



**Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Elaboración de Bioplástico a base del extracto de
la Cáscara de Limón (*Citrus limon*)”**

TESIS

Que para obtener el Título de:

Licenciatura en Ingeniería en Alimentos

Presenta:

Alondra Lizeth Hernández Trujillo

Director de TESIS:

M.C. Montserrat González Limón

Puebla, Pue.

11/25

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido concluir mi carrera.

A mis padres por motivarme, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado y por creer en mí en todo momento.

A mis hermanos, por ser mi soporte y motivación cada día.

A mi asesora de tesis por su orientación.

A todos y cada uno de mis formadores.

INDICE

2. INTRODUCCIÓN	6
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	8
5. ANTECEDENTES	9
6.1. Objetivos Específicos	12
7. HIPÓTESIS	12
7.1. Hipótesis Nula	12
8. MARCO TEÓRICO	13
8.1. Bioplásticos	13
8.2. Clasificación de los bioplásticos, según su proceso de síntesis	14
8.3. Degradabilidad	14
➤ Los microorganismos que se encuentran en el ambiente:	15
8.4. Biodegradabilidad	15
8.5. Residuos Orgánicos	15
8.5.1. Clasificación	16
8.10.1 Descripción de las Variedades más Importantes:	23
8.10.1.1 “Eureka”	23
8.10.1.1 “Lisboa”	24
8.10.1.1 “Verna”	24
8.10.1.1 “Femminello”	25
8.10.1.1 “Monachello”	26
8.10.1.1 “Génova”	27
8.10.1 Agua	43
8.10.1 Carbohidratos	44
8.10.1 Ácidos Orgánicos	45
8.10.1 Vitaminas	45
8.10.1 Minerales	46
8.10.1 Compuestos Fenólicos y Flavonoides	46
8.10.1 Aceites esenciales y Compuestos volátiles	47

8.10.1 Pigmentos Naturales	47
8.10.1 Proteínas, Lípidos y Fibras	47
• Antioxidante	49
8.19. Cáscara de Citrus limon	50
8.19.1. Composición Nutricional de la Cáscara	51
8.21. Lavado y Desinfección	52
8.21.1. Niveles de Desinfección de Alimentos	53
8.21.2. Métodos de Desinfección de Alimentos	53
8.21.3. Técnicas de Desinfección de Alimentos	53
8.22. Secado	54
8.22.1. Tipos de Secadores	55
Secadores intermitentes:	55
Secadores continuos:	55
8.23. Triturado	56
8.23.1. Tipos	56
Trituración secundaria	57
8.24. Maceración	58
8.24.1. Tipos de Maceración	58
<i>Maceración en frío.</i>	58
<i>Maceración con calor.</i>	59
8.25. Extracción	59
8.25.1. Métodos de Extracción	60
8.25.2. Extracción por Destilación	60
8.25.3. Evaporación Rotatoria	60
8.26. Plastificantes	61
9. METODOLOGÍA	62
9.1. Materia Prima	62
9.2. Desarrollo de Formulación	62
9.3. Metodología para el Tratamiento de la Cáscara de Limón	63
9.3.1. Obtención de la Materia Prima	63
9.3.2. Lavado y Desinfección	63

9.3.3. Secado	63
9.3.4. Triturado	64
9.4. Metodología para la Obtención de Extracto	64
9.4.1. Maceración	64
9.4.2. Evaporación Rotatoria	64
9.5. Metodología para la Elaboración de Bioplástico	64
9.6. Biodegradabilidad	64
10. RESULTADOS	67
10.1. Prueba de Selección de Materia Prima	67
10.2. Pruebas Experimentales	68
10.2.1. Prueba Experimental 1	68
10.2.2. Prueba Experimental 2	70
10.2.2.1. Preparación de Biopelículas con MPE	73
10.2.3. Prueba Final	75
10.2.3.1. Preparación de Películas con MPE	78
10.3. Pruebas de Resistencia	82
10.3.1. Pruebas de Resistencia en Agua	82
10.3.1.1. Agua a Temperatura Ambiente	82
10.3.1.2. Agua Fría	83
10.3.1.3. Agua Caliente	84
10.3.2. Prueba de Resistencia a la Intemperie	85
11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
12. CONCLUSIÓN	89
13. BIBLIOGRAFÍA	89

2. INTRODUCCIÓN

La principal problemática de los plásticos derivados del petróleo es su periodo de su degradación, aproximadamente es de 200 años, estos están compuestos por aditivos y adsorben metales pesados, antibióticos, pesticidas y otros tóxicos. Estos están compuestos por polímeros, normalmente todos aquellos que son derivados del petróleo, a los que se integran diversos compuestos químicos, que suelen constituir más del 50% del peso del plástico (Remar, 2011).

Diversos investigadores han descubierto que las concentraciones de estas sustancias químicas son miles de millones de veces más altas en el plástico que es usado en el mar que en el que se usa en el agua que circula, que, cuando es ingerido por animales, este puede hallarse en toda la fauna marina, incluso en el plancton, el cual es la clave de la cadena alimentaria de los mismos. (Farías, 2003)

El plástico suele ser utilizado porque es fácil y barato de fabricar, además porque dura mucho tiempo. Desafortunadamente, estas mismas ventajas hacen que se convierta en el aliado número uno de la contaminación. Su bajo costo hace que las personas se deshagan rápidamente de él, y su presencia hace que este perdure en el medio ambiente durante miles de millones de años, en los que puede causar grandes y graves daños. (Rivas, 2019)

Por esta razón, es primordial implementar un sustituto, el cual presente propiedades similares, que sea fácil de fabricar y que se degrade rápidamente. Los bioplásticos se muestran como una solución a este problema, estos son biodegradables, además de ser sintetizados a partir de fuentes renovables, como desechos y/o residuos orgánicos. Los polímeros de fuentes renovables atraen la atención para la elaboración de materiales amigables con el medio ambiente. (Miteluț et al., 2016)

El presente trabajo está dirigido a la elaboración de un bioplástico a partir del extracto de la cáscara de limón con el fin de aprovechar las propiedades que esta contiene y así, obtener un polímero biodegradable. Se realizará una formulación para que el bioplástico cumpla con algunas de las características que un polímero convencional tiene y con ello tener un resultado satisfactorio.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la década de los 50 la producción de plástico pasó de 2 millones de toneladas anuales a 380 billones en la actualidad. Hubo un incremento durante estos años, superando los 700 millones de toneladas producidas alrededor del mundo (Rivas, 2019).

Cada año se produce un total de 300 millones de toneladas de plástico los cuales se utilizan para empacar los productos que se consumen a diario. El plástico es empleado por su costo mínimo de fabricación y por su precio accesible en los diferentes sectores (Farías, 2003).

En el planeta, la contaminación por plástico está causando daños irreparables, lejos de el problema disminuya, este se agudiza cada día más y más. En los océanos hay islas de plástico del tamaño de continentes. Se calcula que para el año 2050 habrá más plástico en el mar que peces (Guillebon, 2011).

Por fortuna, las personas cada vez están más conscientes sobre la importancia de reducir residuos que se producen, esto para cuidar el medio ambiente. Con ese propósito surgieron los plásticos biodegradables, los cuales parecen ser la solución a la crisis mundial de la contaminación plástica. La fabricación y aplicación de polímeros biodegradables para aplicaciones de envasado de alimentos ha aumentado el interés como alternativas a los polímeros de envasado de alimentos convencionales debido a su sostenibilidad. (Arancibia et al., 2014)

El uso de bioplásticos representa algunos beneficios como: un importante ahorro de energía, no producen residuos y por tanto al descomponerse no liberan elementos químicos a la atmósfera, su producción genera un 68% menos gases de efecto invernadero reduciendo así la huella de carbono (Álvarez, 2016).

4. JUSTIFICACIÓN

La contaminación debido a los plásticos derivados del petróleo es un problema en el mundo complicado de tratar, debido a la elevada cantidad de los mismos utilizados diariamente y su acumulación por el bajo nivel de degradabilidad que presentan en el medio ambiente (Rivas, 2019).

En los últimos años nace como tendencia innovadora la implementación de bioplásticos, la cual pretende ayudar a disminuir la contaminación generada por los plásticos. Los bioplásticos son caracterizados por ser productos elaborados con materiales renovables o residuos orgánicos, los cuales no presentan en su totalidad efectos adversos en el medio ambiente al momento de ser desechados (Reverté, 2004).

Contaminan el 85% menos que el plástico convencional, por consiguiente, parece ser una buena alternativa para dejar de contaminar. La gran ventaja de este descubrimiento radica en el uso de materiales naturales y abundantes (Martínez, 2010).

La obtención de bioplásticos a partir de materiales orgánicos tienen una gran relevancia, debido al aprovechamiento de recursos naturales y a su aporte ecológico, sustituyendo a los derivados del petróleo (Álvarez, 2016).

A causa de esta problemática, se ha propuesto crear un bioplástico que se degrade fácilmente; desarrollando una formulación con elementos que cumplen la función de plastificantes, espesantes, y lubricantes, con la finalidad de obtener un polímero con cualidades similares al plástico derivado del petróleo, como resistencia y flexibilidad entre otras características. Al estar elaborado con material orgánico, no perjudica el ambiente.

Es el inicio de una propuesta a un bioplástico sostenible, siendo una alternativa al plástico tradicional.

5. ANTECEDENTES

Los primeros plásticos fueron derivados de materiales orgánicos, aunque originalmente no fueron llamados bioplásticos. EL pionero fue John Wesley Hyatt Jr. quien 1869 creó un plástico derivado de celulosa de algodón como sustituto del marfil. Años más tarde se creó el celuloide, un material que aún es implementado para fabricar películas fotográficas y de filmación. Otro plástico derivado de celulosa, el celofán creado en 1912, que hoy en día también es utilizado.

Los bioplásticos presumen ser una innovación importante para la industria química y del plástico. Estos nuevos tipos de plásticos basados en recursos renovables y/o biodegradables están generando un enorme interés tanto en la sociedad en general como en la industria de los plásticos así como también en el sector agrícola ya que en éste el uso más generalizado de bioplásticos supondría una salida de sus productos hacia mercados diferentes del sector agroalimentario, ampliándose en consecuencia una de sus oportunidades de negocio.

A diferencia de otros materiales sintetizados tradicionalmente, según (Parra, Tadini, Ponce, & Lugao, 2004), los biopolímeros o bioplásticos tienen un interesante conjunto de ventajas, como el bajo impacto ambiental, el bajo consumo de energía en su producción, el estatus de recursos renovables, el potencial para agregar valor a los subproductos y residuos procedentes de la industria y su biodegradabilidad particular. Además sus aplicaciones son diversas: encontrándose como parte de envoltorios, material médico, plásticos reforzados, películas comestibles y otros (Finkenstadt, 2005).

Los costos ambientales asociados a la producción de millones de toneladas de materiales desechables y no degradables se hicieron mayormente evidente en la segunda mitad del siglo XX. En los EE. UU., la crisis del petróleo de 1973 puso en evidencia los problemas de dependencia del petróleo. En 1976 la compañía británica Imperial Chemical Industries (ICI) creó el primer producto que se comercializaría como bioplástico, y en 1983, Biopol® fue presentado como el primer plástico totalmente biodegradable.

Los bioplásticos siguieron siendo productos de nicho durante décadas debido a su costo elevado. Biopol® llegó a costar 20 veces más que un plástico convencional. A partir de la década de los 90 el interés por los bioplásticos se incrementó favorablemente y hoy en día el mercado de los bioplásticos son una novedad y es posible encontrar productos elaborados a partir de estas materias primas.

La capacidad mundial de producción de bioplásticos se incrementará cerca del doble para el 2015. Sólo en el 2011, la producción alcanzó las 900.000 TM y se espera que para el 2015 se llegue a 1,7 millones de toneladas. Este crecimiento rápido de los bioplásticos se debe al número mayor de aplicaciones. Desde el envasado hasta la fabricación de juguetes, alfombras y algunos de los componentes electrónicos, los bioplásticos, se convierten en una alternativa sustentable y cada vez ampliarán su participación en diversos sectores industriales.

De los llamados bioplásticos compostables, el ácido poliláctico (PLA) es el que tiene mayor producción. De acuerdo con Nova-Institut en la actualidad existen 25 empresas instaladas en 30 sitios en el mundo que producen 180.000 toneladas anuales y de los cuales los envases biodegradables de alimentos y bebidas representan el 70% de la demanda mundial de PLA.

Investigadores del Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ) desarrollaron un método para elaborar plásticos a partir del limonero (árbol del limón) y CO² y sustituir al bisfenol A que se usa actualmente, al que estudios diversos atribuyen efectos nocivos para la salud y que está considerado por la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas como un producto “de mayor preocupación” (Cabrero, 2016).

Arjan Kleij, líder del grupo de investigación que ha desarrollado el nuevo bioplástico, explicó que buscaban alternativas para el policarbonato basado en el bisfenol A, ya que, varios países (Estados Unidos, Francia y Canadá, entre otros) han prohibido su uso por ser potencialmente carcinógeno y porque es un interruptor endocrino y puede causar desequilibrios en el sistema hormonal a concentraciones muy bajas. Además, no es renovable debido a que se obtiene del petróleo (Ortiz, 2016).

La alternativa la encontraron en el limonero, una sustancia natural que se extrae

del aceite de las cáscaras de cítricos y que da el olor característico a los mismos.

A las ventajas se suma el hecho de que el nuevo policarbonato de cítricos tiene mejores propiedades térmicas que cualquiera de los actuales, y eso permite que los plásticos fabricados con él tengan temperaturas más elevadas de descomposición y fundición, lo que los hace más seguros para su uso diario.

Investigadores recientes explican que este polímero basado en el limonero tiene el potencial de ser una alternativa ecológica para todas las aplicaciones actuales del bisfenol A e incluso algunas más porque sus propiedades pueden ajustarse durante el proceso de síntesis, cosa que no se puede hacer con el policarbonato bisfenol A/CO² (Cabrero, 2016).

Diversas investigaciones exponen que el uso de bioplásticos de limón no solo ayuda a cuidar el medio ambiente, sino que también es benéfico para la salud. La utilización de estos materiales permite eliminar el empleo del bisfenol A, sustancia presente en todo tipo de plásticos y acusada de estar asociada a enfermedades como la diabetes, la obesidad y el cáncer de mama o de próstata, entre otras (Ortiz. 2016).

Además, han optado por sustituir esta sustancia por el limoneno, que se encuentra en las cáscaras de cítricos como el limón, la naranja o el pomelo, y que permite mejorar las propiedades de los plásticos sin dañar el medio ambiente ni el cuerpo humano.

Este polímero tiene una temperatura de transición vítrea más elevada que la alcanzada por un policarbonato, por lo que estos nuevos plásticos necesitan temperaturas mucho más altas para alcanzar el punto de fundición, lo que los hace más seguros para su uso cotidiano (Cabrero, 2016).

Estos bioplásticos son también biodegradables, ya que incluyen compuestos naturales que se pueden descomponer en periodos de tiempo cortos gracias a la acción de microorganismos, por lo que supone una nueva opción frente al reciclaje.

El plástico está tan presente en nuestras vidas que hay científicos que han llegado a afirmar que vivimos en la 'Era del Plástico', situación que, aunque tardará mucho en

resolverse, será mucho más fácil cambiar gracias a iniciativas innovadoras como ésta (Ortiz, 2016).

6. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un bioplástico mediante extracto de cáscara de limón (*citrus limon*) como un producto innovador y amigable con el medio ambiente.

6.1. Objetivos Específicos

- 6.1.1.** Desarrollar una formulación cuya composición se adecue a las características de un bioplástico.
- 6.1.2.** Obtener extracto de la corteza de limón.
- 6.1.3.** Elaborar una biopelícula del extracto para su posterior prueba.
- 6.1.4.** Comparar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido, mediante dos métodos: degradabilidad en agua y degradación a la intemperie por un lapso determinado (4 meses).
- 6.1.5.** Aprovechar recursos naturales, obteniendo de ellos diversas propiedades funcionales.

7. HIPÓTESIS

Si se emplea la cáscara de limón, como materia prima principal para la elaboración de un bioplástico, que es rica en celulosa, entonces se podría generar un polímero que cumpla con la mejor característica de ser biodegradable.

7.1. Hipótesis Nula

La variación que pueda haber en la formulación del bioplástico no perjudica significativamente la firmeza del polímero.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Bioplásticos

La Organización European Bioplastics define a los bioplásticos como plásticos que son fabricados a partir de materiales orgánicos, estos pueden llegar a ser biobasados, biodegradables o ambos. Esta definición ha sido retomada de la norma mexicana (PROY-NMX-E-260-CNCP-2013) Industria del plástico – Materiales bioplásticos, y establece lo siguiente:

Bioplástico: plástico que en su composición total proviene de:

- a) Materias primas de origen renovable y es biodegradable
- b) Materias primas de origen renovable y no es biodegradable
- c) Materias primas de origen petroquímico y es biodegradable

Han despertado un gran interés debido a que pueden ser una opción de moderación en el impacto ambiental que es originado o causado por los plásticos convencionales (August, 2013).

Los bioplásticos como tal, no son una sustancia, sino que estos son compuestos por materiales con diversas propiedades y específicas aplicaciones. Los bioplásticos son polímeros naturales hechos a partir de residuos agrícolas, celulosa o almidón de papa o maíz, de plantas o algunos otros materiales de origen biológico en lugar de petróleo. Se suele denominar “plástico de origen biológico” (Gibbens, 2018).

