Al Dr. Efraín Rosas Rubio y todo el personal del Centro Universitario de Vinculación y Transporte de Tecnologías (CUV y TT) por su ayuda en el uso de los equipos para las caracterizaciones necesarias en el desarrollo de la tesis.

Dedicatorias

A mis padres Francisco y Virginia, gracias por todo el apoyo que me han dado hasta ahora. Por todos los valores que me han inculcado y por ser un gran ejemplo a seguir.

A mis hermanos (as) que son una parte importante de mi vida. Y que llenan mis días de risas y enojos. A mi tía y mi prima gracias por que en estos años las cosas no hubieran sido iguales sin ustedes.

A Enrique, eres uno de los pilares más importantes de mi vida, te agradezco todo el apoyo y comprensión que siempre me brindaste en las buenas y en las malas. Por tu infinita paciencia conmigo. T. *A más que ayer y menos que mañana...*

A los profesores que tuve durante toda la carrera, gracias por compartir sus conocimientos y por toda la paciencia que me tuvieron en este tiempo.

A todos los amigos que conocí en la universidad, no hubiera sido lo mismo sin ustedes: Moranchel, Marisol, Maraí, Angélica y Saris, las quiero! Karina y Alejandro Pérez, en este tiempo que compartimos creció una muy buena amistad con ustedes. Los aprecio mucho. Y a todos los demás que no menciono pero que saben que son muy importantes para mí.

A mis amigos, unos aunque lejos saben que siempre han estado presentes. Mis amigas de años Pilar, Carmen y Fernanda. Y amigas de más años aun Carol y Marijo. Ustedes 5 niñas han sido de lo mejor que pudiera conocer y no cambiaría NADA en nuestra amistad! A todos los amigos de la prepa, los aprecio mucho y me da gusto que aunque ya han pasado algunos años, aun nos sigamos frecuentando.

Y ya por último a las personas que ya no están conmigo físicamente, pero que siempre las tengo presentes. En especial a mi abuelita, que no pudo ver lo que ella empezó pero que esto muy feliz de terminar en su memoria.

Contenido

Introducción.....	10
Capítulo 1.....	12
Antecedentes	12
1.1 Cafeterías	12
1.2 Residuos sólidos urbanos.....	12
1.2.1 Clasificación e iconografía de los residuos sólidos urbanos	12
1.3 El café.....	13
1.3.1 Proceso de obtención del café.....	14
1.3.2 Composición del café para consumo	16
1.5 Tratamiento químico	18
1.6 Tetra Pak	18
1.6.1 Composición del envase.....	18
1.7 Materiales compuestos.....	19
1.7.1 Clasificación de los materiales compuestos	20
1.7.2 Compuestos reforzados con fibras	20
1.8 Almidón	21
1.8.1 Propiedades.....	23
1.9 Plastificantes.....	23
1.9.1 Glicerol.....	23
1.9.2 Etilenglicol.....	24
Capítulo 2.....	25
Metodología	25
2.1 Definición del área de estudio.....	25
2.2 Recolección de datos.....	25
2.3 Organización de los resultados.....	27
2.4 Obtención del bagazo de café y envases Tetra Pak.....	27
2.5 Tratamiento de envases Tetra Pak.....	27

2.6 Tratamiento del bagazo de café	28
2.7 Obtención del material compuesto.....	29
2.8 Técnicas de caracterización	30
2.8.1 Espectroscopía infrarroja (FT-IR).....	30
2.8.2 Microscopía óptica (MO).....	31
2.8.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	32
2.8.4 Difracción de rayos X (DRX).....	32
2.8.5 Análisis termogravimétrico (TGA)	33
Capítulo 3.....	34
Resultados y discusión	34
3.1 Georeferenciación de fuentes generadoras de residuos provenientes de cafeterías.....	34
3.2 Resultados de la aplicación del formato de encuesta.....	37
3.2.1 Separación de la basura	38
3.2.2 Cantidades de RSU producidas por las cafeterías	40
3.2.3 Motivos por los cuales no se llevan a cabo la separación de los RSU.	44
3.3 Rendimiento del material compuesto.....	45
3.4 Espectroscopía de Infrarrojo (FT-IR)	46
3.5 Microscopía Óptica (MO)	48
3.6 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	50
3.7 Difracción de rayos X (DRX).....	52
3.8 Análisis Termogravimétrico (TGA).....	53
Conclusiones.....	55
Bibliografía	56

Resumen

En la actualidad la cantidad de residuos generados por los comercios de cafeterías ha ido en aumento generando altos índices de contaminación al desecharlos sin reutilizarlos. Por tal motivo ha surgido un gran interés por el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras naturales ayudando al impacto ambiental. El comercio de las cafeterías utiliza grandes cantidades de café en grano y envases Tetra Pak para la elaboración de sus bebidas, mismos que son desechados y llevados a los basureros sin darle algún otro uso causando contaminación. El objetivo principal de este trabajo de tesis es la elaboración de un material compuesto a partir de bagazo de café y envases Tetra Pak, así como también la elaboración de un inventario para estimar la cantidad de desechos generados por las cafeterías. El material compuesto se elaboró con celulosa recuperada de los envases Tetra Pak, bagazo de café tratado químicamente, almidón comercial utilizado como la matriz del material y etilenglicol y glicerol como plastificantes para aumentar la flexibilidad del material. Se elaboraron materiales compuestos con diferente concentración porcentual, así como del tipo de plastificante para identificar bajo qué condiciones se obtenía un material con mejores características fisicoquímicas. El material obtenido se caracterizó mediante difracción de rayos X (DRX), microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico (TGA) y espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR).

Introducción

La industria del café es un factor importante en el desarrollo de la economía de México y, sin lugar a dudas, de un mercado globalizado. Existe todo un proceso para que el café llegue al mercado desde su cultivo, producción, transportación, procesamiento y comercialización que ha hecho de éste un negocio mundial [1].

A partir de los años 90's se ha visto un incremento en los establecimientos dedicados a la venta de bebidas de café gourmet en todo el país. A raíz de esto se han creado diferentes compañías de cafeterías que ofrecen al público una gran variedad de bebidas que para su preparación, ocupan una cantidad considerable de café y leche en presentación Tetra Pak, mismos que son desechados indiscriminadamente a los basureros sin darle un uso alternativo en la mayoría de las ocasiones.

Puebla es la ciudad con mayor número de cafeterías de una franquicia fundada en la capital del estado que se ha logrado extender a lo largo de todo el territorio mexicano. Debido a que la franquicia de cafeterías no tiene implementado un programa de manejo de residuos ni de capacitación de personal para llevarlo a cabo, no hay información sobre las cantidades exactas de residuos sólidos urbanos (RSU) generados por éstas; por tal motivo, no hay conciencia sobre el impacto ecológico que estos propician y mucho menos sobre la posibilidad de aprovecharlos. Aproximadamente el 70% de los residuos generados son de bagazo de café y envases Tetra Pak propiciando contaminación superficial y de aguas.

Debido a que la cantidad de residuos de bagazo del café y Tetra Pak provenientes de las cafeterías es incierta, es por ello la importancia de elaborar un inventario de las fuentes generadoras de este residuo. Con esta información se puede obtener un dato aproximado del número de toneladas por año. Teniendo las cifras promedio de residuos de café pueden proponerse alternativas de manejo

para el aprovechamiento de dichos residuos orgánicos, evitando que lleguen a las calles o bien a rellenos sanitarios. La elaboración y aplicación de encuestas a personal de ésta cadena de cafeterías, así como la georeferenciación, son herramientas que pueden permitir la identificación y cuantificación de estas fuentes generadoras de basura.

Hasta el momento no hay una investigación dedicada al aprovechamiento del bagazo del café en conjunto con el Tetra Pak. Por lo anterior, en este trabajo de tesis se elaborará y caracterizará un material compuesto a partir de fibras recuperadas de RSU recolectados. Con esto se pretende contribuir a la disminución de la contaminación generada por estos residuos agroindustriales y se propondrá su revalorización a través de la generación de un nuevo material pretendiendo dar una posible aplicación para el uso de éste en las mismas cafeterías.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Cafeterías

Actualmente, existe un crecimiento acelerado en el número de cafeterías que ofrecen al público diferentes tipos de bebidas. Según datos del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), el consumo de café ha ido en aumento al pasar de una ingesta per cápita anual de poco más de 700g a 1.2Kg [2]. Este incremento se debe a la proliferación de barras de café gourmet. Si bien es cierto que no se sabe un número exacto de las cafeterías que se han abierto en los últimos años, la realidad es que cada vez existen más.

La franquicia, objeto de ésta propuesta, nació en la ciudad de Puebla en 1996. Hoy en día, cuenta con 400 sucursales abiertas en todo el país [3]. Solo en la ciudad de Puebla existen 64 establecimientos.

1.2 Residuos sólidos urbanos

El comercio de las cafeterías desecha una gran cantidad de residuos con una composición muy variada, dichos residuos se encuentran clasificados en la secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) como residuos sólidos urbanos (RSU). Los RSU se definen como los residuos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades [4].

1.2.1 Clasificación e iconografía de los residuos sólidos urbanos

En la Figura 1.1 se presenta la iconografía para 8 residuos diferentes que se agrupan en dos clasificaciones:

- a) Clasificación primaria: orgánico e inorgánico

b) Clasificación secundaria: papel, plástico, metal, vidrio, madera y tela [5].



Figura 1.1 Iconografía de los RSU.

1.3 El café

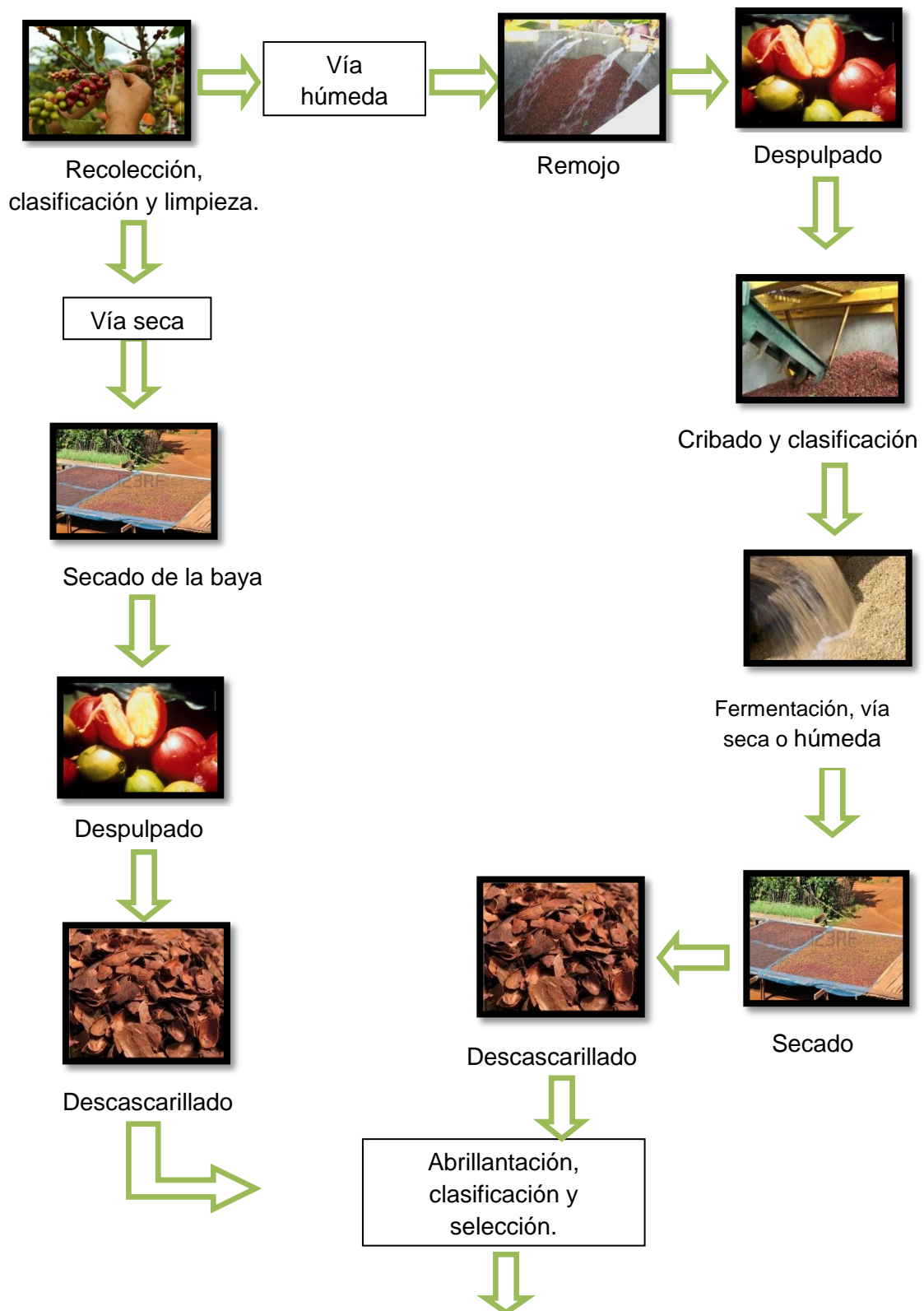
Uno de los residuos de las cafeterías de mayor peso y volumen generado es el bagazo de café, que es el residuo que queda del grano de café después de haber sido pasado por la cafetera. La legislación española define el café como la semilla sana y limpia procedente de las diversas especies botánicas del género *coffea* [6]. Existen cuatro especies de éste género que se cultivan principalmente y constituyen los cafés para el comercio: café arábigo, café robusta, café liberiano y café excelso; además, existe una gran cantidad de otras especies llamadas económicas.

