



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS**

**T E S I N A**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**ESPECIALISTA EN GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS**  
P R E S E N T A:  
**BIOL. YARELI MORALES GUZMÁN**

**DIRECTOR O CODIRECTORES**

**DR. JORGE ANTONIO GUERRERO ÁLVAREZ**  
**DR. ALEXIS JOAVANY RODRÍGUEZ SOLÍS**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**ABRIL, 2021**

Cuernavaca, Morelos a 22 de abril de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. YARELI MORALES GUZMÁN CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034043, BAJO EL TÍTULO “**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS**”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Dr. Jorge Antonio Guerrero Alvarez  
Profesor investigador  
[jguerrero@uaem.mx](mailto:jguerrero@uaem.mx)

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

JORGE ANTONIO GUERRERO ALVAREZ | Fecha:2021-04-22 12:51:04 | Firmante

qq4Z8jAPbqOk9ht+sN9oibq4274DeArHu+feZmm7NxdJAgrEObrmMp8XYbTVWUJCETXdoASBAmlUL5FjefajzKpkhAkn+F4Qs1wzAzEvaBipYiCmQBskx94micCuMMNoWpqBD3  
Qh8v+qKnyxPMNhR8wcbgXQ60N9HSVhRrCjBBGstOZxzYCaBbCrSVAKpQqhDoPKDFsz120Ou7z8gJalZflgwnZFH3P2QLbSic7PUxyIPM+coMqnTHoQBYlj+G6ZCtP+9KL3a  
XpvcYux2FK43ym43krJYclLRXDKJYkH7mNynzkzqLwOnoVvmLxVT0TLbQcLJGdPKVodZZ2w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



PLjckr

<https://efirma.uaem.mx/hoRepubdkiOJARV1dYPuep94R8sPQneREJ9FzJJNBU>

Cuernavaca, Morelos a 22 de abril de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **YARELI MORALES GUZMÁN** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10034043**, BAJO EL TÍTULO "**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS**", CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA LUISA GARCIA BETANCOURT

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

MARIA LUISA GARCIA BETANCOURT | Fecha:2021-04-22 09:40:58 | Firmante

ATCYR31biyoY16RANPBJ9qwOR+L3J+57s/milOYjgv5zWzWYKk9X+YrOJol7MvbE0YQX05brF6H4KG6USEdww8Y94WprWcwggasPITicjmj1nUG6Y9HT5VUpXGXb7Bd5HY9s1ShtaXPkYF11n1kZ6bwFUQT/CPyB/m0Y9EietrqFKrVadyExHuRlXn43nJm5szZ/8GxbpSK9X9bo4sBdCbDzFWrtGOue0oxSóvuDTpPz6zCPAxcYzhiHy17wSnYZnAXz7OKP06F1dY8HMO86E+y18GVUOrhvzr#NGUJEHqb6yOR7ZKG903F8QARQSI63y0qrzE6ACyCw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



QUBwsc

<https://efirma.uaem.mx/hoRepublio/QXD8aA3jWARWY6zzDTEnzXcOpfb58eQaa>

Cuernavaca, Morelos a 21 de Abril de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **YARELI MORALES GUZMÁN** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10034043**, BAJO EL TÍTULO “**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS**”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**ATENTAMENTE**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Dra. MAURA TÉLLEZ TÉLLEZ

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

MAURA TELLEZ TELLEZ | Fecha:2021-04-21 17:59:47 | Firmante

DXxUTzH4khhB1dR8ndqzPUI0JUoey8wjkFIUC56kurAk0kGjprk1xxnZhl+h45Sdb52laGhJCEWx78T1JevIE10ybkVmrzPOPEWNV3E+KP6HyI5DZKB/pT2Hpq4XQ8+SN1dN3zZ7PmFWCtG0HK8mpQmCueCMNa4U3JirEvsRwUWvndvG2Rza9033yMASsfj57yHcVYjybYCTBsMZex8c6PLXUeQzyTFU7XrEs3LPnkCFnlwO1srYB6xcmOCX45Xo2XughA3o4JK/P0W/cwIbevq5FhK1BLXvPEHr1drtWExQL90o8O0z/NLh5shittQT7xEE5Ym9qqFoQQ==



Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

[mFVcb0](#)

<https://efirma.uaem.mx/hoReputio44UnkPA5C1JapA9DD5On1wLcknOzg3mT>

Cuernavaca, Morelos a 22 de abril de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. YARELI MORALES GUZMÁN CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034043, BAJO EL TÍTULO “VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

M. en I. Ariadna Zenil Rodríguez

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

ARIADNA ZENIL RODRIGUEZ | Fecha:2021-04-22 14:20:33 | Firmante

BYEUqQK3ftHaa45eYq0RITS515P9LR4KjGI76oRN3vPadpupKNZvaKxArRFxJhn4IC5suy0jVHhAmh9jUODq9PaOEx1hDvPzZO19qUT3KRYJUKZsk28TFKZCFbxwLJQJvy8q9x  
qoRKU1JvVA+RQr2hAS7hNsnYoOC/+XmIqb+5WEwJ3gBpusfhwkFLD0bjn0bthMH1Y1PM4qy0XUE93BRonFHVtIS1uyAkj234ehMplccu7xrO6D9EXmTB6MQp44icQP9vGZF15p8  
WCm+76f7aaE1XYwg1nJXqfwYiy76ngfIMNXqMmZB9+MP5j8k7KG14RevVcPjonsbDafw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ICv0cy

<https://efirma.uaem.mx/hoRepuIdo/UyYhFIH6U4ZSuXSJhzxQ1VT0NMCoA0Eg4>

Cuernavaca, Morelos a 26 de abril de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **YARELI MORALES GUZMÁN** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10034043**, BAJO EL TÍTULO “**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS BIOTECNOLÓGICOS**”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

M. En B. Tania Ivonne González Popoca

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

TANIA IVONNE GONZALEZ POPOCA | Fecha:2021-04-26 23:08:50 | Firmante

RW9aIPNasALXAk7Q1DvraV9A4UWwNDuNVpHESFZVcI7Z8qOa6aOLMMUySbdVsDWdsZNITJbeyzCTjoXVHGwvEZL3+oF6BqPMGv5QU9GSMVXpPGSCBquz9kwoGUw  
pKuja7xSNgFhUnOYOYgZQx6fJUefLWCGUoskPa9LJ5Oh9XciuUv1Vw6LPWZatsXJ1KcSuo+GUctY7yBGkFr6I9V2C3XriGo+HmTxw0IEpAugKSD3cYxY289Aduprba96Cjy5qV  
0X78EX7MFmOR3XZ7tuUakdJCO4zMBxaTaAdrwC+nJIHEEtvNWRKODrp+TskSjPPJotsvWtZvw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



kaMTQ2

<https://efirma.uaem.mx/hoRepuIdoIkpJAsFGu1MQE4Cv3sI8rUNXZxI7ZsFyg>

*La ciencia no solo es una disciplina de la razón, sino también del romance y la pasión*

Stephen Hawking

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para la realización de este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a mis sinodales por su apoyo y orientación para llevar a cabo la culminación del presente trabajo

Dr. Jorge Antonio Guerrero Álvarez (Director)

Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís (Co – Director)

Dra. Isela Hernández Plata

Dra. María Luisa García Betancourt

Dra. Maura Tellez Tellez

M. en I. Ariadna Zenil Rodríguez

M. en B. Tania Ivonne González Popoca

Dedico este trabajo a Jehová por permitirme tener la salud, experiencia y fortaleza para llevar a cabo la culminación de este trabajo.

De igual manera agradezco a mi familia por brindarme su amor, paciencia, educación y sacrificio, Francis (mamá) por su buen humor y siempre motivándome para no vencerme, César (papá) por brindarme día con día consejos para ser mejor profesionalmente y personalmente. A mis hermanas (Fernanda y Adriana) por su apoyo y ocurrencias en cada momento.

A mis profesores de la Especialidad en Gestión Integral en Residuos y a mis compañeros de generación los cuales aprendí cada uno de ellos.

Y finalmente especialmente a Vic por estos años juntos, por su invaluable apoyo, paciencia, amor y sobre todo por creer en mí.

## **Resumen**

En el presente trabajo se realizó una revisión de los residuos agroindustriales generados en México mediante la búsqueda y selección de artículos se realizó para el periodo de 2010-2020, en las bases de datos de Pubmed, Google scholar y SCOPUS. Se identificaron 118 artículos en las bases de datos, mediante el uso de las diferentes combinaciones de palabras clave en el idioma español e inglés "Agroindustria" "Residuos agroindustriales en México" "Valorización de residuos en México", sin embargo, solo 50 de ellos fueron seleccionados para su revisión e inclusión en el presente reporte, debido a que se alinearon con el tema. Se encontró que México es el sexto productor de piña a nivel mundial, con una producción cerca de 760 mil toneladas de los cuales solo se consumen 570 mil toneladas aproximadamente, diferencia entre producción y consumo conlleva un gran problema ambiental y económico debido a la generación de una gran cantidad de residuos de piña entera sin utilizar de los cuales se suman a los residuos de cascara, corona y pulpa producidos por la agroindustria. La porción no comestible representa un 41% del fruto, entre cascara, corazón y corona el residuo de piña, sin embargo, se encontró alternativas de aprovechamiento como la generación de biocombustibles, síntesis de sustancias, remoción de colorantes y producción de fibras.

**Palabras clave:** Agroindustria; Residuos agroindustriales en México; Residuos de piña (*Ananas comosus*), Valorización de residuos en México.

## **Abstract**

In the present work, a review of the agro-industrial waste generated in Mexico by searching and selecting articles was carried out for the period 2010-2020, in the databases of Pubmed, Google scholar and SCOPUS. 118 articles were identified in the databases, through the use of different combinations of keywords in the Spanish and English languages "Agroindustria" "Agroindustrial waste in Mexico" "Valorization of waste in Mexico", however, only 50 of them They were selected for review and inclusion in this report, because they were aligned with the topic. It was found that Mexico is the sixth largest pineapple producer worldwide, with a production of about 760 thousand tons of which only approximately 570 thousand tons are consumed, the difference between production and consumption entails a great environmental and economic problem due to the generation of a large amount of unused whole pineapple residues of which are added to the peel, crown and pulp residues produced by the agro-industry. The inedible portion represents 41% of the fruit, between the peel, core and crown the pineapple residue, however, alternatives for use were found such as the generation of biofuels, synthesis of substances, removal of dyes and production of fibers.

**Key words:** Agroindustry; Agroindustrial waste in Mexico; Valorization of waste in Mexico.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo I. MARCO TÉORICO</b> .....	<b>4</b>
1. Agroindustria .....	4
1.1 Clasificación de la agroindustria.....	4
1.1.1 Alimentaria.....	5
1.1.2 No alimentaria .....	5
1.1.3 Proveedora de materias primas .....	5
1.1.4 Consumidora de materias primas .....	5
1.1.5 Artesanal .....	5
1.2 Impactos socioeconómicos y ambientales de la agroindustria .....	5
1.3 Residuos agroindustriales .....	6
1.4 Producción de residuos agroindustriales.....	8
1.5 Impactos ambientales de residuos agroindustriales .....	9
1.6 Alternativas de valorización para los residuos agroindustriales .....	9
<b>Capítulo II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo III. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>Capítulo IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR</b> .....	<b>13</b>
<b>Capítulo V. PRINCIPALES HALLAZGOS</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo VI. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>42</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Industrialización de la piña.....	17
Tabla 2. Composición fisicoquímica de corazón de piña usando como sustrato (Montoya-Pérez <i>et al.</i> , 2016) .....	24
Tabla 3. Metabolitos presentes en piña (cáscara, núcleo y corona) (Arizzan <i>et al.</i> , 2020) .....	27
Tabla 4. Rendimientos de fibra y tamaños (Kengkhetkit <i>et al.</i> , 2012) .....	38
Tabla 5. Composición de cascara y núcleo (Sukruansuwan <i>et al.</i> , 2018) .....	39

## Índice de Figuras

Figura 1: Alternativas de valorización para los R.A (Yepes <i>et al.</i> , 2008).....	10
Figura 2. Representación de la búsqueda bibliográfica .....	14
Figura 3. Descripción de la piña (TICSO, 2016) .....	17
Figura 4. Producción de piña en México (SIAP, 2017).....	19
Figura 5. Esquema representativo de los hallazgos de aprovechamiento del residuo de piña. ....	20
Figura 6. Micrografía de la fibra de piña a) 25X y b) 125X.....	37

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha mostrado diversas estrategias de supervivencia alimenticia tales como: la caza, la recolección de frutos y semillas, sin embargo, hace aproximadamente 10,000 años el humano primitivo comenzó a domesticar animales e implementar un sistema de subsistencia basado en el cultivo y consumo de plantas, conocido como agricultura.

En la actualidad, se estima que 2,570 millones de personas dependen de la agricultura, realizando actividades como la caza, la pesca o la silvicultura por mencionar algunas, generando un impulso en la economía de la mayoría de los países en desarrollo (FAO, 2001). Debido a la oferta y demanda de productos en el mercado se ha desarrollado la “Agroindustria”, actividad que integra la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal, generando beneficio o transformación, así como la comercialización del producto, sin dejar de lado los aspectos de administración, mercadotecnia y financiamiento. Dicho en otra forma, es una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado (Salval, 2012).

