



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS PARA LA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA
NIXTAMALIZACIÓN DEL MAÍZ.

PRESENTA:

SERGIO GUZMÁN MARTÍNEZ.

DIRECTOR(A) DE TESIS:

M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a DIOS por darme el privilegio de estar en la tierra de los mortales, en la tierra donde es simple proponerse un objetivo pero cuesta mucho empeño poder alcanzarlo hay que tener mucha fe en sí mismo. Ahí reside el secreto para lógralo.

Dedico mi trabajo a la persona que siempre traje cabeza abajo, a la persona que me dio la vida, siempre eh pensado que no hay persona más importante que ella. Mi “MAMA” (MARÍA ELSA MARTÍNEZ HUERTA) gracias por ser parte de este proyecto. Gracias por los regaños, nunca los eh tomado a mal al contrario pude concluir con ellos que “si quieres algo entonces tienes que ir y hacer que pasen las cosas porque la única cosa que cae del cielo es la lluvia” pero aun más gracias por todo tu apoyo para poder concluir mis estudios profesionales Muchas Gracias MAMA.

Agradezco a mi Padre (TOMÁS GUZMÁN GUZMÁN) y a mis dos compañeros de batalla a esos mis enemigos que más quiero mis dos hermanos de sangre. (TOMÁS GUZMÁN MARTÍNEZ Y JOSÉ HORACIO GUZMÁN MARTÍNEZ) por todos sus consejos simplemente por el hecho de ser mi familia.

Agradezco a Nombre Mío y de mi Familia primero por aceptar ser miembros de mi jurado, segundo por el tiempo tan valioso para la revisión de mi trabajo y por último por los aportes extras a mi trabajo: Al Presidente de Tesis el Ingeniero Químico “EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA”, A la Maestra en Ciencias “MARINA CABALLERO DÍAZ” Vocal de la Tesis, Al Ingeniero Químico “RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ” Secretario de la Tesis y a los Suplentes de la Tesis El Doctor “ROBERTO MENDOZA SERNA” Y La Ingeniero Químico “DOMINGA ORTIZ BAUTISTA”. Muchas gracias de todo corazón siempre tendré presente más que sus aportes a mi trabajo su más sincera amistad y muestras de apoyo hacia mí. De verdad Muchas Gracias.

Quiero agradecer a la máxima casa de estudios de mi país. "LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO" y aun más a la “FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA”, a la carrera de “INGENIERIA QUIMICA” que desde que puse mi pie en sus instalaciones siempre me hizo sentirme orgulloso de pertenecer a su fila de alumnado mi segunda casa.

Le agradezco a mi Amiga, mi Maestra y mi Asesora de Tesis. La Maestra en Ciencias “MARINA CABALLERO DÍAZ.” Simplemente no tengo palabras para explicar lo que Usted ha hecho por mí en particular. Por todos los consejos, por llevarme de la mano durante mi trabajo y por apoyarme de verdad nunca eh sabido como darle las gracias Maestra a Nombre Mío y de mi Familia Muchas Gracias.

Agradezco a todas aquellas personas que algún día conocí de casualidad sin saber que tan importantes iban a ser en mi vida, esas personas que comparten el mismo desorden mental que el mío “MIS AMIGOS” y “MIS AMIGAS” aquellos que de algún modo forman parte de la gran familia de la amistad, a mi compañera y mi mejor amiga “LESLY KARINA JIMÉNEZ” Gracias por aportar tu granito de arena a mi trabajo.

Por último y muy en especial quiero agradecer a mi Ángel Guardián es una lástima que ya no estés aquí, siempre pienso que la gente deja este mundo porque ya cumplió la tarea que DIOS y la vida le encomendó y que buena tarea hiciste dejarme a la mejor MAMA del mundo. Gracias Abuela (MARGARITA HUERTA PAZ) algún día estaré de nuevo contigo platicando todo lo que pude lograr en esta vida.

A todos mis más sinceras gracias por todo.

Sergio Guzmán Martínez.

“He decidió hacer lo que me gusta porque es bueno para la salud” Voltaire.

“Locura es hacer la misma cosa una y otra vez, esperando obtener resultados diferentes” Albert Einstein.

Contenido	Pag.
Resumen.	1
Justificación.	2
Introducción.	2
Objetivos.	4
Hipótesis.	5
Capítulo 1 Antecedentes	6
Panorama histórico de los plásticos.	7
Evolución de los plásticos.	8
Capítulo 2 Generalidades.	10
Maíz.	11
Propiedades del maíz.	11
Usos del maíz.	14
Nixtamalización.	15
Beneficios.	17
Procesos de nixtamalización.	17
Descripción del proceso de nixtamalización.	18
Almidón.	19
Propiedades del almidón.	19
Proceso general de obtención del almidón.	23
Usos del almidón.	24
Polímeros	24
Clasificación general de los polímeros.	24
Clasificación de los polímeros según sus propiedades físicas y químicas.	25
Usos de los polímeros.	35
Definición general de biodegradación y degradación de los polímeros.	38

Métodos de degradación.	42
Capítulo 3 Desarrollo Experimental.	47
Proceso para la obtención de un plástico biodegradable.	48
Análisis de resultados.	53
Capítulo 4 Conclusiones.	54
Recomendaciones	56
Referencias Bibliográficas.	57

Índice de figuras	Pag.
Figura 1. Descripción de la planta del maíz.	12
Figura 2. Anatomía general de un grano de maíz.	14
Figura 3. Pintura La nixtamalización en Mesoamérica.	16
Figura 4. Proceso de la nixtamalización.	18
Figura 5. El maíz y el extracto de almidón.	19
Figura 6.. Morfología granular.	20
Figura 7. Estructura de la amilosa.	21
Figura 8. Estructura de la amilopectina.	21
Figura 9. Clasificación de los polímeros.	37

Índice de tablas

Pag.

Tabla 1. Información de los principales nutrientes del maíz.

23

Tabla 2. Degradación.

41

Tabla 3. Características de la degradación de los polímeros.

41

Resumen:

El almidón ha sido una fuente primaria de alimentación desde el antiguo Egipto según datos históricos. Siendo el principal carbohidrato que almacenan las plantas. Se encuentra y aíslan como fuente convencional principalmente en el maíz, el trigo, la papa, arroz y yuca. El almidón se ha vuelto un ingrediente y aditivo significativamente importante para la industria principalmente para la alimentaria. Su investigación ha generado miles de artículos científicos y probablemente dentro de los biopolímeros ha sido el más estudiado por décadas. Ningún otro ingrediente alimentario se compara con el almidón por lo que se refiere a su versatilidad en la aplicación industrial.

Para este trabajo se aplicó la técnica de la nixtamalización realizada desde los tiempos prehispánicos, usando el óxido de calcio y no llevando a su cocción total. Siendo el óxido de calcio el ingrediente más importante ya que permite una buena gelatinización del almidón y la semi cocción provoca la no masificación del grano de maíz.

Se realizó un estudio y una comparación de diferentes tipos de polímeros extraídos de la refinación del petróleo así como su clasificación. Se llevó a cabo un estudio de las propiedades termodinámicas, físicas y químicas así como nutrimentales de los componentes que elaboran un polímero natural.

Se elaboró mediante un procedimiento a nivel laboratorio un polímero con características similares a las de una bolsa de plástico común solo que con menor tiempo de degradación lo cual se comprobó enterrando un pedazo del polímero en una maceta.

Se determinaron los parámetros a controlar en la elaboración del polímero para que este tenga las características adecuadas y necesarias propuestas como objetivos de este trabajo.

Se investigaron los tipos de degradación y el tiempo de la degradación de algunos polímeros sintéticos.

Se comparó con los métodos WANG Y WANG y con los KEOMANEECHAI que son métodos no muy investigados pero con alto índice de resultado.

Se puede determinar la temperatura promedio a la cual el proceso se puede llevar a cabo se demostraron las ventajas y desventajas de elaborar plásticos biodegradables.

Se ha comprobado la importancia de la utilización de los componentes como el agua, la glicerina y el ácido acético.

Se descartó la utilización de algún lubricante para evitar la adherencia si este se lleva al proceso de extrucción.

El equipo usado para el procesamiento del polímero debe crear las condiciones adecuadas de mezcla y temperatura, y de este modo permitir la polimerización completa de la mezcla.

Justificación:

A pesar de ser un material increíblemente versátil por todas las posibilidades de uso que tiene para los seres humanos, el plástico también tiene sus problemas. Precisamente, el uso intensivo de este, ha generado residuos difíciles de manejar, ya que no es degradable. Esto quiere decir que, cuando se desecha, no se descompone fácilmente como si lo hace el papel. Hoy en día el plástico es responsable en gran parte de los residuos contaminantes que se acumulan en nuestro planeta. Su incineración emite gases nocivos, y si los dejamos dispersarse por el medio permanecerán ahí muchos años, debido a que no se degradan con facilidad, y contaminarán suelos, cursos fluviales y mares. Cada bolsa llega a tardar siglos en desintegrarse, depositando en la tierra y en las aguas todos los elementos contaminantes que provienen del refinado del petróleo empleado en su fabricación.

En su elaboración se usa energía, se gastan productos no renovables del planeta y se contamina el medio ambiente. En tierra y en el mar las bolsas de plástico ya constituyen casi un elemento de los paisajes, el uso desmesurado y masivo de las bolsas plásticas es sin lugar a dudas de magnitud universal, y ya está afectando a todos los ecosistemas del planeta.

Nos han acostumbrado a que sea agradable ir al supermercado hacer la compra y salir con todos los artículos dentro de bolsas de plástico, llegamos a nuestras casas, y se terminó la utilidad de este elemento. Hay bolsas de plástico por doquier. Su mínimo peso, unos 6 gramos capaces de llevar hasta cinco kilos, su bajo costo y su impermeabilidad al agua las ha convertido en una costumbre para llevar alimentos, ropa o cualquier otra compra cotidiana.

Actualmente los plásticos biodegradables no son usados para producir bolsa plástica de alta impermeabilidad y con una textura capaz de aguantar hasta cinco kilogramos, el propósito de este trabajo es crear una mezcla plástica a base almidón, altamente degradable capaz de desintegrarse en dos meses y elaborada con materiales de uso común como son el ácido acético, Glicerina, Agua y Almidón.

Introducción:

Actualmente los polímeros han venido a constituir una parte importante en nuestra vida cotidiana debido a la gran versatilidad de aplicaciones, ofreciendo las posibilidades de substituir en muchos campos a los materiales tradicionales (acero, madera, papel, cartón, vidrio, metal, etc.)

Los polímeros (del Griego: poly: muchos y mero: parte, segmento) son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Los polímeros no son más que unas sustancias formadas por una cantidad finita de moléculas que le confieren un alto peso molecular que es una característica representativa de ellos técnicamente son sustancias orgánicas (contienen en su estructura carbón e hidrogeno principalmente).

Como es sabido la industria de los polímeros a crecido en los últimos años demasiado por la alta demanda que existe en el mercado y la necesidad global por la utilización, aunque la problemática no es el abastecimiento de los polímeros si no su degradación, ya que no se lleva a cabo en un corto plazo.

Originalmente los polímeros fueron hechos para ser resistentes a la degradación y a las condiciones ambientales, creando con esto un problema ambiental.

La degradación o envejecimiento de los polímeros se refiere a los cambios que sufren estos materiales en sus propiedades al interactuar con el medio y el ambiente en que se encuentren. Existen diferentes maneras de considerar la degradación: natural, acelerada, artificial, física y química.

Debido a que la recolección de los polímeros a aumentado y los centros recolectores de desechos sólidos urbanos son insuficientes, se realizaron cambios en las tecnologías para la obtención de polímeros biodegradables.

En los últimos años, la investigación sobre polímeros biodegradables de origen natural ha sido un campo muy activo debido a los problemas derivados del elevado impacto que los plásticos procedentes del petróleo presentan sobre el medio ambiente. Como resultado de estas investigaciones han surgido multitud de variantes y alternativas naturales que pueden constituir una vía factible para remplazar a los plásticos de uso habitual.

Entre las primeras investigaciones se tiene la obtención de polímeros fotodegradables, se trata de materiales que por la acción de los rayos ultravioleta pierden resistencia y se fragmentan en partículas muy pequeñas. Todos los plásticos de envasado comerciales son fotodegradables por la misma naturaleza del polímero.

El proceso de fotodegradación ocurre porque la energía de la luz ultravioleta procedente la radiación solar es mayor que la energía de unión de los enlaces moleculares C-C y C-H, y rompen estas cadenas moleculares reduciendo su peso molecular y propiedades mecánicas.

Por otra parte se redujo el peso del polímero usado en los empaques mediante un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se le hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada obteniendo polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).

En la actualidad, alrededor del 10% de los residuos plásticos son incinerados, y esto presenta el inconveniente de la posible emisión de gases tóxicos, especialmente si se trata de la incineración de PVC (policloruro de vinilo), que produce un derivado clorado y tóxico llamado dioxina. En las plantas modernas de incineración, el riesgo medioambiental está minimizado. Además, se debe tener en cuenta que el calor producido en la combustión de los residuos plásticos es elevado, por lo que su incineración en plantas de recuperación de energía sería una opción razonable.

La composta se forma de desechos orgánicos y la materia orgánica se descompone por vía aeróbica o por vía anaeróbica; llamamos “compostaje” al ciclo aeróbico (con alta presencia de oxígeno) de

descomposición de la materia orgánica, llamamos “metanización” al ciclo anaeróbico (con nula o muy poca presencia de oxígeno) de descomposición de la materia orgánica.

Existen tres clases principales de materiales biodegradables. El primero son mezclas de polímeros y aditivos que son fácilmente consumidos por microorganismos, la segunda clase son polímeros sintéticos con grupos vulnerables a la hidrólisis por ataque de microbios y la tercera clase de materiales está compuesta de polímeros procesables.