En México se produce la especie *arabica*, la cual se cultiva sobre una superficie de 690 mil hectáreas, en doce estados de la República Mexicana, situados en la parte centro-sur del país.

México produce cafés de excelentes calidades, ya que su topografía, altura, clima y suelo, le permiten cultivar y producir variedades clasificadas de entre las mejores del mundo [7].

La cadena de cafeterías elegida para esta investigación utiliza para la preparación de sus bebidas la especie *arabica*.

1.3.1 Proceso de obtención del café





Café verde



Tostado



Molienda



Extracción



Bebida de café



Bagazo de café

1.3.2 Composición del café para consumo

La composición química del café que se muestra en la Tabla 1.1 está condicionada por la variedad, la altitud de la plantación, los factores edafológicos, climáticos y agronómicos, así como el proceso tecnológico, especialmente el tostado [6].

Tabla 1.1 Composición media del café verde y el café tostado de la especie *coffea arabica* (expresada en porcentaje de materia seca).

Componente	Coffea arabica	
	Verde	Tostado
Cafeína	1.2	1.3
Trigonelina	1.0	1.0
Proteínas	9.8	7.5
Sacarosas	8.0	0.0
Otros azúcares	1.0	-
Polisacáridos	49.8	38.0
Ácidos	1.5	2.4
Ácidos clorogénico y derivados	6.5	2.5
Lípidos	16.2	17.0
Minerales	4.2	4.5
Componentes aromáticos	Trazas	0.1

Dentro de los polisacáridos que se mencionan en la tabla anterior se encuentran la celulosa, hemicelulosa y lignina que son fibras útiles para la obtención de materiales compuestos. Para el mejor aprovechamiento de la fibra celulósica es necesario dar un tratamiento químico al bagazo de café para eliminar polisacáridos y lípidos que no son de utilidad.

1.4 Celulosa

La celulosa es un polisacárido de fórmula $C_6H_{10}O_5$ de cadenas muy largas y no ramificadas como se observa en la Figura 1.2 [8], y forma parte de la membrana celular de la mayor parte de las plantas entre ellas de los granos de café; aunque no está cuantificado actualmente. La configuración de los carbonos anoméricos de

la celulosa hace que las cadenas de celulosa sean esencialmente lineales; no tienden a enroscarse en estructuras helicoidales [8,9].

El arreglo lineal de las unidades de glucosa enlazadas en β en la celulosa presenta una distribución uniforme de grupos ^-OH en el exterior de cada cadena.

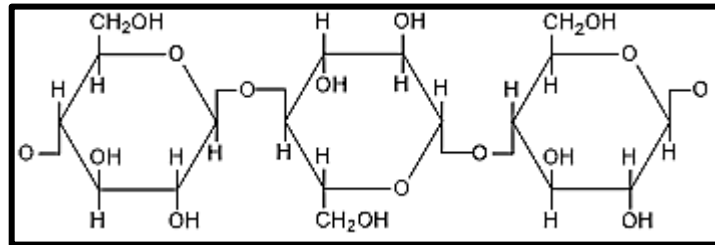


Figura 1.2 Estructura de la celulosa.

Cuando 2 o más cadenas hacen contacto, los grupos hidroxilo están situados en forma tal que “cierran” a las cadenas entre si formando puentes de hidrógeno (Figura 1.3) y aumentando así la resistencia [9, 10].

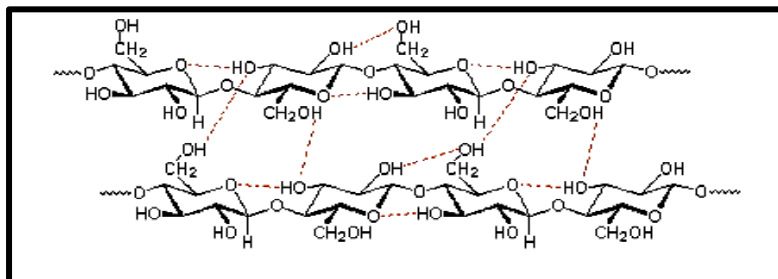


Figura 1.3 Formación de puentes de hidrógeno.

Algunas de las características de la celulosa son las siguientes [10, 11]:

- Es insoluble en agua.
- Forma fibrillas rectas.
- Es un polímero rígido y fibroso.

1.5 Tratamiento químico

Hoy por hoy, existen una gran variedad de tratamientos químicos utilizados para otorgarle a las fibras naturales las características necesarias para que estas puedan reutilizarse en la elaboración de nuevos materiales.

En diferentes trabajos se ha reportado la aplicación de un tratamiento alcalino a las fibras para alterar la estructura de la lignina que es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado formado por alcoholes aromáticos que da soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos [10] y así ayudar a su separación de otros carbohidratos presentes. La purificación por tratamientos de álcalis suaves, resulta en la solubilidad de la lignina, hemicelulosa y pectinas restantes. Este proceso debe ser controlado, ya que eliminar la lignina en exceso da como resultado fibras dañadas y más débiles; por lo tanto, se obtienen materiales compuestos con muy baja resistencia a la tensión [12].

1.6 Tetra Pak

Otro residuo generado en gran cantidad por las cafeterías son los envases Tetra Pak los cuales son utilizados para la elaboración de las bebidas que ofrece dicho comercio. Se conocen como envases Tetra Pak, aunque en realidad éste es el nombre de la compañía que los elabora. Los envases para leche entran dentro de la clasificación de los llamados Tetra Brik, se pueden definir como envases de cartón para bebidas en forma rectangular, con diferentes tipos de aperturas. Entre las características principales de estos envases se encuentran que son: 100% reciclables, preservan la calidad nutricional del alimento, le brindan protección de la luz y el calor, y preservan su sabor y aroma.

1.6.1 Composición del envase

Los envases están formados por 6 capas (Figura 1.4) que evitan el contacto del contenido con el exterior y aseguran que los alimentos lleguen con todas sus

propiedades intactas. Estos envases están compuestos de papel, aluminio y polietileno.

- El papel: El envase está conformado por 75% de papel, garantizando su estabilidad y resistencia.
- El aluminio: evita la entrada de oxígeno, luz y pérdidas de aromas y es una barrera contra el deterioro de alimentos.
- El polietileno: evita que el alimento esté en contacto con el aluminio, ofrece adherencia y garantiza la protección [13].

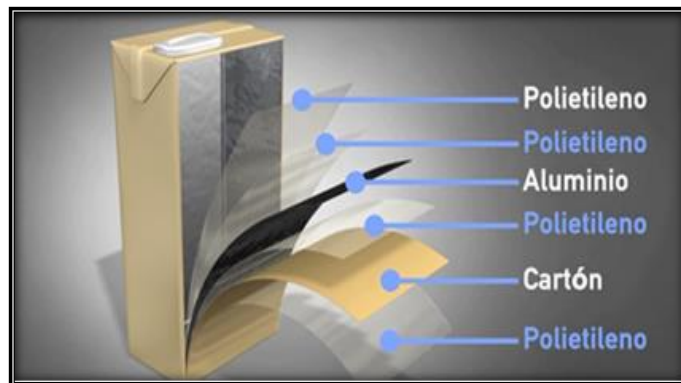


Figura 1.4 Capas que forman el envase Tetra Pak.

En trabajos anteriores, han concluido que la capa de papel de los envases Tetra Brik es fibra celulósica con una pureza de alrededor del 80% [14]. Como anteriormente se mencionó la celulosa posee características que la hacen una materia prima predilecta para su tratamiento y la elaboración de materiales compuestos a partir de fibras naturales.

1.7 Materiales compuestos

Entre los materiales más desarrollados en los años recientes están los materiales compuestos. De hecho, estos materiales son ahora una de las clases más importantes de materiales de ingeniería ya que ofrecen varias propiedades extraordinarias en comparación con los materiales convencionales. Un material

compuesto es una combinación de dos o más fases químicamente distintas e insolubles; sus propiedades y rendimiento estructural son superiores a aquellas de los constituyentes al actuar de manera independiente. Los materiales compuestos tienen cada vez mayores aplicaciones en tuberías, electrónica, automóviles, embarcaciones y artículos deportivos [15].

Los materiales compuestos están conformados por dos fases: el refuerzo que aporta resistencia y rigidez y la matriz que es el material que se desea reforzar [16].

1.7.1 Clasificación de los materiales compuestos

En la Figura 1.5 se puede observar la clasificación de los materiales compuestos [17]:

- a) Compuestos reforzados con partículas.
- b) Compuestos reforzados con fibras.
- c) Compuestos estructurales.

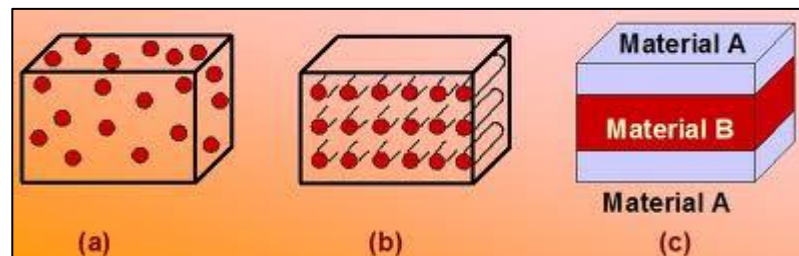


Figura 1.5 Clasificación de los materiales compuestos.

1.7.2 Compuestos reforzados con fibras

Una fibra puede ser definida como un sólido relativamente flexible, con una pequeña sección transversal y una elevada relación longitud diámetro [18]. Las fibras empleadas habitualmente pueden ser metálicas (alambres de acero), poliméricas (fibras aramidas) o cerámicas (vidrio y carbono) [17]. Estas fibras

pueden tener distintas configuraciones al fabricar el material compuesto, pudiendo ser como se muestra en la Figura 1.6 [19]:

- a) De forma unidireccional, fibras largas.
- b) De forma aleatoria, fibras cortas.
- c) Con disposición ortogonal, mallas ortogonales.
- d) En varias capas alternadas.

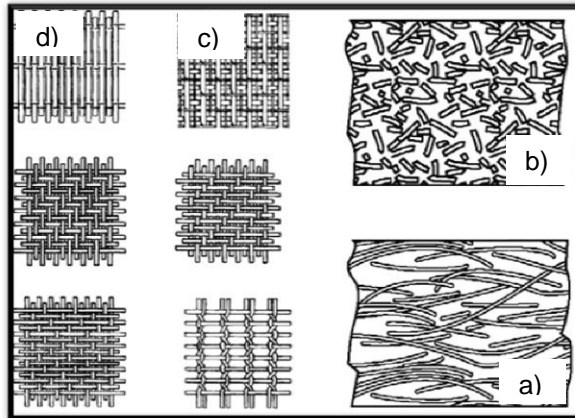


Figura 1.6 Disposición de las fibras de refuerzo.

Hasta ahora son pocas las investigaciones que se han encaminado a desarrollar materiales compuestos completamente biodegradables; tales esfuerzos se han enfocado en mezclas de polímeros obtenidos de fuentes renovables tales como ésteres de celulosa, almidones de diversas fuentes, etc., con fibras naturales de lino, ramio, *Eucalyptus Urograndis*, fibras de hoja de piña, yute, sisal, palma aceitera etc. Dichas investigaciones han mostrado que la inclusión de fibras incrementa el esfuerzo, el módulo y la estabilidad de la matriz original, con una consecuente disminución de la elongación; este comportamiento se atribuye a la fuerte adhesión entre la fibra-matriz por ejemplo como la que existe entre la similitud química del almidón y las fibras de celulosa.