En la actualidad las agroindustrias se dedican producir, transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. Entre los productos que se industrializan están: frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas; algunos se comercializan en fresco y otros son transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, por mencionar algunos (García-Peña *et al.* 2011). De tal manera que la agroindustria proporciona valiosas oportunidades y beneficios para los países en desarrollo, ejemplo de ello, el Banco Mundial reportó al término del año 2015 que las actividades agrícolas (siembra cosecha) conformaron el 12% del Producto Interno Bruto (PIB) de América Latina; pero al incluir las actividades agroindustriales (transformación de los productos del campo) el promedio se eleva al 21% (PwC México, 2015).

En la República Mexicana, la agroindustria es uno de los principales empleadores del país, beneficiando a más de seis millones de personas (INEGI, 2010). Si bien se tiene aportes económicos, en contraste países como Canadá, Estados Unidos incluido México generan cerca de 265 millones de toneladas anuales de residuos orgánicos; de ese total, en los sectores residencial y comercial se desvían y aprovechan aproximadamente 75 millones de toneladas mediante actividades como compostaje y digestión anaeróbica (en referencia a compostaje a escala industrial en recipientes cerrados), en tanto que 190 millones de toneladas se envían a disposición final. Canadá y Estados Unidos registran tasas de desvío y aprovechamiento de 32 por ciento, mientras que en México se aprovecha cerca de 7 por ciento (CCA, 2017c).

Las principales industrias agroalimentarias mexicanas generan desechos de tipo orgánico como molienda de café, bagazo, frutos (cascaras y huesos) legumbres, suero lácteo y celulosa por mencionar algunos (Yuduf, 2017).

Dicha práctica, se estima que cerca de setenta y seis millones de toneladas de residuos orgánicos de frutas (limón, peras, manzanas, papaya, piña, plátano, naranja) y vegetales (maíz, caña de azúcar, frijol, col, zanahoria, tomate, lechuga, papa) se generan anualmente en la república mexicana (García-Peña *et al.* 2011).

La importancia del tema de la generación y manejo de los residuos agroindustriales no involucra sólo los efectos ambientales y de salud pública derivados de su generación y manejo. La gestión integral de los residuos, además de procurar reducir su generación y conseguir su adecuada disposición final, también puede dar como resultado colateral la reducción, tanto de la extracción de recursos (evitando su agotamiento), como de energía y agua que se utilizan para producirlos, así como la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. Todo ello se acompaña de importantes beneficios económicos, sociales y ambientales (Hoornweg y Bhada- Tata, 2012).

Actualmente se ha reportado que los residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen la elaboración de nuevos productos o aportando valor agregado a los productos originales y recuperar condiciones ambientales alteradas. El presente trabajo tuvo como finalidad realizar una revisión bibliográfica general sobre los residuos agroindustriales generados en México durante los años 2010-2020, posteriormente este estudio se enfocó en la evaluación del potencial para el aprovechamiento de los residuos derivados de la producción e industrialización de la piña (*Ananas comosus*), para la elaboración de productos de valor agregado a través de procesos biotecnológicos, tales como como fármacos, biocombustibles, fibras textiles, así como la remoción de colorantes en agua. El aprovechamiento de este residuo a través de estrategias factibles, permitirá minimizar su volumen de disposición final y los impactos ambientales asociados.

## **Capítulo I. MARCO TEÓRICO**

### **1. Agroindustria**

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define la agroindustria o industria agrícola como el sector manufacturero que procesa materias primas y productos intermedios agrícolas, forestales y pesqueros. De este modo, el sector agroindustrial incluye fabricantes de alimentos, bebidas y tabaco, textiles y prendas de vestir, muebles y productos de madera, papel, productos de papel e impresión, además de caucho y productos de caucho, como indica la FAO (1997).

Sin embargo, Long (1998) y Rodríguez (1998), la definen como aquella que engloba al sector encargado de la producción, industrialización y comercialización de productos agropecuarios, forestales y otros recursos biológicos, agregando valor a productos de la industria agropecuaria, la silvicultura, la pesca, entre otros, así como facilitar la durabilidad y disponibilidad del producto. El sector agroindustrial puede definirse en diferentes formas. Sin embargo, una de las más acertadas es la expuesta por Saval (2012), quien define a la agroindustria como una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para obtener alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado.

#### **1.1 Clasificación de la agroindustria**

Según la FAO (1997) la agroindustria puede clasificarse en dos clases, la primera está conformada por las industrias alimentarias y las no alimentarias, mientras que la segunda está compuesta por las industrias proveedoras de materia prima (como la molienda de trigo y arroz) y consumidoras de materia prima (como la fabricación de pan).

En México, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016) la agroindustria se divide en:

### **1.1.1 Alimentaria**

Se encarga de la transformación de los productos de la agricultura, ganadería, riqueza forestal y pesca, en productos de elaboración para el consumo alimenticio, en esta transformación se incluye los procesos de selección de calidad, clasificación, embalaje-empaque y almacenamiento de la producción agrícola.

### **1.1.2 No alimentaria**

Es la encargada de la parte de transformación de estos productos que sirven como materias primas, utilizando sus recursos naturales para realizar diferentes productos industriales. Mezcla los materiales sintéticos y sustitutos artificiales (especialmente fibra) con las materias primas naturales para generar colorantes, textiles, entre otros productos.

### **1.1.3 Provedora de materias primas**

Participa en la elaboración inicial de los productos agrícolas con procesos como la molienda del trigo y/o arroz, el curtido del cuero, desmotado del algodón, prensado del aceite, enlatado de pescado y el aserrado de la madera.

### **1.1.4 Consumidora de materias primas**

Se elaboran artículos a base de productos intermedios que se derivan de las materias agrícolas, como papel, ropa, calzado, caucho, entre otros.

### **1.1.5 Artesanal**

El proceso de manufactura que emplea o requiere más mano de obra y menos maquinaria. Produce artesanalmente los dulces tradicionales, mezcal, pulque, entre otros productos.

## **1.2 Impactos socioeconómicos y ambientales de la agroindustria**

La agroindustria presenta valiosas oportunidades y beneficios para los países en desarrollo, en términos de procesos globales de industrialización, rendimiento de las exportaciones, inocuidad y

calidad alimentarias. Estos procesos han provocado aportes al desarrollo económico global, con cambios en las tasas de pobreza ligados a la magnitud y la distribución de los cambios en el empleo y a los ingresos *per cápita* entre aquellos cuya subsistencia está ligada a la economía agroalimentaria (por ejemplo, la transformación de una economía predominantemente informal en una economía predominantemente formal (da Silva *et al.*, 2013). En México, por ejemplo, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y del Consejo Nacional Agropecuario (2017) reporta una contribución de 8.5% del PIB, con ello se generó 7.5 millones de empleos, equivalentes a 15% de las plazas formales y divisas.

Con frecuencia, sucede que, una mayor escala de operación trae consigo procesos interconectados de cambio en diferentes niveles de la agroindustria, desde la producción hasta la distribución, llevado consigo una adaptación, nuevas tecnologías, formas de organización y enfoques de gestión, lo cual puede producir efectos ambientales positivos (da Silva *et al.*, 2013). Sin embargo, estos efectos positivos pueden verse contrarrestados por la degradación de la base de recursos naturales, ejemplo de ello; es el aumento en la producción que se genera utilizando para cultivo tierras más marginales y potencialmente sensibles, lo que genera problemas como la deforestación, desertificación y pérdida de biodiversidad (entre otros), además del uso de suelo con fines comerciales o de urbanización (Barbier, 2000; Lee y Barrett, 2000). La mayoría de las industrias descargan altos volúmenes de residuos líquidos provenientes de sus procesos productivos y del lavado de equipos, considerados con una alta carga orgánica, así mismo existe una gran cantidad de desechos sólidos orgánicos generados por procesos productivos, de las áreas administrativas y actividades de empaque, mismos que producen efectos ambientales variados (Sánchez *et al.*, 2009).

### **1.3 Residuos agroindustriales**

De acuerdo al diccionario de la Real Academia Española (2001) la palabra “residuo” se define como:

- ✓ Parte o porción que queda de un todo.

- ✓ Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo.
- ✓ Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación

Sin embargo, al momento de establecer lo que se considera "residuo", la propia definición sugiere claramente que se trata de un término intrínsecamente subjetivo, pues depende de los actores involucrados. Uno de los ejemplos más claros de que estamos frente a un término subjetivo es que, quien decide si un determinado objeto continúa siendo útil o no es su propietario. Otro ejemplo es cuando existe posibilidad de reciclaje y por lo tanto el residuo deja de serlo, transformándose en materia prima de otro proceso.

Se han hecho diversos intentos a efectos de adoptar una definición objetiva de "residuo", sin embargo, aún hoy persiste cierto grado de incertidumbre. Por esta razón muchas legislaciones incluyen en su texto la definición de "residuo" por la que han optado.

A continuación, se presentan ejemplos de definiciones adoptadas para el término "residuo" en distintos ámbitos y con diferentes alcances.

- **Organización de las Naciones Unidas:** Todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario.
- **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente:** Incluye cualquier material descrito como tal en la legislación nacional, cualquier material que figura como residuo en las listas o tablas apropiadas, y en general cualquier material excedente o de desecho que ya no es útil ni necesario y que se destina al abandono.
- **Convenio de Basilea:** Las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional.
- **Comunidad Europea, Directiva 75/442/CEE, 91/156/CEE, 94/3/CE y 2000/532/CE:** Cualquier sustancia u objeto perteneciente a una de las categorías listadas en el Anexo I y del cual su poseedor se desprenda o del cual tenga la intención u obligación de desprenderse. A partir de las categorías del Anexo I se elaboró el "Catálogo Europeo de

Residuos", el cual constituye una lista armonizada y no exhaustiva de residuos, independientemente de que se destinen a operaciones de eliminación o recuperación.

- **Programa Regional de Manejo de Residuos Peligrosos del CEPIS:** Todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario.
- **Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):** Todo material (sólido, semisólido, líquido o contenedor de gases) descartado, es decir que ha sido abandonado, es reciclado o considerado inherentemente residual.

En México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los define como: como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (LGPGIR, 2018).

El sector agroindustrial no es la excepción, así que genera residuos que pueden ser definidos, según Saval (2012), como materiales en estado sólido o líquido obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que sí se pueden aprovechar o transformar para obtener otro producto con valor económico, comercial o social. Cada subsector de la agroindustria genera residuos específicos. En su mayoría, estos presentan características óptimas para su aprovechamiento en otra cadena de producción, alternativa de tratamiento o recuperación de algún medio contaminado.

#### **1.4 Producción de residuos agroindustriales**

Los residuos agroindustriales se pueden producir durante procesos relacionados con el cultivo u obtención de materia prima o en las actividades de procesamiento de la misma. En conjunto se tiene una estimación cercana 1,300 millones de toneladas(T) se pierden o desperdician cada año a nivel mundial. Las frutas, verduras, raíces y tubérculos, tienen las tasas de desperdicio más altas de cualquier alimento, aproximadamente 520-650 millones de T/a (Ravindran *et al.*, 2008). Los cultivos de cítricos como las naranjas (*Citrus × sinensis*), mandarinas (*Citrus reticulata*), limones

(*Citrus limon*), limas y pomelo (*Citrus × paradisi*) (Ledesma-Escobar *et al.*, 2014) generan una alta producción de residuos agroindustriales, en el año 2007 se informó que alrededor 15 millones de toneladas por año, lo que se estima en cerca del 50% de la masa de fruta entera procesada (Marín *et al.*, 2007).

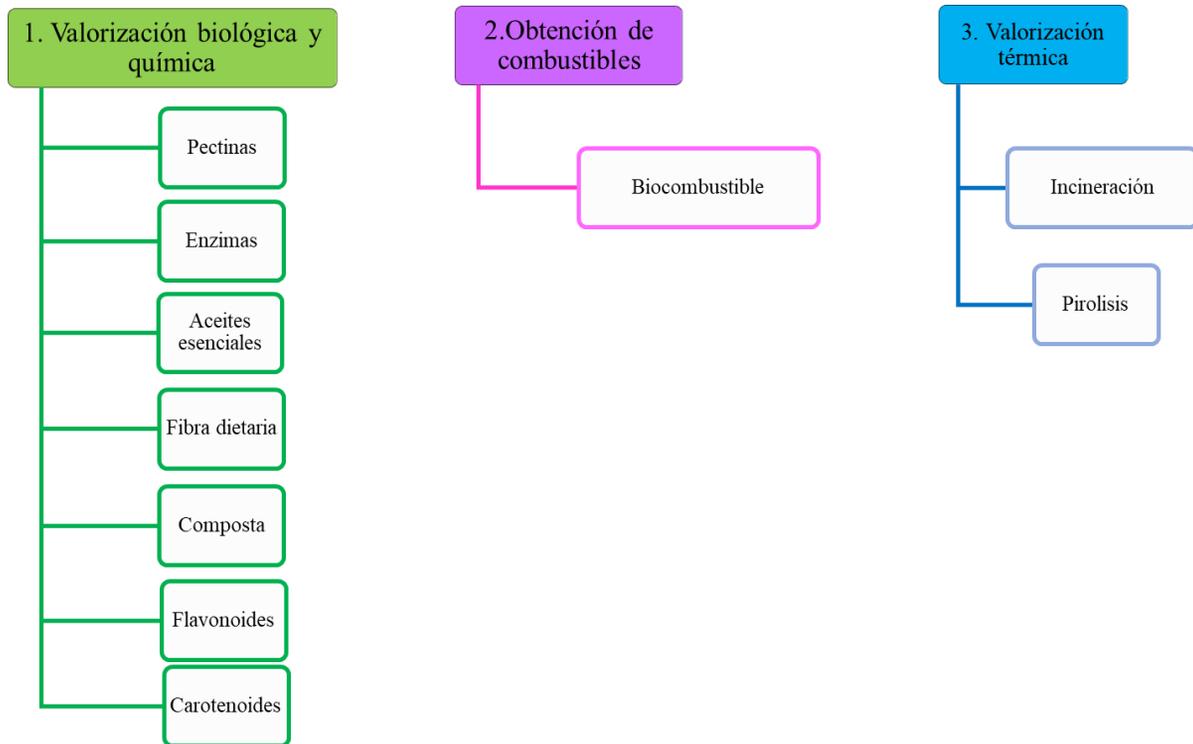
En la Unión Europea (UE), el desperdicio de alimentos asciende a 89 millones de toneladas de alimentos por año, el 39% de este desperdicio de alimentos ocurre durante los procesos de fabricación (Searle, 2013), mientras que la producción total de residuos agrícolas (residuos de cultivos o partes de plantas cultivadas que no se consumen como alimentos) en la UE asciende a 367 millones de toneladas por año (Ravindran *et al.*, 2018).