Uno de los polímeros que ha ganado considerable atención para aplicarse en plásticos biodegradables es el almidón ya que este, además de ser biodegradable tiene interesantes propiedades poliméricas.

Un ejemplo, es el almidón termoplástico (TPS) que es uno de los biopolímeros naturales más baratos y abundantes debido a su fácil obtención a partir de diversas fuentes vegetales. De este modo, su uso puede desempeñar un papel decisivo en la sustitución de los plásticos sintéticos permitiendo al mismo tiempo disminuir el problema de la acumulación de desechos plásticos y reducir la dependencia sobre el petróleo.

Sin embargo, sus propiedades aún no son comparables a las de los polímeros derivados del petróleo, siendo necesario continuar con su desarrollo.

Objetivos:

Objetivo general

- Obtener un polímero natural biodegradable a partir del almidón de maíz.

Objetivos particulares

- Recabar información bibliográfica sobre la obtención de un polímero por medio del almidón del maíz.
- Comparar la eficiencia del grano de maíz tanto seco como fresco para la obtención del almidón.
- Determinar la temperatura y los mecanismos de degradación del polímero para establecer la diferencia entre un polímero artificial y un polímero natural.
- Mejorar la resistencia y durabilidad de nuestro polímero biodegradable, mediante la utilización de productos naturales.
- Proponer su uso cotidiano por medio de sus propiedades de degradación y el efecto que este traerá al medio ambiente

Hipótesis:

A partir del almidón del maíz obtenido a través del proceso prehispánico de la nixtamalización y con la combinación de agentes como la glicerina y al ácido acético se podrá obtener un plástico de alta resistencia con uso específico en bolsas plásticas, capas de degradarse en 30 días.

Capítulo

1

Antecedentes

Panorama histórico de los plásticos:

La industria del plástico es una industria joven que en el año 2004 cumplió 94 años de edad. Los primeros 50 años correspondieron a la investigación y la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes veinte años en la difusión de información y aprovechamiento de ellos y los últimos veinte años en optimizar el uso de los mismos.

La investigación de estos materiales inició desde 1830, cuando la investigación pura conduce a muchos científicos a la síntesis de materias primas, que después serán aprovechadas en la elaboración de diferentes plásticos.^[2]

A diferencia de materiales existentes en la naturaleza como, la madera y la piel de animales, que han sido utilizadas desde el origen de la humanidad; vidrio y metal que registran su uso en las primeras civilizaciones como Babilonia y Egipto; el plástico, es el primer material sintético, creado por el hombre.

Antes de la aparición del primer plástico sintético, el hombre ya utilizaba algunas resinas naturales, como el betún, gutapercha, goma, laca y ámbar, con los que podían fabricar productos útiles y lograr aplicaciones diversas. Se tienen referencias de que éstas se utilizaban en Egipto, Babilonia, India, Grecia y China, para una variedad de aplicaciones desde el modelo básico de artículos rituales hasta la impregnación de los muertos para su momificación.

El desarrollo de estas sustancias se inició en 1860, cuando el inventor estadounidense Wesley Hyatt desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de alcohol. Su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales a cuellos de camisa. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y deteriorarse al exponerlo a la luz.^[2]

Sin embargo, no es hasta 1907 cuando se introducen los polímeros sintéticos, cuando el Dr. Leo Baeckeland descubre un compuesto de fenol-formaldehído al cual denomina “baquelita” y que se comercializa en 1909. Este material presenta gran resistencia mecánica aislamiento eléctrico y resistencia a elevadas temperaturas.

Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de la celulosa, del nitrato de celulosa o del etanoato de celulosa.^[12]

En 1920 se produjo un acontecimiento que marcaría la pauta en el desarrollo de materiales plásticos.

El químico alemán Hermann Staudinger aventuró que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes o macromoléculas. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química.^[13]

Evolución de los plásticos

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que nombraron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).^[2]

Al remplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.^[2]

También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Dupont.^[2] Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico, formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

Durante la Segunda Guerra Mundial, tanto los aliados como las fuerzas del eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. Las poliamidas se convirtieron en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los

metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.^[12]

Las investigaciones de 1990 al 2000 se orientan a la combinación entre polímeros para formar mezclas poliméricas y aleaciones plásticas cuando se adicionan agentes de acoplamiento o compatibilizadores como los silanos, titanatos y hules termoplásticos.^[2]

Para el año 2000 la producción mundial de plástico alcanzo las 150 millones de toneladas, el consumo de plástico solo se encuentra por debajo del consumo de hierro y acero, debido a que la producción de plástico ha venido a facilitar la vida de la humanidad estos se producen en gran cantidad para satisfacer la demanda abarcando mercados como el del vidrio, metales y papel debido a sus buenas propiedades y bajo costo, sin embargo en los últimos años han causado gran problema debido al periodo de vida útil que se les da y su uso indiscriminado teniendo como en un 90 por ciento su destino final un basurero.^[17]

Capítulo

2

Generalidades.

El Maíz

Propiedades del maíz:

El maíz es grano que tiene numerosos y diversos usos tanto nutricionales como industriales.

La mayor proporción de la producción mundial de maíz se usa en alimentación animal. En algunos países se emplea como alimento humano en cantidades significativas. Además este grano es una fuente importante en la producción de almidón y derivados utilizados en la industria química y como sustituto de derivados del petróleo. A diferencia de este el maíz presenta muchas ventajas ya que es un recurso renovable, los productos finales obtenidos son biodegradables y su degradación no altera el balance del anhídrido carbónico atmosférico.

En México cada año se siembran 8.5 millones de hectáreas lo que representa el 60% de la producción total del grano. El maíz pertenece a la familia de las gramíneas y su nombre científico es *Zea Mays*, misma que agrupa diferentes subespecies entre las que se encuentra la everta (maíz para palomitas).

El maíz es una planta solo conocida en cultivo, es originaria del continente americano y se ha venido cultivando en el mismo desde hace 10,000 años, destacando su importancia como alimento en las culturas indígenas americanas desde Canadá hasta la Patagonia.^[10]

A partir de la llegada de los españoles el maíz se dio a conocer en Europa y de hay a todo el mundo por lo que en la actualidad es cosmopolita. Actualmente su cultivo y comercio son de carácter universal así como su consumo y aprovechamiento. Por su amplia capacidad de adaptación y su elevado rendimiento, así como las posibilidades futuras de mejoras por vía genética, hacen de este uno de los cultivos prometedores para afrontar la amenaza de hambre en el mundo. México es uno de los más importantes consumidores de maíz, producto base de la alimentación de la población.

El maíz es una planta herbácea anual, cuyo ciclo vegetativo varia entre 80 y 200 días desde la siembra hasta la cosecha. Su intervalo de altura está entre los 40 centímetros y los 3 metros. Su tallo cilíndrico presenta nudos que limitan a largos entrenudos que van adelgazando conforme asciende la planta. El sistema radical puede alcanzar hasta dos metros de profundidad y presenta raíces de sostén o soporte, cerca de la superficie del suelo.

Las hojas poseen una larga vaina que envuelve el entrenudo. El limbo es largo y ancho terminando en punta de bordes enteros y con nervaduras paralelas, de color verde aunque se pueden encontrar hojas rayadas de blanco con verde o de verde con purpura.

Es una planta manoica, es decir tiene flores masculinas y femeninas que tienen numerosos estilos muy salientes y colgantes después de la floración (PELOS DE ELOTE) en los que se depositan los granos de polen que son arrastrados por el viento. Después de la fecundación cada ovario se transforma en un fruto (GRANO DE ELOTE) que lleva en su interior una sola semilla que contiene bastantes sustancias de reserva en su endospermo y lleva en su parte basal el embrión el fruto puede ser amarillo purpura o

blanco. Dichos frutos se agrupan formando hileras alrededor de un eje grueso o zurdo (ELOTE) y a este conjunto se le conoce como mazorca.

Las mazorcas en la madurez son largas y gruesas y están enteramente cubiertas por vainas coriáceas e imbricadas que constituyen el llamado totomoxtle (HOJAS DE ELOTE).

Bajo condiciones climáticas adecuadas o mediante el aporte del riego el maíz es muy productivo el temporal se siembra en abril y junio y su desarrollo se prolonga hasta agosto o septiembre.

Partes de la planta del maíz



FIGURA 1. Descripción general de la planta maíz.

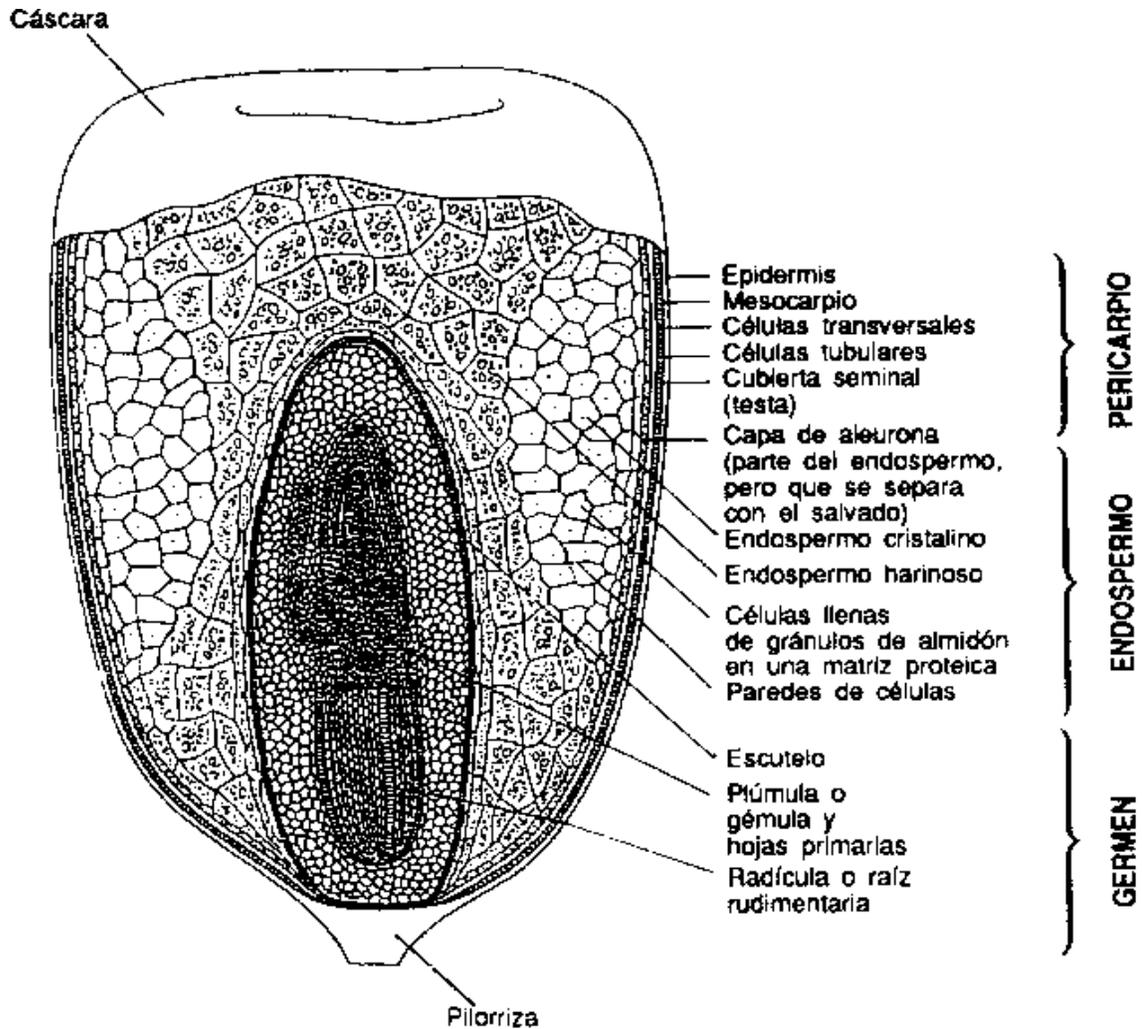
<http://www.siap.gob.mx>

Composición química del maíz:

El grano de maíz tradicional está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endosperma y el pericarpio. El germen constituye del 10 al 12% del peso seco, contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano. El endosperma constituye el 80% del peso seco, contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye del 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras vegetales.^[10]

El Maíz constituye un alimento muy completo, que aporta numerosos elementos nutritivos y materiales energéticos. Es una destacada fuente de vitaminas del grupo B y de minerales. Posee un valor nutritivo similar al de los otros cereales, aunque se diferencia de éstos en su elevado contenido en carotenos - ningún otro cereal los contiene- o provitaminas A, que se transforman en vitaminas A en el organismo y se caracterizan por su alto poder anti infeccioso y su condición es beneficiosa para la vista.

Es una especie de origen templado que tiene un elevado potencial de rendimiento y una alta productividad. Una semilla puede producir de 600 a 1.000 granos. Tiene una tasa de fotosíntesis máxima de 50 - 60 mg de CO₂/dm²/h y su temperatura óptima es cerca de los 35 - 40°C.



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

FIGURA. 2 Anatomía general de un grano de maíz.

Usos del maíz:

El maíz como grano tiene varios usos: consumo humano, insumo para la industria insumo, para la producción (semillas). Su utilización para el consumo humano como para la industria requiere de un proceso de transformación. En México el sistema agroindustrial del maíz incluye siete tipos de industrias cuya materia prima es el maíz:

- Fabricación de tortillas.
- Molienda de nixtamal (masa para tortillas, atole, tamales, etc.)
- Industria para la fabricación de maíz nixtamalizado.