1.8 Almidón

El almidón es el carbohidrato de reserva más abundante en los tejidos vegetales. Se encuentra en grandes cantidades en los tubérculos y semillas de cereales y

leguminosas, de donde puede obtenerse fácilmente en forma de gránulos, característicos por su forma y tamaño [20].

El almidón es un polisacárido que contiene alrededor de un 20% de una fracción insoluble en agua llamada amilosa y un 80% de una fracción soluble denominada isoamilopectina. Ambas fracciones están constituidas por unidades de α -D-glucosa (Figura 1.7), pero difieren en el tamaño y la configuración molecular.

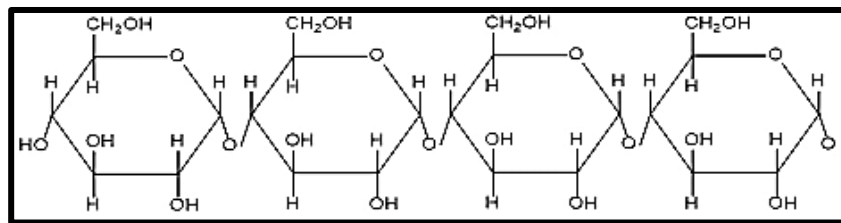


Figura 1.7 Estructura del almidón.

El almidón presenta la propiedad de formación de película, debido a la presencia de amilosa. Las películas que se elaboran únicamente de almidón con agua, presentan un comportamiento rígido pero quebradizo, es decir, tienen un alto esfuerzo de tensión a la fractura y un bajo valor de deformación; por esta razón, se recurre a la adición de los plastificantes, como son los polioles (glicerol, sorbitol, polietilenglicol) urea y sacarosa, ya que esto permite una mayor flexibilidad y suavidad a la película, lo que es necesario para impartirle características de manejabilidad [21]. Los plastificantes deben de ser compatibles con el polímero formador de película. Estos reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan la movilidad de las cadenas poliméricas [20].

Otra forma para mejorar el comportamiento del almidón es incorporarle rellenos naturales como fibras celulósicas que sirven como material de refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas considerándose esta unión de almidón y fibras celulósicas como material compuesto [16].

1.8.1 Propiedades

El almidón debido a su abundancia en la naturaleza tiene un bajo costo, presenta propiedades fisicoquímicas muy interesantes, que lo hacen útil como agente encapsulante, aglutinante, espesante.

El almidón presenta dos fenómenos fisicoquímicos, la gelatinización ocurre cuando el almidón se calienta en un exceso de agua. Este fenómeno es el responsable de que el almidón se use como agente espesante, encapsulante y aglutinante. Posteriormente, si el almidón gelatinizado se somete a un almacenamiento prolongado, se da origen a otro fenómeno fisicoquímico conocido como retrogradación [21].

1.9 Plastificantes

Los plastificantes ayudan a mantener la integridad de las películas, reducen su fragilidad, aumentando la flexibilidad y la resistencia a la rotura. Los requerimientos básicos para un plastificante en un sistema polimérico son su compatibilidad con el polímero formador de la red y su permanencia dentro de la estructura resultante; es decir, no debe migrar a la superficie [22].

Algunos plastificantes como el glicerol modifican las propiedades de los polímeros insertándose dentro de su estructura tridimensional [23, 24].

1.9.1 Glicerol

El glicerol tiene un aspecto de viscoso, incoloro e inodoro; es tan dulce como el azúcar y se clasifica dentro del grupo de los polialcoholes. No oscurece ni carameliza por tratamiento térmico. Tiene alto punto de ebullición y puede disolverse en agua o alcohol, pero no en aceite. Es altamente higroscópico [25].

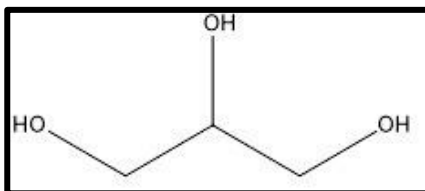


Figura 1.8 Estructura del glicerol.

1.9.2 Etilenglicol

El etilenglicol es un líquido higroscópico, incoloro, inodoro, presenta baja volatilidad, viscosidad y es completamente miscible en agua y en diferentes líquidos orgánicos. Los grupos hidroxilo de la molécula le dan la posibilidad de formar productos derivados del mismo: aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos entre otros. Tal reactividad permite presentar al etilenglicol como intermediario en una serie de reacciones importantes en la industria química. Se usa como líquido para frenos, lubricante y plastificante [27].

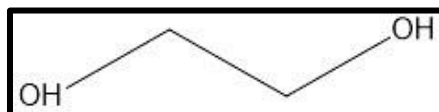


Figura 1.8 Estructura del etilenglicol.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Definición del área de estudio

La ciudad de Puebla es municipio y capital del estado de Puebla. Localizada en la parte centro oeste del estado, a una distancia de 130Km al sureste de la Ciudad de México (Figura 2.1). Actualmente, Puebla es un centro urbano-industrial que presenta un crecimiento acelerado [1].



Figura 2.1. Localización de la ciudad de Puebla.

Las cafeterías localizadas en la zona de estudio antes mencionada, se georeferenciaron con el dispositivo GPS, Garmin Oregon 550 World Wide. Se realizaron visitas de campo a 62 cafeterías de la zona de estudio para la entrevista al personal que labora en las cafeterías.

Se generó una base de datos conteniendo las cafeterías georeferenciadas, así como sus coordenadas y en algunos casos, el nombre de la persona entrevistada.

2.2 Recolección de datos

Se elaboró un formato de encuesta como el que se muestra en la Figura 2.2, el cual se aplicó al gerente de cada cafetería. La información solicitada fue: los datos

generales de la cafetería (dirección), la cantidad de café y número de envases Tetra Pak que desechan diariamente, así como también si cuentan con un plan de manejo de residuos sólidos.

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA COLEGIO DE INGENIERÍA QUÍMICA TRABAJO DE TESIS ENCUESTA () 	
Fecha:	Dirección:
Coordenadas:	Nombre:
N:	Cargo:
W:	
Pregunta 1: ¿Separa el residuo de café del resto de la basura? Si la respuesta es sí, ¿Que hace con este residuo?	
Pregunta 2: En promedio ¿Cuánto café utiliza al día?	
Pregunta 3: ¿Separa los envases Tetra Pak del resto de la basura? Si la respuesta es sí, ¿Que hace con este residuo?	
Pregunta 4: En promedio ¿Cuántos envases Tetra Pak utiliza al día?	
Pregunta 5: ¿Qué motivos le impiden llevar a cabo la separación de sus residuos?	

Figura 2.2 Encuesta realizada a los trabajadores de las cafeterías.

Se mostró el formato a los encargados de las cafeterías adjunto a una carta expedida por la dirección de la facultad de Ingeniería Química de la BUAP, esto con el fin de probar que el cuestionamiento solo era con fines de investigación.

2.3 Organización de los resultados

Se organizaron los datos obtenidos en diferentes secciones para calcular los residuos de bagazo de café y envases Tetra Pak que eran desechados de manera diaria por cada cafetería y con base en esto se calculó la media aritmética de todas las cafeterías encuestadas. Siendo ésta la cantidad utilizada para obtener un estimado, semanal, mensual y anual de residuos provenientes de las cafeterías en la ciudad de Puebla.

2.4 Obtención del bagazo de café y envases Tetra Pak

La recolección del bagazo de café y envases Tetra Pak se llevó a cabo en la cafetería ubicada en ciudad universitaria (Figura 2.3) y corresponden a los residuos generados en un día.



Figura 2.3 The Italian Coffee Company ciudad universitaria.

2.5 Tratamiento de envases Tetra Pak

Después de la recolección de los envases se procedió a recortarlos para dejarlos en forma de placa como se muestra en la Figura 2.4. Se lavaron con agua y jabón y se remojaron en agua por 24 horas. Después se separaron manualmente en las diferentes capas que lo componen. Utilizando sólo la capa de papel que forma el envase.



Figura 2.4 Envase Tetra Pak en forma de placa.



Figura 2.5 Fibrillas de papel.

La capa de papel se dejó secar a temperatura ambiente por 24 horas. Una vez seca se trituroó con ayuda de una licuadora convencional hasta obtener finas fibrillas del papel como se observa en la Figura 2.5

2.6 Tratamiento del bagazo de café

Después de la recolección del bagazo de café, se verificó que solo tuviera bagazo de café. Debido a que en algunas ocasiones también contenía otro tipo de residuos de la cafetería como envoltorios de popotes o servilletas, a pesar de que se había solicitado con anterioridad que lo mantuvieran separado de residuos ajenos. En seguida se secó en charolas en una estufa a 100°C (Figura 2.6.)



Figura 2.6 Secado del bagazo de café.

Un vez seco el café se sometió a un tratamiento alcalino. Se pesaron 20g de bagazo de café y se colocaron en un vaso de precipitado con 100ml de una solución de NaOH al 10% con un pH=12, la solución se llevó a un tratamiento térmico de 90°C durante 4 horas (Figura 2.7). Posteriormente el material obtenido se lavó con 20ml de agua acidificada con H₂SO₄ al 1.2% y se neutralizó hasta obtener un pH=7. Se lavó con 50ml de agua destilada. El material obtenido se secó a temperatura ambiente por 24 horas, finalmente para tener la muestra más homogénea se pulverizó en un mortero de porcelana.



Figura 2.7 Bagazo de café en tratamiento alcalino.

2.7 Obtención del material compuesto

Se obtuvieron materiales compuestos a partir de la celulosa recuperada de envases Tetra Pak, del material obtenido del bagazo de café, de almidón y el plastificante. Los materiales se prepararon con diferente composición y por triplicado (Tabla 2.1). Los cuatro componentes se mezclaron en exceso de agua y se mantuvieron en agitación constante por 30 minutos a 70°C. Inmediatamente después el material obtenido se vació en cajas Petri y se dejó secar en una estufa por 24 horas a 60°C (Figura 2.8).

Tabla 2.1 Composición de los materiales compuestos.

MUESTRA	Café (g)	Tetra Pack (g)	Almidón (g)	Glicerol (g)	Etilenglicol (g)
1	0.6	0.6	0.15	0.16	-----
2	0.6	0.6	0.15	-----	0.16
3	0.8	0.25	0.3	0.16	-----
4	0.8	0.25	0.3	-----	0.16



Figura 2.8 Placas de fibra de café y fibrillas de Tetra Pak.

2.8 Técnicas de caracterización

2.8.1 Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

Se utilizó un espectrofotómetro marca BRUKER modelo VERTEX70 con transformada de Fourier (Figura 2.9). Se realizaron 8 escaneos a un paso de 4 cm^{-1} en la región del IR medio. La finalidad de realizar este análisis es la identificación de los grupos funcionales característicos de la celulosa. Para el análisis se utilizó 1mg de muestra. Al mismo tiempo de seguir identificando la misma estructura después de haber sometido al café a el proceso químico para la purificación de la fibra.



Figura 2.9 Espectrofotómetro FT-IR.

2.8.2 Microscopía óptica (MO)

Se utilizó un microscopio óptico marca Carl Zeiss modelo Axio Scope de campo claro con una resolución de 50X, 100X y 200X (Figura 2.10). Las muestras se observaron como una primera aproximación para conocer la superficie de los materiales compuestos, así como la morfología de cada material por separado para identificarlos más claramente por el análisis de microscopía electrónica de barrido.



Figura 2.10 Microscopio óptico.

2.8.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM-6610LV con resoluciones de 100X, 250X, 500X, 1000X, 2500X, y 5000X y potencia de trabajo de 20Kv (Figura 2.11). El análisis por SEM permitió observar con detalle la morfología del material obtenido después del tratamiento alcalino que se le dio al bagazo de café y de la fibra de celulosa recuperada así como detalles superficiales del material compuesto.

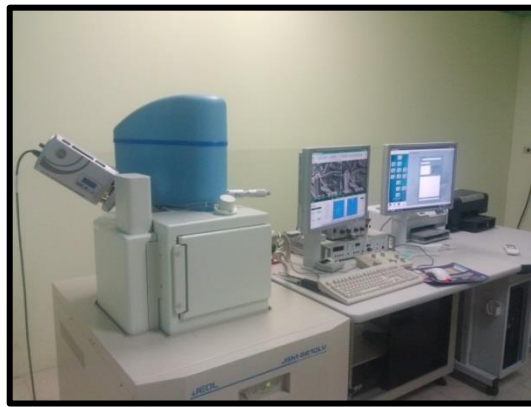


Figura 2.11 Microscopio electrónico de barrido.