### **1.5 Impactos ambientales de residuos agroindustriales**

Las generaciones de residuos agroindustriales se encuentran en su mayoría en estado sólido, conformados principalmente por polímeros de celulosa y hemicelulosa (entre 75 y 80%), debido a esta característica registran una velocidad de degradación lenta de manera natural, originando una disposición final deficiente, depositándose principalmente en lotes baldíos o espacios verdes sin ningún control (Mejía *et al.*, 2007). Un ejemplo de ello es la industria de la caña de azúcar y sus derivados, ya que participa en la emisión de residuos a la atmósfera como resultado de la combustión del bagazo de caña (aproximadamente 5.5 kg de cenizas volátiles por tonelada de caña procesada), los combustibles empleados en el proceso, los vapores de fermentación, las unidades de sulfatación (para el refinado del azúcar), las fibras generadas contienen un alto contenido de carbohidratos, que, al ser dispuesto en el suelo, los microorganismos como las bacterias anaerobias iniciarán la descomposición lo que podrían producir malos olores debido a la liberación de gases como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y el metano (CH<sub>4</sub>) generando afectaciones al ambiente (González *et al.*, 2012; Restrepo, 2006).

### **1.6 Alternativas de valorización para los residuos agroindustriales**

Existen básicamente tres estrategias (Figura 1) para la recuperación de residuos agroindustriales (R.A) : 1) la valorización biológica y química, 2) la obtención de combustibles (derivados de desechos) y 3) la valorización térmica.



**Figura 1:** Alternativas de valorización para los R.A (Yepes et al.,2008).

El primer grupo permite obtener gases, líquidos o sólidos comercializables como pectinas, enzimas, aceites esenciales, fibra dietaría (alimento para animales y humanos), hongos comestibles, flavonoides y carotenoides a partir de residuos orgánicos. Tales productos se pueden obtener mediante procesos biológicos como el compostaje o la lombricultura, entre otros. El segundo grupo permite obtener combustibles como el biogás (utilizado para diversos fines) y el tercero busca la reducción del volumen de los residuos y la recuperación de energía a partir de los gases, líquidos y sólidos generados, utilizando procesos como la incineración y la pirólisis (Yepes et al., 2008).

## Capítulo II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas la contaminación industrial, se ha convertido en una preocupación importante para la sociedad. Debido a que la disposición inadecuada de los residuos de producción agroindustrial ocasiona alteraciones en los diferentes medios abióticos, bióticos y socioeconómicos, e incluso puede llegar a generar pérdidas económicas para las empresas. De esta manera, se identifica que la eliminación de tales residuos supone un problema de gestión para los diferentes establecimientos productores. El aprovechamiento de los residuos agroindustriales permite dar solución a diferentes problemáticas ambientales originadas tanto por la generación y disposición de estos residuos como por otros factores producto del desarrollo de otros sectores productivos. De igual manera, ayuda a disminuir el uso de recursos naturales renovables y no renovables como materia prima de ciertos productos, y genera empleo y recursos económicos.

Los residuos agroindustriales de piña son un problema económico y ambiental muy grande en nuestro país. Por su importancia la piña ocupa el tercer lugar de producción mundial entre las frutas tropicales. México es el sexto productor de piña a nivel mundial, con una producción de 759,976.18 toneladas, sin embargo, solo se consumen 570 toneladas aproximadamente. Esta diferencia entre producción/consumo conlleva un problema ambiental y económico debido a la generación de una gran cantidad de residuos de piña entera sin utilizar que se suman los residuos de cascara, corona y pulpa producidos por la agroindustria, la porción no comestible representa un 67% del fruto, entre cáscara, corazón y corona (FAO, 2013).

Debido a ello importante buscar estrategias o aplicaciones que contribuyan al aprovechamiento de estos residuos a través de estrategias que pueden ser empleadas eficazmente y contribuir a la disminución de contaminación ambiental por residuos agroindustriales de piña. El presente trabajo tiene como finalidad realizar una revisión bibliográfica (2010 a 2020) sobre el potencial para el aprovechamiento de los residuos derivados de la producción e industrialización de *A. comosus*, para la elaboración de productos de valor agregado a través de procesos biotecnológicos, tales como biocombustibles, síntesis de sustancias, remoción de colorantes y aprovechamiento de fibras.

### **Capítulo III. OBJETIVOS**

Realizar un análisis sobre el aprovechamiento potencial de los residuos derivados de la producción e industrialización de la piña (*Ananas comosus*) para generar metabolitos biotecnológicos o productos de valor agregado en México.

#### **Objetivos particulares**

- Identificar cuáles son los principales Residuos Agroindustriales generados en México.
- Identificar alternativas factibles para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de piña en México.
- Identificar el uso potencial de los residuos agroindustriales de piña para la generación de productos de valor agregado en México.

## **Capítulo IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR**

Esta investigación se caracteriza por ser de naturaleza teórica en relación con el tema abordado, en primera instancia se llevó a cabo un análisis bibliométrico, el cual es una técnica para mapear los principales autores, revistas y palabras clave sobre un tema determinado. Estas técnicas son herramientas respaldadas por una base teórica-metodológica científicamente reconocida, que permite el uso de métodos estadísticos y matemáticos para mapear información, desde registros bibliográficos de documentos almacenados en bases de datos (Maldonado *et al.*, 2010).

La literatura científica considerada se recopiló de tres bases de datos principales: Pubmed, Google scholar y SCOPUS. Las palabras clave utilizadas para realizar la revisión de la literatura fueron aquellas referidas a residuos, residuos agroindustriales, valorización de los residuos agroindustriales, disposición de los residuos en México, principales residuos generados en México, valorización de los residuos de piña, valorización enzimática de residuos de piña. Solo se consideraron los artículos escritos en el idioma español e inglés. Los artículos científicos fueron revisados durante los años 2010 a 2020. Se consideraron aquellos cuyo Abstract/Resumen contuviera información asociada con el estudio, y con un enfoque particular en el desarrollo de ciudades en América Latina y Europa.

A continuación, se muestra el mecanismo de desarrollo para la recopilación de la información.

Título **Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México**

MEJÍAS-BRIZUELA, Nildia\*†, OROZCO-GUILLEN, Eber, y GALÁAN-HERNÁNDEZ, Néstor.

*Programa Académico de Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica de Sinaloa, Carretera municipal libre Mazatlán-Higueras Km 3, Colonia Genaro Estrada, 82119, Mazatlán, Sinaloa, México.*

Recibido Octubre 7, 2016; Aceptado Noviembre 11, 2016

Años 2010-2020

Resumen /  
Abstract

**Resumen**

Los residuos agroindustriales están siendo en las últimas décadas motivo de diversos estudios, debido a que gran parte de sus componentes pueden ser utilizados como materia prima para la generación de productos con valor agregado, condición que prevalece actualmente y que se prevé continúe en el futuro desde el punto de vista de la generación de bioenergéticos y la prioridad para reducir el impacto ambiental que ocasionan dichos residuos. El objetivo de esta revisión es analizar una serie de artículos que documentan el estado del arte del aprovechamiento biotecnológico y energético de los residuos agroindustriales a través del impacto ambiental que generan los mismos dado las malas prácticas en el sector agrícola y los aspectos relevantes que poseen, intentando con ello una perspectiva que contribuya al desarrollo sostenible del país. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos y la normativa energética y ambiental de México, con la intención de ofrecer una visión panorámica del potencial biomásico residual.

**Residuos agroindustriales, bioenergéticos, desarrollo sostenible.**

**Abstract**

Agro-industrial residues has been in recent decades the subject of several studies, because many of its components can be used as raw material for the generation of value-added products, a condition that at present prevailing and which is expected to continue in the future from the perspective of the generation of bioenergy and priority to reduce the environmental impact caused for such residues. The aim of this review is to analyze a selection of reports that documenting the art of biotechnological and energetic valorization of agro-industrial residues, through the environmental impact generated for agro-industrial residues, for practicals bad in agriculture, the relevant aspects of a variety of agro-industrial residues that can be leveraged for the development of bioenergy products that contribute to sustainable development. The research was conducted through literature review of scientific articles and regulatory framework of energy and environment in Mexico, with the intention of providing an overview of the residual biomass potential.

**Agro-industrial residues, bioenergetics, sustainable development.**

**Figura 2.** Representación de la búsqueda bibliográfica

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de los análisis realizados a los artículos identificados, este procedimiento se llevó de la siguiente manera, en el buscador Google scholar se ingresaron el juego de palabras claves, posteriormente se seleccionaron los artículos que en el título obtuvieran por lo menos una de las palabras clave, a su vez, se hizo el monitoreo de la fecha de la publicación del artículo el cual deberá estar en los rangos previamente mencionados, finalmente se hizo un análisis del Abstract/Resumen para corroborar que dicho artículo contenga información de nuestro interés, aquellos que cumplieron con los criterios descritos anteriormente fueron seleccionados para su revisión en extenso.

## Capítulo V. PRINCIPALES HALLAZGOS

Para cumplir el primer objetivo se encontró que el territorio mexicano posee una superficie total de aproximadamente 198 millones de hectáreas de las cuales 145 millones se dedican a la actividad agropecuaria. Cerca de 6.5 millones de hectáreas son tierras de riego y 14.5 millones de temporal (FAO, 2020). La agricultura es una actividad fundamental en el medio rural, en el cual habita todavía una parte altamente significativa de la población nacional. En las pequeñas localidades rurales dispersas con población inferior a 2,500 personas, viven 24 millones de mexicanos. Mediante esta actividad se llevan a cabo el desarrollo económico, social y ambiental, originando que más de la cuarta parte de la población nacional dependa de esta actividad (INEGI, 2010). Sin embargo, las actividades agrícolas llevan consigo la generación de residuos, en todas las etapas del proceso (en la preparación del suelo, la siembra-cosecha, hasta el producto final) estimando una generación de más de 313 mil toneladas de residuos agroplásticos en 2007, cantidad que en 2015 debe superar las 320 mil toneladas (SEMARNAT, 2015).

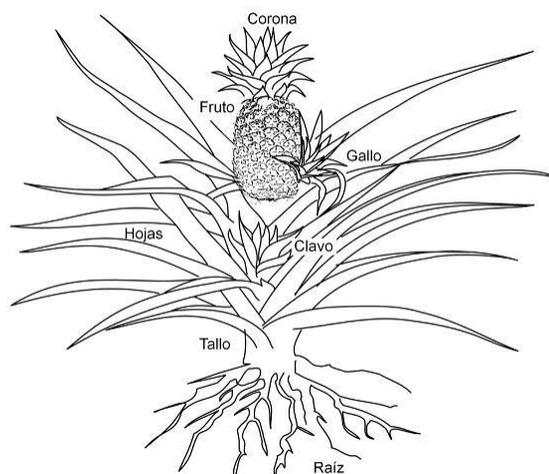
A los residuos generados en la actividad agrícola citados previamente, deben sumarse los residuos orgánicos, los cuales oscilan cerca de 76 millones de toneladas integrados por frutas (limón, peras, manzanas, papaya, piña, plátano, naranja) y vegetales (maíz, caña de azúcar, frijol, col, zanahoria, tomate, lechuga, papa) se generan anualmente (García-Peña *et al.*, 2011; Valdez-Vázquez *et al.*, 2010). Se estima que cerca de 60.13 millones de toneladas de residuos de cultivos pertenecen a maíz, sorgo, caña de azúcar y paja de trigo. Sin embargo, el manejo integral de los residuos se enfoca principalmente en cultivos de maíz, trigo, frijol, sorgo y café los cuales han sido evaluados para la capacidad de producción de bioenergía con resultados satisfactorios los cuales ha favorecido a la reducción el volumen y disposición de los mismos (Valdez-Vázquez *et al.*, 2010).

Uno de los residuos que se ha reportado que no tiene ningún tratamiento en nuestro país es la piña (*Ananas comosus*), la cual pertenece al reino vegetal, de la división de las monocotiledóneas, familia de las bromeliáceas, compuesta de 46 géneros y 2,000 especies aproximadamente (Leal,

1989). Es una planta herbácea cuya altura alrededor de 1 metro. Posee de 30 a 40 hojas tiesas, planas sobre un talo formado una roseta gruesa; el grosor de su hoja, le confiere una gran capacidad para retención de agua (Figura 3), la composición porcentual de la piña típica es: pulpa 33%, corazón 6%, cascara 41% y corona 20%.