La principal característica de estos polímeros es basada en su degradación, esta se da bajo condiciones ambientales y en tiempo limitado. Además, los bioplásticos cumplen con los mismos atributos que los plásticos convencionales como: flexibilidad, resistencia, ductilidad y capacidad de barrera a la humedad (Havstad, 2020)

La biodegradación se basa en separar sustratos complejos por parte de microorganismos por medio de vías metabólicas catalizadas por enzimas segregadas por estos, con el objetivo de obtener sustancias sencillas, básicamente

agua, dióxido de carbono y biomasa, fácilmente asimilables por el medio ambiente. Su degradación en un compostaje natural se da en aproximadamente 90 días, mientras que en ambientes húmedos entre 28 y 60 días (Escudero, 2016).

8.2. Clasificación de los bioplásticos, según su proceso de síntesis

Los bioplásticos pueden sintetizarse mediante distintos procesos.

Los más utilizados son:

- **Síntesis por biomasa:** Se realiza mediante extracción directa de la biomasa de los polisacáridos como el almidón o celulosa y de proteínas como queratina, colágeno y caseína.
- **Síntesis química:** Se lleva a cabo mediante una síntesis química clásica a partir de monómeros de fuentes renovables, como los poliácidos glicoles y el ácido poliláctico
- **Síntesis por microorganismos:** Son sintetizados mediante la aplicación de bacterias productoras nativas o modificadas de forma genética, entre estos destacan el polihidroxialcanoatos y poli-3 hidroxibutarano
- **Síntesis por mezcla de polímeros biodegradables:** Pueden sintetizarse mediante la mezcla de dos o más polímeros biodegradables, por ejemplo, el polivinilalcohol y las policaprolactonas (Gálvez, 2016).

8.3. Degradabilidad

La degradación de un polímero es el proceso por el que se produce un cambio en su estructura química, observándose un cambio considerable en sus propiedades. Estos procesos pueden ser físicos, químicos o darse ambos tipos de forma simultánea (Chércoles, 2008).

Hay que tener en cuenta que para que las propiedades mecánicas de un polímero sean ideales, generalmente se les suele añadir diferentes aditivos como

pueden ser antioxidantes, plastificantes, estabilizantes, agentes espumantes, pigmentos, entre otros compuestos (Chércoles, 2008).

Todas estas sustancias pueden afectar a la velocidad de degradación del polímero, aunque también hay otros factores que influyen en la velocidad de degradación como:

- **El tipo de polímero:** si tiene enlaces hidrolizables, su temperatura de fusión, su temperatura de transición vítrea o su microestructura (si es amorfo o cristalino).
- **El medio en el que se encuentra el material:** temperatura, pH, humedad, cantidad de luz.
- **Los microorganismos que se encuentran en el ambiente:** cantidad, tipo, actividad, fuente de alimento (Chércoles, 2008).

8.4. Biodegradabilidad

El prefijo “Bio” hace referencia a la biodegradabilidad y la posibilidad de la recuperación orgánica de los residuos. Aquí el término biopolímero identifica a polímeros capaces de ser degradados aeróbicamente (en presencia de oxígeno) o anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno), por la acción de microorganismos existentes en el medio de manera natural tales como bacterias, hongos y/o algas, los cuales producen transformaciones químicas en la estructura del material, convirtiéndolos en productos simples. El resultado es la formación de agua, CO₂ y/o metano, así como, posiblemente de subproductos (residuos, nueva biomasa) no tóxicos para el medio ambiente (Bienaime, 2008).

8.5. Residuos Orgánicos

Se puede entender como *residuo orgánico* aquel cuyo origen es fundamentalmente biológico (la materia orgánica representa del 95 al 99 % del total de la materia seca de los seres vivos, Mustin, 1987) y participan mayoritariamente en su composición sustancias orgánicas (con elevada presencia de C, H y O, y en menor medida N, P y S así como otros elementos en menor concentración).

En los países desarrollados es donde existe el mayor índice de consumo y por tanto el de mayor producción de residuos. Estos pueden generar problemas importantes, sobre todo para el medio ambiente. A esta situación debemos unir el agotamiento de los recursos naturales no renovables, que puede ocasionar una escasez de muchos de ellos a mediano o a corto plazo (Navarro, 1995).

Por tanto, deben ser analizados y transformados, los residuos originados por nuestro modo de vida, lo que permitiría una disminución de los daños sobre el medio ambiente y su consideración como recursos.

8.5.1. Clasificación

Los residuos se pueden clasificar en función del sector productivo que los origina, lo que nos permite establecer dos grandes grupos:

- Los derivados del sector primario, de actividades como la agricultura, ganadería, forestales y extractivas (canteras y minas).
- Los obtenidos del sector secundario y terciario, formado por residuos industriales y urbanos básicamente. Dentro de estos grupos se incluyen una multitud de residuos de muy diversas características, inorgánicos, orgánicos y mezcla de ellos, tóxicos o inertes, líquidos o sólidos, etc.

De todos los grupos de residuos, cerca del 60 % de ellos están formados por materiales que se pueden considerar como residuos orgánicos (Navarro, 1995).

8.6. Limón (*Citrus limon*)

El limón (*Citrus limon*) es una de las frutas más reconocidas y utilizadas en el mundo. Su sabor ácido, su aroma fresco y sus propiedades nutricionales lo han convertido en un elemento esencial en la gastronomía, la medicina tradicional y diversas industrias.

El limón pertenece a la familia Rutaceae, género Citrus. Su origen se

remonta al noreste de la India, el norte de Birmania y China, donde surgieron los primeros híbridos naturales entre el cidro (*Citrus medica*) y la naranja agria (*Citrus aurantium*). Con la expansión de las rutas comerciales árabes, el limón se introdujo en el Mediterráneo y posteriormente en América. Hoy en día, se cultiva en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Agustí, 2000).

El árbol del limón es perenne y puede alcanzar de tres a seis metros de altura. Posee hojas ovaladas, brillantes y flores blancas conocidas como azahares. El fruto, una baya tipo hesperidio, tiene una cáscara gruesa rica en aceites esenciales y un jugo altamente ácido. La planta requiere climas templados y suelos bien drenados, siendo sensible al frío extremo.

El limón es una fuente importante de vitamina C (ácido ascórbico), flavonoides, minerales y compuestos bioactivos. Además, contiene potasio, calcio y magnesio. El consumo de limón contribuye a fortalecer el sistema inmunológico, mejorar la digestión y actuar como antioxidante natural.

El fruto, el limón, es una baya de tipo hesperidio, de forma ovalada y con un extremo puntiagudo. Su cáscara es de color amarillo intenso cuando madura y contiene glándulas de aceite esencial muy aromáticas. En su interior, la pulpa jugosa está dividida en gajos llenos de jugo ácido, rico en vitamina C (ácido ascórbico) y ácido cítrico, lo que le otorga su sabor característico. (Glidden, 1937).

En cuanto a sus condiciones de cultivo, el limonero prefiere suelos ligeros, fértiles y bien drenados, con una exposición solar directa. Es sensible al frío y las heladas, por lo que prospera mejor en zonas de temperaturas suaves.

Su nombre científico es *Citrus limon*. Las flores, son blancas con tonos violáceos, muy fragantes y aparecen de forma solitaria o en pequeños racimos. Cada flor presenta cinco pétalos y numerosos estambres. La floración suele producirse durante la primavera, aunque en climas favorables el limonero puede florecer varias veces al año.

Las hojas son simples, alternas y brillantes, de forma ovalada u oblonga, con un borde finamente dentado. Miden entre 5 y 10 cm de largo y desprenden un aroma característico y agradable al frotarlas, debido a la presencia de glándulas con aceites esenciales, esto les confiere un peculiar aroma a las hojas de *Citrus limon* (AMPEX, 2008).

Es un árbol perenne, a menudo con algunas de sus espinas cortas; que puede alcanzar los 4m de altura, con copa abierta mayormente ramificada. La corteza de su tronco es de color grisáceo y sus ramas pueden ser angulosas o redondeadas (Guardiola, 1988).

Esta característica es típica de todas las Rutáceas. A su vez contiene una nervadura penninervial, la inserción de su tallo es peciolada y su disposición es alterna. Es de color verde mate lustroso de unos 5–10 cm de largo y con peciolo cilíndrico articulado (Villán, 2016).

Las flores, comúnmente llamadas azahares o flores de azahar, son solitarias o se organizan en pares o cortas inflorescencias corimbosas axilares. El cáliz tiene 4-7 - generalmente 5- sépalos de forma triangular unidos entre sí y la corola está formada por igual número de pétalos, libres, elípticos alargados, espesos, externamente glandulosos, blancos teñidos de rosa o de tono violeta en la parte inferior de la hoja (Murillo, 2010).

El androceo está formado por numerosos estambres (20–100) y el gineceo presenta un ovario ínfero con estilo grueso terminado por un estigma de masa más o menos lobulado. Sus frutos son baciformes en hespérico con hasta 18 gajos, son ocasionalmente pequeños con una papila apical, corteza fina y lisa; jugo del endocarpio ácido. Sus semillas, que pueden faltar por partenocarpia, son de forma más o menos ovoide, blanquecinas y/o amarillentas, centimétricas, irregular y longitudinalmente surcadas (Murillo, 2010).

8.7. Origen

El limonero (*Citrus limon*) es una especie que no existe de forma silvestre en la naturaleza, ya que se originó como resultado de antiguas hibridaciones entre

diferentes especies del género Citrus. Estudios genéticos recientes han demostrado que el limonero proviene del cruce entre el cidro (*Citrus medica*) y la lima agria o lima amarga (*Citrus aurantiifolia*), especies que a su vez tienen un origen común en las regiones tropicales y subtropicales del sureste asiático (Braverman, 1952).

El cidro, una de las especies parentales, es considerado uno de los primeros cítricos cultivados por el ser humano. Aporta al limonero características como la cáscara gruesa, rica en aceites esenciales, y la forma alargada del fruto. Por otro lado, la lima agria, descendiente del cruce entre el cidro y el pomelo (*Citrus maxima*), contribuyó con su acidez intensa y su pulpa jugosa, dando como resultado el limón tal como lo conocemos hoy.

El origen geográfico del Citrus limon se sitúa en una amplia zona que abarca el noroeste de la India, el norte de Birmania (actual Myanmar) y partes del sur de China. En estas regiones crecían de forma natural los antepasados silvestres de los cítricos modernos. Desde Asia, el cultivo del limón se difundió hacia Persia (Irán) y posteriormente hacia Mesopotamia y Egipto, donde se adaptó a los climas cálidos y secos del Medio Oriente.

Durante la expansión árabe, entre los siglos VII y X, el limonero fue introducido en el Mediterráneo, especialmente en la Península Ibérica, el norte de África y el sur de Italia. Los árabes fueron responsables de perfeccionar su cultivo y de difundirlo ampliamente, debido a su valor medicinal y culinario. Con el tiempo, el limón se convirtió en un fruto característico de las regiones mediterráneas (Chapot, 1975).

En la actualidad, el Citrus limon se cultiva en casi todos los países de clima templado y subtropical, siendo un claro ejemplo de una especie domesticada por el ser humano y moldeada a lo largo de los siglos mediante selección y adaptación. Su historia refleja el intercambio cultural y agrícola entre civilizaciones, así como el papel esencial de los cítricos en la alimentación y la medicina natural.

8.8. Hábitat

El limonero (*Citrus limon*) es una especie que prospera principalmente en regiones de clima cálido, templado y subtropical. Se desarrolla mejor en zonas donde las temperaturas son suaves durante todo el año, con abundante luz solar y precipitaciones moderadas, aunque también puede adaptarse a diferentes condiciones si recibe los cuidados necesarios (Davies, 1999).

En su hábitat ideal, el limonero necesita temperaturas promedio entre 17 °C y 30 °C, siendo especialmente sensible al frío y las heladas. Las bajas temperaturas prolongadas pueden dañar sus flores, hojas y frutos, por lo que su cultivo se concentra en regiones donde el invierno no es severo. Los climas secos y cálidos, con buena iluminación, favorecen la floración y maduración de los frutos, mientras que la excesiva humedad o la falta de drenaje puede perjudicar sus raíces.

El suelo donde crece el limonero debe ser profundo, fértil y bien drenado, con una textura ligera (franca o arenosa) que permita el paso del aire y del agua. Prefiere suelos ligeramente ácidos o neutros, con un pH que oscila entre 5.5 y 7.0. Aunque tolera distintos tipos de suelos, es muy sensible al encharcamiento, ya que el exceso de agua puede provocar pudrición radicular.

En cuanto a la altitud, el limonero se adapta bien desde el nivel del mar hasta unos 1,000 metros de altura, siempre que el clima sea cálido. En zonas más altas, donde las temperaturas descienden, el crecimiento del árbol puede verse afectado y la producción de frutos disminuye (Sinclair, 1951).

De manera natural, el limonero se encuentra en zonas abiertas, soleadas y con buena circulación de aire, características propias de los paisajes mediterráneos o tropicales. Su distribución actual abarca Asia, Europa, América y África, especialmente en países con clima cálido, como México, España, Italia, Argentina, Estados Unidos (California y Florida), entre otros.

En resumen, el hábitat del limón está determinado por la presencia

constante de luz solar, temperaturas templadas, suelos bien drenados y ausencia de heladas. Estas condiciones le permiten desarrollarse vigorosamente, producir flores fragantes y frutos abundantes durante todo el año en zonas adecuadas.

8.9. Mejora Genética y Selección varietal

La mejora genética y la selección varietal del limonero (*Citrus limon*) han tenido un papel fundamental en el desarrollo de la citricultura moderna. A lo largo del tiempo, los investigadores y agricultores han trabajado en la obtención de variedades más productivas, resistentes a enfermedades y mejor adaptadas a diferentes condiciones climáticas y de suelo (Marín, 1999).

El limón, al ser una especie híbrida natural, presenta una gran variabilidad genética. Esta característica ha permitido realizar programas de mejoramiento genético, tanto mediante selección tradicional como con técnicas biotecnológicas modernas. Los objetivos principales de estas mejoras incluyen:

- Aumentar la calidad y rendimiento del fruto.
- Mejorar la resistencia a plagas y enfermedades, especialmente contra la tristeza de los cítricos, el cancro cítrico y el virus de la exocortis.
- Desarrollar variedades con menor acidez, cáscara más delgada y mayor contenido de jugo.
- Adaptar los árboles a condiciones ambientales diversas, como suelos más salinos o temperaturas extremas.

La selección varietal consiste en identificar y propagar aquellas variedades que presentan las características más favorables para la producción. Tradicionalmente, esta selección se ha realizado mediante injertos, lo que permite conservar las cualidades genéticas deseadas del árbol madre. En la actualidad, los viveros especializados emplean injertos sobre portainjertos resistentes, como *Citrus aurantium* (naranja agrio), *Citrus macrophylla* o *Poncirus trifoliata*, que aportan tolerancia a enfermedades y mejor adaptación al suelo (Martínez, 1999).

Entre las variedades más cultivadas de limón, destacan:

- **Eureka:** de origen californiano, muy productiva, con frutos grandes, delgados y de buena calidad. Es una de las más cultivadas a nivel mundial.
- **Lisboa:** originaria de Portugal, resistente al frío y muy productiva; sus frutos son jugosos y de sabor fuerte.
- **Femminello:** variedad italiana caracterizada por su alta producción y su capacidad de florecer varias veces al año.
- **Verna:** común en España, adaptada a climas mediterráneos, con frutos de buena calidad y maduración prolongada.
- **Meyer:** híbrido entre limón y naranja, con menor acidez, cáscara fina y un aroma dulce; muy apreciado para consumo fresco.

En los últimos años, los programas de mejoramiento genético asistido por biotecnología han permitido acelerar los procesos de selección mediante el uso de marcadores moleculares, cultivo de tejidos y técnicas de microinjerto, lo que facilita identificar genes de interés y desarrollar nuevas variedades más eficientes y sostenibles (Ortuño, 1999).

Gracias a estos avances, el cultivo del limón ha alcanzado un alto nivel de diversificación y adaptación, permitiendo su producción en distintas partes del mundo bajo condiciones ambientales muy variadas, garantizando así su disponibilidad durante todo el año.

8.10. Variedades de Citrus Limon en el Mundo

A lo largo del tiempo, el cultivo del limonero (*Citrus limon*) se ha extendido por casi todas las regiones de clima templado, subtropical y tropical del planeta. Esta expansión ha dado lugar al desarrollo y selección de numerosas variedades adaptadas a las condiciones ambientales, necesidades del mercado y preferencias de los productores. Las diferencias entre ellas se reflejan en el tamaño, forma, acidez, grosor de la cáscara, contenido de jugo y época de

producción (Lidón, 1999).

Las principales variedades cultivadas a nivel mundial pueden agruparse en dos grandes grupos:

1. Variedades de limón verdadero (*Citrus limon*), de sabor intensamente ácido y típicamente amarillos.
2. Variedades híbridas, que son cruces con otras especies de *Citrus*, y presentan un sabor más suave y dulce.

8.10.1 Descripción de las Variedades más Importantes:

8.10.1.1 “Eureka”

Originaria de California (EE. UU.), la variedad Eureka es una de las más difundidas en el mundo. Se caracteriza por su alta productividad, floración casi continua durante todo el año, y frutos de tamaño medio, forma elíptica, cáscara delgada y color amarillo brillante. Tiene un alto contenido de jugo y una acidez equilibrada, lo que la convierte en la favorita para la industria del jugo y la exportación. Se cultiva principalmente en Estados Unidos, Argentina, Chile, Sudáfrica, España y Australia (Lidón, 1999).

La variedad Eureka es una de las más cultivadas y reconocidas a nivel mundial. Su árbol es de porte mediano, con una ramificación abierta y pocas espinas, lo que facilita la cosecha. Es muy productivo y precoz, capaz de florecer y fructificar varias veces al año, especialmente en climas cálidos.