- Fabricación de almidones, féculas, levaduras y productos similares, insumos en la industria química, papelería, farmacéutica, textil, etc.
- Frituras de maíz (palomitas, golosinas, etc.)
- Hojuelas de maíz
- Industrias de alimentos balanceados

Tipos y variedades de maíz

Todos los maíces pertenecen a la misma especie y los tipos o razas que los diferencian corresponden a una simple clasificación utilitaria, no botánica. Los distintos tipos de maíz presentan una multiplicidad de formas, tamaños, colores, texturas y adaptación a diferentes ambientes, constituyendo numerosas variedades primitivas o tradicionales que son cultivadas actualmente. La producción es utilizada fundamentalmente para consumo familiar y a partir de estas diversas variedades preparan numerosas comidas, incluyendo postres y bebidas.

Desde el punto de vista comercial, es utilizado sólo un reducido número de tipos y usualmente se clasifican de acuerdo a la dureza del grano:

- Tipos duros o Flint: la raza representativa es Cristalino Colorado, e incluye al maíz Plata, requerido principalmente por la industria de molienda seca. Tradicionalmente se utilizaba para la obtención de polenta, pero sus usos se han multiplicado progresivamente, se lo emplea para la fabricación de cereales para desayuno o como alimento para animales.
- Tipos dentados: entre los maíces nativos se destaca la raza Dentado Amarillo y son característicos los híbridos del "Corn Belt" norteamericano. Estos tipos de maíces son muy utilizados por la industria de molienda húmeda para la obtención de alcohol, almidones y fructosa, entre otros ingredientes empleados en la industria alimentaria.
- Tipos reventadores o Pisingallo o Popcorn: corresponden a los maíces cuyo endosperma es vítreo, muy duro. En contacto con el calor, su endosperma se expande formando la "palomita" de maíz.
- Tipos harinosos: El endosperma de estos maíces es casi enteramente harinoso. Son muy utilizados para su consumo fresco (choclo) y en la elaboración de diversas comidas tradicionales basadas en harina de maíz.

Nixtamalización

La nixtamalización se realiza a mano, de modo tradicional o en preparaciones a pequeña escala, o mecánicamente, en mayor escala o en la producción industrial.

La historia de la nixtamalización inicio junto con la historia del consumo de tortilla en Mesoamérica (México y Centroamérica). La fabricación de tortillas a partir del maíz seco inició cuando la sociedad prehispánica guardó el grano de cada cosecha para transformarlo en algo que pudiera comer. Así, convirtió el grano duro y seco en una masa con la que debió hacer las primeras tortillas.

Tal vez el primer sistema que se empleó para elaborar las tortillas fue moler el maíz directamente y obtener un polvo (similar a una harina) al que, si agregaba agua, podía amasar en forma de una pasta que se cocía fácilmente y con la que podía hacer tortillas. Sólo que debió sorprenderse al ver que su "polvo" se descomponía con facilidad y adquiría mal olor al cabo de tres o cuatro días.

La causa de esta descomposición es la oxidación de las grasas del germen debido a las enzimas que la provocan. Debido a ello, al experimentador prehispánico no le quedaba otra posibilidad que la del empleo del fuego para romper los granos por cocción y desprender la punta.

Más adelante se descubrió que la ceniza producida por la leña utilizada para cocer los alimentos les sería de gran utilidad, porque la ceniza, óxido de sodio y potasio, mezclada con agua, se convierte en una lejía alcalina que ablanda y destruye la cáscara del grano.

Cuando se descubrió que, en presencia del agua, la *cal viva* (óxido de calcio) forma una lechada de hidróxido de calcio (la llamada *cal apagada* o *cal hidráulica*), se encontró el primer elemento químico que se probó en la nixtamalización.

Luego que el maíz se limpiaba, se cocía con cal, se dejaba reposar en agua caliente durante la noche y al día siguiente se limpiaba y se hacía la masa usando el metate, un molino prehispánico de piedra volcánica.

Elaborada la masa, se palmeaba y se hacían discos de diámetro y espesor variables: las tortillas, que se cocían en una superficie de barro caliente llamada comal.



FIGURA 3. Pintura la Nixtamalización en Mesoamérica.

<http://recopilaciongastronomicamexicana.blogspot.mx>

Beneficios.

Los cambios químicos durante el proceso de elaboración dan la maleabilidad a la masa y a las tortillas. El proceso de nixtamalización disminuye ligeramente el contenido de vitaminas presentes, el almidón y la solubilidad de la proteína del maíz pero aumenta la biodisponibilidad de aminoácidos, el contenido de fósforo y calcio, de fibra soluble y almidón resistente, el contenido de ácido fólico disminuye también, mejorando con ello la absorción de minerales.

La nixtamalización es especialmente importante debido a que eleva la disponibilidad de niacina, eliminando con ello el riesgo de desarrollar pelagra atribuido en otras partes del mundo, fuera de Mesoamérica, al consumo de maíz como único cereal, sin el complemento de otras fuentes que sean ricas en vitamina B₃

Procesos de nixtamalización:

La nixtamalización es el proceso milenario de origen mesoamericano que sirve para quitar la cáscara al maíz, hirviéndolo en agua con cal. Una vez hervido y sin cáscara (llamada hollejo), se puede preparar la harina de maíz. La palabra proviene de nixtamal, a su vez del náhuatl *nextli* ("cenizas de cal") y *tamalli* (masa de maíz cocido).

Nixtamal:

El grano preparado se llama *nixtamal*. El nixtamal tiene muchos usos, algunos de origen contemporáneo y otros de origen histórico. Se utiliza principalmente para elaborar harina de maíz, con la que se preparan numerosos platillos, como tortillas, tamales y arepas. El nixtamal puede utilizarse fresco o puede secarse para uso posterior.

Se utiliza en la preparación de pozole y en la preparación de menudo en diversas regiones de México, sobre todo el elaborado con maíz cacahuazintle; además se utiliza en la preparación de muchos otros alimentos.^[8]

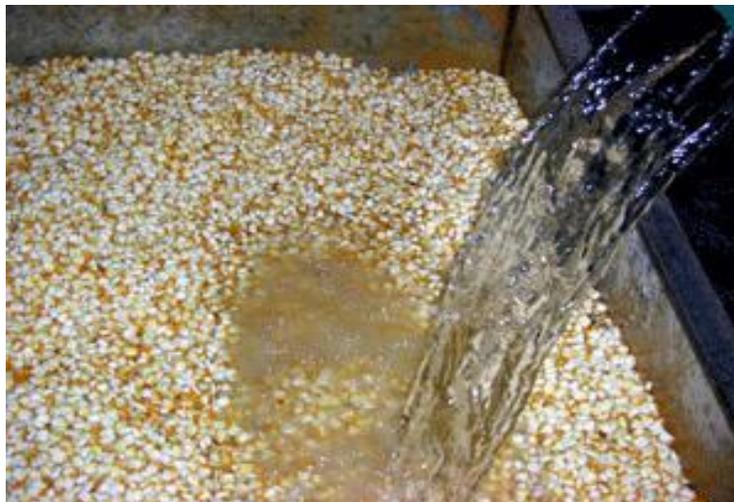


FIGURA 4. Proceso de Nixtamalización

Descripción del proceso de Nixtamalización.

El primer paso en la nixtamalización consiste en poner a cocer los granos de maíz en una solución alcalina a una temperatura cerca al punto de ebullición. Tras la cocción, el maíz se deja inmerso en el caldo por cierto tiempo.

La duración del tiempo de cocción y remojo del maíz varía según el tipo de maíz, las tradiciones locales y el tipo de alimentos a preparar. Se le puede dejar cociéndose desde unos minutos hasta una hora, y remojando desde unos minutos hasta alrededor de un día.

Durante la cocción y el remojo, una serie de cambios químicos tienen lugar en los granos de maíz, debido a que los componentes de la membrana celular de los granos del maíz, entre los cuales se incluyen semi celulosa y pectina, son altamente solubles en soluciones alcalinas, los granos se suavizan y sus pericarpios (cáscaras) se aflojan. El grano se hidrata y absorbe calcio y potasio (según los compuestos utilizados) a lo largo de todo el proceso. Los almidones se disuelven y gelatinizan, algunos almidones se dispersan en el líquido. Se liberan ciertos productos químicos del germen que permiten que el grano cocido sea más fácil de triturar. La cocción produce cambios en la proteína principal del maíz, lo que hace las proteínas y nutrientes del endosperma del núcleo más asimilables para el cuerpo humano.

Tras la cocción, el caldo alcalino (conocido como *nejayote*), que contiene disueltas las cáscaras, el almidón del maíz y otras sustancias, se decanta y se descarta. Para saber si el proceso fue exitoso, se debe poder pelar el grano de maíz fácilmente entre los dedos al frotarlo. Los granos se lavan completamente para limpiarlos de los restos de nejayote, el cual tiene un desagradable sabor. El pericarpio se desecha, y se deja sólo el germen del grano.

Después el grano se usa solo o se muele para tener harina de maíz. Este proceso se ha modernizado y actualmente la molienda se lleva a cabo mayoritariamente con máquinas o *molinos* industriales, pero en las áreas rurales persiste el uso del metate, que es un molino de piedra manual.^[15]

El almidón

Propiedades del almidón

El almidón es el carbohidrato más abundante en la naturaleza es sintetizado durante la fotosíntesis y almacenado en los amiloplastos de las células vegetales, es un granulo parcialmente cristalino e insoluble en agua a temperatura ambiente.

Los gránulos de almidón tienen diferentes tamaños y formas dependiendo de la fuente biológica de la cual provengan. Pueden ser de forma elíptica, ovalada, redonda, lenticular, poligonal. Los gránulos más pequeños corresponden a los del arroz y amaranto seguidos por los gránulos de la papa y yuca y después del maíz.

El almidón es un polisacárido de reserva energética predominante en las plantas. Se encuentra en algunos cereales, tubérculos y en algunas frutas su concentración varía dependiendo del estado de madurez de la fuente.

El almidón ha sido parte importante en la dieta del ser humano desde los tiempos prehistóricos el almidón y sus productos de hidrólisis son considerados como la fuente más importante de carbohidratos para la alimentación humana.

Los almidones y sus derivados tienen gran significado para diferentes ramas de la industria tales como la textil, la alimenticia, la papelera y la farmacéutica entre otras.



FIGURA. 5 El maíz y el extracto de almidón.

<http://www.granelada.com/es/componentes-para-654-almidon-de-maiz>.

Las principales fuentes de obtención del almidón son las plantas superiores, en donde se encuentra este polisacárido en forma de gránulos insolubles en el medio celular, como sustancia de reserva. Y se deposita principalmente en los cereales, tubérculos y raíces de las plantas.

De acuerdo a su origen se obtienen comercialmente los siguientes almidones:

- Almidones naturales provenientes del maíz, trigo, sorgo, arroz y centeno.
- Féculas naturales provenientes de tubérculos: fécula de papa.
- Féculas naturales provenientes de raíces: fécula de la yuca.

Los almidones tienen características variadas dependiendo de la zona de cultivo es decir depende de la latitud y longitud características del clima dependiendo de la zona donde se encuentre este el cultivo.

En México existen varias industrias que utilizan diferentes tipos de almidón como materia prima para la formulación de sus productos.

La procedencia de la fuente vegetal de la cual se obtiene el almidón, dota a éste de diferentes características no solo en el ámbito morfológico y del tamaño de grano, sino también en aspectos de calidad y de su composición.

En la Figura siguiente se aprecian tres almidones que provienen de diferentes fuentes y su correspondiente morfología granular. Los gránulos del almidón de maíz son principalmente esféricos, el almidón procedente del trigo tiene una forma esférica pero más ovalada, el almidón de la papa posee una forma ovalada y menos rugosa que los dos anteriores.

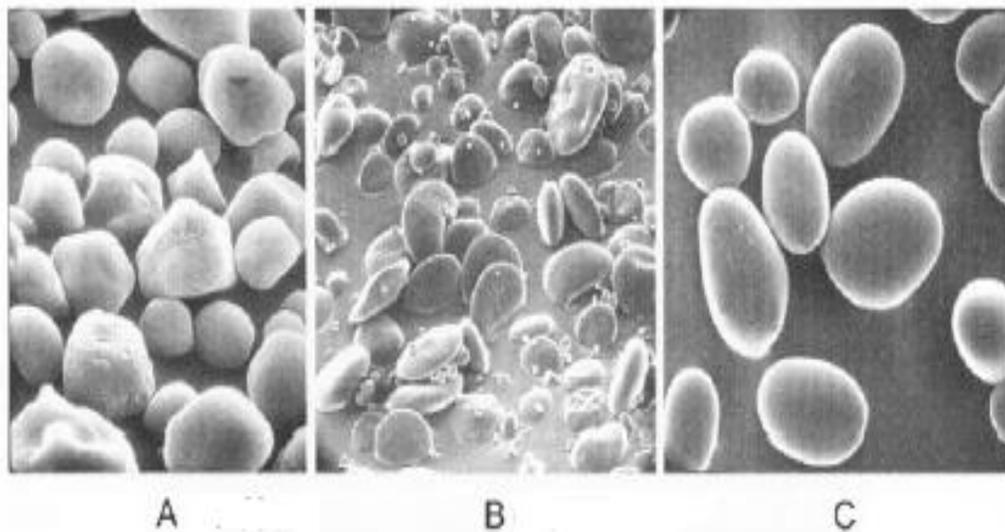


FIGURA 6. Morfología granular: (A) Almidón de maíz, (B) Almidón de trigo y (C) Almidón de la papa

<http://www.scielo.cl/scielo.php>

Obtención del almidón:

En el proceso de manufactura se realizan procesos básicos como recepción, lavado, maceración, rayado, extracción, secado, envasado y comercialización. Mediante en el cual el almidón es separado de los otros constituyentes como son las grasas, proteínas, azúcares, fibras y sales.

Las industrias de almidones emplean procesos de molienda y refinación vía humedad obteniéndose almidones con una pureza de entre 98 a 95.5%.

Los métodos tradicionales de extracción no son aplicables directamente en todas las especies debido a que en ellas el almidón se encuentra acompañado de otros compuestos químicos como proteínas lípidos y fibras.