**Sistema Radicular:** El sistema radicular de la piña es bastante superficial. Por esta condición, las características físicas del suelo de estructura, aireación y humedad juegan un papel muy importante en su crecimiento. Puede crecer hasta los 2 metros cuando el medio le resulta favorable. El sistema radicular de la planta, penetra y se extienden hasta una profundidad de 15 cm del suelo y puede llegar en algunos individuos a los 30 cm de profundidad y muy excepcionalmente a 60 cm o más. Las plantas recién sembradas poseen raíces primarias de corta vida, fibrosas, adventicias secundarias. Las raíces que están en contacto con el suelo son cortas y huecas, excepto en suelos bien aireados.

- **Tallo:** El tallo es una estructura anclada al suelo por el sistema radicular y mide hasta 30 cm de largo, con un ancho de 6.5 cm en la base y 3.5 cm en el centro.
- **Hojas:** Las hojas poseen venas paralelas y tienen espinas en la punta. Están compuestas por un polvo blancuzco que las protege de la pérdida de agua. Su forma es variable; según su posición en la planta, grado de crecimiento y madurez, para efectos prácticos se le identifica con letras que van desde la A hasta la F, para el análisis foliar se debe tomar la hoja D por ser la más madura y la más larga; en el análisis foliar se le suele dividir en 3 secciones (la base, el centro y la punta): de estas, la base es la sección utilizada para medir los sistemas de potasio, fósforo, magnesio y calcio y la sección central, que nos sirve para determinar azufre, nitrógeno y hierro (Anderson, 1991).
- **Fruto:** El fruto de la piña es compuesto por un racimo de frutícolas individuales, que son como la extensión del tallo por la forma en que se aloja sobre un pedúnculo de 100 a 150 milímetros de largo.



**Figura 3.** Descripción de la piña (TICSO, 2016).

La piña se comercializa tanto como fruta fresca como procesada, en el siguiente recuadro de muestra el tipo de industrialización (Tabla 1).

**Tabla 1.** Industrialización de la piña

PRODUCTO	OBTENCIÓN
<i>Piña envasada</i>	A partir del troceado de la sección de la piña que queda de eliminar la base, la corona y la cáscara. Este troceado puede ser en rebanadas, trozos pequeños y trozos en pedacitos (pedacería).
<i>Piña deshidratada</i>	Se obtiene de la eliminación controlada de la mayor parte del agua libre de la piña. Por lo general ésta se prepara en trozos o rodajas enteras para tener una mejor presentación y facilitar el proceso.
<i>Néctar</i>	El néctar es el producto que se obtiene de la mezcla del jugo de la fruta con cierta cantidad de sólidos provenientes de pulpa de la fruta.
<i>Pulpa concentrada congelada</i>	Es el producto que se obtiene de aplicar calor a la pulpa y eliminar como mínimo el 50% del agua inicial. Los procesos de concentrado y congelación se aplican para conservar el producto por períodos muy largos de tiempo.
<i>Pulpa aséptica</i>	El tratamiento térmico suficiente para lograr su esterilidad y es empacada en ambiente y empaque escéptico.

## Continuidad de la tabla 1

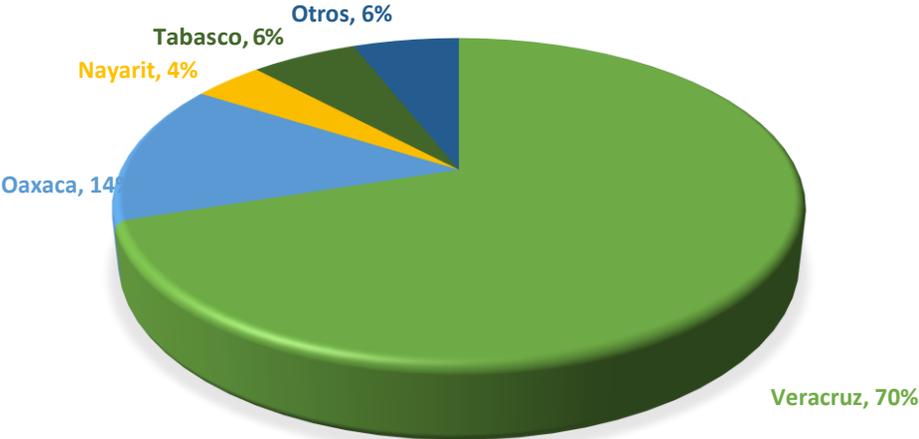
<i>Jugo concentrado congelado</i>	la aplicación de calor al jugo de piña, de modo que se baja su contenido de humedad y se tiene mayores facilidades de conservación
<i>Jalea</i>	Se preparan a partir del jugo de la fruta y se llega a obtener una consistencia de gel, puede contener trozos de fruta o prescindir de ellos.
<i>Mermeladas</i>	Un producto semisólido preparado a partir de la mezcla de 45 partes de frutas lista para procesar con 55 partes de azúcar.
<i>Bocadillos</i>	Se logra por la cocción de fruta y azúcar en las proporciones necesarias para obtener un gel final compacto, de textura suave y fácil de cortar. Por lo general se dejan endurecer en moldes rectangulares y se trocean en tajadas delgadas, siendo estas empacadas en forma individual.
<i>Vinagre</i>	Por un proceso de acetificación de soluciones alcohólicas derivadas de materiales azucarados o harinosos (contenido de azúcar fermentable de 8-20%).

Durante el procesamiento de productos enlatados de la misma está integrados por 44.4% de cáscara y 15% de núcleo, en promedio cerca 59.4% de cada piña es desechado generando un aproximado 560 mil toneladas anuales de los cuales el 30% es utilizado como alimento para ganado en la República Mexicana (Antonio *et al.*, 2010); sin embargo, el desperdicio de pulpa no se considera atractivo como alimento para animales debido a su alto contenido de fibra y carbohidratos solubles con un bajo contenido de proteína (Correria *et al.*, 2004). Finalmente, el resto llega se eliminan en vertederos, donde los desechos pueden sufrir una digestión anaeróbica, la cual se asocia con una alta demanda bioquímica de oxígeno y una alta demanda química de oxígeno, y este proceso genera metano y puede causar emisiones de gases de efecto invernadero si no se aplican las buenas prácticas de gestión de residuos (Sukruansuwan, 2018).

México, ocupa entre el séptimo y el décimo lugar de producción de piña a nivel mundial, con alrededor de 20 mil hectáreas sembradas por año, equivalentes a un millón de toneladas de fruta cosechada, con un rendimiento promedio de entre 45 y 55 t/ha (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). En el periodo 2003-2016 la producción de piña creció 29.06% debido a la demanda del mercado ya que de 20.8 mil pasos a 86.3 mil toneladas para exportación, lo cual representó el 0.48% de PIB agrícola (SAGARPA, 2016). En la figura 2, se muestran los principales estados productores de

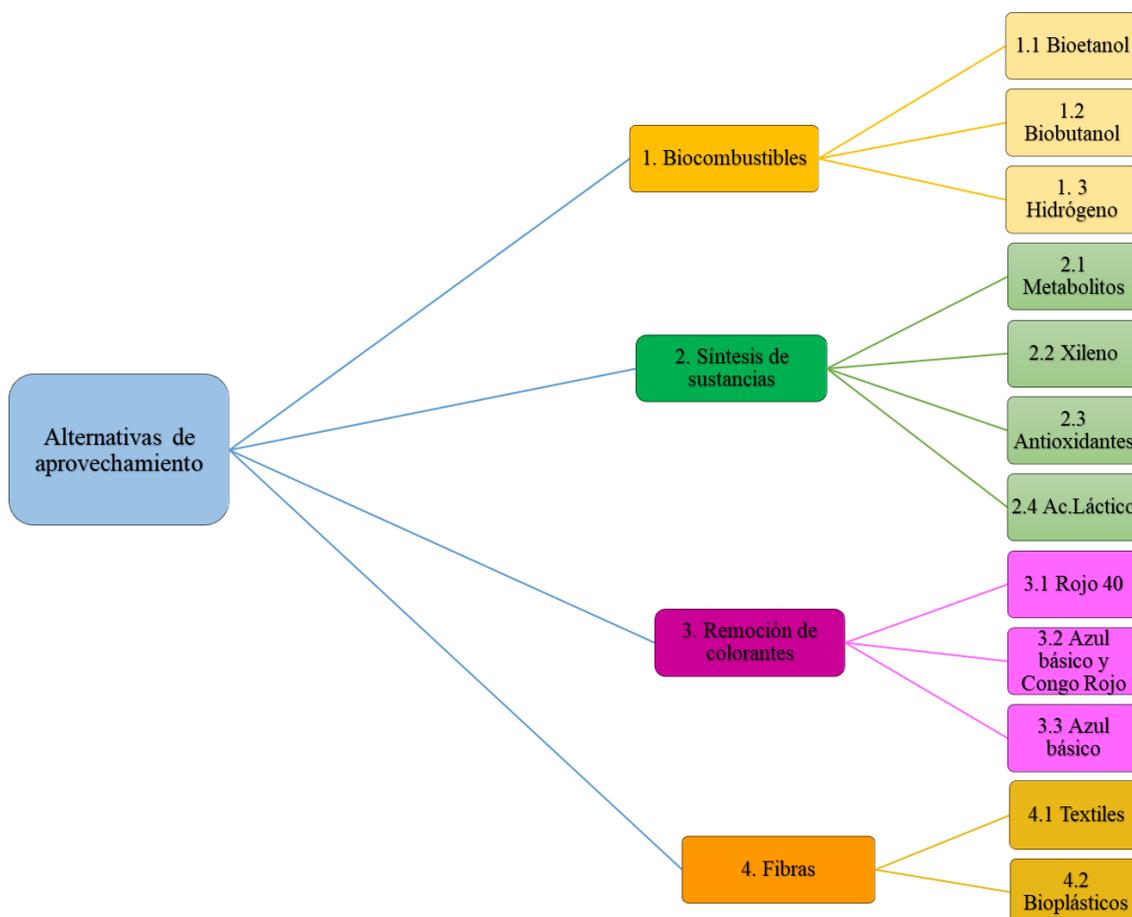
piña en la República Mexicana, Veracruz ocupando el primer sitio con una aportación de 64.9% del volumen nacional en producción, seguido de Oaxaca con un 12.8%, Tabasco con un 6.2%, Quintana Roo con un 4.6% y Jalisco que tan sólo aporta 2.8% del total a nivel nacional (SIAP, 2018).

En la Figura 4 se muestra la participación estatal en la producción de piña.



**Figura 4.** Producción de piña en México (SIAP, 2017).

Considerando lo mencionado se han desarrollado alternativas de aprovechamiento con valor agregado en residuos de piña, a continuación, se describe cada una de ellas (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema representativo de los hallazgos de aprovechamiento del residuo de piña.

## 1. Biocombustibles

Biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético; la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de

procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal (Hernández y Hernández, 2008). Los biocombustibles ofrecen mayor seguridad energética, menores emisiones de gases invernadero y de material particulado, desarrollo rural, mejor desempeño de los vehículos y una reducción en la demanda de petróleo (Arungu-Olende S, 2007).

## **1.1 Bioetanol**

La producción de bioetanol es una alternativa adecuada y renovable para reemplazar los combustibles de origen fósil. La producción de bioetanol a partir de materias primas vegetales que no son utilizables para consumo humano, se encuentran los subproductos agrícolas y forestales que se originan en grandes cantidades (Villar *et al.*, 2008). La disponibilidad mundial anual de estos subproductos lignocelulósicos originados durante la cosecha o procesamiento industrial radica en siete de los cultivos agrícolas más importantes: maíz, cebada, avena, arroz, trigo, sorgo dulce y caña de azúcar, de los cuales se produce 491.1 mil millones de litros. Este bioetanol podría reemplazar 353 mil millones de litros de gasolina, el 32% del consumo global anual (Kim *et al.*, 2004). En el año 2006, los países como Brasil y EEUU presentan una producción de bioetanol a partir de compuestos lignocelulósico (caña de azúcar y maíz) de 19 mil millones de litros (Elobeid *et al.*, 2007).

El bioetanol se puede obtener a partir de jarabes glucosados producidos en la hidrólisis de residuos lignocelulósicos. Los residuos de piña no son la excepción, ya que se ha despertado el interés debido a su alto contenido de celulosa y hemicelulosa. En la producción de bioetanol partir de material lignocelulósico tienen lugar varios procesos físicos, químicos y biológicos como son: reducción de tamaño, remoción de lignina, hidrólisis ácida, fermentación y destilación (Teubner *et al.*, 1999).

Tejeda (2010), realizó un estudio del rendimiento en la obtención de etanol a partir de cáscaras de piña mediante el proceso de hidrólisis ácida, el cual llevó a cabo, adicionando 50 ml de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de cáscara de fruta, a una temperatura de 125°C, una vez culminado el proceso de hidrólisis, se llevó a cabo la fermentación del hongo *Saccharomyces*

*cerevisiae* de manera anaerobia. Concluyeron que por cada gramo de cáscaras se producía 1,0 mg de etanol.

Córdoba (2011), realizó un estudio del efecto de la concentración de hidróxido de sodio (NaOH), en hidrólisis enzimática del rastrojo de piña bajo concentraciones de 25.1, 35.1 y 50.3 g/L, en un tiempo de fermentación de 25 h. Obteniendo concentraciones de etanol de 1.9, 1.8 y 1.9% v/v de bioetanol. Antonio *et al.* (2011), este estudio describe el proceso de hidrólisis de celulosa y bagazo de piña, mediante dos etapas (hidrólisis fuerte al 72% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e hidrólisis diluida al 8% NaOH). Posteriormente realizan la fermentación anaerobia con el hongo *Saccharomyces cerevisiae* en un tiempo de 72 h. Obteniendo un rendimiento de bioetanol, 34.5% y 57.6% respectivamente.