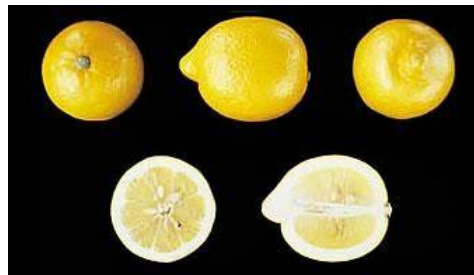


Figura 1. Limón “Eureka” (*Lidón, 1999*).

8.10.1.1 “Lisboa”

De origen portugués, el Lisboa es otra variedad muy extendida, especialmente en Australia, Argentina y el sur de Europa. Es resistente al frío y al viento, y su árbol es más vigoroso que el de la variedad Eureka. Produce frutos grandes, muy ácidos y con una piel más gruesa, ideales para el consumo fresco y la obtención de jugo (García, 1999).

La variedad Lisboa es muy similar a la Eureka, aunque su árbol es más vigoroso, frondoso y espinoso, lo que lo hace más resistente a vientos fuertes y condiciones adversas. Es muy productiva y tolerante al frío. Sus frutos son medianos o grandes, de forma ovalada, piel algo más gruesa y rugosa, de color amarillo brillante. Su pulpa es muy jugosa, muy ácida y de excelente calidad



Figura 2. Limón “Lisboa” (*García, 1999*)

8.10.1.1 “Verna”

La Verna es una variedad originaria de España, muy adaptada al clima mediterráneo. Su principal característica es la producción escalonada, ya que puede dar cosechas en primavera y verano. Los frutos son grandes, de forma alargada, con una piel algo gruesa y alto contenido de jugo. Es una de las variedades más importantes en la cuenca mediterránea (Ortiz, 1999).

La Verna es una variedad tradicional española, especialmente

adaptada a las condiciones mediterráneas. Su árbol es vigoroso, de porte abierto y medianamente espinoso, con gran capacidad de rebrotar y producir flores fuera de temporada, lo que permite cosechas escalonadas.

El limón Verna es grande, de forma alargada, con una piel gruesa y rugosa. Su pulpa es jugosa, muy ácida y con pocas semillas. Presenta dos cosechas principales: la de primavera (cosecha de “limón fino”) y la de verano (cosecha de “limón basto”).



Figura 3. Limón “Verna” (Porrás, 2019).

8.10.1.1 “Femminello”

Procedente de Italia, el Femminello es una variedad tradicional muy cultivada en el sur del país, especialmente en Sicilia. Su nombre proviene de su capacidad para florecer varias veces al año, lo que asegura una producción constante de frutos. Los limones son pequeños a medianos, con piel fina y aroma intenso, y son muy apreciados en la industria gastronómica y perfumera (Legaz, 1999).

El Femminello es una de las variedades de limón más antiguas y representativas de Italia. Su nombre proviene del término italiano “femminile”, que hace referencia a su alta productividad y capacidad de floración múltiple durante el año.

Frutos pequeños o medianos, de forma ligeramente ovalada, con cáscara fina y lisa, color amarillo brillante y pulpa muy jugosa y ácida. Existen numerosos clones de esta variedad, como Femminello

Siracusano, Femminello Zagara Bianca o Femminello Santa Teresa.



Figura 4. Limón “Femminello” (*Vivai, 2001*).

8.10.1.1 “Monachello”

También originario de Italia, el Monachello es una variedad resistente al virus de la tristeza de los cítricos, aunque menos productiva que otras. Sus frutos son pequeños, con cáscara gruesa y sabor muy ácido, lo que la hace útil para regiones con problemas fitosanitarios (Riquelme, 1995).

El Monachello es una variedad italiana obtenida por selección natural del Femminello. Sus frutos son pequeños a medianos, piel gruesa y rugosa, con alto contenido de acidez. El jugo tiene una excelente calidad, aunque su rendimiento por hectárea es inferior al de otras variedades.



Figura 5. Limón “Monachello” (*Angulo, 2020*).

8.10.1.1 “Génova”

Originario de Italia, el Génova es muy cultivado en México y Sudamérica. Su fruto es de tamaño mediano, con cáscara delgada y alto contenido de jugo, similar al Eureka, pero con mejor adaptación a climas cálidos. Es una de las variedades más importantes para exportación en América Latina (Luna, 1999).

El Génova es una variedad ampliamente adaptada a climas cálidos y secos. El árbol es pequeño, denso y casi sin espinas, lo que facilita el manejo. El fruto es mediano, de forma ovalada, con cáscara delgada, lisa y color amarillo claro. La pulpa es jugosa, muy ácida y con pocas semillas.

8.11. Características del Entorno

El limonero (*Citrus limon*) es una planta que requiere un entorno específico para desarrollarse correctamente y alcanzar una buena producción. Su crecimiento, floración y calidad del fruto dependen en gran medida de las condiciones climáticas, edáficas (del suelo) y ambientales en las que se cultiva (Albrigo, 1999).

El limonero es una especie propia de climas cálidos y templados, ya que no tolera las bajas temperaturas ni las heladas intensas. Su entorno ideal presenta temperaturas medias anuales entre 17 °C y 30 °C.

- ✧ Temperaturas menores de 4 °C pueden causar daños en las flores y frutos jóvenes.
- ✧ Las temperaturas mayores de 38 °C también pueden afectar la calidad del fruto, provocando deshidratación o caída prematura.

Por ello, se cultiva principalmente en zonas subtropicales, mediterráneas o tropicales altas, donde los inviernos son suaves y los veranos soleados. El limonero requiere alta luminosidad, ya que la luz solar directa estimula la floración, la fotosíntesis y la maduración del fruto. Las zonas con días largos y soleados favorecen la producción de limones de mejor color y mayor contenido de jugo.

El entorno ideal para el limón tiene precipitaciones anuales moderadas, entre 600 y 1,200 mm. Sin embargo, debido a que el limonero es muy sensible a la sequía, suele necesitar sistemas de riego complementarios para mantener un crecimiento continuo y una fructificación de calidad.

El exceso de humedad o el encharcamiento del suelo pueden afectar las raíces, favoreciendo enfermedades como la gomosis o la pudrición radicular. Por ello, el riego debe ser controlado y uniforme durante todo el ciclo de cultivo.

El limonero prospera en suelos ligeros, fértiles y bien drenados, con textura franca o franco-arenosa. Los suelos arcillosos o compactos no son recomendables, ya que retienen demasiada humedad. Prefiere suelos con pH ligeramente ácido o neutro (entre 5.5 y 7.0), ricos en materia orgánica y con buena aireación para el desarrollo radicular.

El contenido de sales minerales debe ser bajo, pues el limonero es sensible a la salinidad, especialmente al sodio y al cloro, que pueden reducir la absorción de agua y nutrientes (Albrigo. 1999).

El limón se cultiva con éxito desde el nivel del mar hasta aproximadamente 1,000 metros de altitud, aunque su desarrollo óptimo se da en terrenos bajos y cálidos. En pendientes o laderas suaves, el drenaje natural favorece el cultivo, pero en zonas muy inclinadas pueden presentarse problemas de erosión o pérdida de nutrientes.

El viento fuerte puede causar daños en el follaje y los frutos, especialmente durante la floración, al provocar la caída de flores o el roce de los frutos, que genera heridas en la cáscara. Por ello, es común utilizar cortinas rompevientos o barreras vegetales. En cuanto a la humedad ambiental, el limonero prefiere valores moderados (entre 50 % y 70 %). Los ambientes muy secos pueden ocasionar deshidratación, mientras que los excesivamente húmedos favorecen enfermedades fúngicas (Albrigo. 1999).

8.12. Nutrientes de *Citrus Limon*

El limón (Citrus limon) es una fruta cítrica reconocida por su alto contenido de vitamina C y sus múltiples beneficios para la salud humana. Además, aporta una amplia variedad de vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, fibra y compuestos antioxidantes, lo que la convierte en un alimento esencial dentro de una dieta equilibrada.

Las múltiples propiedades nutritivas del limón son evidentes. Es la fruta con menos calorías, aunque hay que tener en cuenta que no se consume como una fruta fresca sino su zumo. Destaca su contenido en vitamina C, ácido cítrico, sustancias de acción astringente y potasio, su mineral más abundante. La vitamina C ayuda en la formación de colágeno, huesos, dientes y glóbulos rojos, favoreciendo la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones (Spiegel, 1996).

El Citrus limon es una fruta de bajo contenido calórico, rica en agua, vitamina C, minerales, fibra y antioxidantes naturales. Estos nutrientes contribuyen a fortalecer el sistema inmunológico, mejorar la digestión, cuidar la piel y mantener la salud cardiovascular. Por ello, el limón no solo es un fruto esencial en la alimentación humana, sino también un importante recurso para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. (Tadi, 1996).

8.13. Valor Nutricional

El limón aporta una gran cantidad de vitamina C, potasio y cantidades menores de otras vitaminas y minerales. La vitamina C está implicada en la producción del colágeno. Además, tiene la propiedad de mejorar la cicatrización, y la función del sistema inmunitario. Su capacidad antioxidante ayuda a neutralizar sustancias cancerígenas como las nitrosaminas.

Por otro lado, diversos estudios han mostrado que las personas con altas ingestas de vitamina C tienen un menor riesgo de desarrollar otras enfermedades crónicas como enfermedad cardiovascular, cataratas o enfermedades neurodegenerativas. La pulpa, también contiene ácidos orgánicos,

fundamentalmente ácido cítrico y en menor cantidad málico (que se consideran responsables del sabor ácido de este alimento), acético y fórmico (Bartholomew, 1951).

Algunos estudios han indicado que estos ácidos potencian la acción de la vitamina C y poseen un notable efecto antiséptico. Existen también compuestos fenólicos como los ácidos cafeico y ferúlico, que son potentes antioxidantes e

inhiben la actividad carcinogénica. También es buena fuente de fibra soluble como la pectina (que se encuentra principalmente en la capa blanca que hay debajo de la corteza), cuyas principales propiedades son la disminución del colesterol y la glucosa en sangre, y el desarrollo de la flora intestinal.

Sin embargo, los componentes más interesantes del limón son los fitonutrientes. En concreto, los limonoides, compuestos que se encuentran localizados en la corteza, y que parecen contribuir a la prevención frente a algunos tipos de cáncer. Además, tanto la capa blanca que se encuentra debajo de la corteza como la pulpa, presentan flavonoides (citroflavonoides), a los que se han atribuido propiedades antiinflamatorias (Bartholomew, 1951).

En relación con estos compuestos, algunos autores han señalado que la hesperidina (el más abundante) y otros flavonoides (diosmina, naringenina, eriocitrina, etc) son venotónicos y vasoprotectores. De hecho, refuerzan la pared de los vasos capilares, otorgan mayor elasticidad a las arterias y disminuyen la formación de trombos.

Por este motivo, el limón es útil en la prevención de las enfermedades cardiovasculares y para mejorar la función circulatoria. En animales de experimentación, se ha visto que la hesperidina presenta además efectos antiinflamatorios, analgésicos, hipolipémicos (disminuye los niveles de colesterol en sangre), antihipertensivos y diuréticos (Sinclair, 1951).

8.14. Floración y Desarrollo del Fruto

El limonero (*Citrus limon*) es un árbol frutal perenne que presenta un ciclo reproductivo característico, marcado por una floración prolongada y una fructificación escalonada. A diferencia de otros cítricos, el limonero tiene la capacidad de florecer y fructificar varias veces al año, siempre que las condiciones climáticas y de manejo sean favorables (Casas, 1988).

La floración del Citrus limon es un proceso fundamental en su ciclo productivo. Las flores, conocidas comúnmente como "azahares", son hermafroditas (poseen órganos masculinos y femeninos), blancas, muy aromáticas y se agrupan en racimos terminales o axilares.

En regiones de clima templado o mediterráneo, la floración principal ocurre durante la primavera (marzo a mayo). Sin embargo, el limonero puede presentar floraciones secundarias a lo largo del año (en verano y otoño), especialmente si cuenta con riego continuo y temperaturas cálidas. En climas tropicales o subtropicales, la floración puede ser casi continua, produciendo flores y frutos de diferentes edades al mismo tiempo (Casas, 1988).

Condiciones que favorecen la floración

- ✓ Temperaturas entre 20 °C y 30 °C.
- ✓ Alta luminosidad solar.
- ✓ Ligero estrés hídrico previo, que estimula la inducción floral.
- ✓ Aporte equilibrado de nutrientes, en especial nitrógeno, fósforo, boro y zinc.

Estructura floral

- ◆ Cáliz: pequeño, de color verde.
- ◆ Corola: compuesta por 4 o 5 pétalos blancos, con tono violáceo en el exterior.
- ◆ Estambres: entre 20 y 40, con anteras amarillas ricas en polen.
- ◆ Pistilo: con un ovario ínfero y estilo alargado.

El aroma característico de las flores es debido a la presencia de aceites esenciales, principalmente linalol, limoneno y nerol, los cuales también atraen a insectos polinizadores (principalmente abejas).

La polinización en el limón es entomófila, es decir, llevada a cabo por insectos, principalmente abejas. Las flores son autógamas, lo que significa que pueden autopolinizarse, aunque la polinización cruzada (entre flores de distintos árboles) mejora el cuajado del fruto y su calidad. Una vez que el polen fecunda el óvulo, se forma el óvulo fecundado (semilla), y el ovario se transforma en el fruto (Casas, 1988).

El desarrollo del fruto del limón pasa por varias etapas fisiológicas que duran entre 5 y 8 meses, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales.

Etapas principales:

❖ Cuajado del fruto:

Ocurre después de la fecundación. El ovario comienza a crecer, y la flor pierde sus pétalos. En esta fase, solo una pequeña proporción de flores (aproximadamente el 10 %) logra desarrollar frutos viables.

❖ Crecimiento rápido:

El fruto aumenta rápidamente de tamaño gracias a la división y expansión celular. Esta etapa es muy sensible a la falta de agua y nutrientes, especialmente nitrógeno y potasio.

❖ Maduración fisiológica:

El fruto alcanza su tamaño final, la piel se engrosa y cambia de color verde a amarillo brillante por la degradación de la clorofila y el aumento de carotenoides.

❖ Maduración comercial:

El contenido de ácido cítrico disminuye ligeramente, mientras que el jugo alcanza su máximo nivel de desarrollo. El fruto se vuelve más aromático y adquiere las características propias de cada variedad.

Factores que influyen en la floración y fructificación

El proceso de floración y desarrollo del fruto está influenciado por diversos factores ambientales y de manejo:

- **Temperatura:** el frío inhibe la floración, mientras que el calor excesivo

puede causar caída de flores.

- **Luz solar:** la exposición directa favorece la floración abundante y frutos de mejor color.
- **Riego:** la escasez de agua antes de la floración estimula la inducción floral, pero un riego adecuado después favorece el cuajado y el desarrollo del fruto.
- **Nutrientes:** el nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo, el fósforo y potasio mejoran la floración y fructificación.
- **Poda:** estimula la renovación de ramas fructíferas y mejora la entrada de luz.

Duración del ciclo

El tiempo total desde la floración hasta la madurez del fruto varía según la variedad y el clima:

- En zonas cálidas: 5 a 6 meses.
- En zonas templadas: 7 a 9 meses.

Esto permite que un mismo árbol de limón pueda tener flores, frutos verdes y maduros al mismo tiempo, característica muy apreciada comercialmente.

El Citrus limon presenta un ciclo floral y frutal continuo, adaptado a las condiciones cálidas y luminosas de su entorno natural. Su capacidad de florecer varias veces al año, unida a un desarrollo de fruto relativamente rápido, garantiza una producción prolongada y constante. Estos rasgos hacen del limonero una especie de gran valor agrícola y económico, ampliamente cultivada en regiones tropicales y mediterráneas del mundo (Mallent, 1988).

El limonero (Citrus limon) es una especie perenne y de hoja persistente que se distingue por su notable capacidad de florecer y fructificar durante todo el año, especialmente en condiciones climáticas favorables. Su ciclo reproductivo incluye una serie de procesos fisiológicos complejos que van desde la inducción floral hasta la maduración del fruto, influenciados por factores ambientales, genéticos y de manejo agrícola.

Fases de la floración

La floración del limón se desarrolla en varias etapas, cada una con funciones y características específicas:

a) Inducción floral: Es el proceso mediante el cual las yemas vegetativas se transforman en yemas florales. Se produce generalmente durante el invierno o inicios de la primavera, cuando las temperaturas descienden ligeramente y el crecimiento vegetativo se reduce. Factores como un ligero estrés hídrico, temperaturas entre 15 °C y 20 °C, y un balance hormonal favorable (aumento de giberelinas y citocininas) estimulan la diferenciación floral.

b) Diferenciación y desarrollo floral: Durante esta fase, las yemas florales comienzan a formar los órganos reproductivos (sépalos, pétalos, estambres y pistilos). Dura aproximadamente 3 a 6 semanas dependiendo del clima. Una nutrición adecuada en fósforo, calcio y boro favorece la formación de flores completas y fértiles.

c) Floración visible: Las flores se abren completamente y se tornan blancas o ligeramente violáceas, liberando un aroma intenso. Cada flor permanece abierta entre 5 y 8 días. La floración principal se da en primavera, aunque pueden ocurrir floraciones secundarias (“floraciones locas”) en verano u otoño.

Polinización y fecundación

Las flores del limonero son hermafroditas (poseen órganos masculinos y femeninos), y la polinización se realiza principalmente por insectos polinizadores, sobre todo abejas (*Apis mellifera*). La mayoría de las variedades de limón son autocompatibles, por lo que pueden autopolinizarse. La polinización cruzada (entre flores de diferentes árboles) puede mejorar el cuajado de frutos y aumentar su tamaño.