2.8.4 Difracción de rayos X (DRX)

Se utilizó un difractómetro de rayos X marca BRUKER modelo D8DISCOVER que opero a 40 Kv a un paso de 43.2 segundos a una temperatura de 25°C (Figura 2.12). Las muestras se analizaron en un intervalo en 2θ de 5°-70°. Se utilizaron 0.5g para el análisis. El análisis por DRX permitió identificar la naturaleza cristalina o amorfa del material en estudio.



Figura 2.12 Difractómetro de rayos X.

2.8.5 Análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis de termogravimetría se realizó con un instrumento marca NETZSCH modelo STA449 F3 Jupiter (Figura 2.13). Las muestras de aproximadamente 10mg se colocaron en un crisol de alúmina y se llevaron a un aumento gradual de temperatura de 25°C a 800°C con una velocidad de calentamiento de 25°C/10min en una atmósfera de nitrógeno. Este análisis se realizó con el objetivo de conocer la estabilidad térmica del material compuesto.



Figura 2.13 Analizador termogravimétrico.

Capítulo 3

Resultados y discusión

Se identificaron 62 cafeterías generadoras de RSU de las 64 reportadas en el sitio web oficial de la franquicia; de las cuales 5 ya no ofrecen servicio y 2 no pudieron ser localizadas, esto se debe a que la información del sitio oficial no ha tenido actualizaciones recientemente.

Se ubicaron las avenidas principales y zonas de comercio como parques, pies de carretera, plazas, hospitales, escuelas, etc. En estos sitios se tomaron las georeferencias y fotografías de algunas fachadas de las cafeterías.

3.1 Georeferenciación de fuentes generadoras de residuos provenientes de cafeterías.

Para llevar a cabo la georeferenciación se tomaron las coordenadas en cada una de las cafeterías que se localizaba, una vez identificadas todas las cafeterías se procedió a la descarga de las coordenadas con ayuda del programa Google Earth 2013, para así obtener las coordenadas que se muestran en la Tabla 3.1 y la imagen satelital obtenida se muestra en la Figura 3.1.

Tabla 3.1. Coordenadas y direcciones de las cafeterías identificadas en la ciudad de Puebla.

No.	Dirección	Coordenadas	
		N	W
1	Av. Arroyo de Xonaca No. 1006, Local 10, Paseo San Francisco, Col. Centro.	19°02'32.7"	098° 11' 29.3"
2	Av. Juan de Palafox y Mendoza No. 222, Col. Centro Histórico.	19° 02' 34.7"	098° 11' 45.5"
3	4 Ote. No. 202, Col. Centro Histórico.	19° 02' 42.3"	098° 11' 45.8"
4	16 de Septiembre No. 107, Local A, Los Portales, Col. Centro Histórico.	19° 02' 30.5"	098° 11' 55.5"
5	Av. Reforma No. 121, Col. Centro Histórico.	19° 02' 41.0"	098° 11' 50.0"
6	Portal Hidalgo, Local 12-B, Col. Centro.	19° 02' 30.4"	098° 11' 54.0"
7	Av. Juan de Palafox y Mendoza, Local D-1, Portal Morelos, Col. Centro Histórico.	19° 02' 37.3"	098° 11' 50.3"

8	Calle 5 Ote. No. 202, Col. Centro Histórico.	19° 02' 33.2"	098° 11' 51.3"
9	Av. 16 de Septiembre No. 303, Col. Centro Histórico.	19° 02' 36.7"	098° 11' 57.0"
10	Av. 16 de Septiembre No. 16657, Col. El Carmen.	19° 02' 10.3"	098° 12' 07.5"
11	Calle 11 sur entre 23 y 25 Pte., Plaza Agua Azul, Col. Centro Histórico.	19° 02' 23.3"	098° 12' 40.0"
12	Calle 3 Pte. Y 13 sur No.301, Paseo Bravo.	19° 02' 52.4"	098° 12' 20.0"
13	Av. Juárez entre la 19 y la 21 sur No. 1907 -A, Col. La Paz.	19° 02' 57.6"	098° 12' 50.4"
14	Av. Juárez No. 2902, Col. La Paz.	19° 03' 10.9"	098° 13' 14.9"
15	Av. Juárez No. 2915, Plaza Premium, Col. La Paz.	19° 03' 11.5"	098° 13' 17.4"
16	Calle 31 Ote. No. 616, Plaza Ultra, Col. Anzures.	19° 01' 40.2"	098° 12' 01.2"
17	Bld. Héroes 5 de mayo No.3125, Local 15, Centro Comercial Plaza Dorada, Col. Anzures.	19° 01' 45.3"	098° 12' 06.8"
18	Bld. Héroes 5 de mayo No. 3125 Altos, Centro Comercial Plaza Dorada, Col. Anzures.	19° 01' 45.3"	098° 12' 06.8"
19	Av. Manuel Espinoza Iglesias esquina con Calle 16 Sur, Col. Analco.	19° 01' 30.4"	098° 11' 43.7"
20	31 Pte. No.11, Col. Chula Vista.	19° 01' 50.6"	098° 12' 22.9"
21	Priv. 16 de septiembre esquina con Calle 43 Pte. #116- A, Col. Huexotitla.	19° 01' 42.3"	098° 12' 33.2"
22	Bld. Valsequillo No.115, Local 3-A, Centro Comercial Plaza Crystal.	19° 01' 21.5"	098° 12' 40.2"
23	Av. 16 de Septiembre No.5714-C, Col. Residencial Boulevares.	19° 01' 14.2"	098° 12' 43.1"
24	Calle 39 Pte. No. 2907, Plaza Express, Col. Granjas Atoyac.	19° 02' 25.0"	098° 13' 42.5"
25	Calle 39 Pte. N. 3515, Local 53, Centro Comercial Las Animas, Col. Las Animas.	19° 02' 37.6"	098° 14' 06.6"
26	Bld. Atlixco No. 3136, Local 6 y 7, Centro Comercial Las Animas, Col. Las Animas.	19° 02' 30.4"	098° 14' 00.2"
27	Bld. del Niño Poblano No. 2510, Centro Comercial Angelópolis, Col. Concepción La Cruz.	19° 01' 53.9"	098° 13' 49.2"
28	Av. Atlixco No. 931, Local 13-B, Centro Comercial Parque Milenium, Col. Concepción La Cruz.	19°02'04.3"	098° 13' 41.3"
29	Bld. Atlixco No.1520, Col. La Paz.	19° 03' 05.2"	098° 12' 45.3"
30	Bld. Norte y Calle 15 de Mayo, Plaza San Pedro, Col. Las Hadas.	19° 03' 55.7"	098° 12' 45.3"

31	Blvd. Norte No. 2210, Local 76, Col. Las Hadas.	19° 03' 23.3"	098° 11' 35.1"
32	Blvd. Héroes del 5 de mayo No. 3001-C, Col. Santa María.	19° 00' 36.4"	098° 11' 14.9"
33	Calle 18 sur No. 5301, Jardines de San Manuel.	19° 00' 57.6"	098° 11' 56.5"
34	Av. San Claudio sin número, Interior CU, Col. Jardines de San Manuel.	19° 00' 00.3"	098° 12' 07.9"
35	Av. Circunvalación No.1002, Local 1, Plaza Universidad, Col. Jardines de San Manuel.	19° 00' 32.0"	098° 12' 26.3"
36	Av. Reforma No.3117, Local 1 y 2, Col. Amor.	19° 03' 27.0"	098° 13' 20.4"
37	Huachinango No.57, Col. La Paz.	19° 03' 29.3"	098° 13' 50.4"
38	Calle 13 sur con Calle 25 Pte No. 1117-3, Col. Los Volcanes.	19° 03' 07.6"	098° 13' 26.6"
39	Calle Venus No. 4801, Local A, Col. Santa María La Calera.	19° 01' 21.5"	098° 12' 48.4"
40	Av. Ignacio Zaragoza No.3, Col. Zaragoza.	19° 01' 58.9"	098° 10' 77.0"
41	Av. Montevideo No. 1404, Col. El Porvenir.	19° 03' 06.6"	098° 00' 50.0"
42	Av. Xonacatepec No. 1865, Local 1, Col. Amalucan.	19° 03' 06.5"	098° 00' 50.0"
43	Calle 4 norte No. 5608, Col. Santa María.	19° 04' 15.0"	098° 11' 33.4"
44	Calle 13 Pte. No. 2101-C, Col. Santiago.	19° 02' 52.1"	098° 12' 50.2"
45	Calzada Ignacio Zaragoza No. 4011, Local 1, Plaza Tolín, Col. San Pedro.	19° 04' 18.6"	098° 10' 24.0"
46	Blvd. Norte No. 2606, Local L1, Plaza Blvd. Norte, Col. Las hadas.	19° 04' 01.1"	098° 12' 41.5"
47	Carretera federal Puebla-Atlixcayotl No. 3507-1, Plaza Magestic, Col. Real de Zavaleta.	19° 02' 13.3"	098° 14' 51.7"
48	Diagonal defensores de la república No. 64, Local 1, Corredor industrial la cienega, Col. Reforma.	19° 03' 51.0"	098° 10' 30.8"
49	Av. Periférico Ecológico No. 2222, Col. Barrio de San Juan	18° 58' 20.4"	098° 12' 13.5"
50	Blvd. Valsequillo No.7931, Local 1, Col. Arboledas de San Ignacio.	18° 59' 22.9"	098° 12' 03.3"
51	Av. 11 sur con calle 105 poniente, Col. San José los pinos.	18° 59' 53.4"	098° 14' 25.3"
52	Prolongación de la 11 sur No. 8313, Local 13, Col. Ex hacienda de Mayorazgo.	19° 04' 24.6"	098° 15' 22.9"
53	Av. 11 sur con calle 105 poniente, Col. San José los pinos	19° 00' 98.2"	098° 14' 18.2"
54	Av. 11 sur No. 11904, Local F4, Centro comercial Centro sur, Col. Agua santa.	18° 59' 13.0"	098° 14' 49.2"

55	Calle 9 sur No. 11302, Plaza Perisur, Col. Agua santa.	18° 59´ 14.1"	098° 14´ 20.5"
56	Calle 5 norte No. 2, Local 5, Plaza Diamante Express, Col. San Francisco Teotimehuacan.	18° 58´ 10.8"	098° 11´ 10.5"
57	Calle 11 oriente, No. 1815, Col. Azcarate.	19° 02´ 04.1"	098° 11´ 18.8"

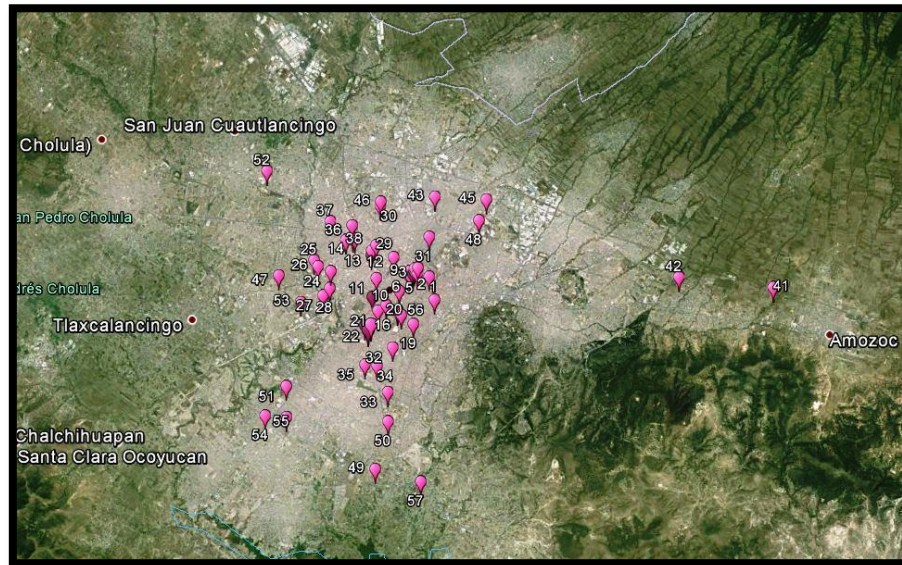


Figura 3.1 Imagen satelital de las cafeterías en la ciudad de Puebla.

3.2 Resultados de la aplicación del formato de encuesta

Únicamente 43 de las 62 cafeterías accedieron a responder el formato de encuesta que se muestra en la Figura 2.2 (CAPÍTULO 2). La desconfianza acompañada de la falta de tiempo, amabilidad del personal e interés de estos, fueron un gran impedimento para responder a la encuesta. Algunas de las justificaciones fueron: no tengo autorización para dar ese tipo de información, ese tipo de datos únicamente los puede proporcionar la matriz, desconozco las cantidades, no se encuentra el dueño o supervisor y es el único que puede proporcionar esa información, en este momento estoy atendiendo a muchas personas ¿puedes regresar otro día?, les resultaba aburrido, entre otras.