Por otro lado, Fonseca en el mismo año realizó una hidrólisis de la celulosa de la corona de piña bajo las siguientes concentraciones 0, 40, 60, 80 y 100 g/L de NaOH. Obteniendo concentraciones de etanol de 0.28, 1.19, 1.28, 2.05, y 2.21% v/v, respectivamente (Fonseca, 2011).

Choonut *et al.* (2017), realizaron un estudio con la cáscara de piña, en la cual encontró que contenía una gran cantidad de celulosa ( $37.68 \pm 6.97\%$ ) y una producción de azúcar reductores ( $36.25 \pm 2.87$  g/L) después de un pretratamiento con agua previamente calentada a 100°C e hidrólisis enzimática, respectivamente. El hidrolizado enzimático se utilizó como medio para la fermentación, sin adición nutricional para producir etanol e hidrógeno por el hongo *Saccharomyces cerevisiae* y la cepa bacteriana *Enterobacter aerogenes*. El rendimiento máximo de etanol (9.69 g/L) se logró después de 72 h de cultivo con *S. cerevisiae* sin producción de hidrógeno. Con *E. aerogenes* se observó una menor producción de etanol (1.38 g/L) después de 72 h. Sin embargo, produjo una alta producción de hidrógeno (1.42 mol/L) después de 12 h de cultivo. Para mejorar la concentración de etanol e hidrógeno, se aplicó la técnica celular inmovilizada. El resultado indicó que la producción de biocombustibles aumentó significativamente por la técnica de células inmovilizadas. En este estudio, la cáscara de piña se

demonstró como una de las nuevas y potenciales materias primas para la producción de biocombustibles.

## **1.2 Biobutanol**

El biobutanol es otra de las alternativas de biocombustibles ya que tiene una mayor densidad de energía y un bajo número de octanos con respecto a la gasolina. Además, tiene una baja presión de vapor que facilita el transporte y muestra una menor corrosión del material de contacto (Hu *et al.*, 2011). Se produce tradicionalmente por fermentación de acetona-butanol-etanol (ABE) con *Clostridium* spp.

Khedkar *et al.* (2017), realizaron hidrolizados a partir del secado de cáscaras de piña a diferentes temperaturas seguidos de hidrólisis ácida y métodos de desintoxicación para su posterior fermentación de ABE mediante el uso de *Clostridium acetobutylicum* cepa B 527 en un tiempo de 96 h. Se encontró que el medio nombrado como p<sup>2</sup> estándar que contiene glucosa como sustrato de carbono, el cual se usó como control y produjo biobutanol 1.55 g/L. Para el tratamiento con hidrolización/sin la incorporación de glucosa en el medio con cascara fresca se obtuvo un total de biobutanol de 4.11 g/L con un rendimiento de 0.12 g/g, sin embargo, el tratamiento con hidrolización/sin la incorporación de glucosa, la cascara previamente seca a 120°C se obtuvo 5.23 g/L y un rendimiento de 0.15 g/g.

## **1.3 Hidrógeno**

Entre los posibles combustibles renovables se encuentra el hidrógeno, acarreador de energía limpia, ya que su reacción de oxidación con oxígeno produce 120 kJ/g de energía liberando únicamente agua en el proceso (Montoya-Pérez *et al.*, 2016). A pesar de que no es un elemento que se encuentra de forma libre sobre la tierra, es uno de los elementos más abundantes de ésta ya que conforma numerosos compuestos químicos tales como el agua y la celulosa. La producción de hidrógeno a partir de rutas de conversión de biomasa (fuente renovable de energía) se da

mediante procesos biológicos como la fermentación anaerobia. Este proceso consiste en la digestión de material orgánico por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno. Entre las ventajas que presenta esta tecnología están la capacidad de usar cualquier sustrato rico en carbohidratos (Manish, 2008). Montoya-Pérez *et al.* (2016), proponen el residuo agroindustrial de corazón de piña como un material rico en carbohidratos que se puede llegar a fermentar fácilmente para la producción de hidrógeno u otros metabolitos de interés. A continuación, una descripción los hallazgos encontrados (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición fisicoquímica de corazón de piña usando como sustrato (Montoya-Pérez *et al.*, 2016).

<i>Humedad</i>	86.14	%
<i>Cenizas (base seca)</i>	1.31	%
<i>Fibra cruda (100g)</i>	8.3	%
<i>Azúcares reductores (1 g)</i>	0.113	g/L
<i>Glucosa (40 g)</i>	0.455	g/L
<i>pH</i>	3.90	pH
<i>Sólidos solubles</i>	10.03	Brix
<i>Nitrógeno</i>	0.58	%
<i>Fósforo</i>	0.05	%
<i>Calcio</i>	0.06	%
<i>Magnesio</i>	0.12	%
<i>Potasio</i>	1.24	%
<i>Azufre</i>	0.07	%
<i>Hierro</i>	23.5	mg/kg
<i>Cobre</i>	9	mg/kg
<i>Zinc</i>	43.5	mg/kg
<i>Manganeso</i>	81.5	mg/kg
<i>Boro</i>	5.5	mg/kg

Se encontró que el contenido en promedio 0.113 g de azúcares reductores y 0.0114 g de glucosa por cada gramo de corazón de piña. Obteniendo un rendimiento máximo de producción de hidrógeno de 1.54 mol/mol de glucosa consumida, bajo las siguientes condiciones de trabajo: pH inicial de 5.5, concentración inicial de sustrato 5g de glucosa/L, proporcionando nutrientes como magnesio, hierro, zinc y sodio.

Al caldo final de fermentación se le realizó un análisis de demanda química de oxígeno (DQO) para determinar las características de las eventuales corrientes de desecho de este proceso. El valor obtenido fue de 21.105 mg/L, evidenciando el elevado contenido de materia orgánica aún

disponible en ese caldo. Estas mezclas, debido a su rico contenido en ácidos carboxílicos, podrían utilizarse para producir más biohidrógeno a través de procesos fotofermentativos, o bien metano, utilizando bacterias metanogénicas.

## **2. Síntesis de sustancias a partir de residuos de piña**

### **2.1 Metabolitos**

Arizzan *et al.* (2020) realizaron un estudio sobre una variedad de piña denominada MD2, se centraron en la corona, cáscara y núcleo, de los cuales se extrajo Óxido nítrico (ON), Contenido Fenólico Total (CFT), 2,2-difenil-1,prorilhidrozil (DPPH) y actividades inhibitoras de la  $\alpha$ -glucosidasa, para llevar a cabo dicho procedimiento se utilizó como solvente etanol a la concentración 50 y 100% estos extractos fueron analizados mediante la técnica llamada metaboloma para obtener un perfil completo de los metabolitos del núcleo de la piña MD2, la cáscara y los extractos de la corona.

Los resultados demostraron que los extractos de corona exhibieron el CFT más alto registrado con 12.71 mg de ácido gálico/ gramos de extracto crudo (GAE/g), seguido de extractos de cáscara con 10.73 mg de GAE/g de extracto crudo, ambos extractos se prepararon a partir de una relación de etanol al 50%. Los extractos centrales derivados de una relación de etanol al 50% exhibieron el CFT más bajo con 4.80 mg de GAE/g de extracto crudo.

El estrés abiótico, como la temperatura y la intensidad de la luz, también podría conducir a diferentes concentraciones de metabolitos secundarios en las partes de la planta. En el estudio realizado por Nur *et al.* (2018) se reportó que las hojas de piña MD2 cultivadas en su entorno natural mostraron un TPC significativamente mayor (0.433 mg GAE/g de extracto) que las cultivadas *in vitro* (0.296 mg GAE/g de extracto). Esto se debe a que la intensidad de la luz en su entorno natural (30,000 a 100,000 lux) fue mucho mayor que la del ambiente *in vitro* (aproximadamente 1.000 lux). Esto podría explicar por qué los extractos de corona exhibieron el TPC más alto en su estructura y posición en la parte superior de la fruta de piña les permite

recibir una mayor cantidad de luz que la cáscara y el núcleo. Dado que la fotosíntesis tiene lugar en las hojas, los precursores de la vía biosintética fenólica más abundantes se pueden encontrar en los extractos de la corona, lo que también ha confirmado la acumulación de compuesto fenólico (Liu *et al.*, 2017).

Las partes de la planta que mostraron la actividad de eliminación de radicales libres DPPH más activa fueron la corona extraída con una relación de etanol al 100% (75.57%), seguida de la cáscara (72.67%) y el núcleo (49.14%) extraído con relación de etanol al 50%.

Se examinó otro bioensayo para evaluar el potencial antioxidante de la cáscara de piña MD2, la corona y el núcleo sometidos a diferentes extracciones de la relación de etanol a través de la actividad de eliminación de radicales libres de NO, la corona extraída con etanol al 100% contribuyó al mayor porcentaje de actividad de eliminación de NO (70,21%) con un valor de IC<sub>50</sub> de 338.52 µg/ml, lo que demuestra una tendencia similar a la de la actividad de inhibición de DPPH.

Para el porcentaje de actividad inhibidora de la  $\alpha$ -glucosidasa de la cáscara de piña MD2, la corona y el núcleo extraído con diferentes proporciones de etanol varió de 23.59% a 73.86%. Los valores detectables de IC<sub>50</sub> oscilaron entre 92.95 µg/ml y 878.75 µg/ml, con un estándar de quercetina de 0.99 µg/ml.

El extracto de exfoliación con relación de etanol al 100% significativamente ( $p < 0.05$ ) poseía el mayor porcentaje de actividad inhibidora de la  $\alpha$ -glucosidasa en comparación con los extractos de relación de etanol al 50% y 0%. A partir de estos hallazgos, el etanol al 100% fue el solvente más capaz de extraer los componentes fitoquímicos responsables de la inhibición de la  $\alpha$ -glucosidasa de la cáscara de piña MD2.

Se realizó un análisis detallado basado en <sup>1</sup>H NMR para estudiar más a fondo la variación de los metabolitos y las actividades biológicas en la cáscara de piña MD2, la corona y el núcleo extraídos utilizando diferentes proporciones de etanol. A continuación, se describe en la siguiente tabla 3, los metabolitos encontrados en corona, cáscara y núcleo.

**Tabla 3.** Metabolitos presentes en piña MD2 (cáscara, núcleo y corona) (Arizzan *et al.*, 2020)

Metabolito	Partes de la relación MD2 de desechos de piña/etanol (%)								
	Cáscara			Corona			Núcleo		
	0	5	1	0	5	1	0	5	1
	0	00		0	00		0	00	
<b>Azúcares</b>									
<i>Fructuosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sacarosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>α-D-Glucosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>β-D-Glucosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Aminoácidos</b>									
<i>Alanina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Arginina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Treonina</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Glicina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Valina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Isoleucina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Fenilalanina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Triptófano</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Ácidos orgánicos</b>									
<i>Ácido cítrico</i>	+	+	+	+	+	+	-	-	-
<i>Ácido málico</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Lípidos</b>									
<i>Ácido α-linolénico</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Compuestos fenólicos</b>									
<i>Ácido ferúlico</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ácido gálico</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Epicatequina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Catechin</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Ácido protocatechuico</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-

Continuidad de la tabla 3

Ácido benzoico	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Ácido vanílico	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Ácido siríngico	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido fenilacético	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido malónico	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Ácido succínico	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido glicérico	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido fumárico	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido glucárico	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ácido 3-metilglutarico	-	-	-	+	+	+	-	-	-

\*siendo el significado para + (presente) y -(ausente).

## 2.2 Xileno

Es una molécula que tiene una estructura lineal principal que consiste en 1,4-β-D-xilopiranososa, y dependiendo de su origen, puede contener ramificaciones de L-arabinofuranosilo, acetilo, D-glucuronosilo y/o residuo de 4-O-metilglucuronosilo. Se encuentra presente en las paredes celulares de las plantas y algunas algas (Chen *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2012).

El xileno es un líquido incoloro de olor dulce que se inflama fácilmente. Se encuentra naturalmente en el petróleo y en alquitrán. Se usa como disolvente en la imprenta y en las industrias de caucho y cuero. También se usa como agente de limpieza, diluyente de pintura y en pinturas y barnices. Pequeñas cantidades se encuentran en el combustible de aviones y en la gasolina. Siendo una de las 30 sustancias químicas más producidas en los Estados Unidos en términos de volumen.

La producción de xilano a partir de los desechos agroindustriales de la piña, se presenta como una buena alternativa, los cuales, debido al incremento en su producción y al contenido en hemicelulosa. Ramírez *et al.* (2011) reportaron que los desechos de cáscara de piña son residuos potenciales para la obtención de xilosa bajo condiciones sencillas de hidrólisis. Siendo la máxima producción de xilosa durante la hidrólisis ácida a 98°C alcanza valores alrededor del 95%. Para ello, las condiciones óptimas de producción de xilosa se presentan mediante una menor concentración de inhibidores bajo las condiciones de: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 6% v/v, tiempo de reacción 83 minutos.

### **2.3 Antioxidante**

La piña (*Ananas comosus*) esta integrada por la piel, la pulpa y el jugo de las piñas las cuales tienen actividad antioxidante y biológica debido a los polifenoles. Por ejemplo, el jugo de piña se usa para reducir el dolor de garganta y los mareos (Hossain y Rahman 2011) en Tailandia se usa para tratar la disuria (Hu *et al.*, 2011). Los flavonoides y los ácidos fenólicos son los principales polifenoles en las piñas (da Silva *et al.*, 2010). La miricetina es un flavonoide que está relacionado con la actividad antioxidante en los alimentos y también es activa en las reacciones celulares que controlan la reproducción de las células tumorales (Johnson, 2004). El ácido cafeico, el ácido *p*-cumarico y el ácido ferúlico son ácidos fenólicos presentes en las piñas que tienen actividad antioxidante, anticancerígena y antimicrobiana (Heleno *et al.*, 2015).