En el caso del maíz, en primer lugar los granos se maceran en agua a 50°C aproximadamente durante 36 o 48 horas.

Esta agua contiene alrededor de 0.02% de SO₂ con el propósito de facilitar el esponjamiento de la matriz proteica, posteriormente se trituran los granos de maíz, los embriones (los embriones son los gérmenes no necesarios que posteriormente se lavan para obtener un mejor almidon.) se separan por flotación y posteriormente se obtiene el almidón.^[14]

Los gránulos de almidón están compuestos esencialmente por una mezcla de polisacáridos. Las capas externas están formadas por amilopectina y las capas internas por amilosa. En general la estructura del almidón está formada por una proporción del 20% de amilosa y 80% de amilopectina¹⁰, aunque esta relación depende de la especie vegetal a la que pertenezca.

Tanto la amilosa como la amilopectina son macromoléculas formadas a su vez por gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten. Estas macromoléculas son polisacáridos formados únicamente por unidades glucosídicas.

La amilosa posee una estructura lineal con un leve grado de ramificaciones o entrecruzamientos en forma de hélice. Se compone de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 como se observa en la siguiente Figura. La molécula de la amilosa tiene un peso medio molecular de 10^5 a 10^6 g/mol.

También se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua. Esta propiedad se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua.

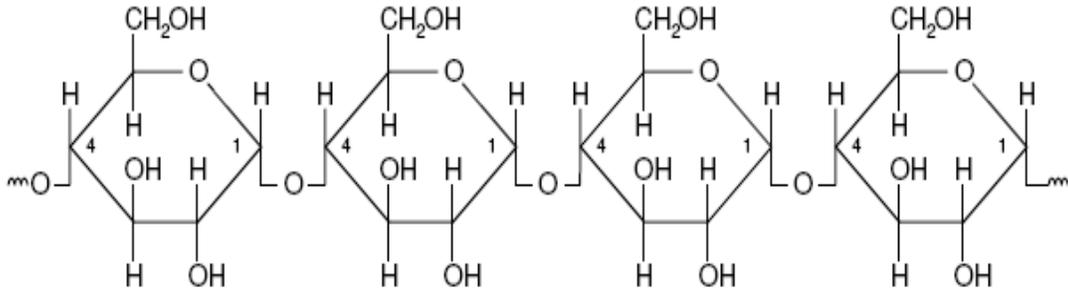


FIGURA 7. Estructura de la amilosa.

<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos1>.

El tamaño de la molécula de la amilopectina es mayor que la de la amilosa. La amilopectina se compone por enlaces glucosídicos α -1,6 y α -1,4. Estos enlaces glucosídicos α -1,6 se producen con otras moléculas de glucosa, lo cual provoca que tenga una estructura más ramificada que la amilosa, como se muestra en la siguiente Figura. La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 10^7 a 10^8 g/mol.

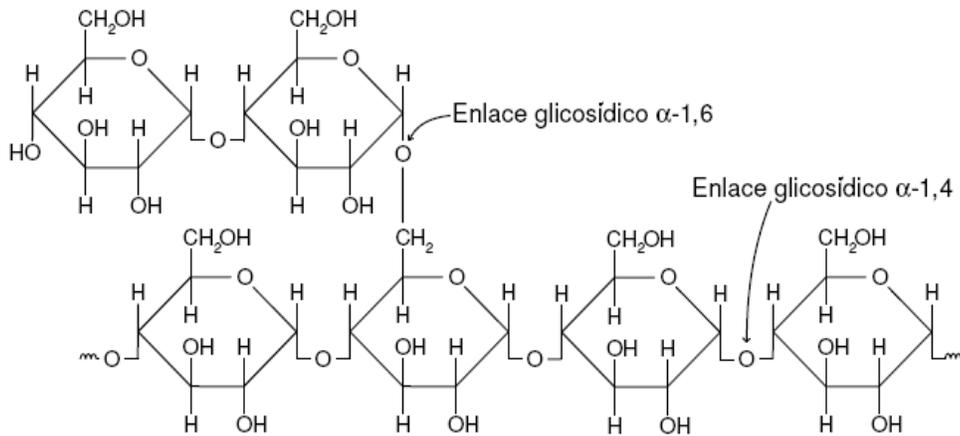


FIGURA 8. Estructura de la amilopectina.

<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos1>.

Existen varias propiedades que posee el almidón y que determinan la forma en que debe tratarse, según el uso para el que se le requiera.

Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo tienen parecido grado de cristalinidad que los almidones normales.

Estos cuerpos son birrefringentes (Tienen dos índices de refracción), por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica cruz de malta. Esto se debe a la disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón de gránulo evidente al observar la cruz de polarización. (Cruz blanca sobre un fondo negro)

TABLA. 1 Información de los principales nutrientes del maíz.

Calorías		356 kcal.	
Grasa		0,08 g.	
Colesterol		0 mg.	
Sodio		3 mg.	
Carbohidratos		88 g.	
Fibra		0,60 g.	
Azúcares		0,00 g.	
Proteínas		0,41 g.	
Vitamina A	0 ug.	Vitamina C	0 mg.
Vitamina B12	0 ug.	Calcio	1 mg.
Hierro	0,50 mg.	Vitamina B3	0,03 mg.

Proceso general de obtención del almidón.

Limpieza: El primer paso es la eliminación de materiales extraños como piedras, polvo, pedazos de otros materiales, etc. por tamizado, aire comprimido, etc.

Maceración: Una vez limpio, el maíz se transporta a los tanques de maceración, donde permanece 40-50 horas en agua a 50 °C. Se añade ácido sulfúrico o ácido clorhídrico y dióxido de azufre para mantener el pH en 4, que garantiza una fermentación controlada por bacterias lácticas y favorece la separación de las proteínas. Durante esta operación, los componentes solubles se van liberando, y los granos se reblandecen.

Separación del germen: Los granos de maíz reblandecidos pasan por molinos de bajo esfuerzo mecánico, y pierden la película que envuelve el endosperma y el germen. El germen es menos denso que el endosperma y la película, por lo que se utiliza la fuerza centrífuga (hidrociclones) para efectuar la separación.

Molienda: Tras separación del germen se realiza una molienda en un molino de impacto, de modo que se destruyan completamente las células y se liberen los gránulos de almidón. La mezcla sufre una serie de operaciones para separar la fibra y los otros componentes del maíz de la “leche de almidón”.

Separación del almidón: La “leche de almidón” contiene todas las proteínas disueltas (gluten). Las densidades del almidón y del gluten son diferentes, por lo que se separan por centrifugación. El almidón se diluye y se lava en hidrociclones hasta que se eliminan todos los restos de proteína.

Deshidratación y secado: El almidón refinado se deshidrata por centrifugación y se seca en secaderos neumáticos.

Usos del almidón.

El almidón es importante por que forma parte de nuestra dieta. Se encuentra en las patatas, en el arroz, maíz, trigo, etc. En una dieta sana la mayor parte de la energía la conseguimos a partir del almidón y las unidades de glucosa que se hidrolizan.

El almidón es muy utilizado en la industria alimenticia como aditivo para algunos alimentos, uno más de los muchos utilizados. Tiene múltiples funciones en las que cabe destacar: es adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante para el pan, gelificante, aglutinante, etc.

Se utiliza en la fabricación de embutidos y fiambres para darle consistencia al producto.

El proceso de almidonado, era utilizado antiguamente para que las prendas estuvieran libres de arrugas y tuvieran mayor rigidez, como en los cuellos y puños de los trajes de reyes y eclesiásticos, en las tocas de monjas y en el can-can de los vestidos.

Este aditivo crea una capa transparente sobre el tejido, otorgándole mayor resistencia y firmeza a la trama, pudiendo reconstituirla cuando está dañada.

Fabricación de colas y pegamentos, La esterificación que produce poliéster para la fabricación de espumas de poliuretano.

Polímeros:

Clasificación general de los polímeros

Los Polímeros, provienen de las palabras griegas Poly y Mers, que significa muchas partes, son grandes moléculas o macromoléculas formadas por la unión de muchas pequeñas moléculas: sustancias de mayor masa molecular entre dos de la misma composición química, resultante del proceso de la polimerización.

Cuando se unen entre sí más de un tipo de moléculas (monómeros), la macromolécula resultante se denomina copolímero.

Como los polímeros se forman usualmente por la unión de un gran número de moléculas menores, tienen altos pesos moleculares. No es infrecuente que los polímeros tengan pesos moleculares de 100.000 o mayores.

Los polímeros se caracterizan a menudo sobre la base de los productos de su descomposición. Así si se calienta caucho natural (tomado del árbol Hevea del valle del Amazonas), hay destilación de hidrocarburo, isopreno.

Los polímeros pueden ser de tres tipos:

- Polímeros naturales: provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc.
 - Polímeros artificiales: son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.
 - Polímeros sintéticos: son los que se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: nylon, polietileno, cloruro de polivinilo, polimetano, etc.
- Muchos elementos (el silicio, entre otros), forman también polímeros, llamados polímeros inorgánicos.

Clasificación de los Polímeros según sus Propiedades Físicas y Químicas.

Desde un punto de vista general se puede hablar de tres tipos de polímeros:

- Elastómeros
- Termoplásticos
- Termoestables.

Una forma de clasificar los polímeros es según su respuesta mecánica frente a temperaturas elevadas. En esta clasificación existen dos subdivisiones: los polímeros termoplásticos y los polímeros termoestables. Los termoplásticos se ablandan al calentarse (a veces funden) y se endurecen al enfriarse (estos procesos son totalmente reversibles y pueden repetirse). Estos materiales normalmente se fabrican con aplicación simultánea de calor y de presión. A nivel molecular, a medida que la temperatura aumenta, la fuerza de los enlaces secundarios se debilita (por que la movilidad molecular aumenta) y esto facilita el movimiento relativo de las cadenas adyacentes al aplicar un esfuerzo. La degradación irreversible produce cuando la temperatura de un termoplástico fundido se eleva hasta el punto que las vibraciones moleculares son tan violentas que pueden romper los enlaces covalentes. Los termoplásticos son relativamente blandos y dúctiles. La mayoría de los polímeros lineales y los que tienen estructuras ramificadas con cadenas flexibles son termoplásticos.

Los polímeros termoestables se endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar calentando. Al iniciar el tratamiento térmico se origina entrecruzamientos covalente entre cadenas moleculares contiguas. Estos enlaces dificultan los movimientos de vibración y de rotación de las cadenas a elevadas temperaturas. Generalmente el entrecruzamiento es extenso: del 10 al 50% de las unidades manométricas de las cadenas están entrecruzadas.

Solo el calentamiento a temperaturas excesivamente altas causa rotura de estos enlaces entrecruzados y degradación del polímero. Los polímeros termoestables generalmente son mas duros, resistentes y mas frágiles que los termoplásticos y tienen mejor estabilidad dimensional. La mayoría de los polímeros entrecruzados y reticulados, como el caucho vulcanizado, los epoxi y las resinas fenólicas y de poliéster, son termoestables.

Visco elasticidad

Un polímero amorfo se comporta como un vidrio a baja temperatura, como un sólido gomoeelástico a temperaturas intermedias (por encima de la temperatura de transición vítrea) y como un líquido viscoso a temperaturas elevadas. Frente a deformaciones relativamente pequeñas, el comportamiento mecánico a bajas temperaturas es elástico y cumple la ley de Hooke. A temperaturas muy elevadas prevalece el comportamiento viscoso o líquido elástico. A temperaturas intermedias aparece un sólido, como de goma, que presenta características mecánicas intermedias entre estos dos extremos: esta condición se llama visco elasticidad

La deformación elástica es instantánea; esto significa que la deformación total ocurre en el mismo instante que se aplica el esfuerzo (la deformación es independiente del tiempo). Además, al dejar de aplicar el esfuerzo la deformación se recupera totalmente: la probeta adquiere las dimensiones originales.^[2]

Por el contrario, para el comportamiento totalmente viscoso, la deformación no es instantánea. Es decir, la deformación, como respuesta a un esfuerzo aplicado, depende del tiempo. Además, esta deformación no es totalmente reversible o completamente recuperable después de eliminar el esfuerzo.

Un comportamiento visco elástico intermedio, origina una deformación instantánea seguida de una deformación viscosa dependiente del mismo, una forma de inelasticidad.

Un ejemplo de comportamiento visco elástico es el polímero de silicona, conocido como masilla tonta. Cuando a esta masilla se le da forma de bola y se la deja caer sobre una superficie horizontal, la bola rebota elásticamente (la velocidad de deformación durante el bote es muy rápida). Por otro lado, si la masilla se estira gradualmente con fuerza creciente, el material se alarga o fluye como un líquido muy viscoso. Para este y otros materiales visco elásticos, la velocidad de deformación determina si la deformación es elástica o viscosa.

Modulo de relajación visco elástico

El comportamiento visco elástico de los materiales poliméricos depende del tiempo y de la temperatura. Para medir y cuantificar este comportamiento se utilizan varias técnicas experimentales. Las medidas del esfuerzo de relajación representan una posibilidad. Este ensayo consiste en deformar rápida y levemente una probeta hasta un nivel predeterminado. El esfuerzo necesario para mantener esta deformación a temperatura constante se mide con función del tiempo. El esfuerzo decrece con el

tiempo debido al fenómeno de relajación molecular que ocurre dentro del polímero. Se puede definir un módulo de relajación.^[17]

Fluencia visco elástica

Muchos materiales poliméricos experimentan una deformación que depende del tiempo al aplicarles un esfuerzo constante. Esta deformación se denomina fluencia visco elástica. Este tipo de deformación puede ser significativa a temperatura ambiente y con esfuerzos inferiores al límite elástico del material. Por ejemplo, los neumáticos de un automóvil pueden formar partes planas debido al contacto con el suelo cuando el automóvil está aparcado durante mucho tiempo. El ensayo de fluencia de los polímeros se realiza de la misma manera que para los metales. Normalmente se aplica instantáneamente un esfuerzo de tracción y se mantiene constante mientras se determina la deformación en función del tiempo. Además, el ensayo se realiza en condiciones isotérmicas. Los resultados de fluencia se representan como el módulo de fluencia Ecuación (t) que depende del tiempo.^[2]

Deformación de elastómeros

Una de las propiedades más fascinantes de los materiales elastoméricos es la elasticidad. Es decir, tienen la posibilidad de experimentar grandes deformaciones y de recuperar elásticamente su forma primitiva.