Una vez fecundado el óvulo, se forma el embrión de la semilla, y el ovario se transforma en el fruto. Si la fecundación no ocurre, el fruto puede desarrollarse sin semillas mediante un fenómeno conocido como partenocarpia, común en algunas variedades comerciales (como Eureka y Lisboa) (Castle, 1988).

8.15. Taxonomía de *Citrus Limon*

El limonero (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) pertenece al género *Citrus*, uno de los más importantes dentro de la familia Rutaceae, que agrupa a las especies conocidas como cítricos, ampliamente cultivadas por sus frutos aromáticos y ricos en vitamina C. Su clasificación taxonómica refleja tanto su historia evolutiva como su origen híbrido, resultado del cruce entre otras especies del género.

También es llamada lima ácida, lima gallega, limón ceutí, limón mexicano, limón peruano, limón criollo o limón de pica. (Davies, 1999).

Características	Descripción
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermae
Orden	Rutae
Familia	Rutaceae
Género	<i>Citrus</i>
Subgénero	<i>Eucitrus</i>
Especie	<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle
Periodo Vegetativo	A los 5 años del injerto se obtiene la primera cosecha

Tabla 1. Especificaciones técnicas de *Citrus limon*.

La composición de *Citrus limon* es de 3 partes:

- El **flavedo** es la parte externa o superficial de la cáscara del fruto del limón, también conocida como epicarpo. Se caracteriza por su color amarillo brillante, su textura ligeramente rugosa y su alto contenido en aceites esenciales aromáticos. Es una de las zonas más importantes del fruto desde el punto de vista fisiológico, químico e industrial, ya que contiene compuestos que determinan el aroma, sabor, y propiedades funcionales del limón.

El flavedo constituye la primera capa del pericarpo (cáscara) y cumple funciones de protección y síntesis de compuestos metabólicos. Está compuesto principalmente por:

- Células epidérmicas: de pared gruesa, recubiertas por una cutícula cerosa que evita la pérdida de agua y protege al fruto de agentes externos.
- Hipodermis: formada por varias capas de células parenquimáticas que almacenan pigmentos y aceites.
- Glándulas oleíferas (vesículas oleosas): estructuras esféricas distribuidas en toda la superficie, visibles como pequeños puntos o depresiones. Estas glándulas contienen aceites esenciales ricos en limoneno, citral, y pineno, que confieren el aroma característico del limón.

El flavedo del *Citrus limon* es una estructura esencial tanto para el desarrollo y protección del fruto como para su valor comercial y aromático. Su riqueza en aceites esenciales, pigmentos y compuestos bioactivos lo convierte en una de las partes más valiosas del limón, aprovechada ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Además, su estudio es clave para comprender los procesos de maduración, calidad y conservación poscosecha del fruto.

- El **albedo** es la parte interna y blanca de la cáscara del fruto del limón, situada debajo del flavedo. Se corresponde anatómicamente con el mesocarpo, y constituye una capa esponjosa, fibrosa y de sabor amargo, cuya función principal es proteger y sostener la pulpa interna del fruto.

Aunque tradicionalmente se ha considerado un subproducto o residuo, el albedo posee una composición química rica en fibras, pectinas y flavonoides, lo que lo convierte en un componente de gran valor nutricional e industrial.

El albedo del *Citrus limon* es una estructura vital tanto para la fisiología del fruto como para su aprovechamiento industrial. Su alto contenido en fibra, pectinas y flavonoides lo convierte en un recurso natural valioso con aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y ecológicas. Además, junto con el flavedo, forma una barrera protectora que contribuye a la conservación y calidad del limón, asegurando su resistencia y prolongando su vida poscosecha.

- El **endocarpio** es la parte más interna del fruto del limón, correspondiente a la zona donde se encuentra la pulpa o parte comestible, compuesta por los gajos jugosos. Anatómicamente, forma la tercera capa del pericarpo, después del flavedo (epicarpo) y el albedo (mesocarpo).

Esta región es la que concentra la mayor cantidad de agua, azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales, siendo la porción de mayor interés alimentario y económico del fruto.

El endocarpio del *Citrus limon* representa la parte vital, nutritiva y comestible del fruto, donde se concentra el jugo característico del limón. Su composición rica en agua, ácidos orgánicos, vitamina C y flavonoides lo convierte en un alimento de alto valor nutricional y medicinal. Además, su estructura vesicular y su evolución durante la

maduración reflejan la complejidad fisiológica de este fruto, clave tanto en la naturaleza como en la industria alimentaria mundial.



Figura 6. Partes de *Citrus limón* (Castillo, 2005).

El limón pertenece al reino Plantae, dentro de la división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Sapindales, familia Rutaceae, género Citrus y especie Citrus limon (L.) Burm. f. Esta clasificación taxonómica lo ubica dentro del amplio grupo de las angiospermas dicotiledóneas, caracterizadas por poseer flores bien desarrolladas y frutos con semillas protegidas por un ovario (Chapot, 1975).

La familia Rutaceae comprende alrededor de 160 géneros y más de 1,600 especies distribuidas principalmente en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Dentro de esta familia, el género Citrus es uno de los más importantes tanto desde el punto de vista económico como botánico, debido a la gran diversidad de especies frutales que incluye, como la naranja (*Citrus sinensis*), el pomelo (*Citrus paradisi*), la lima (*Citrus aurantiifolia*) y la mandarina (*Citrus reticulata*).

El Citrus limon es considerado una especie híbrida natural, originada del cruce entre la cidra (*Citrus medica*) y la naranja agria (*Citrus aurantium*), lo cual explica su variabilidad genética y la diversidad de variedades que existen actualmente. Este origen híbrido fue confirmado por estudios genéticos y moleculares que han demostrado la estrecha relación del limón con otras especies del género Citrus.

Desde el punto de vista morfológico, el limón se distingue por ser un árbol perenne de tamaño medio, con una copa redondeada, ramas espinosas y hojas elípticas de color verde brillante. Sus flores, conocidas como azahares, son hermafroditas, fragantes y de color blanco con matices violáceos en el exterior, lo que lo hace fácilmente identificable dentro de su género. El fruto, un hesperidio típico, presenta una cáscara amarilla y una pulpa ácida rica en ácido cítrico y vitamina C (Chapot, 1975).

Taxonómicamente, el género *Citrus* ha sido objeto de numerosas revisiones y controversias debido a la facilidad de hibridación entre especies, lo que ha generado una gran cantidad de formas intermedias y variedades cultivadas. Por esta razón, algunos botánicos consideran que más que especies definidas, los cítricos conforman un complejo grupo de híbridos en el que las fronteras entre especies son difusas. Sin embargo, *Citrus limon* se mantiene reconocido como una entidad taxonómica válida y estable por su morfología, composición genética y uso generalizado.

En síntesis, la clasificación científica del limón refleja tanto su importancia evolutiva dentro del género *Citrus* como su relevancia agrícola. Su origen híbrido, su diversidad varietal y sus características morfológicas particulares lo convierten en una de las especies más estudiadas y cultivadas del grupo de los cítricos, con una identidad taxonómica consolidada y ampliamente aceptada en la botánica moderna (Chapot, 1975).

Desde el punto de vista filogenético, el *Citrus limon* presenta un origen complejo dentro del género *Citrus*, debido a los numerosos procesos de hibridación natural y artificial que han ocurrido a lo largo de su historia evolutiva. Los análisis genómicos y moleculares recientes han confirmado que el limón es el resultado del cruce entre la cidra (*Citrus medica*) y la naranja agria (*Citrus aurantium*), esta última a su vez un híbrido entre el pomelo (*Citrus maxima*) y la mandarina (*Citrus reticulata*).

Esto significa que el Citrus limon posee una composición genética triple, heredando características de tres linajes principales del género: la acidez intensa y la corteza gruesa de la cidra, el color y aroma cítrico de la naranja agria, y ciertos rasgos morfológicos de la mandarina, como la estructura del fruto y la forma de las hojas.

En los estudios de filogenia molecular, se ha observado que el Citrus limon comparte una gran cercanía evolutiva con especies como la lima (*Citrus aurantiifolia*) y el limón Meyer (*Citrus × meyeri*), los cuales también derivan de combinaciones híbridas entre la cidra, la mandarina y la naranja agria. Estas afinidades genéticas explican la similitud que existe entre los frutos de estas especies en cuanto a su acidez, aroma y morfología general (Arcas, 1998).

A nivel evolutivo, el género Citrus se originó en el sureste asiático, en una región que abarca el noreste de la India, el sur de China y el archipiélago malayo. Desde allí, las distintas especies ancestrales se dispersaron y, a través de procesos naturales de hibridación, dieron lugar a nuevas especies y variedades. El limón, en particular, surgió posteriormente en el Mediterráneo oriental, probablemente en el norte de la India o en el norte de Birmania, y fue introducido a Europa durante la expansión árabe, donde se consolidó como una especie cultivada de gran valor económico y cultural.

La posición filogenética del Citrus limon dentro del grupo de los cítricos lo ubica como una especie secundaria o derivada, que conserva genes de las especies fundadoras del género. Su genoma refleja un equilibrio entre características primitivas, como la alta acidez y la gruesa corteza, y rasgos evolucionados, como la capacidad de adaptación a diferentes climas y su notable variabilidad genética (Arcas, 1998).

En conclusión, la filogenia del limón evidencia su naturaleza híbrida y su papel como punto intermedio en la evolución del género Citrus. Su estrecha

relación con otras especies cítricas y su origen mixto lo convierten en un ejemplo representativo de la plasticidad genética y adaptativa que caracteriza a este grupo de plantas frutales, fundamentales tanto para la botánica como para la agricultura mundial.

8.16. Evolución de su Maduración

La evolución de su maduración del fruto de *Citrus limon* es un proceso fisiológico complejo que involucra cambios graduales físicos, químicos y bioquímicos, los cuales determinan la calidad final del limón en cuanto a su sabor, aroma, color y valor nutricional. Esta maduración representa la fase final del desarrollo del fruto, en la que se completa la formación de las estructuras internas y se alcanza la composición óptima para la cosecha y el consumo.

Durante la maduración, el fruto pasa por distintas etapas evolutivas que pueden dividirse en tres fases principales: crecimiento celular, acumulación de metabolitos y maduración fisiológica. Cada una de ellas está regulada por procesos hormonales y ambientales que influyen directamente en las características del fruto.

En las primeras fases del desarrollo, el fruto del limón experimenta una rápida división y expansión celular. En este periodo, el tamaño del fruto aumenta considerablemente debido al incremento del volumen de las vesículas de jugo en el endocarpio, mientras que la cáscara (flavedo y albedo) se engrosa y acumula aceites esenciales. En esta etapa, el color del fruto es verde intenso debido a la abundancia de clorofila, y su contenido de ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico, es elevado, lo que le confiere un sabor muy ácido e inmaduro.

Con el avance de la maduración, comienzan a producirse cambios metabólicos importantes. La clorofila del flavedo se degrada progresivamente y es reemplazada por carotenoides, responsables del color amarillo característico del limón maduro. Este proceso, conocido como degreening, está regulado por la acción de hormonas vegetales como el etileno y el ácido abscísico (ABA), que actúan como señales químicas desencadenantes de la maduración.

A nivel interno, se produce una redistribución de los azúcares y ácidos. La concentración de ácido cítrico, que en las etapas tempranas puede superar el 6 % del peso del jugo, comienza a disminuir lentamente, mientras que los azúcares simples, como la glucosa, fructosa y sacarosa, aumentan ligeramente. Este cambio equilibra el sabor del fruto, que mantiene su acidez característica, pero con una ligera sensación menos agresiva al paladar.

Durante la maduración fisiológica, también se intensifica la formación de compuestos volátiles aromáticos, principalmente limoneno, citral y linalol, los cuales aportan el aroma fresco y penetrante característico del limón. Estos compuestos se sintetizan en los sacos oleosos del flavedo, y su concentración aumenta conforme el fruto alcanza su estado de madurez comercial (Izquierdo, 2002).

8.17. Composición Química

El limón (*Citrus limon*) es un fruto con una composición química compleja y equilibrada, resultado de la interacción de numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos que le confieren su sabor característico, aroma intenso y alto valor nutritivo. Su composición varía ligeramente según la variedad, el grado de madurez, las condiciones climáticas y el tipo de suelo, pero mantiene una estructura química general que lo distingue dentro del género *Citrus*.

El fruto está formado principalmente por agua, azúcares, ácidos orgánicos, compuestos volátiles, minerales, vitaminas y pigmentos naturales, distribuidos en proporciones diferentes en el flavedo (cáscara externa), el albedo (parte blanca) y el endocarpio (pulpa o parte jugosa) (Izquierdo, 2002).

8.10.1 Agua

El componente mayoritario del limón es el agua, que representa entre el 85 % y el 90 % del peso fresco del fruto. Este alto contenido hídrico es fundamental para mantener la turgencia, frescura y jugosidad del endocarpio. Además, el agua actúa como medio de disolución de los nutrientes y facilita los procesos metabólicos del fruto, tanto durante su desarrollo como en la

maduración.

Más allá de ser “solvente”, el agua en el limón cumple funciones fisiológicas críticas: mantiene la turgencia de las células del endocarpio, facilita el transporte de solutos (azúcares, ácidos, iones) y actúa como medio para reacciones enzimáticas durante el crecimiento y la maduración (Benavente, 1999).

8.10.1 Carbohidratos

Los azúcares constituyen entre el 1 % y el 3 % del peso total del jugo, siendo los principales la glucosa, fructosa y sacarosa. Aunque su concentración es baja en comparación con otros cítricos, cumplen un papel importante en el equilibrio del sabor, contrarrestando parcialmente la acidez del ácido cítrico. En la cáscara también se encuentran polisacáridos estructurales como la celulosa, hemicelulosa y pectinas, estas últimas esenciales en la industria alimentaria por su capacidad gelificante (Monselise, 1972).

Los carbohidratos del limón comprenden azúcares solubles (glucosa, fructosa, sacarosa) y polisacáridos estructurales (pectina, celulosa, hemicelulosa) en la cáscara y el albedo.

- ✧ **Azúcares solubles:** 1–3 % en pulpa; su concentración aumenta ligeramente durante maduración por hidrólisis de precursores. La relación glucosa:fructosa:sacarosa y TSS (sólidos solubles totales) son indicadores de calidad sensorial.
- ✧ **Pectinas:** polisacáridos ricas en ácido galacturónico, presentes abundantemente en el albedo; existen pectinas solubles e insolubles que cambian con la maduración (pardeamiento enzimático y acción de pectinasas).
- ✧ **Celulosa/hemicelulosa:** confieren estructura al albedo y pared celular. Medición: azúcares por HPLC-RI o métodos enzimáticos; pectinas por método de alcohol insoluble y titulación del ácido galacturónico.

Importancia industrial: pectinas se usan como gelificantes; azúcares afectan balance ácido-dulce del jugo y su fermentabilidad en procesado (Gooldschmidt, 1972).



8.10.1 Ácidos Orgánicos

El ácido cítrico es el componente más característico del limón, representando entre el 4 % y el 7 % del peso del jugo fresco. Este ácido es el principal responsable del sabor ácido y refrescante del fruto. También están presentes otros ácidos en menor cantidad, como el málico, fórmico, oxálico y ascórbico, que contribuyen a la estabilidad del pH (alrededor de 2.0 a 2.6) y a la conservación natural del jugo (Guardiola, 1988).

El ácido cítrico no solo tiene una función organoléptica, sino también antioxidante y conservante natural, ya que impide el pardeamiento enzimático y la proliferación de microorganismos, siendo ampliamente utilizado en la industria alimentaria.

- ◆ Funciones: controlan el sabor, inhiben microorganismos por pH bajo, forman complejos con metales (influyendo en estabilidad y precipitaciones), participan en rutas metabólicas (ciclo del ácido cítrico).
- ◆ Dinámica en maduración: suele disminuir algo el ácido cítrico relativo (no siempre absoluto) al aumentar azúcar; la relación azúcar/ácido es clave para aceptación sensorial.

Medición: ácidos por titulación (acidez total expresada como % ácido cítrico) y perfiles por HPLC-UV.

Aplicaciones industriales: ácido cítrico es un aditivo conservante y acidulante ampliamente usado; el jugo de limón es fuente natural de ácido cítrico para la industria.

8.10.1 Vitaminas

El limón es una fuente sobresaliente de vitamina C (ácido ascórbico),

con un contenido promedio de 40 a 60 mg por cada 100 g de pulpa fresca. Esta vitamina es esencial para la síntesis de colágeno, la absorción de hierro y el fortalecimiento del sistema inmunológico.

Además, contiene pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B (B1, B2, B3, B5 y B6), así como vitamina A (en forma de betacarotenos) y vitamina E (tocoferoles), que actúan como antioxidantes naturales y protegen las células del daño oxidativo.

8.10.1 Minerales

En su composición mineral, el Citrus limon destaca por su contenido de potasio (K), que oscila entre 100 y 150 mg por 100 g de fruto. También contiene calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y hierro (Fe) en cantidades menores. Estos minerales contribuyen al mantenimiento de la función muscular, ósea y enzimática, además de intervenir en los procesos de regulación osmótica de la planta y del fruto.

- Función vegetal: iones como K^+ y Ca^{2+} regulan balance hídrico, turgencia, resistencia de pared celular y señalización; en fruto, Ca influye en textura y almacenamiento.
- Variabilidad: depende de fertilización, portainjerto, pH y disponibilidad de suelo; exceso de salinidad (NaCl) afecta absorción y calidad.

8.10.1 Compuestos Fenólicos y Flavonoides

El limón contiene una amplia gama de compuestos fenólicos, principalmente flavonoides como la hesperidina, eriocitrina, diosmina y rutina, localizados principalmente en el flavedo y el albedo. Estos compuestos tienen una elevada actividad antioxidante, antiinflamatoria y vasoprotectora, ayudando a neutralizar radicales libres y a mejorar la salud cardiovascular.