Das *et al.* (2019), realizaron un estudio cuyo objetivo fue sintetizar AgNP los cuales son nanopartículas hechas con metales (Au, Ag, Ce, Pt, Pd, y Zn) (Ahmed *et al.*, 2016). Son conocidos por sus efectos beneficiosos debido a sus actividades antidiabéticas, antioxidantes, antibacterianas y citotóxicas (Annu *et al.*, 2018; Patra *et al.*, 2018; Patil *et al.*, 2017;). Debido a su potencial antimicrobiano de amplio espectro los AgNP se han integrado ampliamente en numerosos productos tales como aerosoles antisépticos domésticos, agentes de vendaje para heridas y agentes de recubrimiento antimicrobianos para dispositivos médicos utilizados para esterilizar aire, textiles y superficies (Rai *et al.*, 2009).

Para los AgNP, el método sintético biológico es beneficioso sobre las técnicas fisicoquímicas, ya que es rentable, respetuoso con el medio ambiente y fácil de producir en masa. La nanopartícula de plata sintetizada biológicamente es biocompatible y se puede usar de forma segura para diversas aplicaciones terapéuticas (Chaloupka *et al.*, 2010).

En el presente estudio se utilizó los extractos de cáscara de *Ananas comosus* (AC) mediante el uso de una metodología de síntesis verde y su caracterización mediante espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Visible), Microscopia de rastreo (SEM y EDX) y FTIR el cual, es una técnica analítica utilizada para identificar materiales orgánicos, poliméricos y, en algunos casos, inorgánicos. Estas técnicas de análisis seguida de la investigación de su biopotencial utilizando una serie de ensayos y actividades tales como potenciales antidiabéticos, antioxidantes, antibacterianos y citotóxicos.

Las características de los AC-AgNP biosintetizados se evaluaron en términos de su potencial antioxidante, antibacteriano, antidiabético y citotóxico. La propiedad antibacteriana de los AC-AgNP se determinó contra cuatro bacterias patógenas diferentes *Enterococcus faecium* DB01, *Listeria monocytogenes* ATCC 19111, *Bacillus cereus* KCTC 3624 y *Staphylococcus aureus* ATCC 13565. Los resultados de la actividad antibacteriana revelaron que los AC-AgNP eran activos contra las cuatro bacterias patógenas mediante la inhibición de su crecimiento el cual oscilaban entre 8.78 y 10.31 mm de diámetro.

La posible actividad citotóxica de AC-AgNPs contra células cancerosas HepG2 también fue validada. El resultado indica que los AC-AgNP a concentraciones más bajas fueron capaces de dificultar el crecimiento de células cancerosas. Los AC-AgNP biosintetizados se evaluaron por su potencial de eliminación de radicales libres.

La generación de nitrito AC-AgNP exhibió un potencial antidiabético prometedor de una manera dependiente de la dosis. Se observó una inhibición de casi el 100% de la  $\alpha$ -glucosidasa a una concentración 1  $\mu\text{g/ml}$ . Se sabe que la inhibición de las enzimas digestivas de la  $\alpha$ -glucosidasa es precisamente útil para el tratamiento de la diabetes sin insulina, ya que el proceso de la liberación de glucosa en la sangre es más lento (Balan *et al.*, 2016; Sivaranjani *et al.*, 2013).

La alta actividad de AC-AgNP contra la  $\alpha$ -glucosidasa observada en la investigación actual es una indicación positiva de su utilidad en el tratamiento de la diabetes.

Upadhy *et al.* (2011), realizaron un estudio mediante la utilización de residuos de tallo de piña (PSW) obtenidos del proceso de fabricación de bromelina. El objetivo de este estudio fue investigar la potencialidad del uso de PSW como fuente de fenoles para diferentes bioactividades. En primera instancia se demostraron que los equivalentes de ácido gálico (GAE), los cuales fueron extraídos a solventes de 100% metano, 50% metano y agua (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub>). Las cantidades de compuestos fenólicos totales de las fracciones E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub> fueron 118.91±8.70, 155.33±7.62 y 269.85±12.43 GAE mg/100 g PSW, respectivamente. El contenido fenólico total del residuo seco de la fruta de piña se ha informado como 275±38.0 mg GAE/100 g (Oliveira *et al.*, 2009)

Para la evaluación de DPPH al 50% se determinó como la concentración requerida para eliminación de radicales libre IC<sub>50</sub>, mostró los siguientes resultados: la fracción E<sub>3</sub> mostró la mayor actividad con 164.21±6.50  $\mu$ g/mL seguido de E<sub>1</sub> (335.20±5.51  $\mu$ g/mL) y E<sub>2</sub> (335.47±8.41  $\mu$ g/mL). Para explorar si los ácidos fenólicos individuales presentes en PSW tenían o no actividad antioxidante, llevaron a cabo la actividad de captación de radicales DPPH encontrando que el mayor porcentaje de inhibición se debió al ácido sirínico seguido de ferúlico, iso-ferúlico y vainillina (con un IC<sub>50</sub> de 9.51±1.41, 29.62±2.54, 84.35±1.27 y 249.50±5.43  $\mu$ g/mL, respectivamente).

En este estudio, la mayor actividad de DPPH de la fracción E<sub>3</sub> está fuertemente relacionada con los altos niveles de compuestos fenólicos totales. Cabe señalar que el ácido benzoico fue predominante, pero parece no tener papeles significativos en la potencialidad antioxidante de la muestra. Los ácidos fenólicos, como los siríceos, ferúlicos e iso-ferúlicos, aunque en menor cantidad son supuestamente responsables de la actividad antioxidante, ya que estos ácidos tienen valores más bajos de IC<sub>50</sub> en los ensayos de eliminación de DPPH. Se sabe que los radicales de oxígeno se producen durante los procesos inflamatorios; por lo tanto, se investigó la eficacia de PSW en la inhibición de 15-LOX *in vitro* siendo un antilipoperoxidante e inhibidores potenciales de la lipoxigenasa (Chen y Ho 1997). La actividad inhibitoria de E<sub>3</sub> en 15-LOX, se encontró que a una concentración de 0.25 mg/mL, la inhibición era casi del 80%.

Además, la glicación no enzimática ha sido un factor importante responsable de las complicaciones en la diabetes y el envejecimiento (Gugliucci 2000). Muchas vías bioquímicas asociadas con la hiperglucemia pueden aumentar la producción de radicales libres (Lee y Chung 1999). Por lo tanto, los antioxidantes pueden jugar una estrategia teórica para prevenir complicaciones diabéticas. En este estudio, dado que se encontraron una serie de compuestos fenólicos presentes en E<sub>3</sub>, investigaron los efectos de los extractos de PSW sobre la inhibición de los AGE se muestra una concentración de 0.5 mg/mL tuvo una inhibición de más del 80%. La inhibición de la formación de AGEs por E<sub>3</sub> probablemente se deba a los fenólicos presentes en la muestra.

Aunado a ello se ha reportado el papel de los ácidos fenólicos en la inhibición de la formación de 15-LOX es un grupo de enzimas involucradas en la biosíntesis en la inflamación (Wangenstein *et al.*, 2006) y AGE están constituidos por un grupo complejo, heterogéneo de compuestos formados principalmente por reacciones no enzimáticas entre azúcares reductores con aminoácidos, ácidos nucleicos, péptidos y proteínas, los cuales producen compuestos primarios llamados productos de Amadori, en los que posteriormente a través de la denominada reacción de Malard se producen reacciones complejas tales como ciclación, deshidratación, oxidación, condensación, entrecruzado y polimerización para formar productos químicos irreversibles (Bengmark.,2007). Para estudiar los efectos de los ácidos fenólicos presentes en PSW, se investigó las actividades inhibitoras de los ácidos fenólicos individuales contra la formación de 15-LOX y AGE. Los resultados indicaron que estos ácidos fenólicos tenían actividades inhibitoras más fuertes contra 15-LOX que las formaciones de AGE. Los siríngicos, ferúlicos, hidroxibenzoicos y vainillina tuvieron mejores efectos inhibitorios con una IC<sub>50</sub> que oscila entre 68.5 y 93.5 µg/ml. En caso de inhibición de los AGEs, el hidroxibenzoico y la vainillina tuvieron mejores resultados en comparación con otros ácidos fenólicos.

Parece que las propiedades inhibitoras de la 15-LOX de la PSW pueden atribuirse a los siguientes compuestos como el ácido siríngico, ácido ferúlico, hidroxibenzoico y a la vainillina. Estos resultados sugieren que la presencia del ácido fenólico en PSW ciertamente ha contribuido a sus funciones bioactivas. El presente estudio mostró que todos los extractos han inhibido el crecimiento de bacterias a 20 µg/disco. Las bacterias grampositivas *Bacillus cereus* y

*Brevibacterium ammoniagenese* fueron inhibidas significativamente por E<sub>3</sub>, además, las bacterias gramnegativas *Escherichia coli* también fueron inhibidas por E<sub>1</sub>. Del mismo modo, todas las muestras (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub>) mostraron excelentes resultados contra los hongos *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*, y *Sclerotinia sclerotiorum*. Esta inhibición del crecimiento de microorganismos podría atribuirse a compuestos fenólicos presentes en los extractos.

## 2.4 Ácido láctico

El ácido láctico se denomina ácido 2-hidroxiopropanoico y está formado por los grupos funcionales alcohol y carboxilo, conformando un carbono asimétrico que le confiere su actividad óptica. Existen dos isómeros ópticos, el D(-) láctico y el L(+) láctico una forma racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-) (Gopal *et al.*, 2008; Vijayakumar *et al.*, 2008). El isómero D(-) es perjudicial al metabolismo humano y puede generar acidosis y descalcificación (Panesar *et al.*, 2007). El ácido L(+) láctico es clasificado por la FDA como una sustancia GRAS, generalmente reconocido como seguro para uso como aditivo alimenticio (Vijayakumar *et al.*, 2008; Rojan *et al.*, 2009).

La producción biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por medio de bacterias u hongos para formar los enantiómeros ópticamente activos y depende del tipo de microorganismo utilizado, la inmovilización o recirculación del microorganismo, el pH, la temperatura, la fuente de carbono, la fuente de nitrógeno, el método de fermentación empleado y la formación de los subproductos (Hofvendahl y Hagerdal 2000). Dependiente del tipo de carbohidrato, el proceso requerirá de una etapa que convierta las materias primas renovables a sustratos fermentables, sea ésta por degradación enzimática, química o por adaptación metabólica del microorganismo (Wee *et al.*, 2006).

La utilización de los residuos de piña para la producción biotecnológica de ácido láctico es una opción interesante para reducir el costo de producción de este producto químico y, a la vez, permite dar valor agregado a un desecho agroindustrial, que presenta un alto contenido de carbohidratos fermentables (Rashid, 2008). El ácido láctico es uno de los compuestos químicos

con mayor demanda a nivel mundial (130,150 mil TM/año) por tener gran aplicabilidad en la industria alimentaria, química y farmacéutica (John, 2007).

Araya *et al.* (2010), evaluaron la fermentación con el microorganismo *Lactobacillus casei* subespecie *rhamnosus* ATCC 11443 sobre un sustrato a base de desecho de piña.: jugo de piña (80% v/v en agua), con una concentración de azúcares iniciales de 77 g/L, entre otros elementos. Además, se estudió el efecto de la hidrólisis enzimática para la fermentación fue *Invertasa* (E.C. 3.2.1.26), sobre el proceso de producción de ácido láctico.

Para el tratamiento exclusivo de jugo de piña con *L. casei* se obtuvo una concentración de ácido láctico de 64 g/L (127 g) después de 35 horas de fermentación, con un periodo de fase lag de aproximadamente 11 horas. En contraste el tratamiento con *Invertasa* se logró alcanzar una concentración máxima de 75 g/L (150 g) de ácido láctico en un tiempo de fermentación de 40 horas, y la bacteria se adaptó más rápido al medio con únicamente azúcares simples al reducir el tiempo de fase lag de 11 a 7 horas. Dado que la concentración de azúcares fermentables es mayor por la hidrólisis de la sacarosa, el tiempo de fermentación aumentó aproximadamente 5 horas. Sin embargo, la hidrólisis de la sacarosa simultánea a la fermentación permitió producir un 15% más de ácido láctico. Llegando a la conclusión que las fermentaciones homolácticas 2 moles de ácido láctico se producen a partir de cada mol de glucosa, aunque una conversión de 100% es difícil de conseguir. Sin embargo, el microorganismo fue bastante eficiente al fermentar el medio hidrolizado y presentó un rendimiento de ácido láctico de 98% (m/m), significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) que el rendimiento con el medio sin hidrólisis.

### **3. Remoción de colorantes**

En la actualidad se producen más de 10,000 tipos diferentes de colorantes que incluyen ácidos, básicos, dispersos, azo, diazo y antraquinonas, entre otros (Villada y Hormaza, 2015), su volumen global de producción supera las 700,000 toneladas anuales (Sanja, *et al.*, 2004). Infortunadamente, se estima que entre el 10 y el 15% del total de colorantes producidos se liberan a los ecosistemas acuáticos a través de los efluentes industriales (Tristán, 2012). El uso de

colorantes orgánicos sintéticos se justifica por su empleo en el acabado de múltiples productos, cuyo aspecto colorido impacta favorablemente al consumidor y estimula su mercado (Villada y Hormaza, 2015). Es por ello que industrias como la textil, alimentaria, cosmética, papelera y farmacéutica precisan de grandes cantidades de colorantes orgánicos sintéticos en sus actividades diarias.