Probablemente este comportamiento se observó por primera vez en los cauchos naturales; sin embargo, en los últimos años se sintetizaron gran número de elastómeros con gran variedad de propiedades.

En ausencia de esfuerzos, los elastómeros son amorfos y están compuestos de cadenas moleculares muy torcidas, dobladas y plegadas. La deformación elástica causada por la aplicación de un esfuerzo de enderezamiento, desplegado y alargamiento de las cadenas en la dirección del esfuerzo de tracción. Tras eliminar el esfuerzo, las cadenas recuperan la configuración original y las piezas macroscópicas vuelven a tener la forma primitiva.^[16]

La fuerza impulsora de la deformación elástica es un parámetro termodinámico llamado entropía, que mide el grado de desorden del sistema. La entropía aumenta al aumentar el desorden. Al aplicar un esfuerzo a un elastómero las cadenas se alargan y alinean: el sistema se ordena. A partir de este estado, la entropía aumenta al volver las cadenas a su original enmarañamiento. Este efecto entrópico origina dos fenómenos. En primer lugar, al aplicar un esfuerzo al elastómero, este aumenta su temperatura; en segundo lugar, el módulo de elasticidad aumenta al incrementar la temperatura, comportamiento contrario al de otros materiales.

Un polímero se clasifica como elastómero si cumple los siguientes criterios (1) Debe cristalizar con dificultad, pues los elastómeros son amorfos. (2) Las rotaciones de los enlaces de las cadenas deben ser relativamente libres para facilitar la respuesta de las cadenas enrolladas al aplicar un esfuerzo (3) Para que los elastómeros experimenten una gran deformación elástica, el inicio de la deformación plástica debe retardarse. La restricción de la movilidad que origina el entrecruzamiento de las cadenas contribuye a este objetivo. El entrecruzamiento actúa impidiendo el deslizamiento mutuo de las cadenas unidas. En la mayoría de los elastómeros el entrecruzamiento se realiza por el proceso denominado vulcanización. Finalmente, los elastómeros deben estar por encima de la temperatura de transición vítrea. La menor temperatura a la cual persiste el comportamiento elastómero es T_g , que para muchos elastómeros está comprendida entre -50 y -90°C . Por debajo de la temperatura de transición vítrea, un elastómero se fragiliza.

Fractura de polímeros

La resistencia a la rotura de los materiales poliméricos es relativamente menor que la de los metales y cerámicas. Por regla general, los polímeros termoestables presentan fractura frágil. La formación de grietas en la región donde se localizan las tensiones está asociada con el proceso de rotura. Durante la rotura se deshacen los enlaces covalentes de las estructuras entrecruzadas y reticuladas.

Los polímeros termoplásticos presentan fractura dúctil y frágil, y muchos experimentan la transición dúctil-frágil. La baja temperatura, la alta velocidad de deformación, la presencia de entallas agudas, el incremento del espesor de las muestras y las modificaciones de la estructura polimérica son factores que favorecen la fractura frágil. Los termoplásticos vítreos son frágiles a baja temperatura, pero se convierten en dúctiles al aumentar la temperatura y aproximarse a la temperatura de transición vítrea y presentan comportamiento plástico antes de romperse.^[2]

Un fenómeno asociado a la fractura de algunos polímeros termoplásticos vítreos es la microfisuración. Las microfisuras constituyen la región pensada asociada a fisuras, grietas, partículas de impurezas y heterogeneidades moleculares. Normalmente esta región se propaga perpendicularmente al eje de esfuerzo de tracción. Asociadas a las microfisuras existen regiones de deformación permanente localizada, que conducen a la formación de fibrillas (regiones con cadenas moleculares orientadas) y pequeños poros dispersos (micro poros) e interconectados. El espesor de una microfisura suele ser de unas 5 μm o menos.

Las microfisuras, a diferencia de las grietas, son capaces de soportar cargas transversales a la dirección de su propagación. Las cargas soportadas serán menos de las de un material sin microfisuras o sin grietas. Si se aplica un esfuerzo de tracción suficiente a lo largo de las microfisuras se forman grietas por rotura de la estructura fibrilar y ensanchamiento de los huecos. A continuación la grieta se extiende por su extremo.

Resistencia al impacto

En algunas aplicaciones de los materiales poliméricos es de gran interés conocer el grado de resistencia al impacto de probetas entalladas. Estos valores se obtienen mediante ensayos Izod o Charpa. Con los metales, los polímeros presentan rotura dúctil o frágil cuando se someten al impacto de una carga, dependiendo de la temperatura, del tamaño de la probeta, de la velocidad de deformación y del modo de aplicar la carga. Tanto polímeros cristalinos y como los amorfos son frágiles a baja temperatura y tienen relativamente poca resistencia al impacto. Sin embargo, estos materiales experimentan transición dúctil-frágil en un estrecho intervalo de temperaturas, similar al que se muestra para el acero. Desde luego, la resistencia al impacto decrece gradualmente a altas temperaturas, cuando el polímero empieza a reblandecerse. Ordinariamente, las dos características relacionadas con el impacto más solicitadas son elevada resistencia al impacto a temperatura ambiente y una temperatura de transición frágil-dúctil a temperatura inferior a la ambiental.^[9]

Fatiga.

Los polímeros pueden experimentar fallos por fatiga en condiciones de esfuerzos cíclicos. Del mismo modo que en los metales, la fatiga ocurre a esfuerzos relativamente pequeños comparados con el límite elástico. Los ensayos de fatiga de los polímeros no duran tanto como en los metales; sin embargo, la representación gráfica de los resultados obtenidos con ambos materiales tiene forma parecida. Algunos polímeros presentan límite de fatiga (un nivel de esfuerzo por debajo del cual el esfuerzo por que se produzca el fallo se hace independiente del número de ciclos). Otros polímeros no parece que tengan tal límite. Como era de esperar, la resistencia a la fatiga y el límite de fatiga de los polímeros es mucho menor que la de los metales.

Resistencia a la torsión y dureza.

Otra propiedad mecánica que a veces condicionan las aplicaciones de los polímeros son la resistencia a la torsión y la dureza. La resistencia a la torsión de algunos plásticos es de gran importancia, sobre todo la de las láminas o películas utilizadas para embalaje. La resistencia a la torsión es la energía requerida para torcer una probeta de una geometría con la resistencia a la tracción.

Como en los metales, la dureza de un polímero representa la resistencia del material al rayado y la penetración. La mayoría de los ensayos de dureza se realizan mediante técnicas de penetración similares a la de los metales.

Aplicación y conformación de los polímeros.

Las grandes macromoléculas de los polímeros utilizados industrialmente se sintetizan a partir de sustancias que tienen moléculas mucho más pequeñas en un proceso denominado polimerización. Además, las propiedades de los polímeros se modifican y se mejoran por inclusión de aditivos. Finalmente, se fabrica la pieza de la forma necesaria mediante las técnicas de conformación: moldeo y hechura. A continuación se explicara los procesos de polimerización y de los diferentes tipos de aditivos. Los procedimientos específicos de conformación se verán al tratar cada tipo de polímero. ^[2]

Polimerización.

La síntesis de polímeros de elevados pesos moleculares se denomina polimerización: los monómeros se unen entre si para generar las gigantescas moléculas que constituyen el material. La mayor parte de las materias primas necesarias para sintetizar polímeros derivan de productos del carbón y del petróleo, que suelen estar constituidos por moléculas de pequeño peso molecular. La polimerización transcurre mediante reacciones de adición o de condensación, cuyos mecanismos se discuten a continuación. ^[18]

Polimerización por adición.

La polimerización por adición (también denominada polimerización por reacción en cadena) es un proceso en el cual reaccionan monómeros bifuncionales que van uniendo uno a uno, a modo de cadena, par formar una macromolécula lineal. La composición de la molécula resultante es un múltiplo exacto del monómero reactivo original.

En la polimerización por adición se distinguen tres etapas: iniciación, propagación y terminación. Durante la etapa de la iniciación se forma, por reacción de un catalizador con una unidad manomérica, un centro activo capaz de propagarse. Este proceso se demostró para el polietilen
Las velocidades relativas de iniciación, propagación y terminación determinan el peso molecular, por lo que normalmente se controlan para obtener un polímero común grado de polimerización predeterminado. Como la polimerización termia al azar, se genera una gran variedad de longitudes de cadena, que origina una distribución de pesos moleculares.

La polimerización o adición se aplica para la síntesis de polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliestireno y de muchos copolimeros.

Polimerización por condensación.

La polimerización por condensación (o reacción por etapas) es la formación de polímeros por mediación de reacciones químicas intermoleculares que normalmente implican mas de una especie monomérica y generalmente se origina un subproducto de bajo peso molecular, como el agua, que se elimina. Las sustancias reactivas tienen formulas químicamente diferentes de la unidad que se repite, y la reacción intermolecular ocurre cada vez que se forma una unidad repetitiva. Por ejemplo, al considerar la formación de un poliéster a partir de la reacción entre el etilenglicol y el ácido adípico.

Este proceso por etapas se repite sucesivamente y se produce, en este caso, una molécula lineal. La química de la reacción específica no es importante, sino el mecanismo de la polimerización por adición.

Aditivos de los polímeros.

La mayoría de las propiedades de los polímeros discutidos anteriormente son intrínseca, es decir, son características esenciales del polímero específico. Algunas de estas propiedades se relacionan y se controlan con la estructura molecular. Sin embargo, muchas veces es necesario modificar las propiedades mecánicas, químicas y físicas en un grado mucho mayor que el permitido por la simple alteración de la estructura molecular fundamental. Por ello, sustancias alogenas, denominadas aditivos, se introducen intencionadamente para modificar muchas de estas propiedades y para aumentar la utilidad del polímero. Son aditivos típicos los rellenos, los plastificantes, los estabilizantes, los colorantes y los ignífugos.

Rellenos.

Los materiales de relleno se adicionan a los polímeros para incrementar las resistencias a la tracción, a la compresión y a la abrasión, la tenacidad, la estabilidad dimensional y térmica y otras propiedades. Como rellenos se utiliza aserrín, sílice, arena, vidrio, arcilla, talco, caliza e incluso polímeros sintéticos, todos ellos finamente pulverizados. Los tamaños de las partículas van de 10nm a dimensiones macroscópicas. El coste del producto final disminuye por que estos materiales baratos substituyen una parte del volumen de los polímeros más caros.

Plastificantes.

La flexibilidad, la ductilidad y la tenacidad de los polímeros pueden mejorarse con la ayuda de los aditivos denominados plastificantes. Su presencia también reduce la dureza y la fragilidad. Los plastificantes suelen tener baja presión de vapor y bajo peso molecular. Las diminutas moléculas de los plastificantes ocupan posiciones entre las grandes cadenas poliméricas, incrementando la distancia

entre cadenas y reduciendo los enlaces secundarios intermoleculares. Generalmente se utilizan plastificantes en la elaboración de polímeros frágiles a temperatura ambiente, tales como cloruro de polivinilo y algún copolimero del acetato. Los plastificantes disminuyen la temperatura de transición vítrea y de este modo los polímeros se pueden utilizar a temperatura ambiente en aplicaciones que requieren algún grado de flexibilidad y de ductilidad. Estas aplicaciones incluyen láminas delgadas o películas, tubos, impermeables y cortinas.

Estabilizantes.

Algunos materiales poliméricos, en condiciones ambientales normales, se deterioran rápidamente, generalmente en términos de integridad mecánica. Este deterioro suele ser el resultado de la exposición a la luz, en particular a la radiación ultravioleta, y también a la oxidación. La radiación ultravioleta interacciona con los enlaces covalentes y puede romper algunos de ellos a lo largo de la cadena molecular; esto puede generar también un entrecruzamiento de cadenas. El deterioro por oxidación es consecuencia de la interacción química entre átomos de oxígeno y moléculas poliméricas. Los aditivos que contrarrestan este proceso de deterioro se denominan estabilizantes.

Colorantes.

Los colorantes dan un color específico al polímero. Se pueden adicionar como tintes o pigmentos. Los tintes actúan como disolventes y se incorporan a la estructura molecular del polímero. Los pigmentos son como material de relleno que no se disuelven, sino que permanecen como fases separadas; generalmente son partículas de pequeño tamaño, transparentes y con índice de refracción próximo al primero base. Otros aditivos dan opacidad y color al polímero.

Ignífugos.

La inflamabilidad de los polímeros es una característica del máximo interés, sobre todo en la fabricación de textiles y de juguetes para niños. La mayoría de los polímeros, en estado puro son inflamables, a excepción de los que contienen elevada porción de cloruros y/o fluoruros, tales como los cloruros de polivinilo y politetrafluoretileno. La resistencia a la inflamabilidad de los polímeros combustibles aumenta adicionando aditivos denominados ignífugos (retardadores de llama). Estos aditivos funcionan interfiriendo el proceso de combustión mediante una fase gaseosa o iniciando una reacción química que enfría la región de combustión y cesa el fuego.

Tipos de polímeros.

Existen muchos tipos diferentes de materiales poliméricos que no son familiares y que tienen gran número de aplicaciones, entre las que se incluyen plásticos, elastómeros, fibras, recubrimientos, adhesivos, espumas y películas. Dependiendo de sus propiedades, un polímero puede utilizarse en dos o más de estas aplicaciones. Por ejemplo, un plástico, si se entrecruza y se utiliza por debajo de su temperatura de transición vítrea, puede comportarse satisfactoriamente como un elastómero. Un material fibroso se puede utilizar como plástico si no está trefilado.