La concentración de estos compuestos es mayor en la cáscara que en la pulpa, por lo que la piel del limón también posee un alto valor

nutracéutico e industrial.

8.10.1 Aceites esenciales y Compuestos volátiles

El flavedo del limón es rico en aceites esenciales, que constituyen entre el 0.3 % y el 0.5 % del peso fresco del fruto. El principal componente es el limoneno, que representa más del 60 % del aceite esencial, seguido de compuestos como el citral, linalol, geraniol y β -pineno.

Estos compuestos volátiles son los responsables del aroma característico del limón y se utilizan ampliamente en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Además, poseen propiedades antimicrobianas y desinfectantes naturales.

8.10.1 Pigmentos Naturales

El color del limón se debe principalmente a la presencia de carotenoides, como la luteína y la zeaxantina, que sustituyen a la clorofila durante la maduración. Estos pigmentos no solo aportan color, sino que también actúan como antioxidantes naturales, protegiendo las células frente al daño oxidativo y contribuyendo al valor nutricional del fruto.

8.10.1 Proteínas, Lípidos y Fibras

Aunque en baja proporción, el limón contiene proteínas (0.5–1 %) y lípidos (0.2–0.5 %), principalmente en la cáscara y en las semillas. Las fibras dietéticas, especialmente pectinas y celulosas, representan alrededor del 2 % del peso total del fruto, siendo fundamentales para el funcionamiento intestinal y el control del colesterol en la dieta humana.

8.8. Propiedades Fisicoquímicas de *Citrus limon*

El componente mayoritario de *citrus limon* es el agua, por lo que su valor

calórico es escaso, 44 kcal/100 g. Aporta una gran cantidad de vitamina C (50 mg/100 g de porción comestible), potasio y cantidades menores de otras vitaminas y minerales.

La vitamina C interviene en muchas reacciones enzimáticas, es indispensable en la producción del colágeno, el cual es necesario para el crecimiento y reparación de células, tejidos, encías, vasos sanguíneos y huesos (Moreiras 2011).

La pulpa, contiene ácidos orgánicos, fundamentalmente ácido cítrico y en menor cantidad málico (que se consideran responsables del sabor ácido de este alimento), acético y fórmico. Algunos estudios han indicado que estos ácidos potencian la acción de la vitamina C y poseen un notable efecto antiséptico.

Existen también compuestos fenólicos como los ácidos cafeico y ferúlico, que son potentes antioxidantes e inhiben la actividad carcinogénica (Moreiras 2011).

8.18. Propiedades Fisicoquímicas de *Citrus limon*

El componente mayoritario de *citrus limon* es el agua, por lo que su valor calórico es escaso, 44 kcal/100 g. Aporta una gran cantidad de vitamina C (50 mg/100 g de porción comestible), potasio y cantidades menores de otras vitaminas y minerales.

La vitamina C interviene en muchas reacciones enzimáticas, es indispensable en la producción del colágeno, el cual es necesario para el crecimiento y reparación de células, tejidos, encías, vasos sanguíneos y huesos (Moreiras 2011).

La pulpa, contiene ácidos orgánicos, fundamentalmente ácido cítrico y en menor cantidad málico (que se consideran responsables del sabor ácido de este

alimento), acético y fórmico. Algunos estudios han indicado que estos ácidos potencian la acción de la vitamina C y poseen un notable efecto antiséptico.

Existen también compuestos fenólicos como los ácidos cafeico y ferúlico, que son potentes antioxidantes e inhiben la actividad carcinogénica (Moreiras 2011).

- **Antioxidante**

Citrus limon se ha señalado como uno de los alimentos en la naturaleza que contienen mayor cantidad de antioxidantes, según un estudio publicado en el Journal of Science of Food and Agriculture en Enero del 2011. Los antioxidantes son compuestos que neutralizan los radicales libres o moléculas de oxígeno inestables que dañan los tejidos incrementando los riesgos de padecer enfermedades degenerativas y cáncer (Pastene, 2009)

Es uno de los componentes más ricos en vitamina C, también conocida como ácido ascórbico y supone uno de los antioxidantes más importantes en la alimentación humana ya que el cuerpo no es capaz de fabricarla. Esta vitamina es esencial para el metabolismo proteico, la producción de colágeno, su sinterización y la producción de nuevos transmisores para una correcta formación del tejido conectivo (Zúñiga, 2008).

- **Carotenoides**

Entre los compuestos antioxidantes de *citrus limon* también se encuentran los carotenoides que son convertibles en nuestro organismo en vitamina A. No todos los carotenoides son convertibles; es rico en luteína y zeaxantina que no pueden ser convertidos en vitamina A. Los estudios efectuados apuntan que, de igual manera, actuarían como antioxidantes junto con la betacriptoxantina, que sí sería bio convertible, incrementando el porcentaje de carotenoides totales aprovechables (Herrero, 2016).

- Fitoquímicos

Citrus limon igual que las naranjas y otros cítricos, contienen una gran cantidad de fitoquímicos en su composición, a los cuales se les ha atribuido propiedades antioxidantes. En estudios in vitro, se ha demostrado que estas sustancias tienen un efecto bioactivo en la salud humana, eliminando los radicales libres y modulando el sistema inmunitario además de reducir la oxidación en el ADN de las células (Balch, 2000).

- Valor ORAC de *Citrus limon*

Las siglas ORAC derivan de Oxygen Radical Absorbance Capacity, que permite cuantificar in vitro la capacidad antioxidante de los alimentos mediante su capacidad de absorción de radicales libres de oxígeno. El valor ORAC total, que mide la fuerza antioxidante en 100 mililitros de jugo de *citrus limon* fresco, es de 1225 micromoles (AOAC, 2005).

8.19. Cáscara de Citrus limon

La producción de limón mexicano ha mostrado un comportamiento de circunstancias atípicas derivadas de factores como el clima y la estacionalidad. Los principales estados productores de limón mexicano son Colima, Michoacán, Oaxaca y Guerrero. La producción de limón en México (incluye los tipos mexicano y persa) en 2013, fue de dos millones 95 mil 881 toneladas, cifra superior en 40 mil toneladas a lo obtenido en 2012. (SAGARPA, 2017).

La cáscara de *citrus limon* es verde amarillenta y contiene citronela, felandreno, vitamina C, ácido cítrico, málico y fórmico, hesperidina y pectinas, es descartada como desecho que contiene una amplia variedad de productos secundarios con actividad antioxidante, esto significa que es una rica fuente de polifenoles (Del Río, 2004).

Representa más del 40% de la fruta, no es aprovechada industrialmente sino comercializada directamente como producto deshidratado (Porrás, 2004).

La Eriocitrina es una flavanona glicosídica abundante en la cáscara de *citrus limon* y limas, pero no está presente en todos los cítricos y se utiliza en múltiples complejos vitamínicos, en los cuales se aprovecha su alta actividad antioxidante (Fuster, 2004).

Citrus limon es una rica fuente de flavonoides. Los flavonoides identificados en el limón fueron hesperidina, glucósido de eriodictyol, glucósidos de dos flavonas: diosmina y luteolina (Gómez, 2004).

8.19.1. Composición Nutricional de la Cáscara

100 gramos de Cáscara de *Citrus limon* contienen:

- 16,0 gramos de carbohidratos,
- 10,6 gramos de fibra,
- 1,50 gramos de proteína,
- 6 miligramos de sodio, y
- 81,60 gramos de agua

La cáscara tiene 0 miligramos de colesterol y 0,30 gramos de grasa.

Además, contiene algunas importantes vitaminas:

- Vitamina A (50 mg),
- Vitamina B-9 (13 mg)
- Vitamina C (129,0 mg) (Moreiras, 2011).

8.20. Cáscara de *Citrus limon* como Subproducto Agroindustrial

Las redes productivas de *citrus limon* generan grandes cantidades de desechos y subproductos que constituyen una fuente importante de compuestos bioactivos con potencial para la alimentación animal, alimentos manufacturados y cuidado de la salud. Los extractos de frutas y hojas de *citrus limon* y el aceite esencial tienen bioactividades, antioxidantes, anticancerígenas, hepatoprotectoras, antimicrobianas e insecticidas (González, 2010).

Citrus limon después de ser procesado industrialmente, genera 85% de residuos finales totales que consiste en los llamados caldos residuales, los cuales poseen de un 23 a un 24% de sólidos, estimándose en 372.71 toneladas por año de residuos los cuales pueden ser utilizados de alguna manera para otro fin (SAGARPA, 2017).

En la cáscara de *citrus limon* se encuentran sustancias medicinales muy importantes tales como flavonoides polifenólicos, su aceite esencial, citronela, felandreno, vitamina C, ácido cítrico, ácido málico, ácido fórmico, hesperidina o pectinas, entre otras (González, 2010).

8.21. Lavado y Desinfección

La inocuidad de los alimentos incluye, dentro de las medidas primordiales básicas para la reducción de riesgos de patógenos microbiológicos, la desinfección de superficies, alimentos, equipos, entre otros (Tejeda, 2007).

El lavado de alimentos que no vienen protegidos por un empaque o un envase se necesita hacer para prevenir enfermedades transmitidas por algunas bacterias como Salmonella, Listeria y E. coli. En las décadas anteriores, era muy común el riesgo de contraer enfermedades o padecimientos relacionados con los pesticidas, por lo que el lavado de alimentos era la principal medida de prevención.

Después de varias regulaciones y normas implementadas por la FAO, los tipos de pesticidas utilizados se controlan estrictamente, así como la cantidad de residuos de pesticidas que quedan en las cáscaras de las frutas y verduras. Sin embargo, muchas veces, cuando los productos son más naturales y no pasan por procesos industriales de limpieza, sí pueden contener restos de tierra, polvo y hasta animales y/o insectos que viven en las hojas de los productos (Richieri, 2019).

La desinfección de alimentos es un proceso físico o químico de seguridad alimentaria que mata o inactiva agentes patógenos tales como bacterias, virus y

protozoos, impidiendo así su crecimiento y desarrollo en los alimentos.

8.21.1. Niveles de Desinfección de Alimentos

1. Desinfección de alimentos por esterilización química: Los microorganismos y esporas son eliminados con tiempos de exposición prolongados (3-12h).
2. Desinfección de alimentos de alto nivel: Los microorganismos son eliminados excepto gran número de esporas. Tiempo de exposición corto.
3. Desinfección de alimentos de nivel intermedio: Las micobacterias, bacterias vegetativas y la mayoría de los virus y hongos mueren, pero no necesariamente esporas.
4. Desinfección de alimentos por desinfección de bajo nivel: La mayoría de las bacterias, algunos hongos y virus mueren en un práctico período de tiempo (hasta 10 min.) (Richieri, 2019).

8.21.2. Métodos de Desinfección de Alimentos

Las industrias alimentarias deben desinfectar los alimentos con métodos con cloro, yodo, amonio cuaternario, soluciones ácidas o alcalinas; o con generador de ozono. Así se evita la contaminación micro bacteriana y la contaminación cruzada. Los consumidores finales también deben limpiar los alimentos que van a ingerir para asegurarse que están libres de microorganismos, y mantener la calidad del producto (Tejeda, 2007).

8.21.3. Técnicas de Desinfección de Alimentos

- Desinfección por calor
- Desinfección con agua caliente
- Desinfección por vapor
- Desinfección con sustancias químicas
- Inactivación debida a la suciedad
- Temperatura de la solución

- Tiempo
- Concentración
- Estabilidad (Tejeda, 2007).

8.22. Secado

El secado se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la microestructura de este. Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

- Habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar humedad de la superficie.
- Habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido (Reverté, 1979).

La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual los dos procesos, mencionados anteriormente, se llevan a cabo. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y también por métodos dieléctricos o de microondas.

La conducción se puede llevar a cabo desde las paredes que estén en contacto con el sólido, p. ej. desde las bandejas que lo soportan. Este mecanismo puede interesar si se trata de sólidos muy húmedos, con poco espesor. En este caso, la temperatura del sólido puede ser más elevada en unas zonas que en otras (Reverté, 1979).

La convección se lleva a cabo mediante gases calientes (aire o gases de combustión). Es el método más empleado. Permite una buena regulación de la humedad y de la temperatura y con ello un control de la velocidad de secado.

La radiación suele estar presente como un mecanismo adicional en todos los secaderos, combinada con la convección. Tan solo es el mecanismo

predominante en el caso de la liofilización, ya que al efectuarse a vacío no es posible utilizar la convección.

El secado dieléctrico o por microondas es muy uniforme y rápido, pero tiene un coste elevado, por lo que solo se aplica en productos de alto valor añadido. Desde otro punto de vista los secaderos pueden ser continuos o intermitentes, dependiendo básicamente de la producción requerida y, por supuesto, de la economía del proceso (Reverté, 1979).

8.22.1. Tipos de Secadores

Los secaderos pueden clasificarse de muy diferentes modos, atendiendo a:

- Naturaleza de los sólidos
- Alimentación continua o intermitente
- Flujo de aire en los secaderos continuos (paralelo, contracorriente o cruzado)
- Calefacción (directa o indirecta)
- Método de transmisión de calor (Reverté, 1979).

Los tipos de secaderos más frecuentes son:

➤ **Secadores intermitentes:**

- Convección: Armarios o habitaciones
- Convección-conducción: Armarios con bandejas de soporte del sólido calentadas interiormente por vapor, operando a presión atmosférica
- Conducción: Armarios de bandejas calentadas operando a presión reducida

➤ **Secadores continuos:**

- Convección: Túnel con vagonetas, Cinta transportadora, Rotatorio con calefacción directa desde el gas,

Lecho fluidizado, Transporte neumático, Pulverización, Estantes rotatorios

- Conducción: Rotatorio con calefacción a través de la pared, De rodillos, De cilindros múltiples, Discos
- Radiación: Dieléctricos (Reverté, 1979).

8.23. Triturado

La trituración implica sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, es de suma importancia en diversos procesos.

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales, es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda (Ramírez, 2001).

La trituración, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla, convierte la producción de residuos de post- consumo en un material a granel (material molido, partículas) lo más homogéneo posible.

El proceso es necesario antes de que se den lugar los subsiguientes pasos del proceso tanto para obtener nuevos materiales como combustibles secundarios. En numerosas técnicas, la trituración representa el proceso fundamental a partir del cual se realizan los procesos de tratamiento posteriores. Debido a la amplia variedad de materiales que pueden ser triturados, las máquinas acostumbran a ofrecer un alto grado de flexibilidad (Ramírez, 2001).

8.23.1. Tipos

➤ Trituración primaria

La trituración primaria reduce normalmente el tamaño de los trozos de mineral a un valor comprendido entre 8" a 6". A continuación, los productos obtenidos se criban en un tamiz vibrante con objeto de separar aquellas partículas cuyo tamaño ya es lo suficientemente fino,

con el consiguiente aumento en la capacidad de las quebrantadoras secundarias (Liezen, 1999).

La trituración primaria se lleva a cabo normalmente en quebrantadoras de mandíbulas o en quebrantadoras giratorias. Las quebrantadoras de mandíbulas constan normalmente de dos planchas de acero al manganeso o mandíbulas, colocadas una frente a la otra, de las cuales una es fija y la otra es móvil y puede girar sobre un eje situado en su parte superior o inferior. Mediante un dispositivo adecuado, se comunica a la mandíbula móvil un movimiento de oscilación alternativo hacia adelante y hacia atrás de corto recorrido.

El mineral se carga en el espacio comprendido entre las mandíbulas, y de ellas, la móvil, en su recorrido hacia adelante, aplasta los trozos contra la fija. Al retroceder la mandíbula móvil, el mineral triturado cae por la abertura que en la parte inferior forman las mandíbulas.

Las quebrantadoras giratorias constan de una masa trituradora de forma cónica que gira en el interior de una carcasa troncocónica fija, abierta por su parte superior e inferior. El mineral que se va a triturar se carga en la quebrantadora por su parte superior, y el mecanismo por el que se realiza la trituración se basa es la misma acción de aplastamiento de las quebrantadoras de mandíbulas (Liezen, 1999).

➤ **Trituración secundaria**

En la trituración secundaria, el tamaño de las partículas se reduce a un valor comprendido entre 3" y 2", dejándolo en condiciones de poder pasar a las operaciones de molturación o concentración preliminar. Las quebrantadoras utilizadas en esta fase son por lo general de tipo giratorio o cónico.

Estas quebrantadoras son similares a las utilizadas en la trituración primaria, diferenciándose solamente en que trabajan a velocidades relativamente altas (aproximadamente 500 r.p.m.) y en que la abertura de salida de los productos triturados es mucho menor (Liezen 1999).

8.24. Maceración

La maceración es un proceso de extracción sólido-líquido, donde la materia prima posee una serie de compuestos solubles en el líquido de extracción que son los que se pretende extraer. El proceso de maceración genera dos productos que pueden ser empleados dependiendo de las necesidades de uso, el sólido ausente de esencias o el propio extracto. La naturaleza de los compuestos extraídos depende de la materia prima empleada, así como del líquido de extracción (Selles, 1992).

- **Etanol:** El alcohol etílico también conocido como etanol, cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$, es un líquido incoloro y volátil de olor agradable muy hidrosoluble, hierve a 78°C que puede ser obtenido de la fermentación anaeróbica de los hidratos de carbono (Velasco, A. 2014).

8.24.1. Tipos de Maceración

➤ ***Maceración en frío.***

Consiste en sumergir el producto a macerar en un recipiente con la cantidad suficiente de solvente para cubrir totalmente lo que se desea macerar. Esto se lleva a cabo por un lapso de tiempo largo, dependiendo de la materia prima que se vaya a macerar (Selles, 1992).