### 3.1 Colorante rojo 40

El Rojo 40 (R40), es un colorante ácido de la clase “monoazo” de fórmula química  $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$ , peso molecular 496.42 g/mol. Este colorante tiene propiedades ácidas y una estructura aromática constituida por tres anillos bencénicos (Urrengo *et al.*, 2018). Aunque se le atribuyen características de toxicidad y patogenicidad en la mayoría de productos alimenticios en los cuales se utiliza (que incluyen bebidas gaseosas, productos lácteos y de repostería) algunas de sus propiedades como alta solubilidad en agua, fácil implementación y bajo costo lo convierten en un colorante de interés para otros sectores productivos, como la industria textil y la elaboración de tintas para tatuajes (Villada y Hormaza, 2015). Se ha reportado que el biocarbón obtenido a partir de gasificación de residuos de la piña, ha exhibido capacidades de adsorción comparables o incluso mejor a la capacidad de adsorción de carbón activado comercial sobre diversos contaminantes orgánicos, inorgánicos y metálicos.

Urrengo *et al.*, (2018) Exploró el uso de residuos de la piña, particularmente las cáscaras. Implementando la siguiente metodología: trituración de las cascaras, las cuales fueron cernidas tamices estándar 150 mg, tamaño partícula de adsorbente 0.125-0.180 mm, pH 2.0, a una concentración del colorante rojo 40 de 100 ppm, velocidad de agitación 120 rpm, tiempo 5 h, temperatura ambiente. Obteniendo un porcentaje de remoción de 87.23%. Posteriormente las fibras fueron lavadas y reutilizadas las cuales presentaron un porcentaje de remoción del 55.80%. Si bien la capacidad de adsorción es inferior a la que se consigue utilizando carbón activado como adsorbente, para el caso de las cáscaras de piña no se requieren procesos de activación (térmicos ni químicos), haciéndolas un adsorbente más atractivo desde el punto de vista ambiental.

### 3.2 Azul Básico 3 (BB3) y Rojo Congo (CR)

El azul básico 3  $C_{20}H_{26}N_3O_{10}OCl$  cuyo peso Molecular ( $g\ mol^{-1}$ ) 360 nombre químico 3,7-bis(diethylamino)fenoxazin-5-ium cloruro es un colorante ampliamente utilizado en la industria textil (Montes, 2014). El rojo congo o sal del ácido naftilensulfónico 3,3'-(4,4'-bifenileno)bis(azo)bis(4amino) disódico es preparada por una tetradiazotación con bencidina y ácido naftilsulfónico. Los enlaces covalentes en la molécula le confieren estabilidad, que junto con la estructura molecular compleja dificultan la biodegradación y la fotodegradación (Bhattacharyya y Sharma, 2004). Ambos colorantes además de afectar la estética, la transparencia del agua y la solubilidad de oxígeno en los cuerpos de agua, se ha reportado como altamente tóxico para los seres vivos por provocar carcinogénesis, mutagénesis, teratogénesis, daños respiratorios, alergias y problemas durante el embarazo (Bhattacharyya y Sharma, 2004; Han, 2008). Los efluentes que contienen el colorante rojo congo provienen de la industria textil, pigmentos, plásticos, e imprentas, entre otras (Purkait *et al.*, 2007; Pavan *et al.*, 2008).

Chan *et al.* (2016) realizaron la evaluación del uso de residuos de la piña, particularmente el tallo. Los cuales demostraron que el pH óptimo para la eliminación de BB3 y CR fue de pH 10 y 4, respectivamente. La capacidad máxima de adsorción BB3 y CR fue de 58.98 y 11.966  $mg\ g^{-1}$ . El análisis cinético mostró que la adsorción alcanzó el equilibrio en 120 minutos, El estudio de desorción demostró que la regeneración para el tallo de la piña fue usando agua y HCl era altamente factible para los sistemas CR y BB3, respectivamente.

### 3.4 Azul de metileno

El azul de metileno, ya que es un colorante modelo para colorear fácilmente cualquier superficie y para realizar experimentos científicos, además es abundante y fácil de obtener (Funar-Timofei *et al.*, 2012). El azul de metileno es un colorante utilizado en la industria textil, cosmética, farmacéutica, alimenticia, de plásticos, papel, educativa, investigativa, entre otras (Benatti, 2006). Las descargas de estas industrias contienen tintes los cuales son altamente

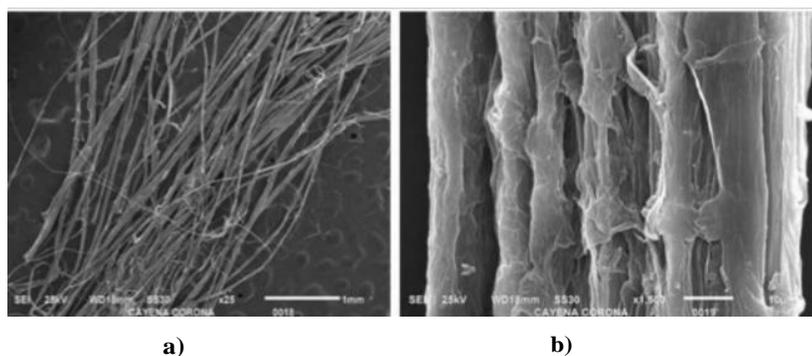
visibles a bajas concentraciones y producen problemas de contaminación como aumento de la demanda química de oxígeno y de la toxicidad, además de la disminución de la penetración de la luz y por ende de la fotosíntesis, sin mencionar, el efecto estético sobre la superficie del agua (Rafatullah *et al.*, 2010; Ramírez-Montoya *et al.*, 2014).

Mahamand *et al.* (2015), realizaron la evaluación del uso de residuos de la piña, particularmente en las hojas. Indica el potencial del uso de carbón activado con hojas de piña (PLAC-B) para eliminar eficazmente el azul de metileno de la solución. La capacidad máxima de eliminación de azul de metileno de 288 mg/g después de 120 minutos de tiempo de contacto.

#### 4. Fibras

Los residuos son las hojas fibrosas están constituidas principalmente del 85% de holocelulosa, de la cual aproximadamente el 74% lo representa la  $\alpha$ -celulosa, teniendo un bajo contenido de lignina de alrededor de 10% (Khalil, 2006).

Su estructura interna está compuesta por fibras más pequeñas denominadas "microfibras" que a su vez se componen de un conglomerado de tejidos helicoidales como se muestra en la siguiente ilustración. Estos tejidos confieren elasticidad a la fibra y están recubiertos por una película gruesa constituidos por tejidos planos sobrepuestos (PANESSO, 2008).



**Figura 6.** Micrografía de la fibra de piña a) 25X y b) 125X.

## 4.1 Textiles

Una planta joven presenta de 25 a 30 hojas verdes, mismas que producen fibras en un 2 a 3% de su peso. El diámetro de estas fibras se encuentra en los 45 a 205  $\mu\text{m}$ , la resistencia a la tensión varía entre los 362 a 1627 MPa y su densidad es de 1450  $\text{Kg/m}^3$  aproximadamente. La fibra de este cultivo tiene el potencial para la fabricación de textiles (bolsos, cinturones, sombreros), cuerdas, prendas de vestir, forros de muebles, papel, se obtiene hilo (TICSO, 2014).

## 4.2 Bioplásticos

La tasa actual de producción mundial de plástico es insostenible, considerando que se generan más de 400 millones de toneladas de desechos cada año. Además, se espera que la tasa se cuadriplique para el año 2050 (OECD, 2020). Los polímeros biodegradables son ecológicamente benignos (biocompatibles y biodegradables). El proceso de producción de estos biopolímeros se agrupa en cuatro métodos: síntesis bacteriana, síntesis química, mezclas de biopolímeros y fuentes renovables (Satynarayana *et al.*, 2009). La presente se centra principalmente en el primer tipo de producción de origen biológico a partir de residuos agrícolas.

Kengkhetkit *et al.* (2012), realizaron la evaluación de molienda de fibra de hoja de piña (FHP). Obteniendo los siguientes los rendimientos de fibra y tamaños (FHP) de obtenidos de diferentes métodos de extracción (Tabla 4)

**Tabla 4.** Rendimientos de fibra y tamaños de (FHP) (Kengkhetkit *et al.*, 2012).

<i>Métodos</i>	<i>Rendimiento de fibra %*</i>	<i>Rango de diámetro (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Promedio diámetro (<math>\mu\text{m}</math>)</i>
<i>Retracción</i>	1.8	5-166	58.98
<i>Raspado</i>	1.4	5-129	57.36
<i>Fresado bola</i>	2.9	3-95	8.66
<i>Fresado</i>	2.8	3-68	18.70
<i>Fresado hojas secas</i>	3	5-194	63.43

\* Porcentaje en peso de fibra seca a base de hojas frescas. La hoja fresca contiene aproximadamente 80% de agua.

Concluyeron la molienda mecánica se pueden utilizar para extraer (FHP) a partir de la hoja de piña fresca, siendo el método de fresado el adecuado para la utilización como refuerzo de plástico.

Sukruansuwan *et al.* (2018), evaluaron la factibilidad de usar desechos de piña con las materias primas domésticas disponibles para la producción de valor agregado. Con este fin, el estudio se centró en la utilización de productos de desecho de piña en conserva para la producción de polihidroxibutirato (PHB), siendo un polímero de alta cristalinidad rígido y bastante quebradizo cuyas propiedades mecánicas no difieren de las del poliestireno, aunque es más sólido y resistente a las temperaturas. Además, pueden ser sintetizados naturalmente y degradado por microorganismos (Moita, 2014), otras de las características que destacan son la insolubilidad, resistencia a la luz ultravioleta e impermeable para el oxígeno (Aartyhi, 2011). Es por ello que se considera un producto de interés con valor comercial, para ello se han utilizado cultivos y sustratos con alto contenido de glucosa, fructuosa o sacarosa como sustrato (Cortes, 2016).

A continuación de muestra en la tabla 5 la composición en extracto crudo (CAE).

**Tabla 5.** Composición de cascara y núcleo en CAE (Sukruansuwan *et al.*, 2018).

<i>Medio</i>	<i>Holocelulosa (p/v) %</i>	<i>α- celulosa (p/v) %</i>	<i>Hemicelulosa %</i>	<i>Lignina %</i>	<i>Contenido H<sub>2</sub>O %</i>
<i>Núcleo</i>	29.5	17.2	12.3	1.8	89.2
<i>Cáscara</i>	36.8	22.9	13.9	5.1	86.5

La composición de azúcar de CAE se analizó por la técnica de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) y se encontró la presencia de 20.14 de sacarosa, 24.48 de glucosa, 2.78 de fructosa y 0.30 de galactosa todo ello expresado en g/L. Sin embargo, las composiciones de biomasa y azúcar varían según la edad de la planta, las condiciones de crecimiento, las condiciones del suelo, la ubicación geográfica, ubicación, clima y otros factores ambientales, como la temperatura, el estrés y la humedad.

Para la desintoxicación no fue requerida antes de la conversión de hidrolizado de celulosa a PHB por *Cupriavidus necator* cepa A-04. Esta cepa bacteriana mostró la capacidad de tolerar hasta 14.7 g/L ácido levulinico (LA) y 2.1 g/L 5-HMF. Además de la hidrólisis ácida, se demostró que el CAE es una fuente y medio de carbono potencial. Este simple proceso químico, que no requiere un tratamiento previo alcalino ni pasos de desintoxicación antes del paso de producción de PHB, podría permitir el uso de biomasa cruda como la única fuente de carbono en una biorrefinería escalable.

## Capítulo VI. CONCLUSIÓN

El cultivo de la piña hoy en día abre amplias puertas hacia la comercialización, satisfaciendo el mercado de consumo tanto como fruta entera fresca como procesada y transformada en diversos productos apetecibles como mermeladas, pulpas, jugos, néctares, etc., Sin embargo, durante estos procesos se generan residuos los cuales no se lleva a cabo un adecuado manejo del mismo.

De la información recopilada en los últimos 10 años, se sugiere que de los componentes que integran al fruto total piña, el residuo que mejor aprovechamiento de valorización es la corona con respecto a la cáscara y corazón.

En la cáscara se pueden obtener azúcares, aminoácidos (excepto treonina), compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, biocombustibles (bioetanol y biobutanol) y remoción de colorante 40. Para el caso del corazón se puede obtener azúcares, aminoácidos (excepto treonina), compuestos fenólicos, lípidos, biocombustible (hidrógeno) y remoción del colorante BB3 y CR. La corona puede ser utilizado para la extracción de aminoácidos, azúcares, compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, biocombustible (bioetanol) y remoción de colorante (azul de metileno) y para la fabricación de textiles como bolsas, cinturones, sombreros, etc.

Si bien la cáscara ocupa el 41% y el corazón un 6% en su conjunto se aprovecharía un 47% aproximadamente del residuo total del fruto, obteniendo una valorización satisfactoria en comparación de la corona ya que ocupa un 20% del fruto total.

Se puede concluir que los residuos agroindustriales de piña representan una oportunidad para crear un sistema de circuito cerrado en favor de la sustentabilidad, con un mucho menor impacto ambiental y productos derivados aprovechables.