Propiedades físicas.

Densidad: (Relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa) Es baja. (Entre 0,02 y 2,5 g/cm³)

Punto de fusión: (Temperatura a la que pasa del estado sólido al líquido) Es bajo. Ninguno excede de los 200°C

Conductividad térmica: Muy baja. Son excelentes aislantes térmicos (Mangos de baterías de cocina).

Conductividad eléctrica: Muy baja. Son excelentes aislantes eléctricos (Recubrimientos de cables).

Solubilidad: Son insolubles en agua y en la mayoría de los disolventes.

Combustibilidad: La mayoría arden con facilidad, ya que sus moléculas se componen de carbono e hidrógeno.

El color de la llama y el olor del humo que desprenden suele ser característico de cada plástico. Ej. Bolsas de basura.

Propiedades mecánicas.

Dureza: (resistencia que ofrece un cuerpo al desgaste o a ser rayado) Es baja. Se pueden cortar con facilidad.

Moldeabilidad: Fáciles de moldear en caliente.

Tenacidad: (resistencia que opone un cuerpo a dejarse romper cuando está sometido a esfuerzos de deformación lentos) Es mediana. Algunos, a pesar de ser ligeros, son muy resistentes a los esfuerzos mecánicos, Por eso se usan, junto a las aleaciones metálicas, para construir aviones. Casi todos los juguetes están hechos de algún plástico.

Elasticidad: La mayoría son inelásticos (“plásticos”). Algunos, como el caucho, son elásticos.

Plasticidad: Se reblandecen por el calor y, sin llegar a fundir, son fácilmente moldeables. Permite fabricar piezas de formas complicadas.

Otras propiedades

Economía: Material barato, salvo excepciones.

Facilidad para combinarse con otros materiales: Debido a ella es posible crear materiales compuestos con mejores propiedades. Ej. Poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Facilidad de procesado y versatilidad: Su elevada plasticidad hace que las técnicas industriales de fabricación sean sencillas, lo que permite fabricar plásticos a medida de las necesidades.

Principales inconvenientes.

La mayoría no soportan las altas temperaturas sin perder propiedades.

Conviene destacar el proceso de deterioro, al que se ven sometidos algunos plásticos. La acción de los agentes atmosféricos (lluvia, sol, viento...) los vuelve quebradizos, perdiendo sus propiedades.

Técnicas de conformación.

En la conformación de materiales poliméricos se emplea una gran variedad de técnicas. El procedimiento utilizado para conformar un polímero específico depende de varios factores (1) si el material es termoplástico o termoestable (2) si es termoplástico, de la temperatura de ablandamiento; (3) la estabilidad atmosférica del material a conformar y (4) la geometría y el tamaño del producto acabado. Hay numerosas similitudes entre estas técnicas y las utilizadas para la conformación de los metales y cerámicas.

La fabricación de materiales poliméricos normalmente se lleva a cabo a elevada temperatura y con aplicación de presión. Los termoplásticos se conforman a temperaturas superiores a la de transición vítrea, y la presión aplicada se debe mantener a medida que la pieza se enfría por debajo de la temperatura de transición para que conserve la forma mientras que permanece blanda y en estado plástico. Un significativo beneficio económico que se obtiene al utilizar termoplástico es que estos son reciclables.

El moldeo.

El moldeo es el procedimiento más común para conformar los polímeros plásticos. Las técnicas de moldeo son por compresión, por transferencia, por soplado, por inyección y por extrusión. En cada una de estas técnicas, el plástico finamente granulado se fuerza, mediante temperatura y presión, a fluir dentro del molde, a llenarlo y a adoptar su forma.

Moldeo por compresión y por transferencia. En el moldeo por compresión una cantidad adecuada de mezcla de polímeros y aditivos se coloca entre las piezas superior e inferior del molde. Ambas piezas del molde se calientan pero solo una se desplaza. El molde se cierra y el calor y la presión aplicados hacen que el material plástico se convierta en viscoso y adquiera la forma del molde.

Usos de los polímeros

Los polímeros se utilizan en un número sorprendente de aplicaciones, incluyendo juguetes, aparatos domésticos, elementos estructurales y de decorativos, recubrimiento, adhesivos, llantas de automóvil y empaques.

El polietileno se usa para producir películas para empaque, aislamiento de conductores, botellas blandas, recubrimiento de extrusión, cortinas, manteles, cubiertas para la construcción, estanques, invernaderos, bolsas de basura, tuberías y elementos caseros.^[2]

El cloruro de polivinilo o más conocido como el PVC se utiliza para fabricar tuberías, válvulas, coples, loseta de piso, aislamiento para conductores, y techos de vinil para automóviles.

El polipropileno se utiliza para la fabricación de tanques, aplicación en el moldeo por inyección de piezas de electrodomésticos, utensilios pequeños, piezas de automóviles, fibras para alfombras, cuerdas y empaques.

El poliestireno se utiliza para la fabricación de empaques y espumas aislantes, paneles de iluminación, copolímeros resistentes al calor y al impacto, piezas ópticas de plástico, juguetes, componentes de aparatos y rejillas para huevos.

El poliacrilonitrilo (PAN) se utiliza para la fabricación de fibras textiles, precursor para fibras de carbón y recipientes de alimento.

El polimetilmetacrilato (PMMA), (acrilicoplexiglas) se utiliza para la fabricación de ventanas, parabrisas, recubrimientos, lentes de contacto rígidos, señalizaciones iluminadas internamente.

El policlorotrifluoroetileno se utiliza para la fabricación de componentes para válvulas, juntas, tuberías y aislamiento eléctrico.

El politetrafluoroetileno más conocido como el teflón se utiliza para la producción de sellos, aislantes para cables, aislamientos de motores, aceites, transformadores, generadores, acondicionamiento de la estanqueidad de válvulas, válvulas y recubrimientos no adherentes.

El Polioximetileno (acetal) (POM) se utiliza en la fabricación de accesorios de plomería, plumas, engranes y aspas de ventilador.

La Poliamida (PA) mas conocido como nylon es utilizado en la fabricación de cojines, engranajes, fibras, cuerdas, componentes de automotores y componentes eléctricos. La Poliamida (PI) se utiliza en la fabricación de adhesivos, tableros de circuitos y fibras para transbordadores espaciales.

El poliéster es utilizado por la fabricación de fibras, películas fotográficas, cintas de grabación, contenedores de agua caliente y recipientes para bebidas. La cinta magnética para aplicaciones de video y audio se produce mediante evaporación, pulverización o recubrimiento de partículas de un material magnético como el Fe_2O_3 sobre la superficie de una cinta de poliéster

El policarbonato se utiliza para la fabricación de carcasas eléctricas y aparatos, componentes automotrices, cascos de fútbol americano y botellas retornables.

La polietereterketona (PEEK) se utiliza para la fabricación de alimentos y recubrimientos eléctricos de alta temperatura.

El sulfuro de polifenileno (PPS) se utiliza para la fabricación de recubrimientos, componentes para manejos de fluidos, componentes electrónicos y componentes para secadores de pelo.

La sulfona de poliéter (PES) se utiliza para la fabricación de componentes eléctricos, cafeteras, secadores eléctricos y componentes de hornos microondas.

La poliamidaimida (PAI) se utiliza para la fabricación de componentes electrónicos, aplicaciones aeroespaciales y automotrices.

Los fenolicos se utilizan en la fabricación de adhesivos, y recubrimientos laminados.

Las aminas se utilizan en la fabricación de adhesivos, utensilios de cocina, y moldes eléctricos.

Los epoxicos se utilizan para la fabricación de adhesivos moldes eléctricos, y matrices para materiales compuestos.

Los uretanos se utilizan para la fabricación de fibras, recubrimientos y espumas.

La silicona se utiliza como adhesivo, y como selladores.

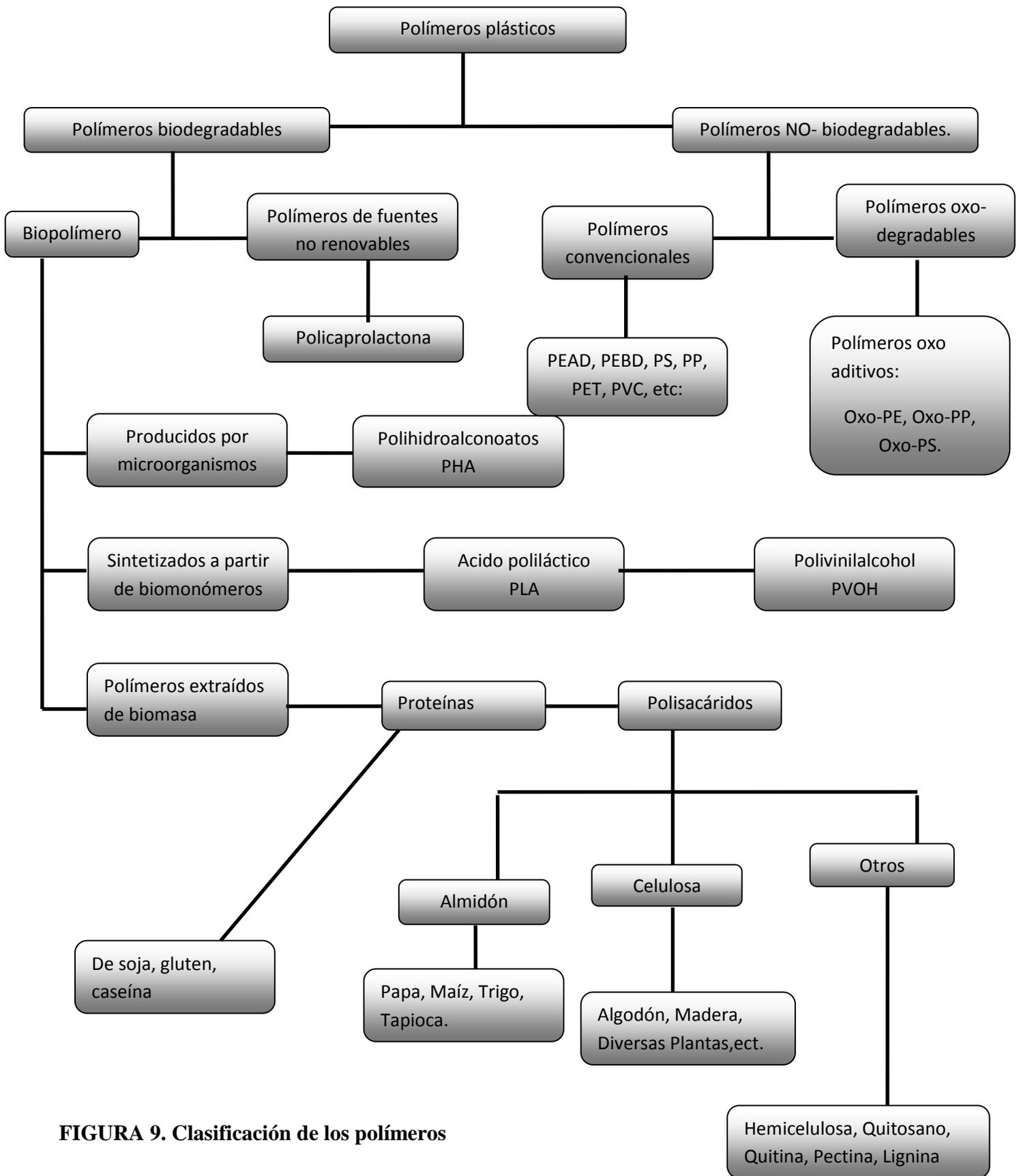


FIGURA 9. Clasificación de los polímeros

Definición general de biodegradación y degradación de los polímeros

Degradable según enkerlint en 1997 define como degradable a la característica que tienen los compuestos que son reducidos por agentes naturales físicos, químicos y procesos biológicos un estado neutral o niveles aceptados para la naturaleza.

Y gordon en 1996 define como biodegradable simplemente a la habilidad de los componentes moleculares de un material a ser rotos en moléculas más pequeñas por organismos vivientes, así que el carbón contenido en el material al fin puede retornar a la atmosfera.

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos.^[1]

En general Biodegradable es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales. No todas las sustancias son degradación de las sustancias depende de varios factores, principalmente de la estabilidad que presenta su molécula, del medio en el que se encuentran que les permite estar biodisponibles para los agentes biológicos y de las enzimas de dichos agentes.

Materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica ó anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente.

Son obtenidos usualmente por vía fermentativa y se los denomina también Biopolímeros. Como ejemplos tenemos el Biopol™ poliésteres copolímeros del tipo polihidroxitirato (PHB)/polihidroxi valerato (PHV), el Pululano (que es un polisacárido), el PLA (Ácido poliláctico), etc.

Este último (PLA) es uno de los más conocidos y está basado 100% en el almidón obtenido del maíz, trigo ó papas. El almidón es transformado biológicamente (fermentación) mediante microorganismos en ácido láctico que es el monómero básico, que mediante un proceso químico se polimeriza transformándolo en largas cadenas moleculares denominadas ácido poliláctico. Puede ser extrudado, inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor para producir blister, bandejas y películas. Tiene también usos médicos en suturas, implantes y sistemas de liberación de drogas. Existen también bioplásticos producidos directamente por las bacterias que desarrollan gránulos de un plástico llamado Polyhydroxyalkanoate (PHA) dentro de la célula misma. La bacteria se desarrolla y reproduce en un cultivo y el material plástico luego se separa y purifica.