Las ventajas de la maceración en frío consisten en la utilización de equipos simples que requieren mínimas cantidades de energía y en la capacidad de extraer la mayoría de las propiedades de lo que se macera (dependiendo del solvente), prácticamente en su totalidad sin

alterarla por efectos de temperatura. Sin embargo, se necesitan períodos de tiempo mucho más extensos para lograr una extracción adecuada (Selles, 1992).

➤ ***Maceración con calor.***

El proceso consiste en el contacto entre las fases, el producto a macerar y el solvente; con la diferencia de la variación en la temperatura, en este caso pueden variar las condiciones de la maceración. El tiempo que se desea macerar varía mucho de la maceración en frío ya que al utilizar calor se acelera el proceso.

La desventaja de la maceración en calor es que no logra extraer totalmente pura la esencia del producto, ya que regularmente destruye algunas propiedades, es decir, muchas veces se trata de compuestos termolábiles que se ven afectados por la temperatura, además de que requiere equipos más sofisticados que permitan el control de temperatura, sin mencionar el consumo energético que dicho proceso implica. No obstante, los períodos de tiempo de extracción se reducen favorablemente (Selles, 1992).

8.25. Extracción

Se define como la separación de una mezcla de sustancias por disolución de cada componente, utilizando uno o varios disolventes. Se basa en la separación de porciones biológicamente activas, utilizando un solvente y un proceso de extracción adecuado. El proceso extractivo se inicia con la interacción residuo-disolvente (Ramírez, 2006), en donde se obtienen dos productos:

- Solución extraída en el disolvente (Extracto).
- Residuo.

8.25.1. Métodos de Extracción

Los métodos de extracción varían según la naturaleza de la esencia, de sus propiedades, y en qué parte de la matriz vegetal se encuentra contenida; los métodos tradicionales son extracción por destilación (en corriente de vapor a presión reducida), por expresión, por extracción mediante grasas o solventes y por extracción con fluidos supercríticos (Senatore, 2000).

8.25.2. Extracción por Destilación

En su mayoría, los aceites esenciales son obtenidos por destilación, tres procesos pueden ser considerados: la destilación con agua, la destilación con agua y vapor de agua y la destilación directa con vapor de agua (Sharapin, 1999).

8.25.3. Evaporación Rotatoria

Un evaporador rotativo o rotavapor es un dispositivo empleado para la eliminación o recuperación de solventes a baja presión. Es un dispositivo utilizado en los laboratorios químicos para la eliminación eficaz y suave de disolventes de las muestras por evaporación.

Una operación básica común es la eliminación de un disolvente orgánico volátil proveniente de una mezcla de reacción o un proceso como la extracción líquido-líquido. Aunque esta operación, en principio, podría realizarse por destilación simple, el método más rápido y conveniente es el uso de un rotavapor para la destilación a presión reducida (Rachel, 2017).

Consiste en un motor eléctrico, que causa la rotación de un tubo unido a un tubo guía de junta de vidrio esmerilado. Sobre este último se le acopla un matraz de fondo redondo que contiene la disolución. Este matraz se sumerge parcialmente en un baño de agua, manteniendo la rotación. La temperatura del baño no debe exceder los 35–40 °C para la manipulación de los disolventes orgánicos más comunes.

Junto al sistema hay un refrigerante que hace circular un líquido (agua o anticongelante). Esto produce la condensación del disolvente, que se recupera en un colector. El conjunto es un sistema cerrado conectado a una toma de vacío (bomba de vacío, bomba de agua o circuito de vacío) (Rachel, 2017).

8.26. Plastificantes

Los plastificantes tales como el glicerol y el sorbitol reducen los enlaces de hidrógeno internos y al mismo tiempo aumentan los espacios intermoleculares evitando las grietas en los bioplásticos durante la manipulación y almacenamiento (López, 2010).

Los plastificantes aumentan la permeabilidad al vapor de agua y su higroscopicidad en películas laminadas, ya que la mayoría de los plastificantes utilizados en las películas de almidón tienen carácter hidrófilo y también brinda al producto final características elásticas permitiendo su maleabilidad (Rivas, 2010).

- **Glicerol:** Es un líquido incoloro y espeso que forma la base de la composición de los lípidos. Es un compuesto alcohólico con tres grupos –OH (hidroxilos). Está compuesta de tres carbonos, ocho hidrógenos y tres oxígenos. Su estructura, tiene enlaces simples y es tetravalente. Servirá como lubricante (Loaiza, 2010).

La glicerina tiene consistencia líquida y la capacidad de atraer agua del entorno, ya sea en su forma líquida o en forma de vapor; también es completamente inodora, es de sabor dulce y tiene un alto coeficiente de viscosidad (Loaiza, 2010).

- **Colágeno Hidrolizado:** Es una proteína que se extrae del colágeno constitutivo de huesos, pieles y cartílagos animales mediante procesos de hidrólisis ácidas o alcalinas. Es un elemento sólido, sin color, ni sabor. Su contenido es 85% de proteínas, 12% de agua y de 1 a 2% de sales.

Significativamente posee propiedades características de los Coloides hidrofílicos facilitando la formación de emulsiones, suspensiones y geles lo cual, aunados a su naturaleza proteica, la convierten en un producto muy versátil, contiene propiedades como viscosidad y transparencia (Badui, 2012).

9. METODOLOGÍA

A continuación, se presentará la metodología que fue utilizada para la realización del bioplástico.

9.1. Materia Prima

Se realizó una investigación bibliográfica de la materia prima, la cual ya fue mencionada anteriormente, en base a sus características que ayudarán principalmente a la obtención del producto deseado.

La materia prima utilizada es la siguiente:

- Cáscaras de Limón
- Agua
- Ácido Cítrico
- Colágeno Hidrolizado
- Glicerol
- Etanol

9.2. Desarrollo de Formulación

El proceso de desarrollo de la formulación implica la experimentación repetida con las sustancias de ingredientes para lograr las características deseadas en el producto final (Viña, 2009).

La formulación se obtendrá mediante un proceso de experimentación: empezando por la disolución de 20 gramos de grenetina al 4%, esta se realiza a 45°C y se mantendrá así por 30 minutos; seguido a esto se le agregan 5 mililitros

de glicerol, se mantiene la temperatura a 45°C y se agita continuamente por 15 minutos; posteriormente se añaden 10 mililitros del extracto de *citrus limon* con agitación continua por 60 minutos, para que obtengamos la consistencia requerida.

9.3. Metodología para el Tratamiento de la Cáscara de Limón

Consiste en recolectar las Cáscaras de Limón en negocios locales de la ciudad, para después realizar un lavado y desinfectado; éste se hace para eliminar carga bacteriana superficial o suciedad adherida a las cáscaras. Posterior a ello se realiza un secado en un horno para facilitar su triturado y almacenamiento.

9.3.1. Obtención de la Materia Prima

La cáscara de limón se obtuvo de la taquería “Tacos Xime”; se encuentra ubicada en Av. San Claudio 1806, Jardines de San Manuel. Los propietarios nos proporcionaban cáscaras de Citrus Limón en un recipiente. Estas cáscaras son residuos que sus clientes dejaban cuando terminaban de comer en su establecimiento y que probablemente irían directamente al contenedor de basura.

La cáscara se almacenó a temperatura ambiente para su posterior uso.

9.3.2. Lavado y Desinfección

Los residuos se colocaron en un recipiente de acero inoxidable para ser lavados mediante una inmersión en agua potable y luego una en agua destilada; después fueron sometidos a una solución de ácido cítrico a una concentración de 1 ppm, para evitar su oxidación.

9.3.3. Secado

La materia prima se sometió a un proceso de secado en un horno digital marca LUMISTELL modelo HTP-72, con bandejas de aire caliente a una temperatura de 35°C.

Se colocaron en una charola de acero inoxidable 246 g de cáscara de *citrus limon* en trozos pequeños, se metieron al horno de secado por 48h.

9.3.4. Triturado

Se pesaron 39 g de materia seca y se le realizó un proceso de triturado por un periodo de 15-20 minutos en una licuadora Oster para reducir el tamaño del residuo.

9.4. Metodología para la Obtención de Extracto

Consiste en una maceración en frío con Etanol, este proceso se realiza dos veces, posterior a ello se debe realizar un proceso de evaporación rotatoria con el fin de obtener el extracto y recuperar el etanol utilizado durante la maceración. El resultado debe almacenarse.

9.4.1. Maceración

El proceso de maceración se lleva a cabo por un periodo de 24 h, se colocan en un recipiente 37 g de materia seca y triturada y se le agrega una solución de etanol 1:10 y el sobrenadante resultante se almacena. El residuo se lleva nuevamente a macerar esta vez por 72 h.

Ambos sobrenadantes se juntan y se almacenan.

9.4.2. Evaporación Rotatoria

El sobrenadante se colocó en un matraz correspondiente a un evaporador rotatorio, se inició la rotación a 79° C con una presión de 159 Kpa hasta obtener extracto y residuo que en este caso era etanol.

9.5. Metodología para la Elaboración de Bioplástico

Para la elaboración del bioplástico, se debe usar el extracto obtenido. También se realizan disoluciones de colágeno hidrolizado, se añadirá el plastificante para poder hacer una agitación y un secado.

9.6. Biodegradabilidad

Se evaluará su biodegradabilidad mediante dos métodos:

1) Sembrando en una superficie y exponiéndose al sol, durante 4 meses, esto con observaciones cada mes, para saber en cuánto tiempo el bioplástico logrará desintegrarse.

2) Sumergiendo en agua caliente (60°C) y fría (30°C) durante 1 hora, para observar a qué temperaturas resiste o se desintegra el mismo.

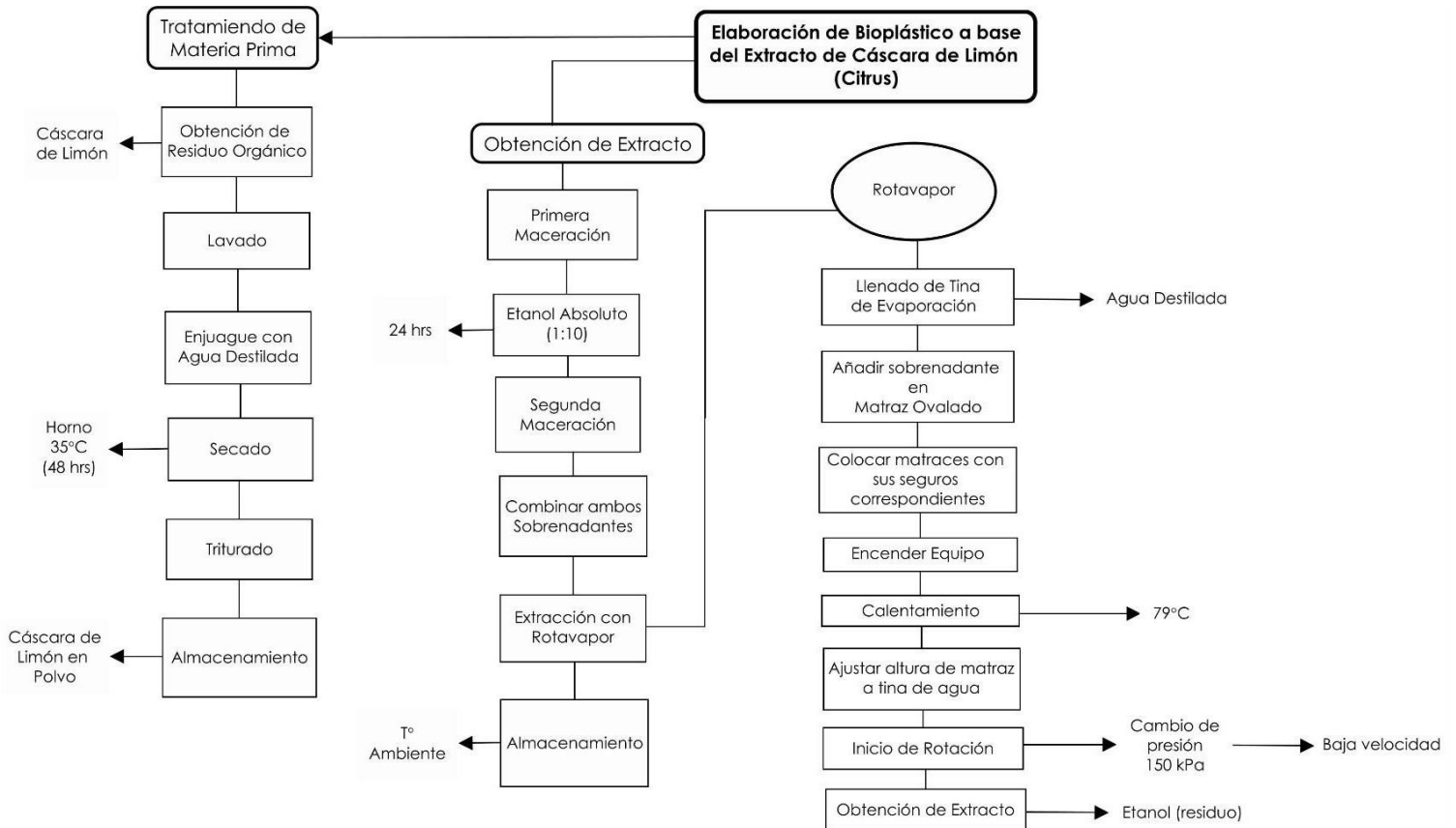


Figura 6. Diagrama de Elaboración de Bioplástico

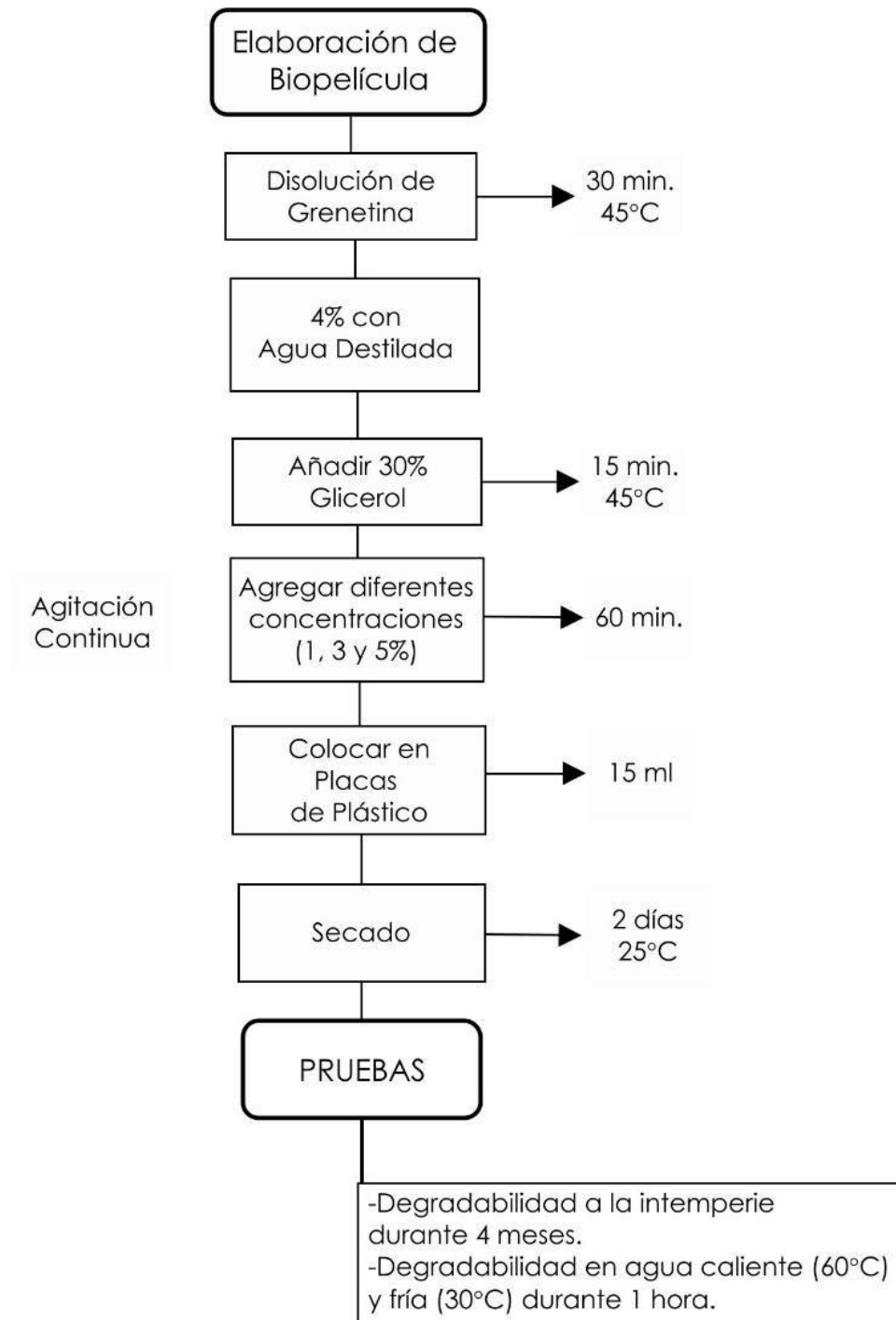


Figura 7. Diagrama de Elaboración de Biopelícula

10. RESULTADOS

10.1. Prueba de Selección de Materia Prima

El proceso de elección de la materia prima se basó en el trabajo experimental de un artículo científico llamado: "Bioplástico a base de cáscara de mango" cuyo principal biopolímero era la celulosa de cáscara de mango, en sustituto al petróleo y como proteína las vísceras de pescado.

Las pruebas preliminares fueron utilizadas para determinar qué materia prima era la más adecuada para el proyecto, de acuerdo con la funcionalidad de ésta y a la aportación que le podía brindar a la formulación.