## REFERENCIAS

- Antonio, R. 2011. Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol. Universidad Nacional Autónoma de México. 8(2):27-31.
- Arango O. 2009. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 7(2):24-31.
- Azizan, Xin, Abdul Hamid, Maulidiani, Mediani y Abdul Ghafar. 2020. Potentially Bioactive Metabolites from Pineapple Waste Extracts and Their Antioxidant and  $\alpha$ -Glucosidase Inhibitory Activities by  $^1\text{H}$  NMR. *Foods*, 9(2), 173.
- Balan K, Qing W, Wang Y, Liu X, Palvannan T y Wang Y. 2016. Antidiabetic activity of silver nanoparticles from green synthesis using *Lonicera japonica* leaf extract. *Rsc Advances.*; 6(46):40162–8. 79.
- Barragán-Huerta, B., Téllez-Díaz, Y. y Laguna, T. 2008. Utilización de residuos agroindustriales. *Rev. Sistemas ambientales*, 2(8), 44-50.
- Benomie M y Reyes M. 2012. Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14(3):323-332.
- Bhattacharyya, K. G., Sharma, A. 2004. *Azadirachta indica* leaf powder as an effective biosorbent for dyes: a case study with aqueous Congo Red solutions. *J. Environ. Management* 71 217–229.
- Brown, J. *Nutrition Now*. 1998. USA, California: Wadsworth Publishing Company.
- Chan, S.-L., Tan, Y. P., Abdullah, A. H., y Ong, S.-T. 2016. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of Basic Blue 3 and Congo Red dyes: Pineapple (*Ananas comosus*) plant stem. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 306–315.
- Chen H. 2014. Chemical composition and structure of natural lignocellulose. *Biotechnology of lignocellulose: theory and practice*. Dordrecht: Springer. 25–71.
- Child, R.; Wilkinson, D.; Fallowfield, J. y Donnelly, A. 1998. Elevated serum antioxidant capacity and plasma malondialdehyde concentration in response to a simulated half- marathon run. *Med Sci Sport Exerc*; 30 (11): 1603- 1607.

- Choonut, A., Saejong, M. y Sangkharak, K. 2014. The Production of Ethanol and Hydrogen from Pineapple Peel by *Saccharomyces Cerevisiae* and *Enterobacter Aerogenes*. *Energy Procedia*, 52, 242–249.
- Clarkson, P.; Thompson, H. 2000. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr.*; 72 (2): 637S-646S.
- Combs, G. 2001. Vitaminas. En *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. Mahan, L.; Escott-Stump, S. Mc. Graw-Hill.; pp 73-88.
- Córdova, A.; Álvarez, M. 2000. *Inmunidad en el Deporte*. España, Madrid: Gymnos.
- da Silva AE, Marcelino HR, Gomes MCS, Oliveira EE, Nagashima T Jr y Egito EST .2012 . Xylan, a promising hemicellulose for pharmaceutical use.Verbeek CJR. *Products and applications of biopolymers*. Rijeka: InTech;. p. 62–5.
- Da Silva, C. A., Baker D., Shepherd A W Jenane Ch. y Miranda da Cruz S. 2013. *Agroindustrias para el desarrollo*. Roma: FAO.
- Das G, Patra JK, Debnath T, Ansari A y Shin H-S .2019. Investigation of antioxidant, antibacterial, antidiabetic, and cytotoxicity potential of silver nanoparticles synthesized using the outer peel extract of *Ananas comosus* (L.). *PLoS ONE* 14 (8).
- Desmarchelier, C.; Ciccia, G. 1998. Antioxidantes de Origen Vegetal. *Ciencia Hoy* 8 (44)
- Evans, W. 2000. Vitamin E, vitamin C and exercise. *Am J Clin Nutr* . 72 (suppl): 647S-652S.
- Ezeji, T., Qureshi, N., Blaschek, H.P.2013. Microbial production of a biofuel (acetonebutanol-ethanol) in a continuous bioreactor: impact of bleed and simultaneous product removal. *Bioproc. Biosyst. Eng.* 36,109-116.
- García-Peña P, Parameswaran, D.W, Kang, M. Canul Chan y R. Krajmalni. 2011. Anaerobic digestion and co-digestion process of vegetable and fruit residues: roles and microbial ecology *Bioresour Tehnol.*, 102, 9447-9455.
- González M, González E, González V y Albernas Y. 2012. Impacto de la integración de los procesos de azúcar y derivados. *Tecnología Química*, 33(1):21-31.
- Gopal, R., Altaf, Md., Naveena, B., Venkateshwar, M. y Vijay Kumar E. 2008. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation -A review. *Biotechnology Advances* 26 (1): 22-24.

- Guerrero R y Valenzuela L. 2011. Agroindustria y medio ambiente. Trilogía. Ciencia Tecnología Sociedad, 23(33):63-83.
- Han, R. 2008. Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode. *Bioresour. Technol.* 99: 2938–2946.
- Hofvendahl, K. y Hägerdal, B. 2000. Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources. *Enzyme and Microbial Technology* 26(2- 4): 87-107.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. 2010. Cuéntame ... Economía. Recuperado 13 noviembre, 2019, de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- John R, Nampoothiri K, Pandey A, *Appl.2007 Microbiol. Biotechnol.*, 74, 526.
- Kengkhetkit, N., y Amornsakchai, T. 2012. Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple leaf fiber. *Industrial Crops and Products*, 40
- Khedkar, M. A., Nimbalkar, P. R., Gaikwad, S. G., Chavan, P. V., y Bankar, S. B. 2017. Sustainable biobutanol production from pineapple waste by using *Clostridium acetobutylicum* B 527: Drying kinetics study. *Bioresource Technology*, 225, 359-366.
- Lahoz, C.; Peña, R.; Mostaza, J. 2000. ¿Se deben de recomendar antioxidantes para la prevención cardiovascular? *Rev Clin Española* (4):36-41.
- Ledesma-Escobar, C. A., & Luque de Castro, M. D. 2014. Towards a comprehensive exploitation of citrus. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 63–75.
- Leeben Y, Soni P, Shivakoti GP. 2013. Indicators of sustainable development for assessing performance of pineapple canneries: conceptual framework and application. *J Food Agric Environ.* 11:100–109.
- Lohrasbi, M., Pourbafrani, M., Niklasson, C., y Taherzadeh, M. J. 2010. Process design and economic analysis of a citrus waste biorefinery with biofuels and limonene as products. *Bioresource Technology*, 101(19), 7382–7388.
- Mahamad, M. N., Zaini, M. A. A., & Zakaria, Z. A. 2015. Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 274–280.

- Marín, F. R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J., y Pérez-Alvarez, J. A. 2007. By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry*, 100(2), 736–741.
- Mejía L, Martínez H, Betancourt J y Castrillón C. 2007. Aprovechamiento de residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) para obtener azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia*, 3(6):41-62.
- NurAsniyati, A.H.; Ramasamy, S.; Tan, B.C.; Norzulaani, K. y Jamilah, S.Y. 2018. In vitro shoot regeneration and analysis of biochemical, antioxidant and anticancer properties of *Ananas comosus* var. MD2. *Malays. J. Fundam. Appl. Sci.*, 14, 263–268.
- OECD. Improving Plastics Management: Trends, Policy Responses, and the Role of International Cooperation and Trade. Available online: [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/improving-plastics-management\\_c5f7c448-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/improving-plastics-management_c5f7c448-en) (accessed on 14 January 2020).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1997. La agroindustria y el desarrollo económico. <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>, consulta septiembre de 2018.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2007. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997. N° 30. (pp. 221-2589). Roma: FAO. ISSN: 0251-1371.
- Panesar, P., Kennedy, J. y Knill, C. 2007. Applicability of pectate-entrapped *Lactobacillus casei* cells for L(+) lactic acid production from whey. *Applied Microbial Biotechnology* 74(1): 35-42.
- Pavan, F.A., Dias, S.L.P., Lima, E.C. y Benvenuti, E.V. 2008. Removal of congo red from aqueous solution by anilinepropylsilica xerogel. *Dyes and Pigments*. 76, 64–69.
- PURI, M., Sharma, D. and Barrow, C.J. 2012. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in biotechnology* .30,37–44.
- Purkait, M.K., Maiti, A., DasGupta, S., De, S. 2015. Removal of congo red using activated carbon and its regeneration. *J. Hazard. Mater.* 145: 287–295.
- PwC México. 2015. Agroindustria. Recuperado de: [www.pwc.com/mx/es/industrias/agroindustria.html](http://www.pwc.com/mx/es/industrias/agroindustria.html)

- Ramakrishna, V.V., Ghaly, A.E., Brooks, M.S. and Budge, S.M. 2013. Enzymatic extraction of amino acids from fish waste for possible use as a substrate for production of jadomycin". *Enzyme Engineering* . 02, 02.
- Rashid R. 2008. Optimization and modeling of lactic acid production from pineapple waste, Tesis Doctoral. Johor Bahru, Malasia. Technological University of Malaysia.
- Ravindran, R., Hassan, S., Williams, G., y Jaiswal, A. 2018. A Review on Bioconversion of Agro-Industrial Wastes to Industrially Important Enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 93. doi:10.3390/bioengineering5040093
- Restrepo M. 2006. Producción más limpia en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 1(1):87-101.
- Roda, A . Lucini, L .; Torchio, F .; Dordoni, R .; De Faveri, DM y Lambri, M. 2017. Perfiles de metabolitos y volátiles de vino de piña y vinagre obtenidos a partir de residuos de piña. *Food Chem.* 229 , 734–742
- Rojan, P., Madhavan, K., Syamaprasad, A. y Pandey, A. 2006. Solid-state fermentation García - Ácido láctico por vía biotecnológica 24 for L-lactic acid production from agro wastes using *Lactobacillus delbrueckii*. *Process Biochemistry* 41(4): 759–763.
- S. Manish y R. Banerjee. 2008. Comparison of biohydrogen production processes, *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 279– 286.
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) .2016 . Aumenta PIB agroalimentario 3.3 al primer semestre de 2016. Comunicado de prensa publicado 15 de noviembre de 2019. Recuperado: [www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/agosto/Documents/JAC0368-30.PDF](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/agosto/Documents/JAC0368-30.PDF).
- Sánchez A, Gutiérrez A, Muñoz J y Rivera C. 2010. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5):61-91.
- Sanja, N., Koprivanac, A. y Božić, A. 2004. Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al (III) coagulation/carbon adsorption process, *Dyes and Pigments*, 62 (3), 291-298.
- Satyanarayana, K.G.; Arizaga, G.G.C. y Wypych, F. 2009. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. *Prog. Polym. Sci.*, 34, 982–1021.

- SAVAL, S.2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. [en línea]. 16, 2, pp. 14–46.
- Searle SMC. 2013. Disponibilidad de residuos y residuos celulósicos en la UE. ICCT; Washington, DC, EE. UU .
- Sivaranjani K, Meenakshisundaram M. 2013. Biological synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum basilicum* leaf extract and their antimicrobial activity. *Int Res J Pharm.* 4(1):225–9.
- Sukruansuwan, V., y Napathorn, S. C. 2018. Use of agro-industrial residue from the canned pineapple industry for polyhydroxybutyrate production by *Cupriavidus necator* strain A-04. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 1-15
- Sukruansuwan, V., y Napathorn, S. C. 2018. Use of agro-industrial residue from the canned pineapple industry for polyhydroxybutyrate production by
- Suwannasing, W., Imai, T., y Kaewkannetra, P. 2015. Cost-effective defined medium for the production of polyhydroxyalkanoates using agricultural raw materials. *Bioresource Technology*, 194, 67-74.
- Teubner, C., Gysin, H., Levin, H., Hansen, H., Schönfelt, S., Ehlert, W. y Lechtaler, W. 1999. El gran libro de los frutos exóticos. Grupo Ángel Rey (Import, Export & Marketing). Everest, pp. 21-27
- Tristán, A. 2012. Biosorción del colorante rojo congo en sistemas en lote utilizando biomasa de *Chlorella* sp., (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Upadhyay, A., Chompoo, J., Araki, N., y Tawata, S. 2011. Antioxidant, Antimicrobial, 15-LOX, and AGEs Inhibitions by Pineapple Stem Waste. *Journal of Food Science*, 77(1), H9-H15.
- Urrego, V., Vásquez-Noreña, P. y Barrera, R. 2018. Uso de cáscara de piña como adsorbente de rojo 40 (típico de la industria alimentaria) (*Rosmarinus officinalis* L.) proveniente de cultivos orgánicos en la zona alta andina. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 5(1). 87-95.
- Valdez-Vázquez I., Acevedo-Benítez J.A., Hernández-Santiago C. 2010. Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico *Renew Sustain Energy Rev.*, 14. 2147-2153
- Vijayakumar, J., Aravindan, R. y Viruthagiric, T. 2008. Recent Trends in the Production, Purification and Application of Lactic Acid. *Chemical and Biochemical Engenniering* 22(2): 245- 264.

- Villa, J.; Córdova, A.; González, J. 2000. *Nutrición del Deportista*. España, Madrid: Gymnos 2000.
- Villada, Y. y Hormaza, A. 2015. Análisis simultáneo de la remoción de azul brillante y rojo 40 mediante espectrofotometría de derivadas, *Ingeniería y Desarrollo*, 33 (81), 3858.
- Vox, G.; Viviana, R.; Blanco, I.; Scarascia, G. 2016. Mapping of agriculture plastic waste. *Agric. Sci. Procedia*, 8, 583–591.
- Wee, Y., Kim, J. y Ryu, H. 2006. Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications. *Food Technology and Biotechnology* 44(2): 163-172.
- Yepes S, Montoya L y Orozco F. 2008. Valorización de residuos agroindustriales –frutas– en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 61(1):4422-443