3.2.1 Separación de la basura

A continuación se darán a conocer las respuestas a las preguntas 1 y 3, ambas relacionadas con la separación de sus residuos generados.

Pregunta 1. ¿Separa el residuo de café del resto de la basura? Si la respuesta es sí, ¿Qué hace con este residuo? (Figuras 3.2 y 3.3)

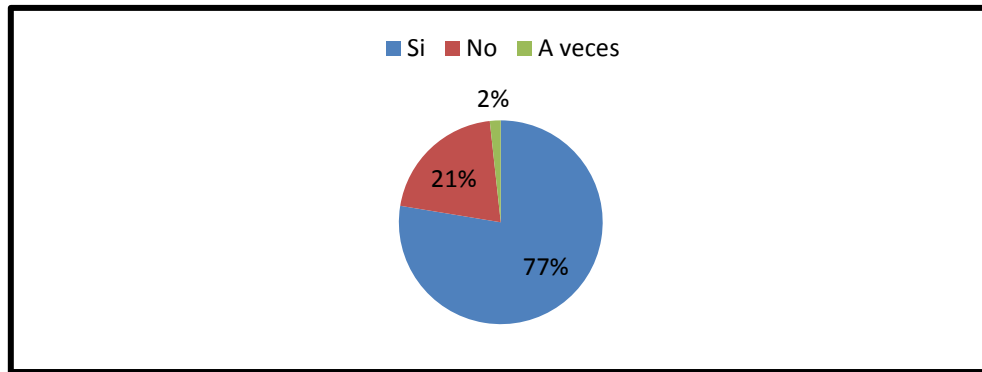


Figura 3.2. Porcentajes de las cafeterías que llevan a cabo la separación de café.

La mayor parte del personal de las cafeterías respondió que sí llevaba a cabo la separación del bagazo de café del resto de la basura, esto se debe a que sus mostradores cuentan con un sitio de depósito ubicado junto a la cafetera que por disposición de la franquicia este debería ser únicamente para depositar el bagazo del café después de la preparación de la bebida, lo cual hace posible que la separación de este se lleve a cabo con mayor frecuencia. Es importante mencionar que el hecho de que se cuente con este depósito el bagazo de café no está exento de ir acompañado con otro tipo de residuos como servilletas, bolsas de té y envoltorios para postres.

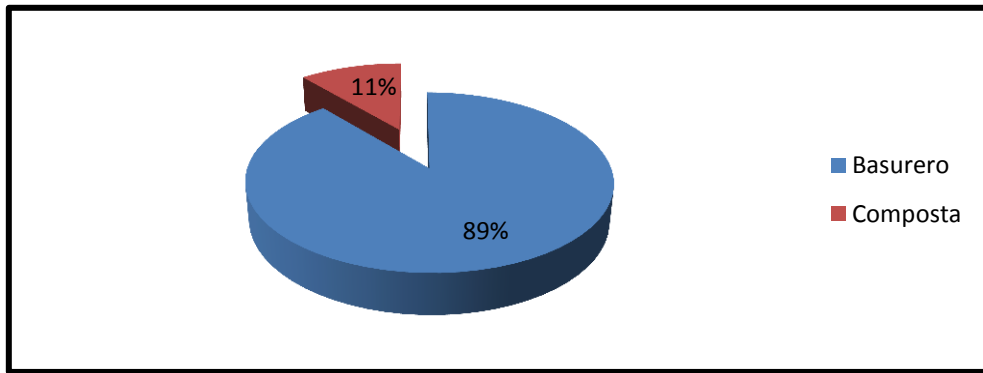


Figura 3.3. Disposición final del bagazo de café.

A pesar de que se lleva a cabo la separación del café del resto de la basura, éste se deposita de igual manera en los basureros en una bolsa independiente. Únicamente el 11% de las cafeterías que llevan a cabo la separación le dan un uso alternativo que es la composta.

Pregunta 3. ¿Separa los envases Tetra Pak del resto de la basura? Si la respuesta es sí, ¿Qué hace con este residuo? (Figuras 3.4 y 3.5)

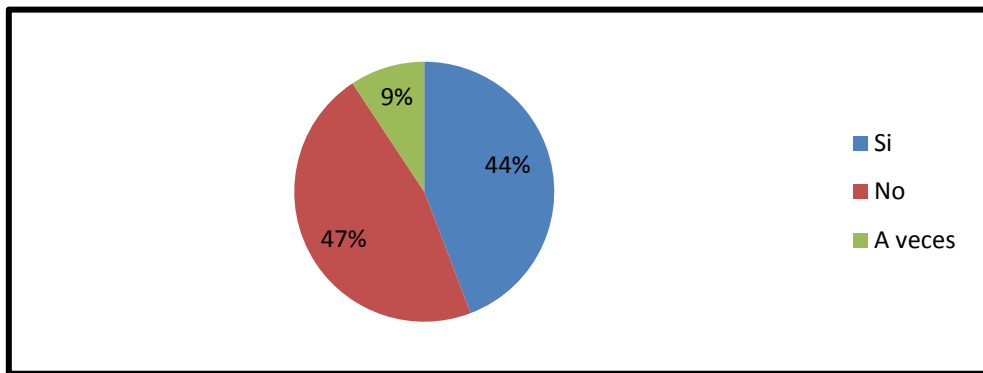


Figura 3.4. Porcentajes de las cafeterías que llevan a cabo la separación de envases Tetra Pak.

En el caso de los envases Tetra Pak, el hábito de separar estos del resto de la basura aún no logra tenerlo la mayor parte de las cafeterías, esto podría deberse a que estas no tienen un lugar que la matriz haya establecido para depositarlos como en el caso del bagazo de café. Las cafeterías que contestaron “a veces” a

esta pregunta, dieron argumentos como: hacer la separación depende mucho del personal que laborare ya que muchos empleados no tienen la cultura del reciclaje, el tiempo que tuvieran disponible esto debido a que a ciertas horas del día que mayor movimiento en la cafeterías y la falta de espacio para colocar algún cesto o bote donde depositar los envases.

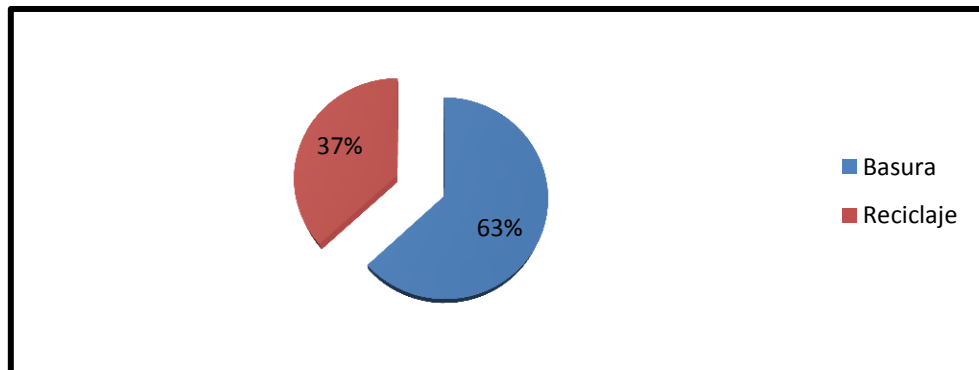


Figura 3.5. Disposición final de envases Tetra Pak.

El caso de la disposición final que se les da a los envases Tetra Pak es muy similar que la del bagazo de café, ya que el 63% de las cafeterías que separan dichos envases los depositan en la basura y el 37% los ocupa para reciclar. Este reciclaje no lo llevan a cabo las mismas personas que laboran en las cafeterías sino que, en algunos casos pasa una persona externa, una dependencia de gobierno o bien una empresa privada contratada por la cafeterías para llevarse este tipo de RSU.

3.2.2 Cantidades de RSU producidas por las cafeterías

En esta sección se presentan las respuestas que dió el gerente de las cafeterías a las preguntas 2 y 4, correspondientes a las cantidades de residuos como bagazo de café y envases Tetra Pak que generan diariamente cada una de las sucursales (Figuras 3.6 y 3.7).

Pregunta 2. En promedio ¿Cuánto café utiliza al día?

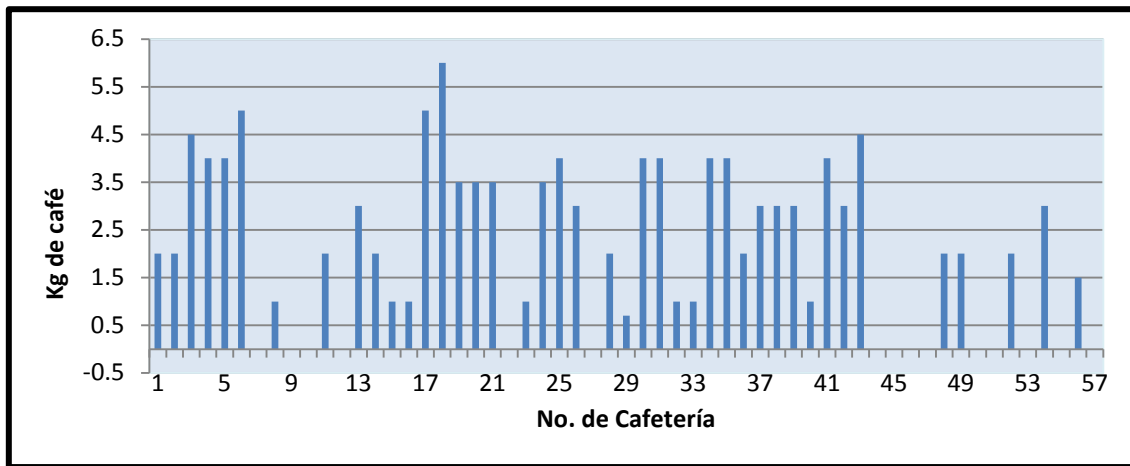


Figura 3.6 Cantidad de café utilizada diariamente por cada una de las cafeterías.

La cantidad de café utilizada diariamente por cada una de las cafeterías es muy variada esto puede deberse a la zona en la que esta se encuentre establecida. La cantidad de café utilizada diariamente se considera que es la misma que es desechada ya que el pasar por la cafetera prácticamente no hay pérdida de peso. Para realizar el cálculo de las cantidades de RSU que se generan se obtuvo la media aritmética de los kilogramos de café que utilizan cada una de las cafeterías que accedieron a contestar la encuesta, obteniendo una media de 2.77Kg de café generados diariamente. En la Tabla 3.2 se presentan las cantidades promedios de residuos generados en Kg, Ton y m³ de manera diaria, semanal y anualmente por las cafeterías.

Para el cálculo del volumen se utilizó un recipiente con dimensiones conocidas, el cual se llenó con bagazo hasta su máxima capacidad y con esto se calculó el volumen que ocupa cierta masa de bagazo café y en base a esto se hicieron las relaciones masa-volumen.

Tabla 3.2 Kilogramos y m³ de bagazo café generados por las cafeterías.

Kg/día	Kg/semana	Kg/año	Ton/año	m ³ /día	m ³ /semana	m ³ /año
1 Cafetería						
2.77	19.40	1011.81	1.01	0.01	0.07	3.56
43 Cafeterías						
119.20	834.40	43508.00	43.51	0.42	2.94	153.15
64 Cafeterías						
174.64	1222.49	63744.28	63.74	0.61	4.30	224.38

Pregunta 4. En promedio ¿Cuánto envases Tetra Pak utiliza al día?

Las cantidades de envases Tetra Pak utilizados diariamente en algunas cafeterías es proporcional a la cantidad utilizada de café, se notó que en algunas cafeterías utilizan menor cantidad de leche esto puede deberse a que los empleados alteran la concentración de la bebida agregando agua o hielo. Para el cálculo de la cantidad de envases desechados en Kg se pesó un envase de leche vacío de la misma marca que utiliza la franquicia, se midió las para conocer sus dimensiones y el volumen que ocupa este al ser desechado en su forma original ya que muchos no lo desechan en forma compacta (Figura 3.7)

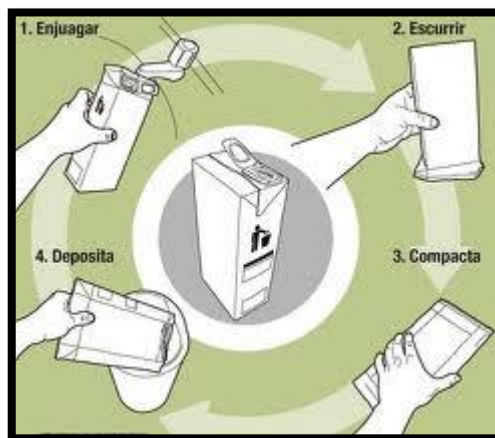


Figura 3.7. Envases Tetra Pak en su forma compacta.