Se seleccionó la que tenía un alto contenido de celulosa, que estuviera disponible todo el año y que además pudiera aportar a evitar el deterioro del medio ambiente, en este caso fue la cáscara de limón, debido también a que el proyecto fue realizado con la intención de aprovechar los residuos orgánicos. Al hacer un breve recorrido por la universidad, se observó que se podía tener acceso a este residuo siendo proporcionado por una taquería.

Debido a que era difícil de conseguir las vísceras de pescado como proteína, se realizó una investigación para determinar qué tipo de proteína se podía usar como sustituto del pescado, que cumpliera con las características necesarias, que se consiguiera fácilmente, que su costo no fuera elevado y que, al ser mezclada con los demás componentes, funcionara adecuadamente.

Se descartaron aquellas que tenían un difícil acceso y que conllevaran a un mayor daño al planeta, dejando aquellas como el almidón y la grenetina, ya que su acceso es inmediato, el costo no es elevado y, además, estas cumplían las funciones similares a la proteína base del artículo.

Determinando la mejor opción de proteína, se procedió hacer pruebas y ver cuál era la que mejor funcionaba y que mejores propiedades tenía para obtener las características deseadas al elaborar la biopelícula.

10.2. Pruebas Experimentales

10.2.1. Prueba Experimental 1

Se procedió a realizar la primera prueba que consistió en pesar las cáscaras de limón obtenidas en un bowl. El peso de las cáscaras de limón fue de 119.8 g (Figura 8), a estas se les realizó un lavado con agua potable y otro con agua destilada. Posteriormente fueron añadidas a una solución de ácido cítrico (1L de agua y 1g de ácido cítrico) para evitar que se oxidaran debido a la presencia de oxígeno.



Figura 8. 119.8g de cáscara de limón

Se acomodaron en una charola de aluminio (Figura 9), para ser sometidas a un horno de secado, el horno se mantuvo a 35°C durante 24 h, esto con la final de obtener un secado eficaz.



Figura 9. Cáscaras en aluminio metidas al horno

Después de las 24 h, se procedió a nuevamente a pesar las cáscaras secas, el peso de las cáscaras disminuyó a solo 23 g (Figura 10); al triturarlas el

peso redujo aún más, puesto que quedó un poco de merma en la licuadora, y el resultante quedó en solo 7.4 g (Figura 11).



Figura 10. 23g de cáscaras secas

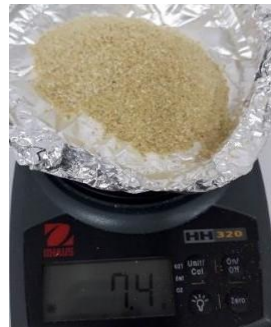


Figura 11. 7.4g de cáscaras trituradas

Como siguiente paso después de la trituración, se realizó la maceración, que consistió en hacer una relación (1:10) de etanol y la cáscara triturada, sin embargo, la prueba resultó fallida, puesto que la relación no se llevó a cabo correctamente (Figura 12).



Figura 12. Fallo en relación (1:10) de Etanol

10.2.2. Prueba Experimental 2

En la segunda prueba nuevamente como paso uno se prosiguió a pesar las cáscaras de limón sin jugo, el cuál fue de 143.6 g (Figura 13), a estas se les realizó un lavado con agua potable y otro con agua destilada. Posteriormente fueron añadidas a una solución de ácido cítrico (1L de agua y 1g de ácido cítrico) para evitar que se oxidaran debido a la presencia de oxígeno.



Figura 13. 143.6g de cáscaras de limón

Como segundo paso se acomodaron en una charola de aluminio para posteriormente ser sometidas a un horno de secado, como en la primera prueba el secado fue eficaz, pues las cáscaras no presentaban ningún contenido de humedad, el horno nuevamente se mantuvo a 35°C por 24 h, después de ese lapso de tiempo se puede observar el resultado (Figura 14).



Figura 14. Cáscaras sacadas del horno después de 24h a 35°C.

Posterior al secado, las cáscaras fueron trituradas en una licuadora con la finalidad de que se obtuviera un tamaño de partícula muy pequeño (Figura 15). Se pesó el residuo obtenido de las cáscaras trituradas, dando como resultado 8.7 g

(Figura 16), el peso disminuye debido a la merma que se queda atrapada en el vaso de la licuadora y/o aspapas de la misma.



Figura 15. Trituración de cáscaras



Figura 16. 8.7g de cáscaras trituradas

Obtenido el peso de las cáscaras trituradas se mantuvo en almacenamiento 24 h para después ser macerado con etanol (1:10) por 24 h en un vaso de precipitado (Figura 17).

La maceración se hizo correctamente, por lo que se apartó el sobrenadante en un frasco y el sedimento se sometió a una segunda maceración con etanol (1:10) por 72 h en un vaso de precipitado (Figura 18), esto con la finalidad de que se extrajeran aún más las propiedades y pigmentos que contiene la cáscara de limón.

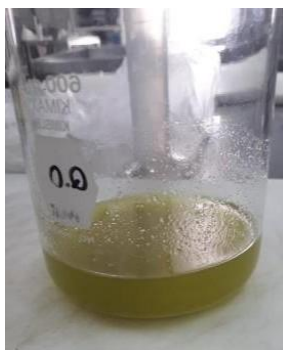


Figura 17. Maceración 24hrs con Etanol (1:10)

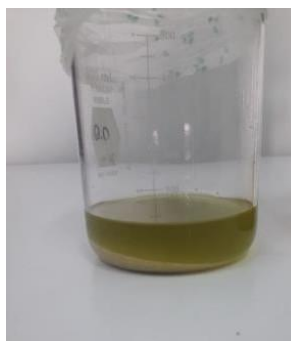


Figura 18. Maceración (1:10) por segunda vez durante 72hrs

Transcurridas las 72 h, el sobrenadante obtenido en esta segunda maceración se mezcló con el de la primera (Figura 19). La mezcla de ambos sobrenadantes se llevó a un proceso de evaporación rotatoria (Figura 20), para poder separar el extracto del etanol, dicho proceso se realizó a 45°C, durante 20 minutos aproximadamente. Así, se logró obtener el extracto, este fue almacenado en un frasco (Figura 21), y por otra parte se almacenó el contenido de etanol para evitar ser desechado.

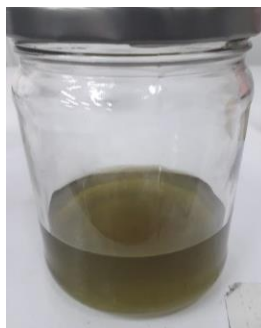


Figura 19. Combinación ambos sobrenadantes



Figura 20. Solución en evaporador rotatorio a 45°C



Figura 21. Extracto obtenido

10.2.2.1. Preparación de Biopelículas con MPE

El peso del extracto de la cáscara de limón que se obtuvo fue de 13 g (Figura 22) y con este se hizo la relación sobre la cantidad que se utilizaría de acuerdo con las concentraciones requeridas (1, 3 y 5% p/p). Además, se realizó una solución de gretetina al (4%) en agua destilada a una temperatura de 45° C por 30 minutos aproximadamente (Figura 23), esto para que el reactivo se mantuviera liquido hasta su uso.



Figura 22. 13g de extracto obtenido

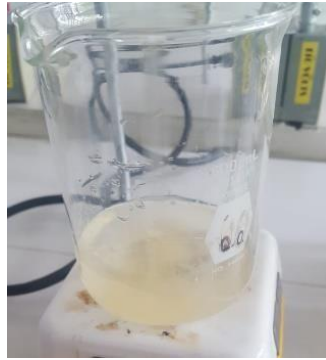


Figura 23. Dilución grenetina (4p/v)
45°C por 30 min

A esta solución se le añadió 30% de glicerol 45° C por 15 min, posteriormente se añadieron las diferentes concentraciones de MPE (Figura 24); que fueron 0.13 g para el 1%, 0.39 g para el 3% y 0.65 g para el 5% (Tabla 4).

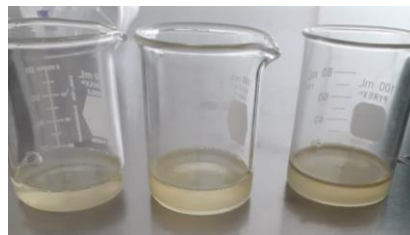


Figura 24. MPE en concentraciones
de 1,3 y 5%

CONCENTRACIÓN	CANTIDAD DE MEZCLA
1 %	0.13 g
3 %	0.39 g
5 %	0.65 g

Tabla 4. Concentraciones de MPE

Las diferentes concentraciones se vertieron en placas de plástico (cajas Petri), en ellas se colocaron 15 ml de solución formadora de películas (Figura 25), que después de ser cerradas y etiquetadas, se llevaron a un horno de

secado a 25°C durante 48 h y en medio de las placas se colocó un vaso de agua para que se pudiera controlar la humedad (Figura 26).

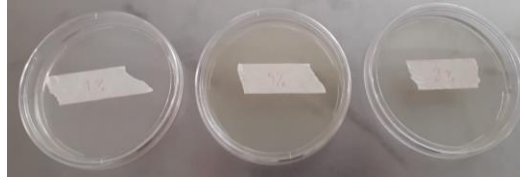


Figura 25. Distribución de alícuotas de 15ml en placas de plástico

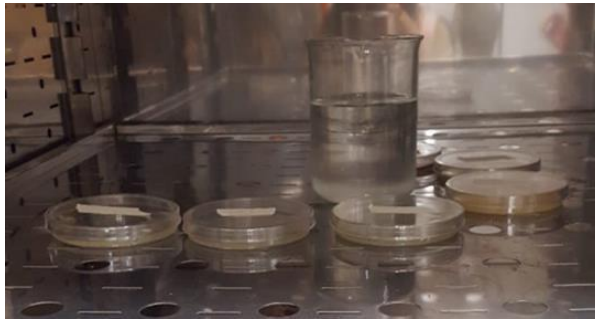


Figura 26. Secado en horno a 25°C durante 2 días (vaso colocado para control de humedad)

La prueba experimental 2 fue realizada con éxito, por lo que se determinó hacer una prueba final en la que se hicieran por duplicado las concentraciones y con ellas poder hacer pruebas para que se decidiera que concentración es la más adecuada o la que mejor presenta maleabilidad, flexibilidad y resistencia.

10.2.3. Prueba Final

Se inició pesando en un bowl de aluminio las cáscaras de limón sin jugo, el cual fue de 246 g (Figura 27), posteriormente se les realizó un lavado con agua potable, se escurrió e inmediatamente se les hizo otro con agua destilada. Después se preparó una solución de ácido cítrico (1L de agua y 1g de ácido cítrico), ahí fueron añadidas para evitar su oxidación.

En una charola de aluminio se acomodaron las cáscaras para después ser sometidas en un horno de secado a 35°C por 24 h (Figura 28).



Figura 27. 246g de cáscaras de limón



Figura 28. Cáscaras en horno a 35°C
por 24h

Posterior al secado, las cáscaras se trituraron en una licuadora (Figura 29), hasta obtener un tamaño de partícula muy pequeño, después de ello, en una charolita de aluminio se pesó el residuo obtenido, el cual fue de 37 g (Figura 30).



Figura 29. Trituración de cáscaras



Figura 30. 37g de cáscaras trituradas

Por otro lado, se hizo una relación con etanol (1:10) para que el residuo obtenido de las cáscaras trituradas fuera macerado en dicha solución durante 24 h en un frasco de vidrio, tapado y sellado (Figura 31).

Transcurridas las 24 h, se apartó el sobrenadante en un frasco de vidrio y el sedimento se sometió a una segunda maceración con etanol (1:10) por 72 h en el mismo frasco (Figura 32). Después de las 72 h, el sobrenadante obtenido se mezcló con el primer sobrenadante conservado anteriormente.



Figura 31. Maceración 24hrs con Etanol (1:10)



Figura 32. Sobrenadante de la primera maceración y Segunda maceración con Etanol (1:10)

La mezcla de ambos sobrenadantes se llevó a un proceso de evaporación rotatoria (Figura 33), para poder separar el extracto del etanol, dicho proceso se realizó a 45°C, durante 20 minutos aproximadamente. Así, se logró obtener el extracto, el cual fue almacenado en un frasco de vidrio tapado y sellado (Figura 34).



Figura 33. Proceso de evaporación rotatoria a 79°C



Figura 34. Extracto obtenido

10.2.3.1. Preparación de Películas con MPE

El peso del extracto de la cáscara de limón que se obtuvo fue de 109.8 g (Figura 35), con este se hizo la relación sobre la cantidad que se utilizaría de acuerdo con las concentraciones requeridas (1, 3 y 5% p/p). Además, se realizó una solución de grenetina al (4%) en agua destilada a una temperatura de 45°C por 30 minutos aproximadamente (Figura 36), esto para que el reactivo se mantuviera líquido hasta su uso.



Figura 35. 109.8g de extracto obtenido

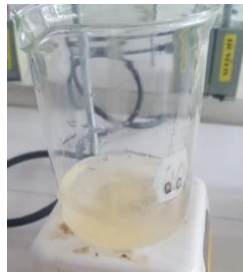


Figura 36. Dilución de grenetina(4p/v)
en agua destilada a 45°C por 30min

A esta solución se le añadió 30% de glicerol (Figura 37) a 45°C por 15 min, posteriormente se añadieron las diferentes concentraciones de MPE (Figura 38); que fueron 0.71 g para el 1%, 2.12 g para el 3% y 3.53 g para el 5% (Tabla 5).

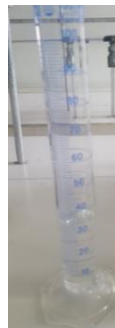


Figura 37. 30% de glicerol a 45°C



Figura 38. Adición de MPE en 1,3 y 5% p/p

CONCENTRACIÓN	CANTIDAD DE MEZCLA
1 %	0.71 g
3 %	2.12 g
5 %	3.53 g

Tabla 5. Concentraciones de MPE (1, 3 y 5%)

Las diferentes concentraciones se vertieron en placas de plástico (cajas petri), en ellas se colocaron 15 ml de solución formadora de películas (Figura 39), que después de ser cerradas y etiquetadas, se llevaron a un horno de secado a 25°C durante 48 h y en medio de las placas se colocó un vaso de agua para que se pudiera controlar la humedad (Figura 40).

Posterior a las 48 h, se obtuvo el resultado final deseado, en el que las 3 concentraciones presentaban buen aspecto, maleabilidad, resistencia y flexibilidad, sin embargo, la que más gustó fue la de 3% (Figura 41).

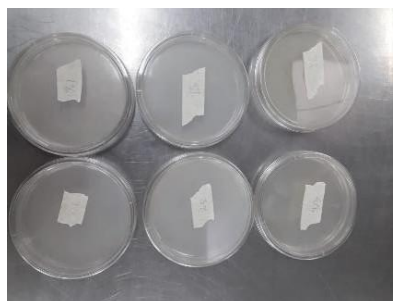


Figura 39. Alícuotas de 15ml en placas de plástico (por duplicado)

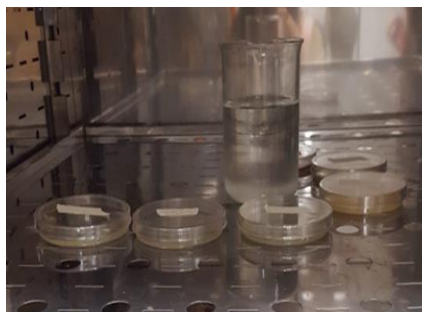


Figura 40. Secado en horno a 25°C por 4 días

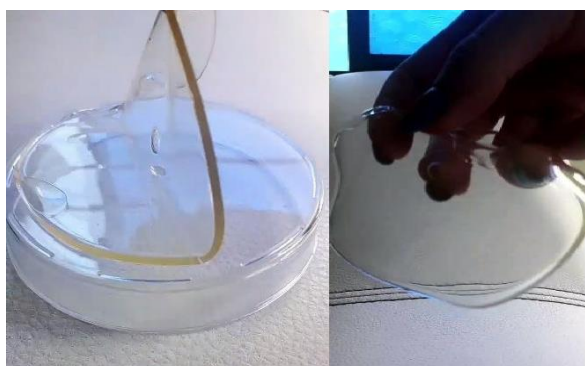


Figura 41. Resultado final del Bioplástico, concentración 3 %

La Tabla 6 representa los pesos obtenidos de las cáscaras de limón en las 3 pruebas experimentales, desde que se obtuvieron, posterior al secado y después de ser trituradas hasta convertirse en un residuo de partícula muy pequeño.

MUESTRAS DE CÁSCARAS DE LIMÓN			
Prueba	Peso de cáscaras frescas	Peso de cáscaras después del secado a 35°C por 24 h	Peso de residuo (cáscaras trituradas)
1	119.8 g	23 g	7.4 g
2	143.6 g	46 g	8.7 g
Final	246 g	150 g	37 g

Tabla 2. Pesos obtenidos de cáscaras de limón

10.3. Pruebas de Resistencia

Después de haber seleccionado con que biopelícula se trabajaría, se propuso en uno de los objetivos realizar pruebas de resistencia en agua; a temperatura ambiente, caliente y fría, para saber el uso que se le podría dar a la misma. Así como también, a la intemperie, con la finalidad de saber en cuánto tiempo logra desintegrarse en caso de ser desechada.

10.3.1. Pruebas de Resistencia en Agua

Se realizó la prueba de resistencia en agua en diferentes temperaturas a tiras de la biopelícula de 1 cm de ancho. El objetivo de la prueba fue observar el tiempo en el que el bioplástico se desintegraba dentro del agua. Y así poder determinar el uso que se le podría dar.