Existen polímeros biodegradables de origen petroquímico como la Policaprolactona (PCL) que es un poliéster alifático que es verdaderamente biodegradable sin el requerimiento previo de la fotodegradación. En ambiente de composta la policaprolactona es asimilada totalmente por los microorganismos y la velocidad de degradación depende de varios factores tales como espesor de la muestra, humedad, temperatura, oxígeno, etc. Se usa entre otras aplicaciones como remplazo del

yeso en aplicaciones ortopédicas. Existen también en el mercado mezclas de PCL con almidón tales como el Mater-bi™ que se usa para producir películas, artículos inyectados, productos termoformados, etc

La degradación de los polímeros

La degradación o envejecimiento de los polímeros se refiere a los cambios que sufren estos materiales en sus propiedades al interactuar con el medio y el ambiente en que se encuentren. Existen diferentes maneras de considerar la degradación: natural, acelerada, artificial, física y química.

Reacciones de degradación La degradación de los polímeros es un proceso que ocurre por la ruptura de la cadena principal o la de los enlaces de los grupos laterales. Existen diferentes maneras de considerar la degradación: natural, acelerada, artificial, física y química.

La *natural* considera al polímero sometido a la influencia de elementos naturales o bien toma en cuenta las consecuencias de su uso.

La *acelerada* consiste en someter al material polimérico a condiciones climatológicas diferentes para las que fue diseñado, lo cual va a repercutir en su tiempo de vida útil.

La *artificial* es un caso muy particular de envejecimiento y consiste en aplicar al material condiciones de exposición controlada y se realiza en equipos o cámaras que simulan un clima natural.

La *física* engloba a todos los fenómenos que interactúan con los polímeros sin modificar la estructura química de los mismos; en este tipo de envejecimiento se consideran dos fenómenos: uno que implica transferencia de masa y otro en el que no la hay.^[1]

La *química* implica la modificación estructural del material polimérico expuesto a determinadas condiciones como puede ser la luz. Temperatura en presencia o ausencia de oxígeno, disolventes, diferentes tipos de radiaciones y diversos microorganismos.

Reacciones de degradación.

La degradación de los polímeros es un proceso que ocurre por la ruptura de la cadena principal o la de los enlaces de los grupos laterales.

Los tipos de degradación más importantes son:

* Degradación al azar, que es un proceso caracterizado por la ruptura del enlace de la cadena principal en la forma aleatoria.

* Degradación de los enlaces débiles. El caso clásico es cuando las cadenas poliméricas contienen un carbón cuaternario, es decir, el polimetacrilato de metilo en donde por calentamiento se logra casi el 100% de recuperación del monómero (en atmósfera inerte) al no existir hidrógenos laterales en la cadena se evita la formación de agua.

* Proceso de depolimerización. Es un proceso inverso al de la polimerización. Consiste en las siguientes etapas:

- a) Inicio en el final de la cadena
- b) Degradación
- c) Terminación de segundo orden, ya sea por desproporción y/o combinación.

En este tipo de degradación, la depolimerización ocurre principalmente en macromoléculas

Es importante aclarar que en la depolimerización la reacción se produce en cadena, en tanto que en la degradación al azar y en la de enlaces débiles es una reacción en etapas.

Los procesos tanto de depolimerización como de degradación al azar, pueden ocurrir al someter a la acción del calor, luz o radiaciones ultrasónicas. Una muestra polimérica, en cuyo caso recibe el nombre de degradación térmica, fotodegradación y degradación radioactiva, respectivamente.

También existe la degradación mecánica que se produce por la acción de fuerzas cortantes, vibraciones ultrasónicas, por congelación rápida y repetida del disolvente de una solución de polímeros, agitación a una alta velocidad.

La degradación química, que se origina por la acción de agentes químicos y, por último, la biodegradación que se produce por acción de enzimas, bacterias, hongos.

Algunas de las propiedades que deben tener los polímeros para su degradación son las siguientes.

Estado amorfo o cristalino: muchos polímeros son sólidos amorfos, es decir, tienen una estructura desordenada en la cual las cadenas están desarrolladas al azar, estos facilitan la difusión de los gases atmosféricos, agua, y sistemas enzimáticos dentro de la capa superficial de un polímero amorfo, en mucho mayor caso que un polímero cristalino.

Temperatura de transición vítrea (T_g): Es la temperatura por encima de la cual el estado físico de las sustancias cambia de un estado vítreo a estado tipo caucho es decir, líquido sobrefundido solidificado

Grupos funcionales presentes: Estas estructuras químicas especificadas en la cadena del polímero, proveen sitios para reaccionar.

Calor: muchos polímeros sufren degradación si su temperatura se incrementa convenientemente y la diferencia en estabilidad es considerable, esta puede depender de la historia de la muestra, su aspereza, y en algunos casos su peso molecular

Luz: El espectro de energía radiante del sol que llega a la superficie de la tierra en el verano es alta en el componente infrarrojo y el componente ultravioleta de esta radiación tiene la energía para romper las cadenas de enlaces y causar degradación.

Atmosfera: La degradación de los polímeros puede ocurrir por los ataques de los gases de la atmosfera el caso mas importante es por oxígeno.

Cada agente externo que conduce a la degradación del polímero da lugar a un mecanismo Diferente de degradación (y modifica la estructura del polímero).

TABLA 2. Degradación

Agente externo degradación	Tipo de
Luz solar	Fotodegradación
Calor térmica	Degradación
Agentes atmosféricos oxidativa	Degradación
Humedad hidrolítica	Degradación
Hongos y microorganismos	Biodegradación
Luz + oxígeno oxidativa	Fotodegradación
Calor + oxígeno termoxidativa	Degradación
Luz + humedad fotohidrolítica	Degradación

TABLA 3. Características de la degradación de los polímeros.

Tipos de reacción	Puntos de Inicio	Estructura típica de los polímeros	Productos
Depolimerización	Final de cadena	Polímeros, vinílicos	Monómeros
Degradación al azar	Puntos al azar	Polímeros de condensación o en polímeros vinílicos no sustituidos o monosustituidos	Productos de mezclas diversas
Degradación en los enlaces débiles	Enlaces débiles	Polímeros naturales	Productos de mezclas diversas

Métodos de degradación:

La degradación térmica de los polímeros es deterioro molecular como resultado de un sobrecalentamiento. A temperaturas elevadas los componentes de la columna vertebral de cadena larga del polímero puede comenzar a separar (escisión molecular) y reaccionan entre sí para cambiar las propiedades del polímero. La degradación térmica puede presentar un límite superior a la temperatura de servicio de los plásticos tanto como la posibilidad de pérdida de propiedades mecánicas. De hecho correctamente a menos impedido, significativa degradación térmica puede ocurrir a temperaturas mucho más bajas que aquellas a las que un fallo mecánico es probable que ocurra. Las reacciones químicas implicadas en la degradación térmica de plomo a cambios en las propiedades físicas y ópticas con respecto a las propiedades previstas inicialmente. degradación térmica implica generalmente cambios en el peso molecular (y la distribución del peso molecular) del polímero y los cambios típicos de las propiedades incluyen ductilidad reducida y friabilidad, desintegración en polvo , cambios de color, grietas, reducción general en la mayoría de otras propiedades físicas deseables.

La mayoría de los tipos de degradación siguen un patrón básico similar. El modelo convencional de la degradación térmica es la de un auto-oxidación proceso que implica las etapas principales de iniciación, propagación, ramificación, y la terminación.

- El inicio de la degradación térmica implica la pérdida de un átomo de hidrógeno de la cadena de polímero como resultado de la entrada de energía de calor o luz. Esto crea una muy reactivo e inestable polímero 'radicales libres' ($R \bullet$) y un átomo de hidrógeno con un electrón no apareado ($H \bullet$).
- La propagación de la degradación térmica puede implicar una variedad de reacciones y es uno de ellos, donde el radical libre ($R \bullet$) reacciona con un átomo de oxígeno (O_2) molécula para formar un radical peroxi ($ROO \bullet$), que puede eliminar un hidrógeno de un átomo otra cadena de polímero para formar un hidroperóxido ($ROOH$) y así regenerar el radical libre ($R \bullet$). El hidroperóxido puede entonces dividirse en dos nuevos radicales libres , ($RO \bullet$) + ($\bullet OH$), que continuará para propagar la reacción a otras moléculas de polímero. El proceso por lo tanto puede acelerar dependiendo de lo fácil que es para eliminar el hidrógeno de la cadena de polímero.
- La terminación de la degradación térmica se consigue mediante "limpieza" de los radicales libres para crear productos inertes. Esto puede ocurrir de forma natural por la combinación de los radicales libres o puede ser asistido mediante el uso de estabilizadores en el plástico

Las formas de degradación térmica son:

Despolimerización.

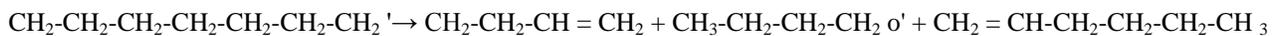
Bajo el efecto térmico, el extremo de cadena de polímero sale, y que forma radicales libres bajo que tiene baja actividad. Entonces, de acuerdo con el mecanismo de reacción en cadena, el polímero pierde el monómero uno por uno. Sin embargo, la cadena molecular no cambia mucho en un corto período de

tiempo. La reacción se muestra a continuación.^[3] Este proceso es común para polymethmethacrylate (plexiglás).



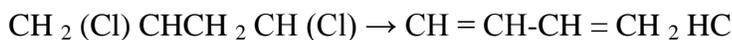
Escisión de la cadena aleatoria.

La columna vertebral se descompone al azar, podría ser producido en cualquier posición de la columna vertebral. El peso molecular disminuye rápidamente, y no se puede obtener monómero en esta reacción, esto es debido a que las nuevas formas de radicales libres que tiene una alta actividad puede se produce transferencia de cadena intermolecular y terminación desproporción con la CH₂'group.



Side-Group Eliminación.

Los grupos que están sujetos a un lado de la columna vertebral se llevan a cabo por enlaces que son más débiles que los enlaces que conectan la cadena. Cuando el polímero se está calentando, los grupos laterales se quitó de la cadena antes de que se rompe en trozos más pequeños. Por ejemplo, el PVC elimina HCl, en virtud de 100-120 ° C.



La fotodegradación.

La gran mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa. Este envejecimiento se atribuye a una reacción de foto-oxidación térmica en cadena producida por la radiación luminosa de mayor energía correspondiente a una longitud de onda comprendida entre 290 y 350 nm, en la que se generan grupos carbonilo, grupos responsables que desencadenan las reacciones degradativas del plástico.

Las reacciones de fotodegradación ocurren a través de modelos basados en la formación de radicales. Hoy en día se aceptan dos mecanismos que explican dicho fenómeno, denominados Norrish tipo I y Norrish tipo II. En el modelo de la fotodegradación, el proceso de degradación transcurre a partir de grupos carbonilo, y para que resulte favorable es conveniente modificar químicamente el polímero ya formado o bien copolimerizando el monómero principal con otro que posea grupos carbonilo en la estructura, como es el caso de las vinilcetonas con etileno, propileno o estireno. Otro ejemplo lo encontramos en los polímeros etileno – dióxido de carbono en el cual la absorción de la luz por el grupo cetona crea una ruptura en la cadena. El polímero se fragiliza y se transforma en polvo. Otra

opción consiste en activar el polímero con sustancias fotosensibles capaces de absorber luz ultravioleta. El objetivo es generar especies químicas altamente reactivas capaces de degradar el polímero. Un ejemplo es el hierro ditiocarbonato.

La acción degradativa en este proceso se reduce a disminuir el peso molecular de las cadenas y después son los agentes ambientales (humedad, oxidación, fenómenos de transporte) y los biológicos los encargados de hacer desaparecer los fragmentos poliméricos.

Degradabilidad por alta energía.

El término alta energía se refiere a todo tipo de onda electromagnética o partícula subatómica que posea energía apreciablemente mayor a la energía de los enlaces (principalmente rayos X y rayos γ). Los primeros son generados por la expulsión de energías de los niveles internos de los átomos y los segundos son energía producida por reacciones nucleares. Rayos X suaves ($\lambda > 4 \text{ \AA}$). para propósitos de degradación de polímeros es necesario producir rayos de radiación paralelos, por ello la radiación sincrotrón es muy adecuada. Consiste en radiación electromagnética incoherente emitida por electrones que circulan en un anillo acelerados en dirección perpendicular a su movimiento por un campo magnético. Las partículas más usadas son los electrones acelerados y neutrones acelerados y no acelerados. Poseen poca profundidad de penetración en la materia condensada. Debido a que los polímeros son bastante usados en todo tipo de equipamientos técnicos y médicos que usan alguna fuente de radiación electromagnética, el estudio de este tipo de degradación de estos materiales es importante. Por ejemplo en institutos donde hay tratamientos contra el cáncer donde los procedimientos usan radiación de alta energía o en plantas nucleares

Absorción de radiación.

La absorción de radiación de alta energía no es específica, es decir, no hay átomos o lugares específicos en la cadena que absorben, sino que se da una interacción de la radiación con el núcleo o con la nube de electrones de los átomos. Cuando se trata de núcleos leves la interacción de la radiación con éstos puede ser despreciada, como es el caso de los polímeros.

Cuando los rayos γ y X interactúan con los electrones se pueden dar tres procesos: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la formación de pares; en todos los casos hay emisión de electrones secundarios que poseen la energía suficiente para generar ionización o estados electrónicos excitados en las moléculas vecinas.

Mecanismos:

Intermedio reactivo

Como se muestra con las reacciones anteriores la interacción de la radiación de alta energía con la materia genera iones, radicales libres y moléculas electrónicamente excitadas. Todas estas especies son inestables y pueden convertirse en especies intermediarias que pueden sufrir diferentes reacciones que llevan a la degradación del polímero. La existencia de las diferentes especies generadas ha sido demostrada mediante el uso de diferentes técnicas de absorción óptica, de conductividad eléctrica.

- Degradación y entrecruzamiento simultáneo

Los polímeros lineales sufren ambos procesos cuando son expuestos a radiación de alta energía. Esto puede detectarse mediante mediciones de peso molecular o mediciones de tamaño de partícula.