En la Figura 3.8 se puede observar la cantidad de envases que desechan cada una de las cafeterías.

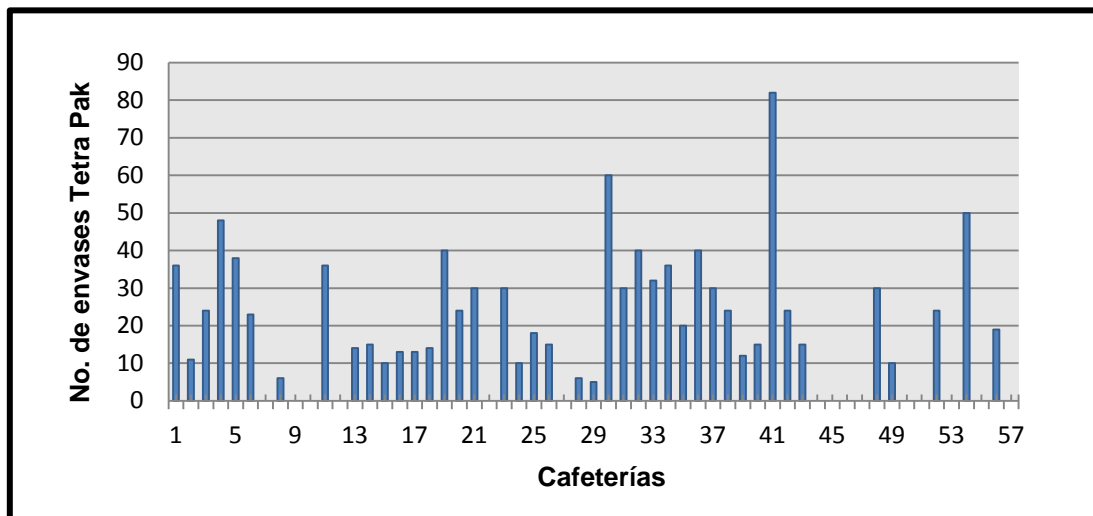


Figura 3.8 Cantidades de envases Tetra Pak utilizados diariamente por cada una de las cafeterías.

Los resultados de la media aritmética de la cantidad de envases que desechan las cafeterías, muestran como resultado que una cafetería consume en promedio 26 envases y cada uno de ellos pesa aproximadamente 32g y ocupa un volumen de m^3 . En la Tabla 3.3 se muestran las cantidades en Kg, Ton y m^3 de envases Tetra Pak desechados por diferentes cafeterías de manera diaria, semanal y anualmente.

Tabla 3.3. Kilogramos y m^3 envases Tetra Pak generados.

kg/día	kg/semana	kg/año	ton/año	m3/día	m3/semana	m3/año
1 Cafetería						
8.32	58.24	3036.80	3.04	0.03	0.21	11.10
43 Cafeterías						
357.76	2504.32	130582.40	130.58	1.31	9.16	477.44
64 Cafeterías						
532.48	3727.36	194355.20	194.36	1.95	13.63	710.61

3.2.3 Motivos por los cuales no se llevan a cabo la separación de los RSU.

A las cafeterías que dieron como respuesta “a veces” o “no” a las preguntas 1 y 3, se les pregunto cuál era el motivo por el cual no llevaban a cabo la separación de sus residuos, esto para conocer las razones por las cuales no hacerlo y de esta forma buscar en el futuro una manera que le facilite al personal llevar a cabo la separación de sus RSU y así contribuir a la disminución de la contaminación del medio ambiente. En la Figura 3.9 se muestran los argumentos que dió el personal de cada cafetería para no llevar a cabo la separación, estos no resultaron tan variados ya que las condiciones de trabajo y las características de las cafeterías son muy similares.

Pregunta 5. ¿Qué motivos le impiden llevar a cabo la separación de sus residuos?

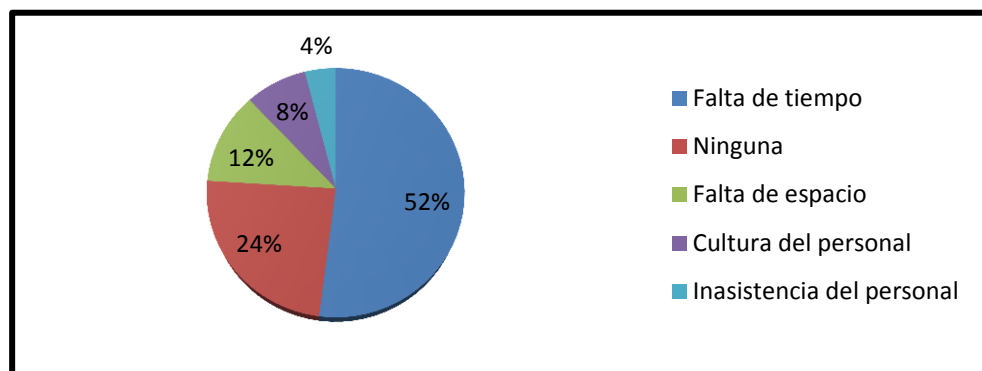


Figura 3.9 Motivos que impiden la separación de RSU.

La falta de tiempo es el mayor problema para no llevar a cabo la separación ya que de las 5pm hasta el cierre atienden a la mayor parte de la clientela y los empleados con el fin de atender rápidamente no separan los residuos, el personal que respondió que no tenía ningún motivo puede deberse a que no creen ocasionar ningún daño al tirar indiscriminadamente la basura, no tiene interés o podría estar relacionado con la falta de disposición de todo el personal que labora. El espacio también es importante ya que muchas cafeterías cuentan con instalaciones muy pequeñas y la matriz no les permite mantener residuos por más

de un día, lo cual provoca que si no cuenta con una empresa privada o de gobierno que se encargue de la recolección de RSU que pueden ser reciclados estos deben desecharse a la basura pública, generando grandes volúmenes de RSU que son llevados a los rellenos sanitarios los cuales ya se encuentran a su máxima capacidad.

3.3 Rendimiento del material compuesto

El material obtenido se pesó después de haberse secado por 24 horas y se observó que hubo mínimas variaciones en el peso del material, las cuales se pueden atribuir al que despegarse de la caja petri quedara residuos en ellas.

A continuación se presentan las composiciones de los materiales compuestos elaborados.

MUESTRA	1(1)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1813
RENDIMIENTO	78.2318

MUESTRA	1(2)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1836
RENDIMIENTO	78.3841

MUESTRA	1(3)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1991
RENDIMIENTO	79.4106

MUESTRA	2(1)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.2867
RENDIMIENTO	85.2119

MUESTRA	2(2)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.3156
RENDIMIENTO	87.1258

MUESTRA	2(3)
Peso (g)	
0.6	Café
0.6	Tetra pak
0.15	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.30115
RENDIMIENTO	86.1689

MUESTRA	3(1)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1147
RENDIMIENTO	73.8212

MUESTRA	3(2)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1252
RENDIMIENTO	74.5166

MUESTRA	3(3)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Glicerol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.0713
RENDIMIENTO	70.9470

MUESTRA	4(1)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.1413
RENDIMIENTO	75.5828

MUESTRA	4(2)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.2360
RENDIMIENTO	81.8543

MUESTRA	4(3)
Peso (g)	
0.8	Café
0.25	Tetra pak
0.3	Almidón
0.16	Etilenglicol
Peso inicial	1.5100
Peso final	1.2588
RENDIMIENTO	83.3642

El material compuesto que presento mejor textura, consistencia, apariencia y flexibilidad se obtuvo con etilenglicol como plastificante además de tener un rendimiento de 83.2 %. Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los materiales designados con el número 4, ya que son las que presentaron mejores cualidades al tacto.

3.4 Espectroscopía de Infrarrojo (FT-IR)

En la Figura 3.10 se presentan los espectros de absorción FT-IR de los materiales de estudio. En los espectros se observa una banda de absorción en 3334 cm^{-1} que corresponde al estiramiento del enlace O-H característico de la celulosa y hemicelulosa [29]. Las bandas que aparecen en 2922 cm^{-1} y 1860 cm^{-1} son asignadas a las vibraciones del enlace C-H correspondiente al anillo alifático de la lignina [30]. Las bandas presentes en 1413 cm^{-1} y 1240 cm^{-1} son representativas del enlace -C-HO y C-C de la estructura de la celulosa respectivamente [31]. La banda de absorción en 1069 cm^{-1} es propia del enlace C-O. Se puede observar que el espectro correspondiente al bagazo de café con tratamiento presenta una banda con mayor definición en el pico de 3334 cm^{-1} debido a disminución de la humedad en las muestras. Se observan bandas de absorción en 1640 cm^{-1} correspondientes al agua ocluida [32]. Es importante resaltar que desde el café sin usar hasta el café procesado la composición respecto a la celulosa se mantiene.

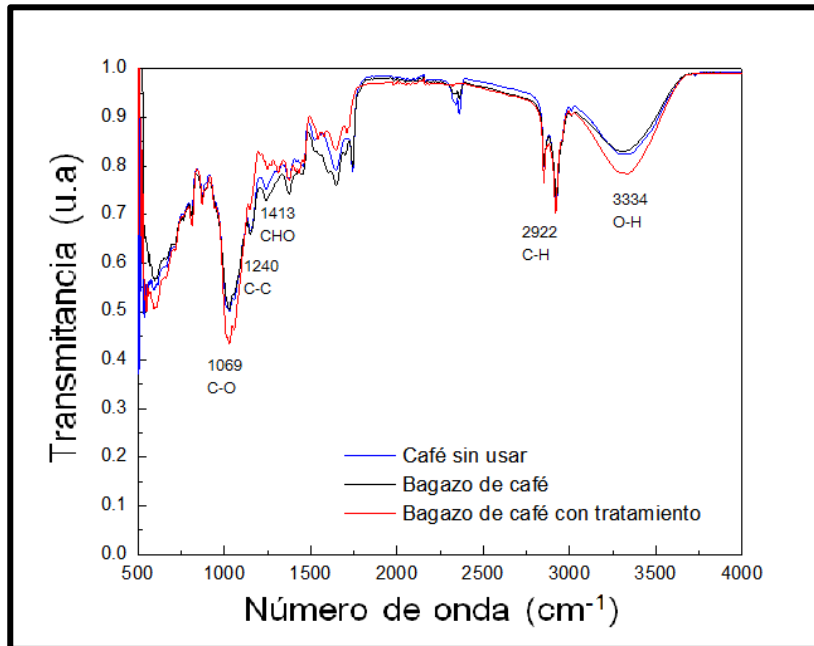


Figura 3.10 Espectros en infrarrojo del café y bagazo de café con y sin tratamiento.

La Figura 3.11 muestra el espectro infrarrojo del material compuesto. Se pueden observar las bandas anteriormente descritas correspondientes a la celulosa y el almidón. No se identifica ninguna nueva señal por lo que se puede afirmar que durante el proceso de obtención del material compuesto no se forman productos secundarios.

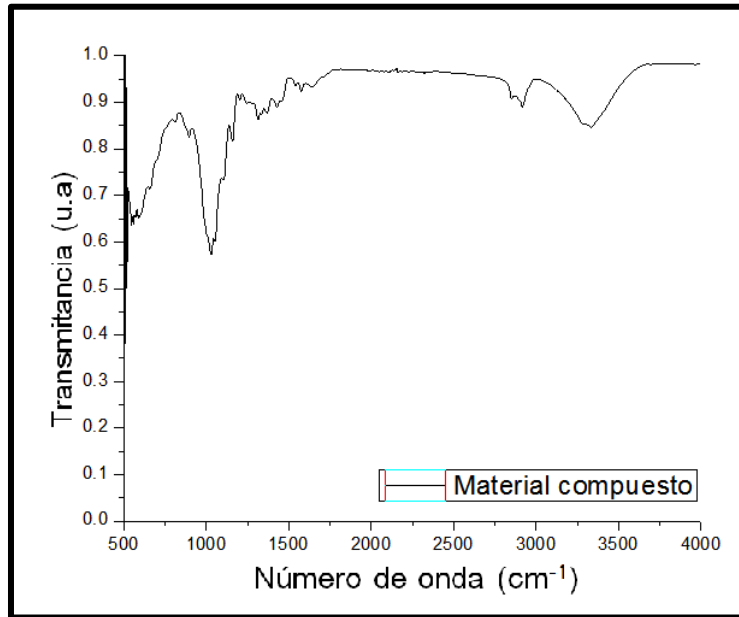


Figura 3.11 Espectro infrarrojo del material compuesto.