10.3.1.1. Agua a Temperatura Ambiente

En un vaso con 200 ml de agua destilada a una temperatura de 22°C se colocó una tira del bioplástico de 1 cm de grosor (Figura 42), se observó que durante los primeros minutos el bioplástico perdió consistencia. Transcurrieron 4 minutos cuando se pudo ver que la tira ya estaba rota y a los 7 minutos ya estaba en trozos muy pequeños. Al rededor de 8 minutos y 49 segundos, se detuvo el proceso, pues en este tiempo la película ya se había desintegrado por completo (Figura 43).

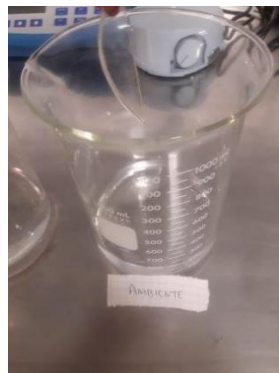


Figura 42. Tira de 1cm de bioplástico sumergida en agua destilada a 22°C



Figura 43. Tira después de 8min y 49s desintegrada

10.3.1.2. Agua Fría

En un vaso con 200 ml de agua destilada a una temperatura de 7°C se colocó una tira del bioplástico de 1 cm de grosor (Figura 44), se observó que a los 4 minutos el bioplástico perdió consistencia. Luego de 6 minutos, se logró observar que la tira ya estaba rota y a los 10 minutos ya estaba en trozos muy pequeños. A los 13 minutos y 49 segundos, se detuvo el proceso pues en este tiempo la biopelícula ya se había desintegrado (Figura 45).



Figura 44. Tira de 1cm de bioplástico sumergida en agua destilada a 7°C



Figura 45. Tira después de 13min y 49s desintegrada

10.3.1.3. Agua Caliente

En un vaso con 200 ml de agua destilada a una temperatura de 38°C se colocó una tira del bioplástico de 1 cm de grosor (Figura 46), en tan solo segundos el bioplástico ya había perdido consistencia. Luego de 1 minuto, la tira ya estaba rota y a los 2 minutos ya estaba en trozos muy pequeños. Esta prueba tuvo una duración de 3 minutos y 44 segundos, se detuvo en este tiempo ya que la película se había desintegrado (Figura 47).

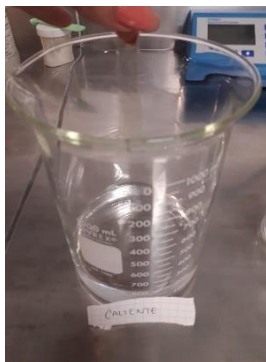


Figura 46. Tira de 1cm de bioplástico sumergida en agua destilada a 38°C



Figura 47. Tira después de 3min y 44s desintegrada

10.3.2. Prueba de Resistencia a la Intemperie

Se realizó la prueba de degradación a la intemperie. El objetivo de esta prueba fue observar el tiempo en el que el bioplástico se desintegraba cubierto por una capa ligeramente gruesa de tierra, y así poder determinar el periodo en el cual la biopelícula lograba degradarse.

Se colocó un pedazo más o menos grande del bioplástico resultante en una superficie arenosa, posteriormente se cubrió con una capa de tierra, se dejó sobresalir una parte para que se lograra observar constantemente (Figura 48). 4 semanas después de haberlo enterrado, se observó que comenzó a romperse, se tuvo en cuenta que, durante este periodo de tiempo, tuvo el contacto con aire y la luz solar, por lo que se considera que por ello tuvo estos cambios (Figura 49).



Figura 48. Tira de bioplástico enterrado en una superficie



Figura 49. Bioplástico después de 4 semanas en la superficie

Al paso de las semanas, se logró observar que este fue reduciendo su tamaño; pues mientras más tenía contacto con la luz solar y el aire, más se iba desintegrando. Afortunadamente no hubo lluvias, ya que en la prueba que se realizó con agua se pudo apreciar que al poco tiempo de tener contacto con el agua este lograba desintegrarse por completo, por lo que en la semana 16 los demás pedacitos de bioplástico se desintegraron, solo uno fue el que permaneció casi intacto (Figura 50).



Figura 50. Bioplástico después de 16 semanas en la superficie

11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con este proyecto se analizó la posibilidad del uso de un bioplástico a base del extracto de cáscara de limón como sustituto del plástico convencional, que por años lleva perjudicando a nuestro planeta.

La materia prima utilizada es un residuo orgánico capaz de semejar las características del plástico usual, gracias a sus propiedades y aportaciones en la formulación obtenida.

Se llevaron a cabo distintas pruebas para la elaboración del bioplástico, en la primera de ellas fallo el cálculo del etanol y con ello se terminó esta misma ya que, era notorio el crecimiento bacteriano. Para la segunda prueba se corrigió dicha falla, logrando terminar la prueba y obteniendo una biopelícula funcional y a la espera de pruebas de resistencia.

Se realizó una última prueba con el fin de mejorar todo el proceso de elaboración de las biopelículas, concluyendo con éxito hasta la obtención de las placas.

Entre la segunda y tercera prueba, hubo una mejoría durante todo el proceso pues se obtuvo más cantidad de materia prima, un mayor rendimiento de la formulación, mejores tiempos de elaboración y placas de mejor calidad.

Se puede decir que se encontró el proceso de producción más adecuado para la elaboración del bioplástico, pues se pudo observar que era el más eficiente de todas las pruebas realizadas. El tipo de corte y secado de la materia prima influyo de manera notoria en el proceso ya que, al realizar cortes más pequeños, el tiempo de secado se acortaba y por tanto todo el proceso de elaboración se aceleraba.

Se realizaron pruebas de resistencia a la biopelícula, la primera de ellas fue en agua. Se hizo una única prueba, midiendo cantidad y temperatura del agua, y tiempo en el que se desintegraba la biopelícula. Se notó que la temperatura del agua influye en el desgaste del bioplástico, pero solo entre el agua a temperatura fría o caliente; pues al estar fría va a resistir por más tiempo y si está caliente se va a desintegrar de inmediato ya que, la resistencia de la proteína usada en el proceso de elaboración es prácticamente

nula ante altas temperaturas. A temperatura ambiente los resultados no varían tanto porque después de unos cuantos minutos, el bioplástico modificó su consistencia cuando fue expuesto en agua.

La segunda prueba de resistencia fue a la intemperie, en esta solo se mantuvo en constante supervisión para saber cuánto tiempo se lograba degradar una pequeña porción del bioplástico, con diversos factores: tierra, aire, lluvia, exposición solar y temperaturas bajas. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios puesto que se pudo observar que, alrededor de 4 a 5 meses aproximadamente el bioplástico logra desintegrarse por completo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede decir que, el método de degradación en agua es más efectivo e incluso instantáneo comparado con la degradación en intemperie, ya que con este método el tiempo de degradación se alarga; pero, con ambos métodos el bioplástico logró desintegrarse sin dañar al medio ambiente a comparación de los plásticos convencionales.

12. CONCLUSIÓN

El tiempo de secado y la temperatura son de gran importancia porque si no se lleva a cabo a las condiciones correctas las cáscaras pueden contener humedad y afectar en el proceso o presentar crecimiento bacteriano.

Este proyecto reafirmó la idea de que un bioplástico podría sustituir en un futuro a los plásticos convencionales de manera total debido al buen funcionamiento, bajo costo, mínimo tiempo de realización y de degradación observado en el mismo.

La elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos reduce la contaminación de plásticos sintéticos en un 80% porque son biodegradables por lo que son desaparecidas en menos tiempo que los plásticos convencionales.

Podemos concluir diciendo que, se logró el objetivo general el cual fue la elaboración de un bioplástico mediante extracto de cáscara de limón el cual funciona como un posible sustituto de PET. Así como también logramos demostrar la degradación de este a diversos factores; concluyendo así, que nuestro bioplástico es bastante funcional y 100% amigable con el medio ambiente.

Nuestro bioplástico sólo podría ser funcional con alimentos secos debido a las pruebas realizadas, ya que en estas condiciones tendría un mejor manejo y vida de anaquel

Además, a través de esta investigación y realización, pudimos comprobar que los desechos orgánicos son un material muy eficiente para la elaboración de Bioplásticos debido a su fácil obtención, manipulación y corto tiempo de degradación.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Agustí M., Mesejo C., Reig C., Martínez-Fuentes A. (2014) Producción de cítricos. En: Dixon G., Aldous D. (eds) Horticultura: Plantas para personas y lugares, Volumen 1. Springer, Dordrecht. https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/978-94-017-8578-5_6
- AGUSTÍ, M. 2000. Citricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 416 pp.

- Álvarez da Silva L (2016). Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxicanoatos. Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla. Grado de Farmacia. 36 p.
- AMPEX. (2008). Perfil de mercado de limón (Citrus). Piura
- Ana Gálvez (2016) Elaboración de un plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz. p. 48.
- AOAC. (2005). Official method of Analysis. 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC, Method 935.14 and 992.24.
- Arturo Cristián Farías. (Octubre 2003). La situación de los envases de plástico en México. Gaceta ecológica, 1, 15.
- Badui Dergal, S. (2012). Grenetina. En S. BADUI DERGAL, La Ciencia De Los Alimentos En La Practica (Pág. 233). México: Pearson.
- Balch, J.F. The super antioxidants. Reimpreso. Buenos Aires. Ed.Sirio, 2000. 302p
- BARTHOLOMEW, E.T.; SINCLAIR, W.B. 1951. The lemon fruit. Its composition, physiology and products. Univ. California. 163 pp.
- Benoit de Guillebon. (septiembre de 2011). <http://www.modernanavarra.com/wp-content/uploads/bioplasticos.pdf>. recuperado el 1 de enero de 2016, de <http://www.modernanavarra.com/wpcontent/uploads/bioplasticos.pdf:www.redremar.com>
- BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. España: Reverté, 2004. 581p.
- BRAVERMAN, J.B.S. 1952. Los agrios y sus derivados. Ed. Aguilar. Madrid.
- CASAS, A.; MALLENT, D. 1988. El color de los frutos cítricos. I. Generalidades. II. Factores que influyen en el color. Influencia de la especie, de la variedad y de la temperatura. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment., 28 (2): 184-202.
- Castillo, M. (2005). Producción y Comercialización del Limón. Guatemala: Molina.
- CHAPOT, H. 1975. The citrus plant. In: Citrus. Monografía Técnica de Ciba-Geigy. 6-13. Basilea. Suiza.
- Davies, F. S. (1999). Cítricos. Florida.
- DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. 1999. Cítricos. Ed. Acribia, 283 pp. Zaragoza.
- Del Río, J.A., Fuster, M.D., Gómez, P., Porras, I., García-Lidón, A., Ortuño, A., 2004, Citrus Limon: A source of flavonoids of pharmaceutical interest, Food Chemistry, 84, 457-461.

- DEL RÍO, J.A.; MARÍN, F.R.; BENAVENTE, O.; MARTÍNEZ, M.; GARCÍA-LIDÓN, A.; PORRAS, I. & ORTUÑO, A. 1999. Caracterización de zumos de Citrus limon (var. Fino y Verna) en relación a su contenido en flavonoides, vitamina C y potencial antioxidante. *Levante Agrícola* 38, 193-197.
- Escudero, L. (2011). Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos (Tesis de grado). Universidad politécnica de Cartagena.
- García, J.I.; García-Marín, H.; Pires, E. Glycerol based solvents: synthesis, properties and applications. *Green Chem* 2014, 16, 1007-1033
- GARCÍA-LIDÓN, A.; BLEDA, J.; MATEO, I.; PORRAS, I. 1999. Estudio floral comparativo de Fino 49 y Eureka Frost. *Agrícola Vergel*, 18 (4): 197-201. GARCÍA-LIDÓN, A.; ORTIZ, J.M. 1983. Variedades de limonero. Selección clonal. INIA, H.T. nº 52. 27 pp. GARCÍA-LIDÓN, A.; ORTIZ, J.M.; GARCÍA-LEGAZ, M.F.; PORRAS, I. 1993. Estudio comparativo de la floración, cuaje y caída de junio de las variedades de limonero (C. limon (L.) Burm. f.) "Eureka Frost" y "Fino 49". *Fruticultura Profesional*, 55: 14-17.
- GARCÍA-LIDÓN, A.; ORTIZ, J.M.; GARCÍA-LEGAZ; M.F.; PORRAS, I. 1992. Estudio comparativo de la floración en distintas variedades de limonero. *Fruits*, 47: 661-666.
- GARCÍA-LIDÓN, A.; PORRAS, I. 1997. Variedades de limones y pomelos. Características que inciden en la calidad post-cosecha. Tendencias de futuro. Plantaciones de alta densidad. *Phythoma*, Nº 90: 22-30.
- GARCÍA-LIDÓN, A.; PORRAS, I.; GONZÁLEZ D.; ORTIZ, J.M. 1988. First results of the clonal selection programme for lemon tree in Spain. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, I: 207-214.
- GARCÍA-LIDÓN, A.; RIQUELME, F.M.; EGEA, C.; PORRAS, I. 1995. Productividad de Fino 95, un clon de limonero extratemprano en comparación con Fino 49. *Levante Agrícola*, 34(1): 35-41.
- GARCÍA-LIDÓN, A.; SÁNCHEZ-BAÑOS, M.; VIDAL LUNA, J.J.; GARCÍA-LIDÓN, M.; MATEO, I.; PORRAS, I. 1999. Una selección precoz de limonero: Fino 95. *Levante Agrícola*, 38 (3): 346-352.

- GLIDDEN, H.W. 1937. The lemon in Asia and Europe. J. Amer. Orient. Soc., 57: 381-396.
- González-Molina E, Domínguez-Perles R, Moreno DA, García-Viguera C (2010) Compuestos bioactivos naturales de *Citrus limon* para la alimentación y la salud. J Pharm Biomed Anal 51 (2): 327–345
- GOOLDSCHMIDT, E.E.; MONSELISE, S.P. 1972. Hormonal control of flowering in Citrus trees and other woody perennials. En: Plant Growth Substances, D.J. Carr (ed.). Springer Verlag. Berlín
- GUARDIOLA, J.L. 1988. Factors limiting productivity in Citrus. A physiological approach. Proc. Int. Soc. Citriculture, I: 381-394.
- Herrero, A. R., & Villán, O. (2016). Limón. Córdoba, España: Kalandraka Ediciones Andalucía, S.L.
- López, A., Rivas, J., Loaiza, M., Sabino, M. 2010. Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L. vannamei*). Revista de la Facultad de Ingeniería de Venezuela, 25(2).
- Lucas, N; Bienaime, C; Belloy, C; Queneudec, M; Silvestre, F; Nava-Saucedo, JE. Polymerbiodegradation: Mechanisms and estimation techniques. Chemosphere. 2008, nº73 p. 429–442
- Maja Rujnić Havstad. (13 de Marzo de 2020). Plásticos Biodegradables en Residuos Plásticos y Reciclaje (129). Zagreb, Croacia: Academic Press.
- Miguel Rivas. (2019). La crisis de la Contaminación Plástica., de Heinrich-Böll-Stiftung Sitio web: <https://mx.boell.org/es/2019/07/16/la-crisis-de-la-contaminacion-plastica>
- Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. Tablas de composición de alimentos. 15ª ed. Pirámide, editor. Madrid 2011.
- Murillo G, O. M. (2010). Ficha técnica limón ácido (*citrus limon*). En Tecnología de alimentos. Colombia
- Navarro, P., Moral, H., Gómez, L., & Mataix, B.. (1995). RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGRICULTURA. España: Murcia.
- P. August, “Development of Biobased Plastics Independent of the Future of Biofuels The Society of the Plastics Industry Bioplastics Council,” no. August, 2013.

- Pastene, E. Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. Boletín Latinoam Caribe Plantas Med Aromáticas. 2009; 8 (6), pp. 449- 55
- PRATS Gravet Soledad, RODRIGUEZ Galán Inés, ROIG Montblanch Alfredo, SALAZAR Macián Ramón, SALVADO Lladós Ma. Angeles, SELLES Flores Eugenio, SANCHEZ Morcillo José, SOLAN Marsa Concepción, SUIÑE Negre Joseph, TICO Grau Joseph, Tratado de Farmacia Galénica, Madrid, 1992
- Rachel, K. (2017). Técnicas Avanzadas: Evaporación Rotatoria. California: Merlot.
- Rivas C, Zúñiga F. Vitamin C transporters, J Physiol Biochem, 2008, 64(4): 357-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394316-3.00011-9>.
- San Andrés, M; Chércoles, R; De la Roja, JM; Gómez, M. Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en conservación: primeros resultados. Factores responsables de la Restauración p. 283
- Sarah Gibbens. (16 de Noviembre de 2018). Todo lo que necesitas saber sobre los Bioplásticos. National Geographic, 8.
- Secretaria de Gobernación, PROY-NMX-E-260-CNCP-2013 Industria del plástico – Materiales bioplásticos - Terminología. México: Diario Oficial de la Federación, 7 de mayo, 2014, p. 5.
- Senatore, F. 2000. Aceites Esenciales, Proveniencia, Extracción yAnálisis Químico. Ed. EMSI ROMA. Primera Edición. Italia. pp 365-377, 397-403.
- Sharapin, N. 1999. Fundamento de Tecnología de Productos Fitoerapéuticos. CITED. pp 101-107.
- SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. 1996. Biology of Citrus. Cambridge University Press. 230 pp.
- Tejada, Blanca Dolly; Administración de Servicios de Alimentación, Universidad de Antioquia, 2da. Edición, 2007, Medellín, Colombia.
- Velasco, A. (2014). Farmacología y Toxicología del Alcohol Etilico, o Etanol. Valladolid, España: An Real Acad Med Cir.