Aspectos especiales de degradación en polímeros sintéticos

Influencia del oxígeno: Debido a que la radiación de alta energía genera radicales libres, es una gran precursora de auto oxidación. El oxígeno latamente reactivo con los radicales libres empeora los procesos de auto oxidación.

- Influencia de la tasa de la dosis absorbida:

A mayor irradiación mayor degradación se genera.

- Efectos de la temperatura:

En primer lugar debe decirse que a mayor temperatura más fácilmente se inicia la degradación térmica anteriormente mencionada.

Además el aumento de la temperatura aumenta la movilidad del sistema lo que facilita el movimiento de los radicales libres dentro del volumen del polímero.

- Estabilización y protección a la radiación de alta energía:

Los polímeros que sufren entrecruzamiento bajo la acción de radiación de alta energía sufren un aumento de propiedades mecánicas mientras que a los que sufren ruptura de cadena se obtiene un decaimiento serio de las propiedades mecánicas.

- Degradación oxidativa.

Consiste en el ataque del oxígeno activo sobre el polímero; en el fondo, es una reacción orgánica de oxidación-reducción. Como en la degradación térmica, el oxígeno origina radicales libres en el

polímero, que pueden dar todo tipo de reacciones secundarias degradativas. En general, los polímeros diénicos o con carbonos terciarios son los menos resistentes al oxígeno radicalario debido a la reactividad de los carbonos arílicos y terciarios. Este tipo de degradación ha sido muy estudiada en poliolefinas y depende claramente de la concentración de O₂. En una primera etapa, el oxígeno se fija en los carbonos susceptibles que hay en la cadena, y se forma un peróxido que se descompone a acetona o aldehído.

- Degradación Hidrolítica

Al entrar en contacto el material con un medio acuoso, el agua penetra en la matriz polimérica y provoca hinchamiento, ruptura de puentes de hidrógeno intermoleculares, hidratación de las moléculas y finalmente la hidrólisis de los enlaces inestables.

La ruptura por hidrólisis de los grupos funcionales puede ocurrir tanto en los grupos de la cadena principal como en los sustituyentes laterales. Sin embargo, el concepto degradación de polímeros se asocia a una disminución del peso molecular, por lo que es necesario que la cadena principal se rompa por varios puntos.

Factores que influyen en la degradación hidrolítica de los polímeros:

A) Naturaleza de los grupos funcionales. Existe una relación directa entre la sensibilidad del grupo a la hidrólisis y la degradabilidad del polímero. Sin embargo, otros factores tienen una influencia considerable y pueden alterar el comportamiento de un material polimérico predecible.

B) Permeabilidad al agua y solubilidad (hidrofílicos-hidrofóbicos). Depende del carácter hidrofílico de los grupos funcionales, del número de éstos, y de su accesibilidad (factor de vital importancia). Cuando la velocidad de absorción de agua es superior a la velocidad de hidrólisis, ocurre una degradación en masa, y al revés, tiene lugar una degradación superficial (Heller, 1985).

C) Factores físico-químicos: intercambio iónico, fuerza iónica, pH. La velocidad de degradación de un polímero es función del medio de incubación. Generalmente el proceso de degradación puede ser activado o ralentizado por un cambio en el pH del medio.

D) Cristalino-amorfo. La morfología del polímero es de gran importancia, ya que la fase amorfa es mucho más accesible al agua que la cristalina. Así, los polímeros biodegradables suelen ser semicristalinos, y es frecuente que en las primeras fases de degradación aumente el porcentaje de cristalinidad del polímero.

Capítulo

3

Desarrollo

experimental

Metodología.

Para hacer posible la obtención de un polímero a partir de almidón de maíz, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros. Seleccionar la materia prima como el Almidón de Maíz, Glicerina Pura, Acido Acético y agua. Son ingredientes que le darán las características que nuestro polímero necesitará.

Ingredientes
Almidón de maíz.
Glicerina
Acido Acético
Agua

Proceso para la obtención de un plástico biodegradable.

1.- Selección del maíz así como su hidratación a una temperatura no superior a los 60°C. Este proceso dura aproximadamente unos 40 min.



2.- Triturar los granos de maíz con la misma agua de la hidratación hasta que tengan una consistencia mostrada en la siguiente figura.



3.- Colar el agua sin dejar pasar residuos muy grandes para poder esperar la precipitación del almidón en esta fase se puede observar ya el almidón.



4.- Después de la precipitación pasaremos a separar las dos fases bien identificadas una vez realizado esto se podrá lavar el almidón.



5.- El lavado se realiza homogenizando el almidón en agua de preferencia a unos 40°C (TIBIA AL CONTACTO) esto producirá que el almidón precipite un poco más rápido y así obtenerlo, una vez lavado se pasará a su secado en horno a unos 50°C para obtener un almidón muy blanco.



Realización del plástico de almidón nixtamalizado.

1.- Agregar el almidón de maíz al agua, agitando constantemente hasta que haya una homogenización completa a una temperatura no superior a los 70°C.



2.- La homogenización se lleva constante hasta al final del procedimiento para la no formación de algún tipo de grumo este afectaría la presentación de nuestro resultado de modo que sea áspero.

3.- Agregar gota a gota la glicerina de modo que este empiece a tomar una forma espesa empezando a aumentar la densidad del producto es importante no dejar de homogenizar ya que tiende en esta etapa a formar grumos der tal manera que es muy complicado desaparecerlos posteriormente.



4.- Agregar el ácido acético poco a poco la temperatura es constante, mantener la homogenización, dejar de homogenizar hasta que nos percatemos que no hay vapor alguno.



6.- Una vez terminado el proceso dispersar sobre la base que se colocará ya que en breve este tiende a endurecer conforme se enfría y es muy difícil esparcirlo es importante tomar en cuenta que no debemos moverlo y mantener el proceso de secado por lo menos unos 3 o 4 días a temperatura constante sin presencia de alguna sustancia que pueda modificar su estructura.



Análisis de resultados:

Con el proceso de obtención del almidón, la glicerina, el ácido acético y el agua se pudo obtener plástico de alta resistencia, cristalino y flexible ya que puede alcanzar una resistencia al estiramiento manual capaz de deformarse y volver a su estructura normal por 3cm. El calentamiento prolongado del material puede provocar que este se vuelva suave y que se agriete modificando significativamente las características del material.

A partir del almidón de maíz se pudo obtener un polímero biodegradable capaz de degradarse en un tiempo menor de un mes. Es importante mencionar que el material no empieza a descomponerse hasta que se introduce en los elementos de la tierra o microorganismos del suelo. Se pudo observar que el material se contrae modificando su composición y características haciéndose un material altamente poroso.

Se pudo determinar que el polímero es susceptible al agua ya que al estar expuesto al líquido se degrada con mayor rapidez que al estar expuesto a algún ecosistema. Se determinó que el material solo se gelatiniza a la exposición del líquido pero no se separan visiblemente los componentes que forman el material polímero.

El polímero no presentó cambios significativos durante los veintinueve días de exposición al medio ambiente este con temperaturas variadas, humedad alta y exposición a los rayos solares con una variación de temperatura de entre 12°C a 32 °C niveles reportados en el periodo que comprende del día 8 de julio del 2013 al día 4 de agosto del 2013. Sin embargo presenta disminución de su elasticidad y un aumento muy pequeño en la rigidez del material.

No se presentaron cambios con respecto a la deformación ni un aumento significativo del color por envejecimiento del material durante el periodo ya citado.

Capítulo

4

Conclusiones

Conclusiones

El almidón ha sido una fuente primaria de alimentación desde el antiguo Egipto según datos históricos. Siendo el principal carbohidrato que almacenan las plantas. Se encuentra y aíslan como fuente convencional principalmente en el maíz, el trigo, la papa, arroz y yuca. El almidón se ha vuelto un ingrediente y aditivo significativamente importante para la industria principalmente para la alimentaria. Su investigación ha generado miles de artículos científicos y probablemente dentro de los biopolímeros ha sido el más estudiado por décadas. Ningún otro ingrediente alimentario se compara con el almidón por lo que se refiere a su versatilidad en la aplicación industrial.

Para este trabajo se aplicó la técnica de la nixtamalización realizada desde los tiempos prehispánicos, usando el óxido de calcio y no llevando a su cocción total. Siendo el óxido de calcio el ingrediente más importante ya que permite una buena gelatinización del almidón y la semi cocción provoca la no masificación del grano de maíz.

Se ha comprobado la importancia de la utilización de algunos constituyentes como el agua, la glicerina y el ácido acético. La aplicación de lubricantes para evitar la adherencia, a algún molde para el secado del polímero provoca una reducción en la calidad del polímero modifica su composición.

La temperatura a la cual debe trabajarse la mezcla de los reactivos oscila entre los 40°C y los 70°C rango dentro del cual se realiza una adecuada gelatinización del almidón.

El equipo usado para el procesamiento del polímero debe crear las condiciones adecuadas de mezcla y temperatura, y de este modo permitir la polimerización completa de la mezcla.

La inclusión de aditivos al plástico es importante, debido a que mejora su desempeño. Por esto es fundamental a la hora de adicionar productos al plástico tener en cuenta su composición, su toxicidad y su degradabilidad, ya que todo insumo que se adicione al polímero debe ser biodegradable y ambientalmente asimilable, con el objeto de que no entorpezca el comportamiento final del plástico después de ser desechado

Se puede concluir que es viable realizar un producto que no requiera una resistencia a la tracción muy alta y no debe estar expuesto al agua ni a unas condiciones de humedad elevadas; por lo tanto, la potencial fabricación de recubrimientos plásticos (como cápsulas) o la fabricación de bolsas plásticas o empaques plásticos son los usos que podrían dársele al polímero para tratar de sustituir un producto cuya generación de residuos es masiva, con el fin de tratar de solucionar la no biodegradabilidad de los plásticos convencionales

El polímero obtenido es soluble en agua lo cual facilitaría su biodegradación

Recomendaciones:

Se podrían hacer estudios con microscopia electrónica de iones para estudiar el efecto conjunto de las redes de almidonosa con las proteínas del maíz y después con las grasas del germen que podrían estar actuando como agentes plastificantes también.

Existen actualmente muchas incógnitas en torno al proceso de la nixtamalización que deben de ser estudiadas como por ejemplo el remplazo del oxido de calcio por hidróxido de calcio y así modificar la estructura del almidón y para que el calcio se vuelve bioasimilable.

Estudiar métodos como el WANG Y WANG hechos en el 2003 y de los cuales no hay mucho seguimiento en Latinoamérica elaborando plásticos con una modificación de almidón este poniéndolo a reaccionar con hipoclorito de sodio como agente oxidante y llevándolo a su adecuación de pH agregando hidróxido de calcio.

Tratar de modificar el almidón por medio de esterificación similar al proceso KEOMANEECHAI de 1995.

Estudiar el impacto ecológico y que modificaciones tiene la biodegradación del polímero hecho con almidón al ser enterrado, que cambios o alteraciones tendrá el medio ambiente ya que este podría ser de gran impacto ecológico así como una limitación de terreno para la flora y la fauna.

Estudiar las modificaciones que tendrá el agua si esta se usa como base el la disolución del plástico a cuanto hacendera el costo y si es viable la disolución de este.

Bibliografía:

- 1.- Enciclopedia de plástico “Reciclaje y Degradación” pag.1-26 Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México 2000.
- 2.- Enciclopedia de plástico “el mundo del los plásticos” pag.1-36 Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México 2000.
- 3.- Hernández Gallegos Hugo Trabajo Monográfico de Actualización “Polímeros Biodegradables a base de Almidón” Facultad de Química de la UNAM México 1998.
- 4.- NMX-F-382.1986 Alimentos Fécula de Maíz o Almidón. 1986.
- 5.- Corrado Perrone “Biodegradabilidad Siempre de Moda” Tecnología del Plástico ed.31 México D.F 1990.
- 6.- Información Nacional de la Cámara de la Industria del Maíz. Periodo 2010 - 2012.
- 7.- Bonfil. G.. “El maíz Fundamentos de la Cultura Popular Mexicana.” Museo Nacional de las Culturas Populares. SEP Dirección General de Culturas Populares G.V. Editores S.A ISBN 968-29-0326-2 México D.F. 1987
- 8.- Núñez Bretón Lucila Concepción Trabajo Monográfico de Cctualización “Importancia del Almidón (Aspectos Fisicoquímicos, Usos y Especificaciones)” Facultad de Química de la UNAM México 2009.
- 9.- Gutiérrez Pulido, Humberto y De La Vara Salazar , Ramón. “Análisis y Diseño de Experimentos.” .McGraw-Hill, México D. F. 2004.
- 10.- Datos del Ceccam a Partir de Fuentes Oficiales Como la Secretaria de Agricultura (SAGARPA) Informes de Gobierno y del TLC.
- 11.- <http://www.granelada.com/es/componentes-para-hacer-bombas-de-bano-efervescentes-y-espumosas/654-almidon-de-maiz.html>
- 12.- Ureta B.E. Polímeros, Estructura, Propiedades y Aplicaciones Ed. Limusa México. 1994.
- 13.- Angulo, S caracterización fisicoquímica de los polímeros Ed. Limusa, México 1994.
- 14.-“Maíz cadena de valor agregado”
<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/>
Julio del 2010.
- 15.- “Gastronomía Mexicana” <http://recopilaciongastronomicamexicana.blogspot.mx> Abril del 2012.

- 16.-“Polímeros la Nueva Era” <http://www.ellaboratorio.co.cc/documentos/polimeros.pdf> Ultima actualización 2013.
- 17.- “Propiedades del almidón” <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos1.html>.1998.
- 18.- “Características del calcio”http://greco.fmc.cie.uva.es/mineralogia/contenido/clases_miner8_3.html. 2011.
- 19.-“ Almidón” <http://www.siapa.gob.mx/>.2013
- 20.-“ biodegradabilida” <http://www.bioworldgroup.com/conceptobio.html>. 2012.