3.5 Microscopía Óptica (MO)

En la Figura 3.12 se muestran imágenes del bagazo café con tratamiento alcalino. En la imagen a) se observa la presencia de aglomerado y en la b) se observan superficies porosas e irregulares.

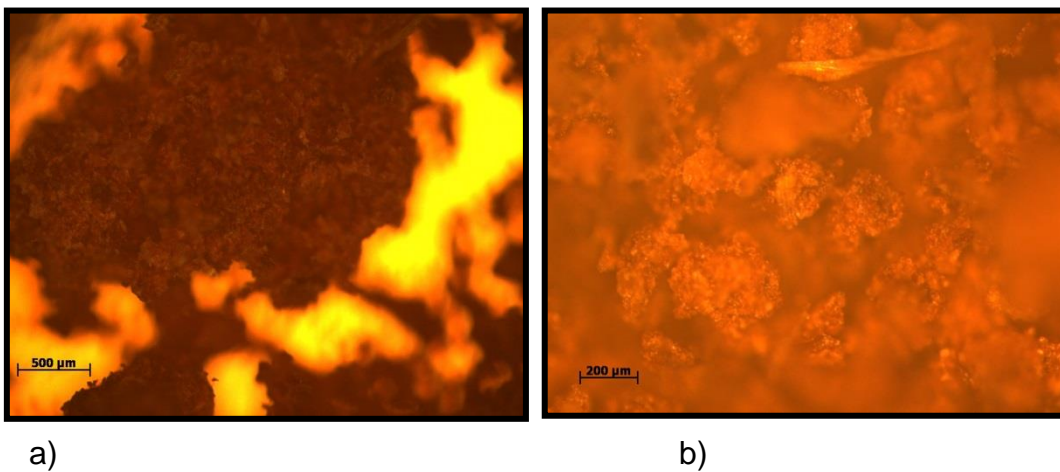
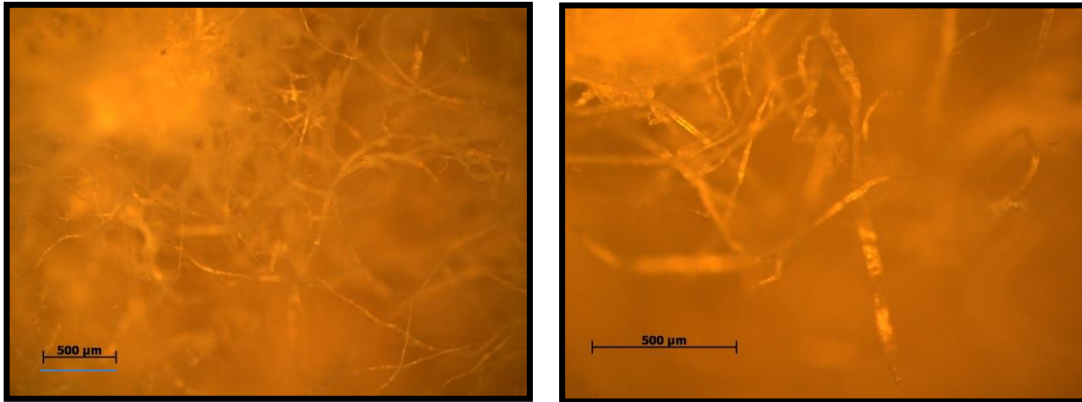


Figura 3.12. Fragmentos del bagazo de café con tratamiento químico.

En la Figura 3.13 se observa fibrillas de celulosa recuperada con tamaño promedio de 3522 μm .

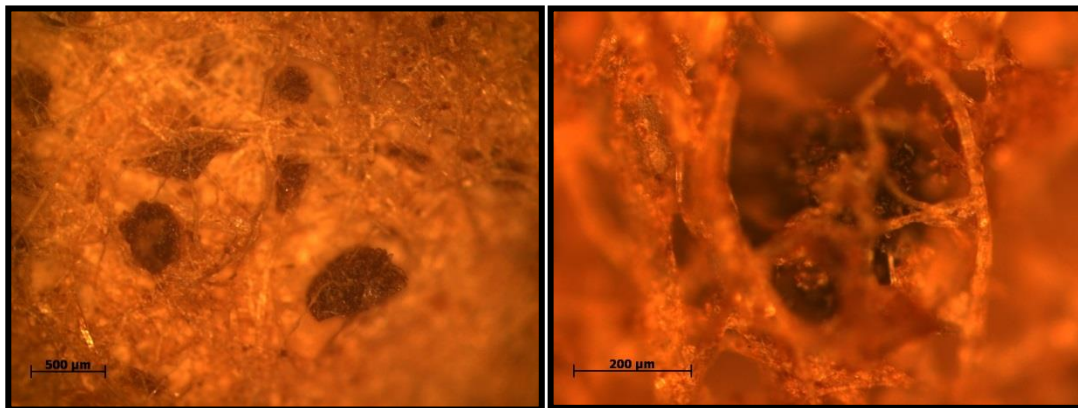


a)

b)

Figura 3.13. Fibrillas de celulosa recuperada de envases Tetra Pak.

En la Figura 3.14, se muestran las imágenes del material compuesto, en la imagen a) se puede observar la incorporación del material obtenido del bagazo de café en la fibra de celulosa recuperada. En la b) se aprecia que las fibras se entrelazan en torno al material del café.



a)

b)

Figura 3.14. Imágenes del material compuesto con diferentes aumentos.

Mediante esta técnica también fue posible obtener el tamaño de diferentes partículas del material del café tratado, el tamaño promedio oscila entre 400 y 500 micrómetros. Estos resultados se muestran en la Figura 3.15.

Tamaño (µm)	Frecuencia
200	0
250	8
300	12
350	9
400	18
450	16
500	16
550	7
600	8
650	3
700	2
750	1

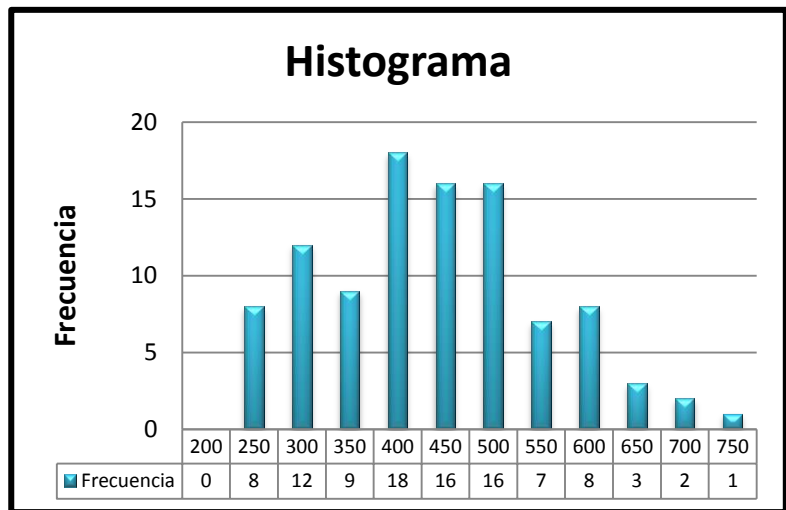


Figura 3.15 Histograma de tamaño de partículas en el material compuesto.

3.6 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En la Figura 3.16 se muestran largas y homogéneas fibrillas de celulosa sin una orientación definida. Las partículas presentes en la superficie de la fibrilla corresponden a pequeñas cantidades de lignina y hemicelulosa, tal y como se identificó en el análisis por FT-IR. También se observa que las fibrillas tienen diferente diámetro.

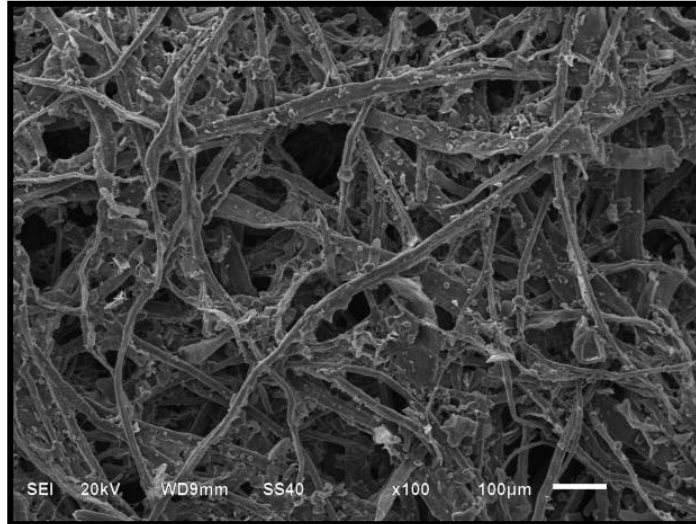


Figura 3.16 Fibrillas de celulosa.

La Figura 3.17 corresponde a la micrografía del material compuesto, se observa la superficie del material compuesto y su distribución homogénea del bagazo de café en las fibrillas de celulosa. Se muestra claramente como el material de café se encuentra embebido en la matriz de la celulosa. En sitios muy localizados puede apreciarse el “amarre” entre ambos materiales, favorecidos por el plastificante. Puede notarse la porosidad que presenta el bagazo de café.

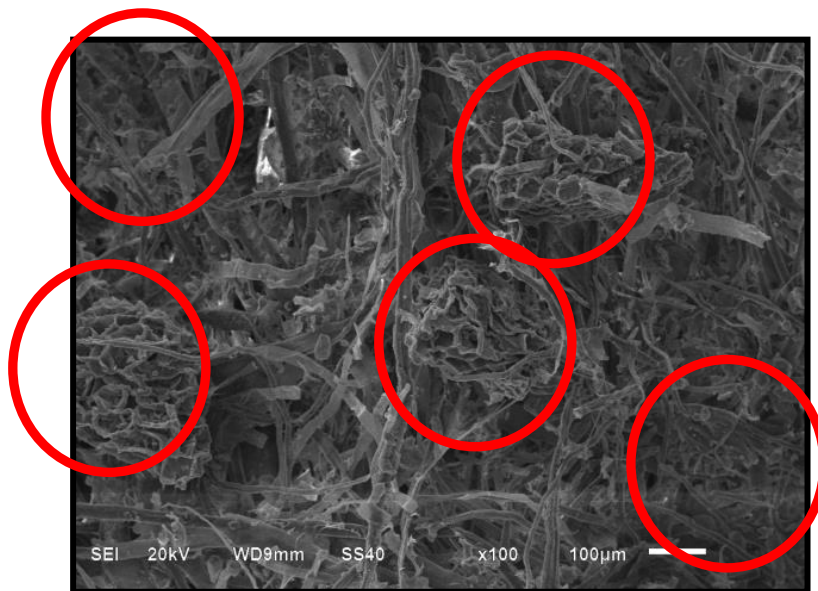


Figura 3.17 Fibrillas de celulosa y bagazo de café con tratamiento.

3.7 Difracción de rayos X (DRX)

El la figura 3.18 se observa el difractograma del material obtenido del bagazo de café con tratamiento. El difractograma negro corresponde al patrón de dicho material, las reflexiones en color rojo es celulosa alfa de formula química $C_6H_{10}O_5$ y las reflexiones de color azul es celulosa beta con fórmula química $C_6H_{10}O_5$, las cuales concuerdan con el patrón del material obtenido del bagazo de café. Se observa que las señales más intensas de color coinciden con las reflexiones del material del café tratado. Se comprueba la presencia de celulosa cristalina correspondientes a las fases alfa y beta.

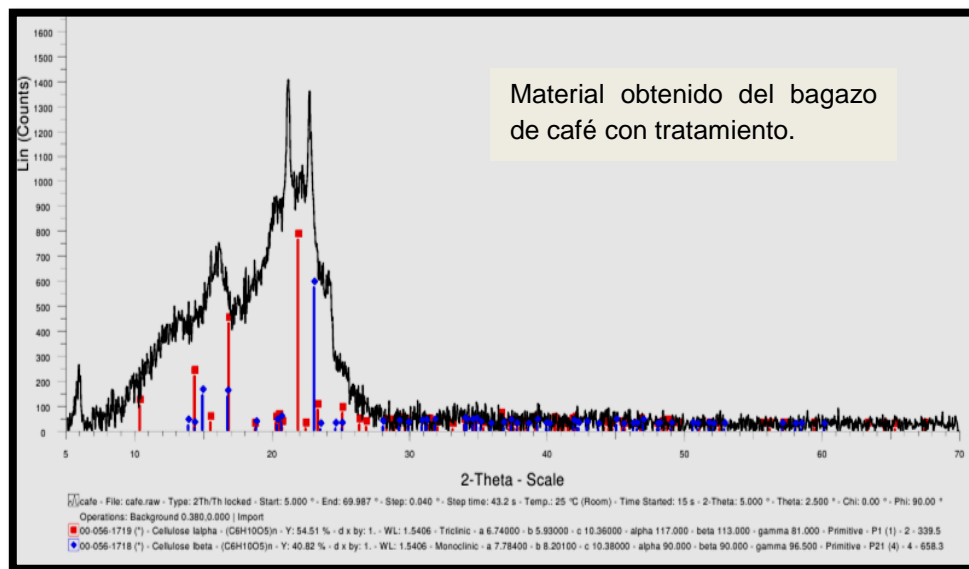


Figura 3.18 Difractograma del material obtenido del bagazo de café.

La Figura 3.19 se muestra el difractograma del material compuesto, las señales de difracción en los ángulos 23° (plano 0, 0,2) y 20° (plano 1, 0,1) corresponden a la fase de celulosa beta, y el pico a 15° es debido a la zona amorfa del material donde se aprecia un aumento en la cristalinidad de corto alcance de la fase de celulosa presente. No se identificaron reflexiones diferentes al material identificado

por lo que se confirma que no hay formación de nuevas especies, por el contrario la estructura se conserva. [33]

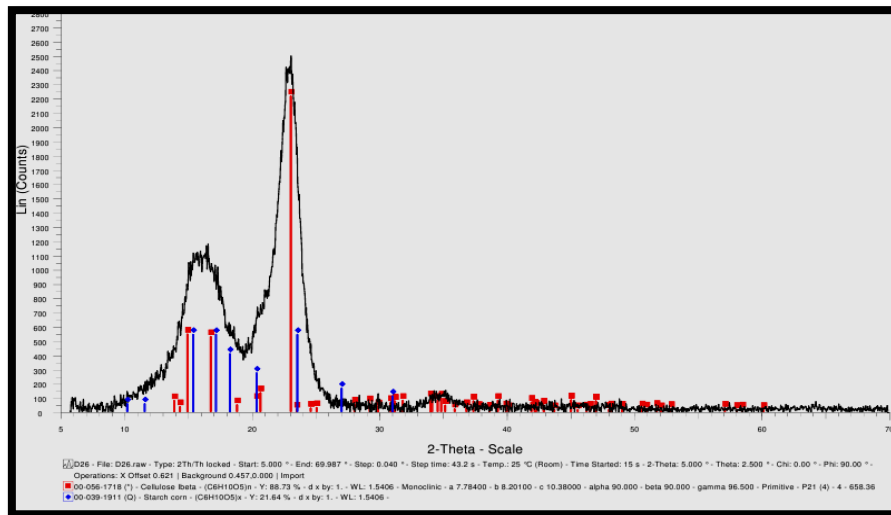


Figura 3.19 Difractograma del material compuesto.

3.8 Análisis Termogravimétrico (TGA)

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina poseen diferentes temperaturas de descomposición debido a la estructura química de cada una de ellas. Los termogramas (Figura 3.21) muestran que antes de los 100°C existe una pérdida de humedad. En 245°C se da la primera curva de degradación debido a la descomposición de la celulosa que comienza a los 240°C. Y el de la lignina a 280°C; el proceso de degradación se mantienen constante hasta los 325°C donde se pierde el 75% del peso total. La degradación continúa debido a la presencia de pequeñas cantidades de lignina

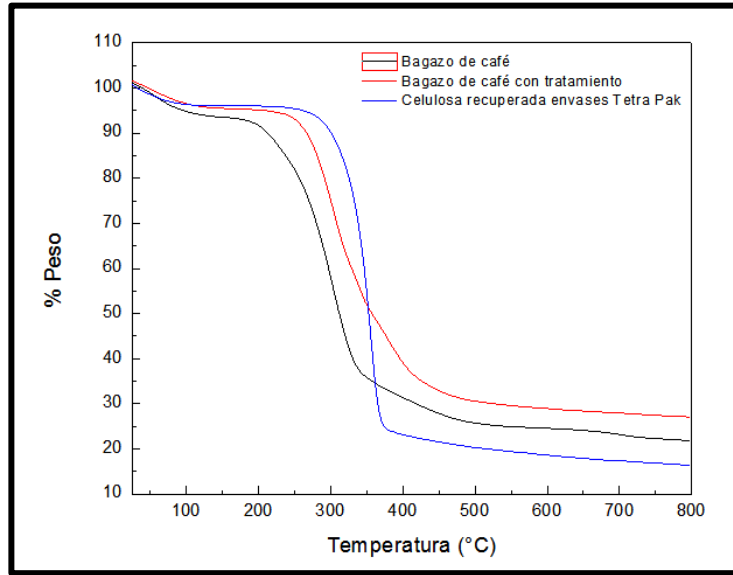


Figura 3.21 Termogramas de bagazo de café y celulosa

El termograma del material compuesto (Figura 3.22) muestra pérdidas de masa en rangos muy similares al de los materiales que lo componen. De 25°C a 100°C se observa una pérdida de peso debido a la humedad presente [21]. Después presenta la mayor pérdida de masa entre 215°C hasta los 350°C. Rango en el cual se presenta la descomposición de celulosa, lignina y hemicelulosa, al igual que el plastificante [34, 35]. La pérdida de masa de este material es de aproximadamente el 80%

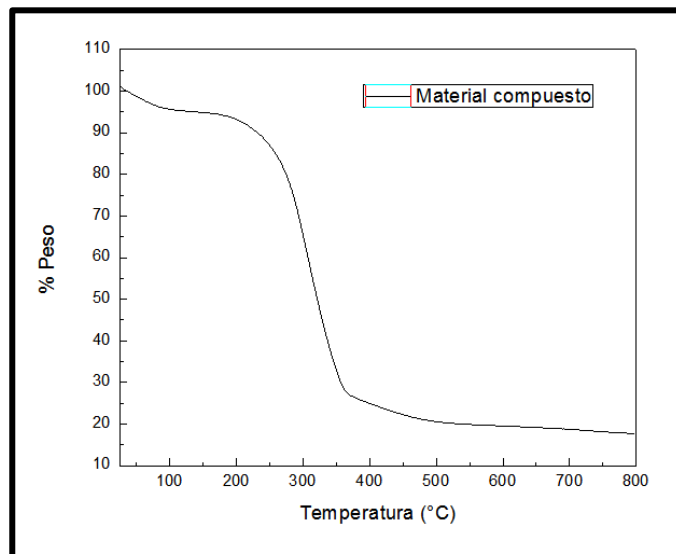


Figura 3.22 Termogramas de bagazo de café y celulosa

Conclusiones

Las 57 cafeterías identificadas generan 173.10 Ton/año de envases Tetra Pak y 57.67 Ton/año de bagazo de café.

Se identificaron en el laboratorio mediante prueba y error las condiciones ideales para la elaboración del material compuesto.

Las condiciones ideales para la formación del material compuesto son en composición: bagazo de café: 0.8gr; celulosa de envases Tetra Pak: 0.25gr; almidón: 0.3gr y plastificante etilenglicol 0.16 gr.

Las mejores condiciones para la elaboración del material compuesto fue la de mantener en agitación constante por 30 minutos a 70°C y después vaciar el material en cajas Petri y dejar secar 24 horas a 60°C.

Se obtuvo un material compuesto a base de celulosa recuperada de envases Tetra Pak y bagazo de café.

El material que presento mejor textura, apariencia, flexibilidad, consistencia fue el material elaborado con etilenglicol y con tuvo un rendimiento de 83.2%.

Por medio del análisis FT-IR se comprobó la conservación de la composición química en el material compuesto respecto de los materiales de partida.

El análisis mediante DRX permitió identificar la presencia de una sola fase asignada a la celulosa beta.

De acuerdo a la caracterización por MO y SEM se observó que las partículas de bagazo de café se encuentran embebidas en la celulosa.

El estudio de TGA permitió identificar que la temperatura de degradación del material compuesto es de 350°C.

Bibliografía

- [1] Reyes, E. (2008) "Cafeína: un psicoestimulante light, benefactor de adicciones mayores". Recuperado en <http://www.turevista.uat.edu.mx>
- [2] Asociación mexicana de cafés y cafeterías de especialidad. Recuperado en marzo del 2013 en <http://www.amcce.org.mx>
- [3] Consultado en <http://www.italiancoffee.com>
- [4] Xavier, E. (2012). *Residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.
- [5] Consultado en www.semarnat.com.mx
- [6] Gil, A., Ruiz, M. D. (2010). *Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Tomo II. (2da Edición)* Madrid, España: Ed. Médica Panamericana.
- [7] Gobierno del estado de Veracruz. *Monografía del café*. Recuperado el 20 de octubre de 2013 <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20CAFE2010.PDF>
- [8] Gacén, J., Maillo, J. (1987). Algodón y celulosa estructura y propiedades. Barcelona, España; Terrassa.
- [9] Cataño Rueda Elkin. Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales. Universidad Nacional de Colombia. Pág. 14. Colombia
- [10] Solomons, G. (1982) *Química orgánica*. (2da Edición) México: Ed. Limusa.
- [11] Cuervo L., Folch J. y Quiroz R. (2009). *Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la producción de Etanol*. Biotecnología. (pp. 3).
- [12] Siró, I. y Plackett, D. (2010). *Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review*. *Cellulose*. Science + business Media. (pp. 2). Springer.
- [13] Consultado en www.tetrapack.com.mx
- [14] Turrado S., Dávalos G., Saucedo C., Delgado F., Vargas R., J. (2008). Recuperación de fibra celulósica a partir de envases para líquidos. Universidad de Guadalajara. Pág 6. México.

- [15] Kalpakjian, S. y Schmid, S. R (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología (4ta edición)*. México: Ed. Pearson educación.
- [16] Luna, G., Villada, H., Velasco, R. (2009). *Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: preliminares*. Dyna (159), 145-151
- [17] Consultado en [16] <http://www.worldfoodscience.org>
- [18] Gacén, J. (1991). *Fibras textiles estructura y propiedades*. Barcelona, España; Terrassa.
- [19] Consultado en <http://www.atanor.com.ar>
- [20] Herrera, C.H., Bolaños, N., Luts, G. (2003). *Química de alimentos: Manual de laboratorio*. (1 ed.). San José, C.R.: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- [21] Zamudio, P.B. (2008). *Caracterización estructural de películas elaboradas con almidón modificado de plátano y con quitosano*. Tesis de Doctorado en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional: Centro de Desarrollo
- [22] Consultado en [16] <http://www.worldfoodscience.org>
- [23] Consultado en <http://www.atanor.com.ar>
- [24] Zaritzky, N. (2007). Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones. Centro de investigación y desarrollo en criotecnología. Recuperado en <http://www.innova-uy.info/docs/presentaciones/20071010/2007PPTNoemiZaritzky.pdf>
- [25] (2012). Diccionario de especialidades para la industria alimentaria. Materias primas: polioles. (pp. 346).
- [26] Yajamin, Roberto. Etilenglicol. Recuperado el 11 de enero de 2014 en <http://es.scribd.com/doc/39238218/etilenglicol>
- [27] Weissermel, K. (1981). *Química orgánica industrial*. (2da Edición). España Ed. Reverté.
- [28] Gobierno del estado de Puebla. (2013). *Reseña histórica*. Recuperado el 31 de octubre de 2013 en <http://www.puebla.gob.mx>
- [29] Espitia, M. (2010). Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en

reforzamiento de polímeros termoplásticos. *Magister en ciencias-química*, universidad de Colombia.

[30] Nakanishi, K. (1976). *Espectroscopia IR*. New york, Estados Unidos de América: Holden Day.

[31] Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable. *Ingeniería y ciencia* 2(4), 5-28.

[32] Morán, J. (2008). Extracción de celulosa y obtención a partir de fibra sisal-caracterización. División de polímeros- INTEMA. (pp6). Mar de plata Argentina.

[33] León, V., Rieumont, J., Bordallo, E., Dopico, D., Peña, E., Menéndez, I. (2013). Obtención y caracterización de la celulosa hidrofóbicamente modificada. *SOBRE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR*. 47 (1), 51-56.

[34] Caracterización estructural de lyocell mediante FT-IR y análisis térmico recuperado 25 de Octubre de 2013 en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6428/08CAPITULO2.pdf?sequence=8>

[35] Poletto, M., Pistor, V., Campomanes R., Zattera, J. (2012). Materials Produced From Plant Biomass. Part II: Evaluation of Crystallinity and Degradation Kinetics of Cellulose. *Materials Research*, 15(3), 421-427.

